

DETEKSI PERUBAHAN HABITAT TERUMBU KARANG MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT DI PULAU MOROTAI PROVINSI MALUKU UTARA

CHANGE DETECTION OF CORAL REEF HABITAT USING LANDSAT IMAGERY IN MOROTAI ISLAND NORTH MALUKU PROVINCE

Nurhalis Wahiddin^{12*}, Vincentius P. Siregar³, Bismar Nababan³, Indra Jaya³, dan Sam Wouthuyzen⁴

¹Program Studi MSP, FPIK-Universitas Khairun, Ternate

²Program Studi Teknologi Kelautan, Sekolah Pasca Sarjana, IPB, Bogor

*E-mail: uda_wahidin@ymail.com

³Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK-IPB, Bogor

⁴Pusat Penelitian Oseanografi Indonesia, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta

ABSTRACT

Scientific information on coral reef habitat changes of Morotai island is very limited to none. This study aimed to detect the change of coral reef habitats between 1996 and 2013, using Landsat imagery integrated with field data in 2012. The research was conducted in the coral reef ecosystem of Morotai Island in North Maluku province. Change detection analyses were conducted using supervised classifications and transformation depth invariant index (DII), with five habitat classes i.e., mixed-habitat, coral, seagrass, sand, and rubble. The result showed that in 1996-2002 there was a significant increase in the mix-habitat and rubble classes (11.3% and 32.5%), however, there was a significant decrease in the sand, seagrass, and coral classes of -14.1%, -14.9%, and -16.6%, respectively. In 2002-2013, mixed-habitat, sand, and seagrass classes were increase by 1.1%, 13.3%, and 24.78%, respectively. Meanwhile, coral and rubble classes were decrease by -22.7% and -27.0%, respectively. Within the period of 1996-2013, there was about 43.6% loss of coral reef of Morotai island. This was probably caused by the increase of sea surface temperature and the increase of human activities in the region.

Keywords: coral reef habitats, Landsat, change detection, Morotai Island

ABSTRAK

Informasi ilmiah terkait perubahan habitat terumbu karang di pulau Morotai sangat terbatas bahkan belum ada sampai saat ini. Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi perubahan habitat terumbu karang dalam kurun waktu 17 tahun (1996-2013) menggunakan seri citra Landsat yang diintegrasikan dengan data pengamatan lapangan tahun 2012. Penelitian ini dilaksanakan di kawasan terumbu karang pulau Morotai Propinsi Maluku Utara menggunakan data Landsat 5TM (1996), Landsat 7ETM+ (2002) dan Landsat 8 OLI (2013). Analisis deteksi perubahan menggunakan teknik klasifikasi terbimbing dan normalisasi band transformasi *depth invariant index* (DII) untuk lima kelas habitat yaitu kelas campuran, karang hidup, lamun, pasir, dan pecahan karang. Deteksi perubahan dideskripsikan berdasarkan perubahan habitat antar waktu maupun perubahan luas habitat antara tahun 1996-2002 dan 2002-2013. Analisis deteksi perubahan menunjukkan bahwa dalam kurun waktu 1996-2002 luas kelas campuran dan pecahan karang meningkat sebesar 11,3% dan 32,5%, luas kelas pasir, lamun, dan karang hidup berkurang masing-masing sebesar -14,1%, -14,9% dan -16,6%. Sedangkan tahun 2002-2013, luas kelas campuran, pasir, dan lamun meningkat masing-masing sebesar 1,1%, 13,3% dan 24,7%, luas kelas pecahan karang dan karang hidup berkurang sebesar -22,7% dan -27,0%. Dalam kurun waktu 17 tahun, kematian terumbu karang sekitar 43,6%. Hal ini mungkin disebabkan peningkatan suhu air laut dan meningkatnya intensitas kegiatan manusia.

Kata kunci: habitat terumbu karang, citra Landsat, deteksi perubahan, pulau Morotai

I. PENDAHULUAN

Terumbu karang adalah salah satu ekosistem dengan produktifitas dan kelimahan spesies yang tinggi di wilayah pesisir. Terumbu karang juga secara ekologi berperan menjaga keseimbangan produktifitas sumberdaya laut dan indikator penting kualitas lingkungan laut. Beberapa dekade terakhir, ekosistem terumbu karang mengalami perubahan dalam skala global sebagai akibat dari perubahan iklim dan kerusakan oleh kegiatan manusia. Berdasarkan data yang dipublikasi oleh *Global Coral Reef Monitoring Network* (GCRN) tahun 2008, kurang lebih 54% terumbu karang dunia berada dalam kondisi terancam secara global (Wilkinson, 2008).

Kajian terhadap perubahan ekosistem terumbu karang telah berlangsung sejak beberapa dekade yang lalu. Kombinasi citra satelit dan foto udara mampu melakukan pengamatan dalam jangka panjang dan kontinyu untuk pemetaan terumbu dan deteksi perubahan (Lewis, 2002, Palandro *et al.*, 2003, Purkis and Riegl, 2005).

Deliniasi manual foto udara telah terbukti sukses dalam teknik pemetaan untuk mengkarakterisasi dinamika lingkungan padang lamun (Hernandez-Cruz *et al.*, 2006). Pada lingkungan terumbu karang teknik ini diaplikasikan dengan baik pada skala struktur geomorfologi terumbu karang tepi (*fringing reef*) untuk deteksi kehilangan struktur karang seperti *spur and groove*, terumbu bagian tengah (*reef edge*) serta kanal dibagian depan terumbu akibat pengaruh badai topan di West Indies (Lewis, 2002). Perubahan bentuk terumbu yang diinterpretasi dari peta-peta berbasis citra dapat digunakan untuk menduga dinamika karakteristik ekologi dan geomorfologi. Purkis and Riegl (2005) melakukan pengamatan perkembangan komunitas karang di Teluk Arabian setelah beberapa kali peristiwa

kematian masal karang akibat pemutihan (*coral bleaching*). Palandro *et al.* (2008) juga mendokumentasikan perubahan habitat terumbu karang di Florida Keys menggunakan citra penginderaan jauh dan survey *in-situ* dalam dua skala berbeda. Hasil-hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi beberapa seri citra satelit dan pengamatan *in-situ* dalam interval skala spasial dan temporal yang sesuai dapat menghasilkan informasi dinamika komunitas dan substrat terumbu karang untuk periode waktu yang berbeda.

Penelitian tentang dinamika perubahan terumbu karang dengan kombinasi data penginderaan jauh (foto udara dan citra resolusi tinggi) dan pengamatan *in-situ* dalam kurun waktu beberapa dekade telah dilakukan di terumbu Saint-Leu Samudera Hindia. Lima data foto udara dari tahun yang berbeda dan dua data citra Quickbird yang dikombinasikan dengan data pengamatan lapangan (1987, 1993, 1997, 2000, 2002, 2007), mampu mendekripsi perubahan komunitas terumbu karang dalam tiga periode gangguan akibat badai (1989, 2002) dan pemutihan karang (2002) (Scopelitis *et al.*, 2009). Palandro *et al.* (2003) melaporkan hasil deteksi perubahan komunitas terumbu karang dari tiga periode gangguan akibat badai (1989, 2002) dan pemutihan karang (2002). (Scopelitis *et al.*, 2009) dan Palandro *et al.* (2003) mengkaji deteksi perubahan komunitas terumbu karang menggunakan citra IKONOS dan menemukan bahwa berkurangnya substrat dasar yang didominasi oleh karang mempunyai pola yang sama dengan data pengamatan lapangan (*in-situ*).

