

**DETEKSI PERUBAHAN TUTUPAN MANGROVE MENGGUNAKAN CITRA
LANDSAT BERDASARKAN KLASIFIKASI HIBRIDA DI SUNGAI
KEMBUNG, PULAU BENGKALIS, PROVINSI RIAU**

***MANGROVE COVERAGE CHANGE DETECTION USING LANDSAT
IMAGERIES BASED ON HYBRID CLASSIFICATION IN KEMBUNG RIVER,
BENGKALIS ISLAND, RIAU PROVINCE***

**Romie Jhonnerie^{1,2}, Vincentius P. Siregar^{3*}, Bisman Nababan³, Lilik Budi
Prasetyo⁴, dan Sam Wouthuyzen⁵**

¹Program Studi Teknologi Kelautan, Sekolah Pascasarjana, Departemen ITK, FPIK-IPB, Bogor

²Departemen Pemanfaatan Sumberdaya Perairan, FPIK, Universitas Riau, Pekanbaru

³Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK-IPB Bogor; *E-mail: vincent@biotrop.org

⁴Departemen Sumberdaya Hutan, Konservasi dan Ekowisata, Fakultas Kehutanan, IPB, Bogor

⁵Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta

ABSTRACT

The limited scientific information and lack of attention from stakeholders on the status of mangroves in Kembung River functioned as a basis of this study. Four series of Landsat data recorded in 1996, 2002, 2010, and 2013 were used to map mangrove land cover and changes detection. Hybrid classification technique, a combination of the object-based and random forest classifications, were applied in this study. The result showed that based on hybrid classification, mangrove coverage was detected within 82.6-88.4% overall accuracy. Change detection analyses showed that the mangrove area of Kembung River was relatively stable. For nearly two decades, we found mangrove loss about 197.2 ha, gain of 251.1 ha, and unchanged of 2904.9 ha. Changes in mangrove were generally caused by anthropogenic factors such as mangrove replanting, logging, changes over the function of mangroves into the road, embankment, settlement, shrimp farms, and natural growth. Serious attention from various parties are needed to maintain the existence and sustainability of mangrove ecosystems in Kembung River.

Keywords: Mangrove, Sungai Kembung, monitoring, Landsat, hybrid classification

ABSTRAK

Minimnya informasi ilmiah dan kurangnya perhatian terhadap status mangrove di kawasan sungai Kembung membuat penelitian ini penting dilakukan. Empat seri data Landsat, perekaman tahun 1996, 2002, 2010, dan 2013 digunakan untuk memetakan mangrove dan mendeteksi perubahannya. Teknik klasifikasi hibrida, yang merupakan gabungan klasifikasi berbasis obyek dengan algoritma klasifikasi *random forest*, digunakan dalam analisis perubahan tutupan mangrove. Hasil menunjukkan bahwa berdasarkan klasifikasi hibrida, tutupan lahan mangrove dapat dideteksi dengan memuaskan pada tingkat akurasi 82,6-88,4%. Analisis perubahan tutupan lahan menyatakan bahwa luas mangrove di Sungai Kembung relatif stabil dan dalam jangka waktu pengamatan tersebut, mangrove yang berubah menjadi penutup lahan lainnya sebesar 197,2 hektar, bertambah seluas 251,1 hektar dan yang tidak mengalami perubahan seluas 2904,9 hektar. Perubahan mangrove umumnya diakibatkan oleh faktor antropogenik seperti penanaman mangrove, penebangan, perubahan alih fungsi mangrove menjadi jalan, tanggul, permukiman, tambak udang dan pertumbuhan alami. Diperlukan perhatian yang serius dari berbagai pihak untuk mempertahankan keberadaan ekosistem mangrove di Sungai Kembung.

Kata kunci: Mangrove, Sungai Kembung, monitoring, Landsat, klasifikasi hibrida

I. PENDAHULUAN

Citra Landsat merupakan data yang paling banyak digunakan untuk memetakan mangrove (Kuenzer *et al.*, 2011) dan hingga saat ini penggunaan citra Landsat serta penerapannya untuk menggali informasi mangrove masih merupakan isu yang menarik untuk dikaji (Kasawani *et al.*, 2010; Alatorre *et al.*, 2011; Lyons *et al.*, 2012; Kirui *et al.*, 2013; Carney *et al.*, 2014). Meskipun citra Landsat dikategorikan sebagai data penginderaan jauh yang beresolusi medium (Roy *et al.*, 2014) namun banyak laporan yang menyatakan bahwa akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) pemetaan mangrove cukup baik diantaranya Alatorre *et al.* (2011) sebesar 84%, Kirui *et al.* (2013) sebesar 87,5%, Long dan Giri (2011) mampu mencapai 96,6%.