Selain foto udara dan citra resolusi tinggi, perubahan terumbu karang juga dapat dideteksi menggunakan citra resolusi menengah seperti Landsat. André-fouët *et al.*, (2001) menganalisis deteksi perubahan lingkungan terumbu karang di Florida dan Hawaii dengan Landsat 7 EMT+ dalam interval waktu yang singkat

(2 minggu sampai 3 bulan). Dua metode diaplikasikan untuk analisis deteksi perubahan yaitu: estimasi kondisi atmosfer menggunakan pendekatan multisensor ETM+/SeaWiFS dan koreksi empiris yang didasarkan pada fitur *pseudoinvariant* sebagai kompensasi dari perbedaan kondisi atmosfer yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Selama periode pengamatan tidak ditemukan dampak dari gangguan utama seperti pemutihan karang dan badi. Citra Landsat generasi berbeda juga telah digunakan untuk deteksi perubahan terumbu karang di Hurgadha Mesir yaitu Landsat 5TM (1987), Landsat 7TM+ (2000) dan Landsat 8 OLI (2013) dengan data pengamatan lapangan tahun 2004. Dengan klasifikasi terbimbing (*supervised*) perubahan habitat terumbu karang secara kualitatif maupun kuantitatif dapat diketahui (El-Askary *et al.*, 2014). Penelitian deteksi perubahan habitat terumbu karang di Indonesia menggunakan data multi-temporal citra Landsat 1991 dan 2002 telah dilaksanakan di Pulau Derawan Kalimantan Timur. Perbandingan hasil klasifikasi citra 1991 dan 2002 menunjukkan terjadinya perubahan habitat terumbu karang secara spasial. Analisis ini menunjukkan bahwa persentase terumbu karang dan lamun berkurang dan disisi lain persentase komposisi alga dan kumpulan karang meningkat (Nurlidiasari, 2004).

Pengamatan lapangan berupa komponen habitat dan karakteristik spektral menjadi faktor penting untuk memvalidasi hasil pengukuran satelit. Sampai saat ini data dan informasi lapangan yang tersedia mengenai kondisi ekosistem terumbu karang di provinsi Maluku Utara khususnya di pulau Morotai sangat terbatas.

Acuan informasi yang ada saat ini terkait status ekosistem terumbu karang di pulau Morotai adalah kegiatan “Ekspedisi kajian awal potensi kelautan dan pariwisata di pulau Halmahera dan sekitarnya”

tahun 2008. Kekayaan spesies karang hermatipik mencapai 468 spesies dari 17 genus dan 15 famili pada 24 titik pengamatan di perairan Halmahera bagian utara dan pulau Morotai. Kondisi ini bertolak belakang dengan persen penutupan karang hidup rata-rata hanya mencapai 26% yang terindikasi mengalami proses degradasi secara signifikan. Faktor-faktor yang diidentifikasi sebagai penyebab degradasi terumbu karang adalah ancaman dari beberapa predator dan aktifitas kegiatan tambang. Ancaman terhadap terumbu karang juga disebabkan oleh perubahan iklim global (Turak and DeVantier (2008).

Minimnya informasi ilmiah terkait kondisi dan status ekosistem terumbu karang di pulau Morotai serta semakin banyaknya ancaman alamiah seperti pemanasan global dan meningkatnya aktifitas manusia, maka penelitian terkait deteksi perubahan habitat terumbu karang di pulau Morotai menjadi sangat penting. Penelitian ini bertujuan untuk mendekripsi perubahan habitat terumbu karang dalam kurun waktu dua dekade (1996-2013) menggunakan citra Landsat 5TM, 7ETM+ dan 8 OLI dan data pengamatan lapangan.

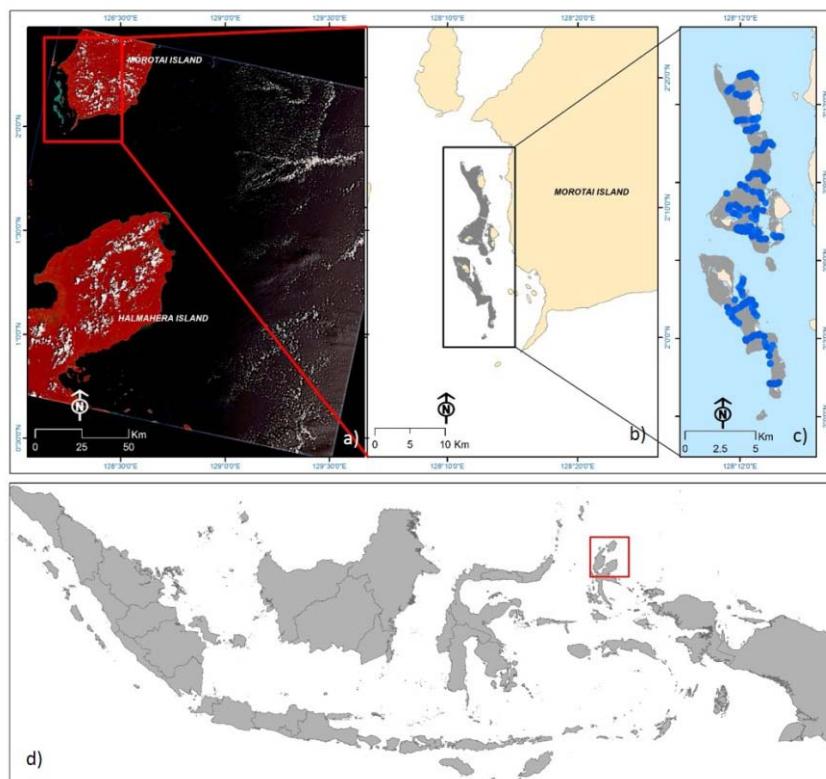
II. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan ekosistem terumbu karang di bagian Barat Pulau Morotai Propinsi Maluku Utara. Secara geografis lokasi penelitian terletak antara $128,17^{\circ}$ - $128,24^{\circ}$ BT dan $1,99^{\circ}$ - $2,23^{\circ}$ LU. Terumbu karang di lokasi penelitian merupakan tipe terumbu karang penghalang (*barrier reef*) yang terbentang dari utara ke selatan (Gambar 1).

2.1. Data

Data satelit untuk analisis deteksi perubahan terdiri dari tiga seri yaitu Landsat 5TM akusisi perekaman 30 Juli 1996, Landsat 7ETM+ 23 Juli 2002, dan



Gambar 1. Lokasi penelitian di bagian Barat P. Morotai. (●) titik pengamatan lapangan.

Landsat 8 OLI 17 Oktober 2013. Seluruh scene citra merupakan perekaman data pada path/row 109/059 yang didownload dari *USGS Earth Resources Observation and Science data centre* (<http://glovis.usgs.gov/>). Tipe data citra satelit ini adalah Level 1T yang secara sistematis telah terkoreksi geometric (*Terrain Corrected*) dan diproyeksi ke sistem koordinat UTM zona 52N-WGS84.

Pengumpulan data habitat dasar terumbu karang dilaksanakan selama bulan Oktober 2012 dengan teknik foto transek (*photo transect quadrat*) menggunakan kuadran berukuran 1 m x 1 m yang diletakan pada transek sepanjang 50 m (English *et al.*, 1997). Setiap titik pengamatan foto transek dilakukan pengambilan gambar menggunakan kuadran pada berbagai variasi habitat dasar terumbu karang di lokasi penelitian. Seluruh titik pengamatan direkam menggunakan GPS dengan bantuan pelampung untuk menda-

patkan titik yang tetap sebagai titik pengamatan.

2.2. Analisis Data

2.2.1. Pra Pengolahan Citra

Tahap awal sebelum klasifikasi dan analisis deteksi perubahan adalah pra pengolahan citra. Saluran sinar tampak pada panjang gelombang 400-700mm digunakan untuk analisis karena penyera-pan kolom air rendah pada panjang gelombang ini. Komposisi saluran sinar tampak terdiri dari biru, hijau, merah dan Infa merah dekat. Saluran coastal blue Landsat 8 OLI tidak disertakan dalam komposisi band untuk klasifikasi dan analisis deteksi perubahan karena tidak terdapat pada Landsat 5TM dan 7ETM+. Koreksi atmosferik diterapkan pada ketiga seri citra menggunakan modul koreksi atmosferik FLAASH yang terdapat dalam perangkat lunak ENVI. Koreksi atmosferik menggunakan modul FLAASH ber-

dasarkan petunjuk (Rudjord and Trier, 2012) dengan persamaan sebagai berikut:

$$L = \left(\frac{A\rho}{1 - \rho_s S} \right) + \left(\frac{B\rho_s}{1 - \rho_s S} \right) + L_a \quad (1)$$

dimana: ρ adalah reflektansi permukaan piksel, ρ_s adalah rata-rata reflektansi permukaan piksel dan daerah disekitarnya, S adalah sperikal albedo atmosfir, L_a adalah hamburan balik radiasi oleh atmosfir, A dan B koefisien yang tergantung pada kondisi atmosfir dan geometric.

Langkah-langkah koreksi atmosferik dengan modul FLAASH sebagai berikut: (1) nilai digital komposisi multispectral citra dikalibrasi menjadi nilai radians dalam format BIL; (2) menentukan titik tengah scene citra, tipe sensor, ketinggian sensor, ukuran piksel dan akuisisi data citra yang tersedia pada metadata citra; (3) Menentukan ketinggian rata-rata lokasi penelitian dengan bantuan sumberdata lain seperti aplikasi Google Earth ; (4) menentukan model atmosferik *tropical* untuk daerah perekaman di wilayah tropis dan model *aerosol maritime* karena sebagian besar scene citra adalah laut; dan (5) menentukan nilai kecerahan udara yang diperoleh dari stasiun pengamatan BMKG terdekat.

Citra yang telah terkoreksi atmosferik selanjutnya dibatasi pada lokasi penelitian (*subset*) untuk analisis klasifikasi dan deteksi perubahan.

2.2.2. Klasifikasi Tak Terbimbing

Klasifikasi tak terbimbing (*unsupervised classification*) dilakukan pada potongan (*subset*) citra yang telah dikoreksi atmosferik. Klasifikasi menggunakan teknik pengelompokan ISODATA sebanyak 10 kelas dengan minimum iterasi spektral 150 dan convergence threshold 0,95. Kanal citra landsat yang digunakan pada klasifikasi tak terbimbing disajikan pada Tabel 1. Hasil klasifikasi sepuluh kelas kemudian dikelompokan

kembali (*reclass*) menjadi tiga kelas geomorfologi yang terdiri dari kelas darat, laut dalam dan perairan dangkal. Selanjutnya hasil *reclass* digunakan untuk menghilangkan area laut dalam dan daratan dalam proses *masking*. Pada tahap ini proses pemotongan untuk menghilangkan area daratan dan laut dalam diterapkan pada citra Landsat 8 OLI sebagai data referensi untuk proses masking Landsat 5TM dan Landsat 7ETM+ sehingga diperoleh luasan area analisis yang sama.

Tabel 1. Kanal citra Landsat yang digunakan dalam klasifikasi tak terbimbing.

No band	1996	2002	2003
1	Biru	Biru	
2	Hijau	Hijau	Biru
3	Merah	Merah	Hijau
4	NIR	NIR	Merah
5			NIR

2.2.3. Koreksi Kolom Perairan

Koreksi kolom perairan menggunakan teknik yang diusulkan oleh Lyzenga (1981) untuk mengoreksi atenuasi kolom perairan secara eksponensial saat diaplikasikan untuk membandingkan pengaruh teknik ini pada hasil klasifikasi. Pengaruh kolom perairan dihilangkan dari rasio pasangan band untuk meningkatkan hasil interpretasi visual dan akurasi klasifikasi substrat terumbu karang (Mumby *et al.*, 1998; Andréfouët *et al.*, 2003; Benfield *et al.*, 2007). Koreksi kolom perairan diekstrak dari obyek yang diidentifikasi pada area citra untuk jenis substrat yang sama dengan kedalaman yang berbeda, selanjutnya citra ditransformasi ke nilai logaritma untuk band-band berbeda dan menghitung nilai regresi pasangan band. Nilai *slope* regresi (k_i/k_j) dihitung berdasarkan *depth invariant index* dengan persamaan berikut (Green *et al.*, 2000):

$$DII_{ij} = \ln(L_i) - \left[\left(\frac{k_i}{k_j} \right) \ln(L_j) \right] \quad (2)$$

dimana

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

$$a = \frac{\sigma_i - \sigma_j}{2\sigma_{ij}}$$

dan σ_i adalah varians band i , σ_j adalah varians band j , σ_{ij} adalah covarians pasangan band i dan j . Koreksi kolom perairan diterapkan pada seluruh seri citra Landsat yang digunakan dengan komposisi pasangan band DII_12, DII_13 dan DII_23.

2.2.4. Normalisasi Citra

Secara umum teknik normalisasi citra yang digunakan disebut penyesuaian histogram (*histogram matching*). Penyesuaian histogram akan mengurangi variasi nilai kecerahan diantara piksel sehingga menghasilkan karakteristik nilai kecerahan yang mirip dari citra berbeda (Richards and Jia, 2005). Pengurangan ini menghasilkan nilai piksel atau gabungan seluruh piksel yang sama antara dua citra pada scene yang sama dengan waktu perekaman berbeda (Scheidt *et al.*, 2008). Proses normalisasi dimisalkan dua citra, S1 dan S2 pada scene yang sama didefinisikan kedalam n dimensi (n band), dimana S1 merupakan citra acuan untuk normalisasi S2 sehingga nilai kecerahan $x_{(i,k)}$ piksel i dan band k S2 dengan persamaan sebagai berikut:

$$y_{(i,k)} = m_{1_k} + \sigma_k \frac{x_{(i,k)} - m_{2_k}}{\sigma_{2_k}}, \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

Dengan demikian dapat dilihat bahwa band k S2 mempunyai nilai standar deviasi dan mean yang sama dengan band k S1. Oleh karena itu, jika semua nilai k

dapat dihitung maka citra S2 akan mencapai rata-rata vector dan matriks kovarian yang sama dengan citra S1.

Proses normalisasi diterapkan pada citra yang telah terkoresi kolom perairan (DII) menggunakan teknik *histogram matching* yang terdapat pada perangkat lunak ERDAS IMAGINE 2014. Landsat 5TM dan Landsat 7ETM+ dinormalisasi ke Landsat 8 OLI sebagai citra referensi karena mempunyai resolusi radiometrik yang lebih baik dan waktu perekaman yang lebih dekat dengan waktu pengumpulan data lapangan.

2.2.5. Klasifikasi Terbimbung

Klasifikasi terbimbung dengan algoritma minimum distance diterapkan pada citra transformasi DII yang telah dinormalisasi dengan lima kelas habitat terumbu karang yaitu: kelas campuran, pasir, lamun, pecahan karang dan karang hidup. Kelas habitat terumbu karang dianalisis menggunakan perangkat lunak *Coral Point Count With Excel extention* (Kohler and Gill, 2006) dan analisis persentasi kemiripan (SIMPER) persentasi tutupan menggunakan persamaan koefisien *Bray-Curtis Similarity* (Clarke, 1993). Kelas habitat terumbu karang ditentukan berdasarkan nilai persentase tutupan dominan dari seluruh komponen terumbu karang. Teknik klasifikasi terbimbung untuk menghasilkan peta tematik habitat terumbu karang hanya dilakukan pada pasangan band DII yang mempunyai karakteristik spektral yang mirip setelah proses normalisasi pada semua seri citra. Asumsi yang digunakan adalah jika karakteristik spectral semua seri citra sama maka piksel-piksel pada seluruh seri citra akan merepresentasi obyek yang sama pula, sehingga deteksi terhadap perubahan piksel-piksel pada lokasi yang sama setiap seri citra dapat dilakukan.