Berbagai metode deteksi perubahan penutup lahan dan penggunaan lahan telah banyak dikembangkan, dari data penginderaan jauh namun belum ada metode universal yang mampu menjawab semua permasalahan. Metode berbasis piksel sudah banyak diterapkan, seperti *vector analysis* (He *et al.*, 2011), *image differencing* (Coppin *et al.*, 2004) dan algoritma terbimbing atau tidak terbimbing (Helmi *et al.*, 2012). Namun pendekatan berbasis piksel menghasilkan efek *salt and pepper* (Whiteside *et al.*, 2011; Son *et al.*, 2014) ketika variabilitas reflektansi yang besar hadir pada citra untuk setiap kelas yang dipisahkan dan berpotensi memberikan pengaruh terhadap akurasi deteksi perubahan. Guna meminimalisir kehadiran efek tersebut kehadiran teknik klasifikasi hibrida berbasis obyek diharapkan mampu menjadi salah satu solusi untuk menjawab hal tersebut. Teknik ini dilaporkan dapat meningkatkan hasil akurasi klasifikasi, diantaranya: Heumann (2011) menggabungkan teknik klasifikasi berbasis obyek dan algoritma *support vector machine* (SVM) dengan

akurasi keseluruhan 94%. Taşdemir *et al.* (2012) menggabungkan teknik *self-organizing maps* (SOM) dengan klasifikasi berbasis obyek, akurasi keseluruhan yang diperoleh lebih dari 90%. Zhang *et al.* (2013) menggabungkan teknik klasifikasi berbasis piksel dengan klasifikasi berbasis obyek (*pixel and object base hybrid analysis*) dan akurasi yang dicapainya 91,9%. Namun umumnya teknik klasifikasi hibrida tersebut diatas masih diterapkan pada data resolusi tinggi, seperti WorldView-2, RapidEye, dan QuickBird. Penelitian dan literature terkait penerapan klasifikasi hibrida pada citra resolusi medium seperti Landsat masih jarang dijumpai.

Mangrove berperan penting bagi kehidupan masyarakat pesisir, karena dapat memproteksi pantai dari terjangan badai dan Tsunami, berperan sebagai filter polutan daratan, dan merupakan sumber makanan, obat-obatan, bahan bakar, dan material bangunan. Selain peran dan fungsi mangrove tersebut, mangrove tengah mengalami penurunan kualitas dan kuantitas pada tingkat yang mengkhawatirkan di seluruh dunia (Giri *et al.*, 2007). Secara global dan selama lebih dari dua dekade (1980-2005) dunia telah kehilangan mangrove lebih dari 25% dari total luasan (FAO, 2007; Giri *et al.*, 2011). Study perubahan mangrove di Indonesia telah banyak dilaporkan (Opa, 2010; Pribadi *et al.*, 2012; Yetty *et al.*, 2012; Helmi *et al.* 2013). Namun, informasi ilmiah perubahan tutupan lahan mangrove di Sungai Kambung, Pulau Bengkalis, Provinsi Riau masih sangat sedikit. Untuk itu, penelitian ini sangat penting dilakukan.

Tujuan penelitian ini adalah memetakan dan melihat perubahan tutupan mangrove di Sungai Kambung menggunakan seri citra satelit Landsat berdasarkan klasifikasi hibrida serta menguji tingkat akurasi klasifikasi hibrida dalam pemetaan mangrove berdasarkan citra satelit beresolusi menengah.

II. METODE PENELITIAN

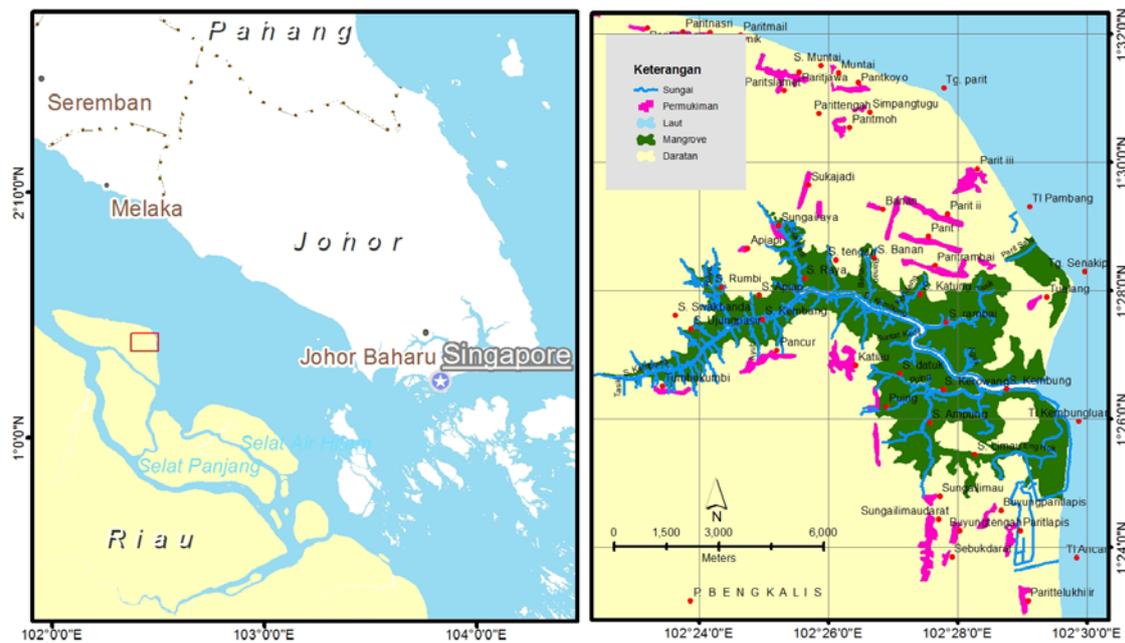
2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di ekosistem mangrove di Sungai Kambung, Pulau Bengkalis, Provinsi Riau. Pengamatan lapangan dilakukan pada bulan Juni dan Desember 2012. Secara geografis lokasi penelitian terletak pada 102°21'47,96"-102°29'38,06" BT dan 1°31'25,34"-1°26'28,18" LU. Sungai Kambung bermuara ke Selat Malaka, dan disepanjang sungai tersebut dari hulu hingga ke hilir serta anak-anak sungai merupakan habitat mangrove (Gambar 1). Sebagian wilayah pantai yang berhadapan langsung dengan selat Malaka sedang mengalami proses