2.2.6. Pengujian Akurasi

Uji akurasi dapat dilakukan dengan membandingkan dua peta, satu peta bersumber dari hasil penginderaan jauh (peta yang akan diuji) dan satunya lagi adalah peta referensi yang berasal dari sumber lain atau pengamatan lapangan. Peta kedua dijadikan sebagai peta acuan dan diasumsikan memiliki informasi yang benar (Campbell, 2002). Dalam kajian ini yang menjadi acuan adalah hasil pengamatan lapangan mengingat belum tersedianya peta terumbu karang di lokasi studi. Uji akurasi pemetaan terdiri dari *overall accuracy* (OA), *producer accuracy* (PA), dan *user accuracy* (UA) berdasarkan (Congalton and Green, 2008). *Overall accuracy* merupakan tingkat kebenaran secara keseluruhan antara citra dan data referensi dalam hal ini adalah peta hasil klasifikasi. UA dihitung untuk menduga akurasi klasifikasi variasi kelas habitat yang ditentukan dari pengamatan lapangan. PA dihitung untuk menduga kemampuan setiap kelas yang dihasilkan dari klasifikasi citra. Pengujian akurasi peta habitat terumbu karang hanya diterapkan pada citra 2013 sebagai validasi habitat pada citra tahun sebelumnya.

2.2.7. Deteksi Perubahan

Deteksi perubahan digunakan untuk mengidentifikasi, mendeskripsikan dan menghitung perbedaan antara citra dengan waktu perekaman berbeda atau pada kondisi yang berbeda (Lillesand and Kiefer, 2000). Deteksi perubahan menggunakan operasi *raster calculator* yang terdapat pada aplikasi ArcMap 10 dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = K_i * 10^{t0} + \dots + K_i * 10^{tn} \quad (4)$$

dimana, P adalah deteksi perubahan, K_i adalah penutupan habitat ke- i , t adalah seri data perekaman citra dan n adalah jumlah seri citra.

Mengingat pada penelitian ini terdapat tiga seri data citra dan lima kelas habitat terumbu karang, maka bentuk dari analisis deteksi perubahan dilakukan sebagai berikut: Kelas habitat 1=111; Kelas habitat 2=222; Kelas habitat 3=333; Kelas habitat 4=444; dan Kelas habitat 5=555. Jika pasangan angka pada setiap kelas habitat hasil analisis mengalami perubahan maka akan diketahui perubahannya setiap waktu pada masing-masing citra.

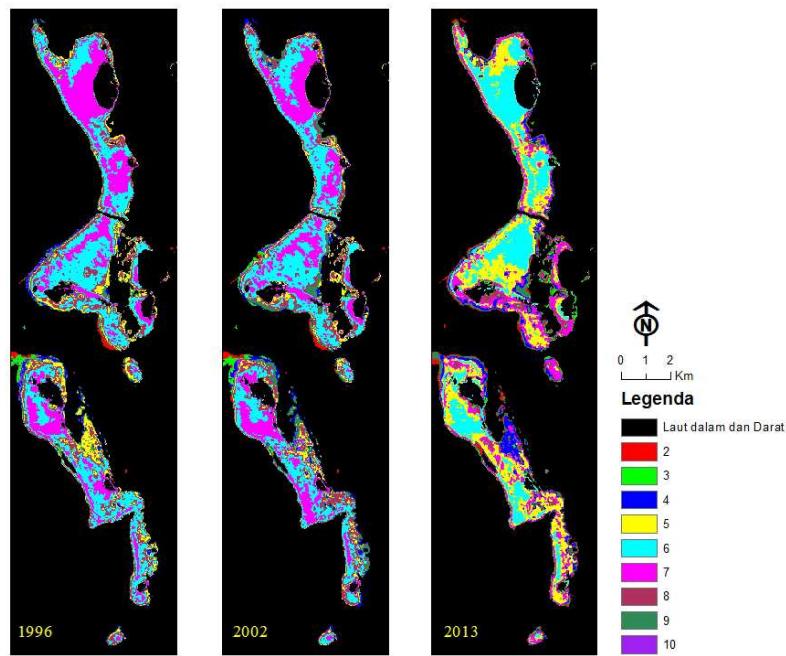
Deteksi perubahan diaplikasikan pada peta-peta klasifikasi terbimbung 1996 ke 2002 dan 2002 ke 2013. Deteksi perubahan dideskripsikan berdasarkan perubahan luas area masing-masing habitat dan luas total area yang berubah atau tidak mengalami perubahan. Faktor-faktor penyebab terjadinya perubahan habitat terumbu karang dijelaskan secara deskriptif berdasarkan literatur yang relevan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Klasifikasi Citra

Hasil klasifikasi tak terbimbung menunjukkan bahwa kelas-kelas yang terbentuk pada area terumbu karang bervariasi antara citra 1996, 2002, dan 2013 (Gambar 2). Variasi antar kelas disebabkan karena kemiripan nilai spectral yang tinggi diantara kelompok kelas pembentuk area terumbu karang. Teknik ini tidak digunakan untuk mengidentifikasi kelas yang berbeda pada semua seri citra dan hanya berfungsi untuk mengidentifikasi area laut dalam, daratan dan terumbu karang sebagai kawasan yang dianalisis.

Pemisahan area laut dalam, daratan dan terumbu karang dilakukan dengan pengelasan kembali (*reclass*) hasil klasifikasi menjadi kelas laut dalam, daratan dan terumbu karang. Dengan menggunakan teknik pemotongan, area terumbu karang dipisahkan dengan area laut dalam dan daratan yang diterapkan pada citra



Gambar 2. Pemotongan area laut dalam dan daratan hasil klasifikasi tak terbimbung citra 1996, 2002 dan 2013.

2013 sebagai referensi. Pemotongan area terumbu karang pada citra 2013 selanjutnya diterapkan pada citra 1996 dan 2002 sehingga menghasilkan luas kawasan terumbu karang sebesar kurang lebih 4085,73 Ha.

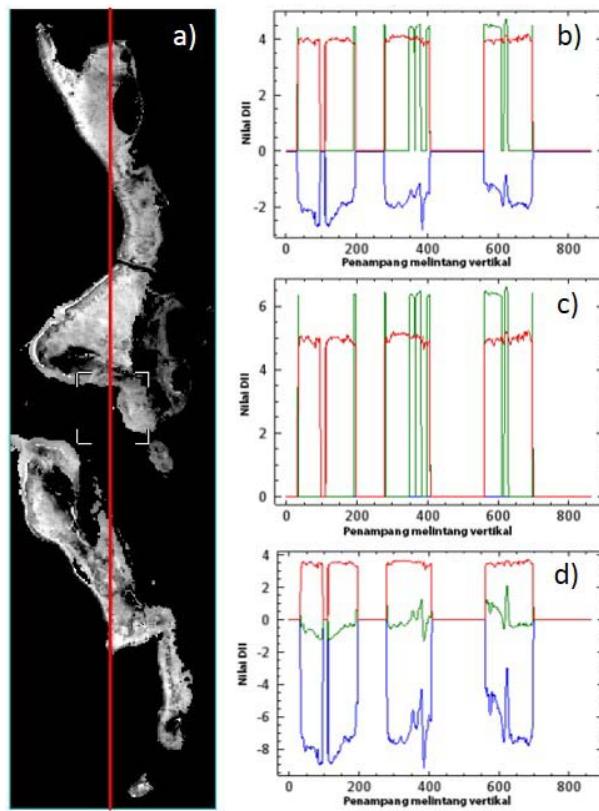
Klasifikasi terbimbung untuk memperoleh sebaran habitat terumbu karang pada seluruh citra didasarkan pada karakteristik spektral. Untuk deteksi perubahan, citra DII 1996 dan 2002 dinormalisasi ke citra 2013 sebagai DII referensi. Hasil analisis disajikan pada Gambar 3.

Ekstraksi nilai spektral berdasarkan penampang vertikal band DII menunjukkan bahwa pasangan band DII_12 (biru-hijau) memiliki karakteristik yang mirip atau sama pada seluruh citra (Gambar 4). Nilai spectral pasangan band DII_13 (biru-merah) hanya memiliki kemiripan karakteristik spectral pada citra 1996 dan 2002. Sedangkan nilai spectral pasangan band DII_23 (hijau-merah) menunjukkan hasil karakteristik spectral yang tidak mirip pada semua citra.

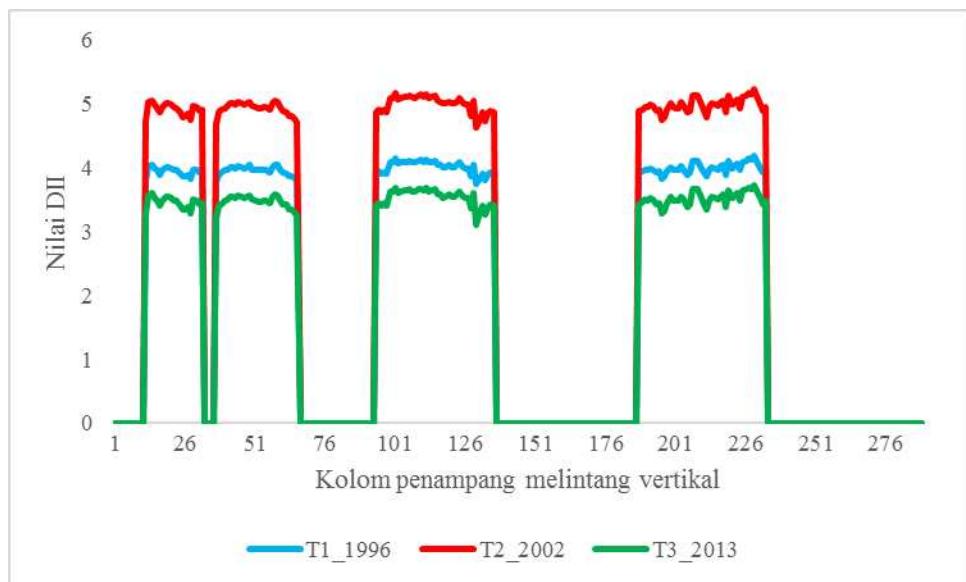
Dengan demikian, klasifikasi habitat ekosistem terumbu karang hanya diterapkan pada pasangan band DII biru-hijau (ban DII_12) untuk mengetahui potensi perubahan kelas habitat dalam kurun waktu 17 tahun. Hasil klasifikasi secara visual menunjukkan bahwa habitat terumbu karang didominasi oleh kelas campuran (gradasi warna kuning) (Gambar 5).

Habitat campuran dan lamun sebagian besar terdistribusi pada bagian tengah kawasan terumbu karang (*reef edge*), sedangkan pada area terumbu bagian depan (*front reef*) didominasi oleh habitat pasir, karang hidup dan pecahan karang. Distribusi habitat pasir (warna merah) dan karang hidup (warna cyan) pada bagian depan terumbu terlihat cenderung lebih stabil pada kawasan terumbu karang pada periode 1996 dan 2002 dibandingkan dengan habitat lamun pada bagian tengah terumbu untuk periode 2013 (Gambar 6).

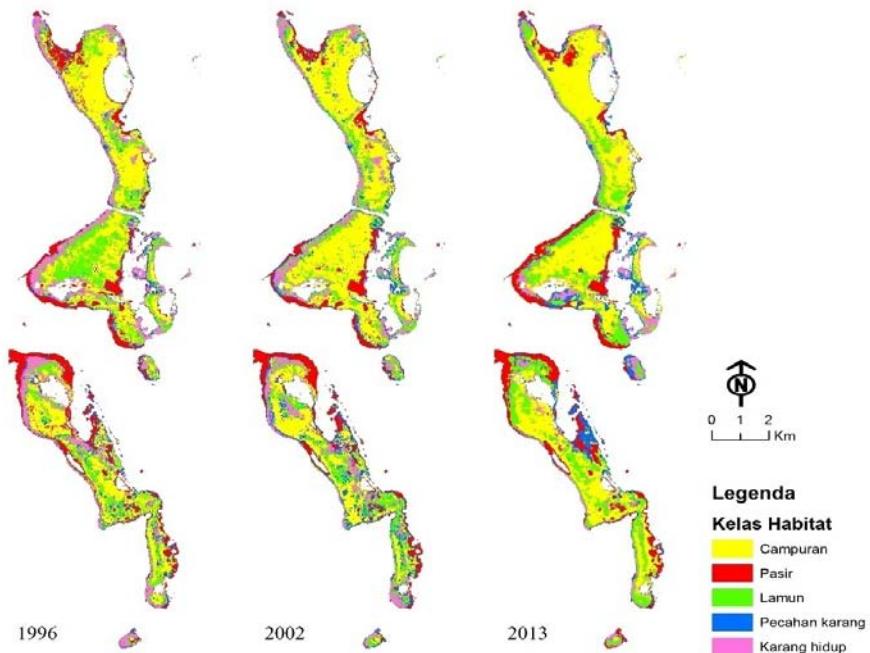
Hasil pengujian akurasi peta habitat terumbu karang yang diturunkan dari citra 2013 adalah sebesar 69% *overall accuracy*. Dari sisi *producer accuracy*



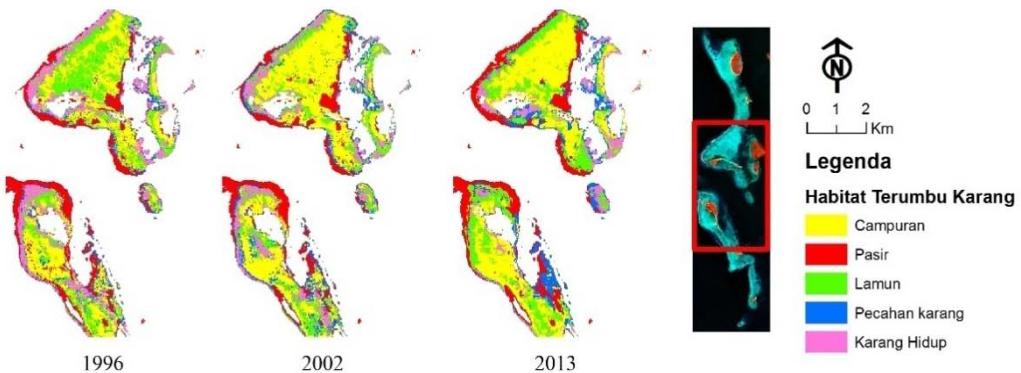
Gambar 3. Profil vertical karakteristik spektral pasangan band DII. a) profil vertikal; b) karakteristik spectral band DII citra 1996; c) karakteristik spektral band DII citra 2002; d) karakteristik spectral band DII citra 2013; (—) profil spectral pasangan band biru-hijau; (—) profil spectral pasangan band biru-merah; (—) profil spectral pasangan band hijau-merah.



Gambar 4. Profil vertikal karakteristik spectral pasangan band DII biru-hijau citra 1996, 2002 dan 2013.



Gambar 5. Klasifikasi habitat terumbu karang tahun 1999, 2002 dan 2013.



Gambar 6. Dinamika beberapa kelas habitat terumbu karang.

menunjukkan bahwa seluruh habitat yang dihasilkan dari citra dapat dipetakan dengan baik, sedangkan dari sisi *user accuracy* hasil pengamatan lapangan kelas habitat dapat digunakan dengan baik dalam proses pemetaan (Tabel 2).

3.2. Deteksi Perubahan

Perubahan yang dimaksud adalah perubahan luasan masing-masing habitat terumbu karang, perubahan satu kelas habitat ke kelas habitat yang lain serta perubahan luas total area yang berubah

dan tidak berubah (tetap). Luas rata-rata habitat terumbu karang dari yang paling besar secara berturut-turut adalah kelas campuran 1794,45 ha (43,6%), lamun 769,77 ha (18,8%), pasir 617,64 ha (15,1%), karang hidup 506,70 ha (12,4%) dan pecahan karang 451,17 ha (11,0%).

Perubahan luasan habitat terumbu karang dalam kurun waktu hampir dua dekade menunjukkan bahwa luasan habitat campuran bertambah dari tahun 1996 ke tahun 2013. Luasan habitat pasir dan lamun berkurang dari tahun 1996 ke tahun

Tabel 2. Uji akurasi peta habitat terumbu karang citra 2013.

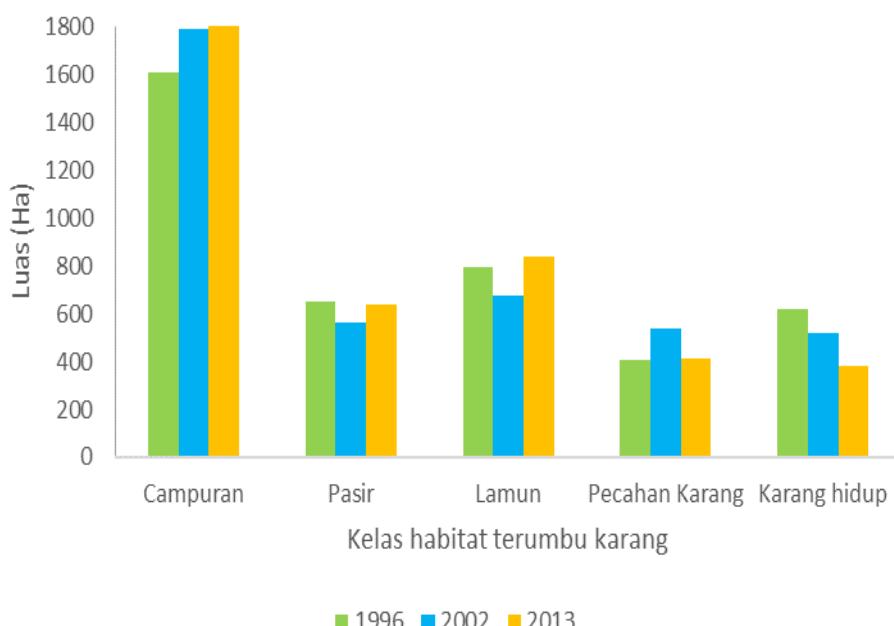
Lapangan Hasil klasifikasi	Campuran	Karang Hidup	Lamun	Pasir	Pecahan karang	Total	UA (%)
Campuran	5	1	1	3		10	50
Karang Hidup		7	1	1	1	10	70
Lamun	1	2	23	4	3	33	70
Pasir	2	1	2	27	1	33	82
Pecahan Karang			2	5	7	14	50
Total	8	11	29	40	12	100	
PA (%)	60	64	79	68	58	OA	69

2002 dan meningkat pada tahun 2013, bahkan luasan lamun pada tahun 2013 lebih besar dari tahun 1996. Luasan habitat pecahan karang bertambah pada tahun 2002 dari tahun 1996 dan berkurang pada tahun 2013. Sedangkan luasan habitat karang hidup berkurang dari tahun 1996 ke tahun 2013 (Gambar 7).

Luas habitat campuran bertambah sebesar 11,3% (182,25 ha) pada tahun 2002 dan 1,1% (20,6 ha) pada tahun 2013. Luas habitat pasir berkurang 14,1% (92,43 ha) pada tahun 2002 dan meningkat 13,3% (74,88 ha) pada tahun 2013. Luas

habitat lamun berkurang 14,9% (117,99 ha) pada tahun 2002 dan meningkat 24,7% (166,59 ha) tahun 2013. Luas habitat pecahan karang meningkat 32,5% (131,22 Ha) pada tahun 2002 dan berkurang 22,7% (121,77 ha) pada tahun 2013. Luas habitat karang hidup berkurang dari tahun 1996 ke 2002 16,6% (103,05 ha) dan 27% (140,31 ha) pada tahun 2013 (Tabel 3 dan 4).

Total keseluruhan area habitat terumbu karang yang mengalami perubahan pada tahun 1996 ke 2002 adalah 1829,16 ha dan pada tahun 2002 ke 2013



Gambar 7. Perubahan luas habitat terumbu karang tahun 1996, 2002 dan 2013.

Tabel 3. Statistik perubahan habitat terumbu karang antara 1996 dan 2002.

Kelas	1996	2002	Luas perubahan (ha)	Persentasi (%)	Keterangan
Campuran	1612,08	1794,33	182,25	11,3	Bertambah
Pasir	654,30	561,87	-92,43	-14,1	Berkurang
Lamun	792,90	674,91	-117,99	-14,9	Berkurang
Pecahan					
Karang	404,28	535,5	131,22	32,5	Bertambah
Karang hidup	622,17	519,12	-103,05	-16,6	Berkurang
Total	4085,73	4085,73			

Tabel 4. Statistik perubahan habitat terumbu karang antara 2002 dan 2013.

Kelas	2002	2013	Luas Perubahan (Ha)	Persentasi (%)	Keterangan
Campuran	1794,33	1814,94	20,61	1,1	Bertambah
Pasir	561,87	636,75	74,88	13,3	Bertambah
Lamun	674,91	841,50	166,59	24,7	Bertambah
Pecahan					
Karang	535,5	413,73	-121,77	-22,7	Berkurang
Karang hidup	519,12	378,81	-140,31	-27,0	Berkurang
Total	4085,73	4085,73			

adalah 1714,59 ha atau berkurang sebesar 6,3%. Sedangkan total area habitat yang tidak mengalami perubahan (tetap) pada tahun 1996 ke 2002 adalah 2256,57 ha dan pada tahun 2002 ke 2013 adalah 2371,14 ha atau meningkat sebesar 5,1%. Ilustrasi total keseluruhan perubahan habitat terumbu karang dalam kurun waktu 17 tahun disajikan pada Gambar 8.

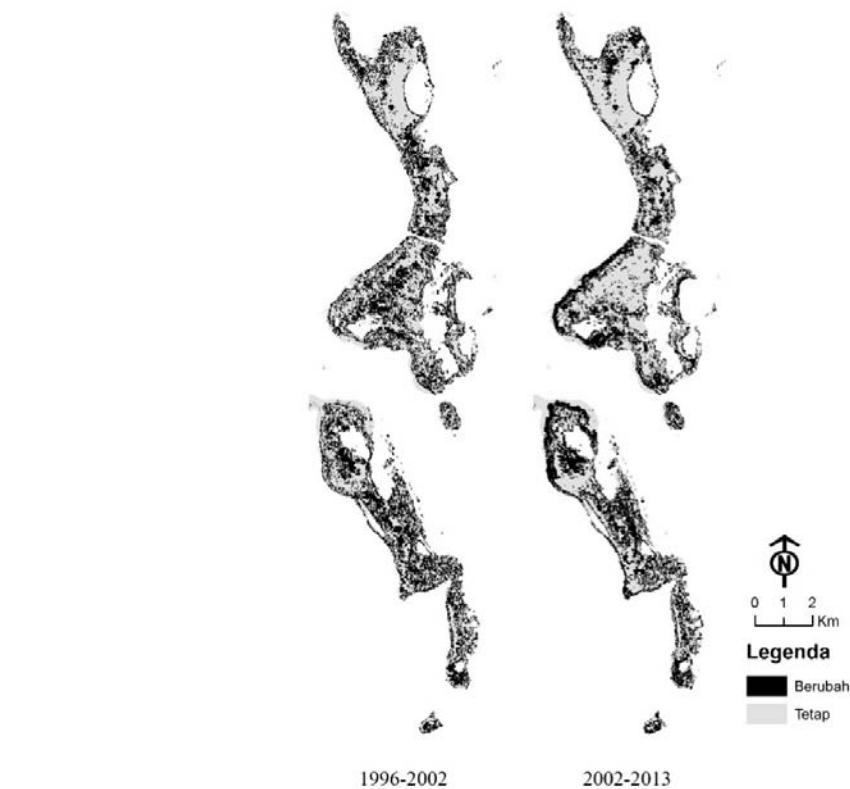
Perubahan selanjutnya dikelompokkan menjadi empat kelompok yang terdiri dari kelompok kelas yang tidak berubah (tetap), kelompok kelas yang mengalami perubahan, kelompok kelas dengan kemungkinan kecil terjadinya perubahan dan kelompok kelas yang tidak memungkinkan terjadinya perubahan (Tabel 4 dan Gambar 9).

Kelompok kelas dengan kemungkinan kecil terjadinya perubahan terdiri dari: pasir-pecahan karang; lamun-pecahan karang; pecahan karang-pasir; karang hidup-pasir. Sedangkan kelompok

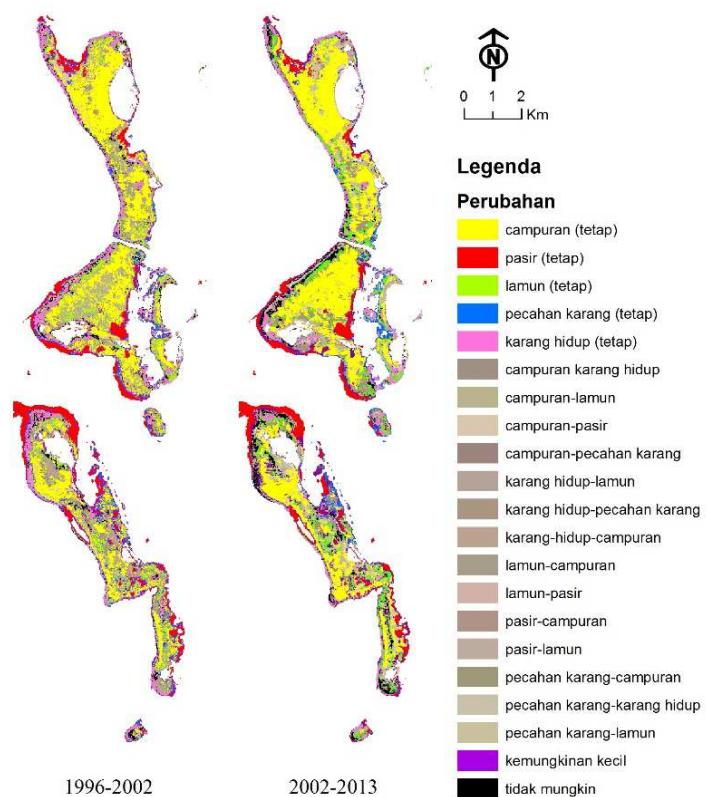
kelas yang tidak memungkinkan terjadinya perubahan terdiri dari: pasir-karang hidup dan lamun-karang hidup.

3.3. Pembahasan

Akurasi peta habitat terumbu karang yang dihasilkan dari citra Landsat 8 OLI 2013 menggunakan data pengamatan lapangan sebanyak lima kelas habitat mencapai 69% (OA). Seluruh kelas yang dihasilkan dari klasifikasi citra maupun *sampel training area* menunjukkan kemampuan yang baik dan dapat digunakan dalam proses pemetaan. Nilai akurasi pemetaan antara 60-80% dapat direkomendasikan bagi kegiatan inventarisasi untuk pemantauan sumberdaya (Green *et al.*, 2000). Informasi dinamika perubahan ekosistem terumbu karang di lokasi penelitian dalam kurun waktu hampir dua dekade terakhir dapat diperoleh dari citra satelit dengan tingkat akurasi yang cukup baik.



Gambar 8. Perubahan habitat dan yang tidak mengalami perubahan dalam kurun waktu 1996-2013.



Gambar 9. Hasil klasifikasi perubahan habitat terumbu karang.

Kategori kelompok perubahan menunjukkan bahwa habitat yang berpotensi mengalami perubahan dari kelompok tetap (habitat) dan berubah (dari satu habitat ke habitat lain) mencapai luas lebih dari 80% total luas kawasan yang dianalisis. Sementara sisanya adalah kelas habitat sulit didefinisikan (*impossible changes*) seperti perubahan habitat pasir dan lamun menjadi karang hidup serta kelompok perubahan dengan kemungkinan yang kecil dan sulit didefinisikan (*unlikely changes*) (Tabel 4 dan Gambar 9). Berdasarkan hasil ini dapat dinyatakan bahwa analisis perubahan dalam penelitian ini menghasilkan informasi dinamika perubahan ekoistem terumbu karang dengan baik. Semakin kecil kelompok perubahan *impossible changes* dan *unlikely changes*, maka definisi potensi perubahan semakin baik didefinisikan.

Meskipun analisis deteksi perubahan menggunakan pengukuran nilai spektral habitat terumbu karang sebagai referensi dalam menghasilkan peta tematik, teknik ini masih ditemukan pola perubahan kelas habitat dalam kurun waktu tertentu yang sulit didefinisikan seperti perubahan kelas pasir menjadi karang hidup (Andréfouët *et al.*, 2001, Abella *et al.*, 2007).

Klasifikasi untuk deteksi perubahan menggunakan teknik penyesuaian histogram (*histogram match*) transformasi band DII mampu menghasilkan informasi perubahan habitat terumbu karang dengan baik dalam kurun waktu 17 tahun dilokasi penelitian. Yuan and Elvidge (1996) menjelaskan bahwa teknik normalisasi radiometrik adalah prosedur yang digunakan dalam mempersiapkan data satelit multi temporal untuk deteksi fenomena perubahan spektral seperti penutupan lahan. Teknik ini mengurangi perbedaan numerik antara dua citra yang dipengaruhi oleh kondisi pada saat perekaman seperti performa sensor, radiasi sinar matahari dan pengaruh atmosfer.

Deteksi perubahan habitat terumbu karang menunjukkan bahwa luas habitat karang hidup mengalami penurunan dalam kurun waktu 1996-2002 dan 2002-2013. Hasil ini menunjukkan bahwa periode 1996-2002 perubahan habitat terumbu karang terutama karang hidup diduga dipengaruhi oleh perubahan iklim global (periode El Nino 1996-1997). Sementara periode 2002-2013 yang menunjukkan penurunan drastis habitat karang hidup sehingga diduga dapat juga disebabkan oleh intensitas kegiatan manusia yang semakin tinggi (Turak and DeVantier, 2008). Perubahan habitat terumbu karang dalam kurun waktu tertentu disebabkan oleh tekanan dari kegiatan manusia maupun perubahan iklim secara global seperti peningkatan suhu permukaan laut dalam periode El-Nino. Habitat terumbu karang yang paling rentan terhadap peningkatan suhu permukaan laut adalah karang hidup (Wilkinson, 2008). Dugaan terhadap fenomena ini adalah terjadinya periode El Nino dalam kurun waktu Maret 1997 sampai April 1998 (Australian Government Bureau of Meteorology: <http://www.bom.gov.au/climate/current/soi2.shtml>).

Dampak lain dari perubahan iklim secara global pada periode El Nino adalah perubahan terumbu karang akibat proses pemutihan karang (*coral bleaching*). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Baker *et al.* (2008) menemukan bahwa dalam kurun waktu kurang lebih 25 tahun telah terjadi proses perbaikan ekosistem terumbu karang di beberapa lokasi samudera Hindia akibat periode pemutihan karang tahun 1998. Kondisi sebaliknya terjadi di samudera Atlantik yang relative lebih kecil akibat pengaruh periode pemutihan karang. Data yang dirilis oleh ReefBase: A Global Information System for Coral Reef (<http://www.reefbase.org>), Indonesia merupakan kawasan dengan kawasan terumbu karang yang paling sedikit mendapat pengaruh dari periode pemu-

tihan karang dalam kurun waktu dua hampir tiga dekade terakhir.

IV. KESIMPULAN

Deteksi perubahan dalam penelitian ini mampu menyajikan informasi yang berhubungan dengan dinamika perubahan habitat terumbu karang yang diaplikasikan dari teknik klasifikasi citra Landsat dan data lapangan yang minim. Analisis deteksi perubahan menunjukkan bahwa dalam kurun waktu 1996-2002 luas kelas campuran dan pecahan karang meningkat sebesar 11,3% dan 32,5%, luas kelas pasir, lamun, dan karang hidup berkurang masing-masing sebesar -14,1%, -14,9% dan -16,6%. Sedangkan tahun 2002-2013, luas kelas campuran, pasir, dan lamun meningkat masing-masing sebesar 1,1%, 13,3% dan 24,7%, luas kelas pecahan karang dan karang hidup berkurang sebesar -22,7% dan -27,0%. Dalam kurun waktu 17 tahun, kematian terumbu karang sekitar 43,6%. Hal ini mungkin disebabkan peningkatan suhu air laut dan meningkatnya intensitas kegiatan manusia.

Peta-peta tematik perubahan yang dikombinasikan dengan perhitungan statistik tidak hanya mengidentifikasi perubahan luas kelas habitat antar waktu, tetapi juga mampu mengidentifikasi perubahan habitat ke habitat yang lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para reviewer yang telah banyak memberikan masukan dan komentar untuk memperbaiki tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Abella, M.A.R., J. Cy, and L.T. David. 2007. Coral mortality discrimination and change detection using Landsat TM And ETM+ imageries of Balabac, Palawan. In: Reyson R.A. (ed). 28th Asian Conference

- on Remote Sensing. Kuala Lumpur. 270-275pp
- Andréfouët, 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, M. Zubia, J.C. Brock, S.R. Phinn, A. Naseer, B.G. Hatcher, and F.E. Muller-Karger. 2003. Multi-site evaluation of IKONOS data for classification of tropical coral reef environments. *Remote Sensing Environment*, 88(1-2):128-143.
- Andréfouët, S., F.E. Muller-Karger, E.J. Hochberg, C. Hu, and K.L. Carder. 2001. Change detection in shallow coral reef environments using Landsat 7 ETM+ data. *Remote Sensing of Environment*, 78(1-2): 150-162.
- Baker, A.C., P.W. Glynn, and B. Riegl. 2008. Climate change and coral reef bleaching: an ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook. *Estuar Coas Shelf S.*, 80(4):435-471.
- 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 Sensing*, 28(22):5047-5070.
- Campbell, J.B. 2002. Introduction to remote sensing. Guilford Press. New York. 656p.
- Clarke, K.R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian J. of Ecology*, 18(1):117-143.
- Congalton, R.G. and K. Green. 2008. Assessing the accuracy of remotely sensed data principles and practices. CRC Press Taylor & Francis Group. France. 183p.

- El-Askary, H., S.H. Abd El-Mawla, J. Li, M.M. El-Hattab, and M. El-Raey. 2014. Change detection of coral reef habitat using Landsat-5 TM, Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI data in the Red Sea (Hurghada, Egypt). *Int. J. Remote Sensing*, 35(6):2327-2346.
- English, S., C. Wilkinson, and V. Baker. 1997. Survey Manual for Tropical Marine Resources. Mc Graw Publication. Australia. 297p.
- Green, E., A.J. Edwards, and C. Clark. 2000. Remote sensing handbook for tropical coastal management. Unesco Pub. Paris. 361p.
- Hernandez-Cruz, L.R., S.J. Purkis, and B. Riegl. 2006. Documenting decadal spatial changes in seagrass and *Acropora palmata* cover by aerial photography analysis in Vieques, Puerto Rico: 1937-2000. *Bulletin of Marine Science*. 79(2):401-414.
- Kohler, K.E. and S.M. Gill. 2006. Coral point count with excel extensions (CPCe): a visual basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Comput Geosci.*, 32(1259-1269.
- Lewis, J. 2002. Evidence from aerial photography of structural loss of coral reefs at Barbados, West Indies. *Coral Reefs*, 21(1):49-56.
- Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. 2000. Remote sensing and image interpretation. Wiley. New York. 721p.
- Lyzenga, D.R. 1981. Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. *Int. J. Remote Sensing*, 2:71-82.
- Mumby, P.J., C.D. Clark, E.P. Green, and A.J. Edwards. 1998. Benefits of water column correction and contextual editing for mapping coral reefs. *Int. J. Remote Sensing*, 19(1):203-210.
- Nurlidiasari, M. 2004. The application of QuickBird and multi-temporal Landsat TM data for coastal reef habitat mapping, case study: Derawan island, East Kalimantan. Thesis. Geo-information Science and Earth Observation. International Institute of Enschede, The Netherland 79p.
- Palandro, D., S. Andréfouët, P. Dustan, and F.E. Muller-Karger. 2003. Change detection in coral reef communities using Ikonos satellite sensor imagery and historic aerial photographs. *Int. J. Remote Sensing*, 24(4):873-878.
- Palandro, D.A., S. Andréfouët, C. Hu, P. Hallock, F.E. Müller-Karger, P. Dustan, M.K. Callahan, C. Kranenburg, and C.R. Beaver. 2008. Quantification of two decades of shallow-water coral reef habitat decline in the Florida Keys National Marine Sanctuary using Landsat data (1984–2002). *Remote Sensing Environment*, 112(8):3388-3399.
- Purkis, S.J. and B. Riegl. 2005. Spatial and temporal dynamics of Arabian Gulf coral assemblages quantified from remote-sensing and in situ monitoring data. *Mar Ecol. Prog. Ser.*, 287:99-113.
- Richards, J.A. and X. Jia. 2005. Remote sensing digital image analysis. An introduction. Springer. Heidelberg Germany. 439p.
- Rudjord, O. and O.D. Trier. 2012. Evaluation of FLAASH atmospheric correction. Norwegian Computer Centre. Norwegian. 24p.
- Scheidt, S., M. Ramsey, and N. Lancaster. 2008. Radiometric normalization and image mosaic generation of ASTER thermal infrared data: An application to extensive sand

- sheets and dune fields. *Remote Sens Environ.*, 112(3):920-933.
- Scopélitis, J., S. Andréfouët, S. Phinn, P. Chabanet, O. Naim, C. Tourrand, and T. Done. 2009. Changes of coral communities over 35 years: Integrating in situ and remote-sensing data on Saint-Leu Reef (la Réunion, Indian Ocean). *Estuar Coast Shelf S.*, 84(3):342-352.
- Turak, E. and L. DeVantier. 2008. Biodiversity and Conservation Priorities of Reef-building Corals in North Halmahera-Morotai. Final Report. Conservation International. Indonesia. 68p.
- Wilkinson, C. 2008. Status of coral reefs of the world. Global coral reef monitoring network and reef and rainforest research center. Townsville, Australia. 296p.
- Yuan, D. and C.D. Elvidge. 1996. Comparison of relative radiometric normalization techniques. *ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing*, 51(3):117-126.

Diterima : 11 Desember 2014
Direview : 20 Desember 2014
Disetujui : 28 Desember 2014