abrasi dan telah mengikis mangrove formasi depan (*fringing mangrove*) khususnya jenis *Avicennia alba* dan *Sonneratia alba*.

2.2. Data Satelit

Data yang digunakan adalah seri citra Landsat level 1T (Tabel 1), terdiri dari Landsat 5 *Thematic Mapper* (TM), Landsat 7 *Enhanced Thematic Mapper* (ETM+) dan Landsat 8 *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM) dengan Path/Row 127/59 dan diperoleh dari United State Geological Survey (USGS) Global Visualization View (GloVis) melalui talian <http://glovis.usgs.gov/>.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

Tabel 1. Seri citra Landsat yang digunakan.

| No | Seri Landsat | Akuisisi |
|----|----------------|-----------------|
| 1 | Landsat 5 TM | 19 Juni 1996 |
| 2 | Landsat 7 ETM+ | 3 Juli 2002 |
| 3 | Landsat 5 TM | 2 Februari 2010 |
| 4 | Landsat 8 LDCM | 17 Mei 2013 |

2.3. Data Lapangan

Pengamatan lapangan dibantu oleh kamera digital dan *Global Position System* (GPS) Trimble JUNO SD yang dilengkapi dengan aplikasi *ArcPAD* versi 10 dan difokuskan terhadap penutup lahan disekitar lokasi penelitian.

Pengamatan penutup lahan hanya dilakukan sekitar 500 m dari perbatasan mangrove mengingat akses yang terbatas. Sebanyak 250 titik pengamatan dibuat secara acak menggunakan *ArcGIS Desktop* versi 10.1 dan 143 diantaranya digunakan *training area* serta 107 digunakan untuk uji akurasi hasil pemetaan masing-masing penutup lahan. Skema penutup lahan yang digunakan mengacu pada Badan Standarisasi Nasional (2011), yang terdiri dari 5 kelas penutup lahan (Tabel 2).

2.4. Pengolahan Citra

Pengolahan citra diawali dari pra-pengolahan yang terdiri dari koreksi atmosferik. Koreksi ini bertujuan untuk memperoleh informasi kuantitatif dari citra satelit multispektral, yang dapat merubah nilai digital menjadi reflektansi

spektral dan mampu meminimalisir absorpsi dan efek hamburan di atmosfer (Richter, 1996). Koreksi atmosferik menggunakan modul ATCOR 2 pada ERDAS IMAGI-NE. Agar seluruh data memiliki karakteristik reflektansi permukaan yang mirip dilakukan teknik *histogram matching* (Richards, 2013). Data Landsat 5 TM yang diakuisisi tanggal 2 Februari 2010 dijadikan sebagai referensi reflektansi spektral, mengingat data tersebut tidak mengalami gangguan atmosferik berupa awan, bayangan awan dan kabut.

Terdapat tiga obyek yang mempengaruhi reflektansi permukaan mangrove yaitu vegetasi, air dan tanah (Kuenzer *et al.*, 2011). Masing-masing obyek tersebut dapat dikarakterisasi melalui transformasi spektral yang telah dikembangkan sebelumnya, yaitu: indek vegetasi (normalized different vegetation index/NDVI) (Rouse *et al.*, 1974), indek air (normalized different water index/NDWI) (Xu, 2006) dan indek lahan terbuka (normalized different bareness index/NDBI) (Zha *et al.*, 2003). Ketiga transformasi spektral tersebut dikombinasikan melalui proses penggabungan dengan *band* Landsat

Tabel 2. Skema penutup lahan dan deskripsi.

| No | Kelas penutup lahan | Deskripsi |
|----|---------------------|---|
| 1 | Badan Air | Semua kenampakan perairan |
| 2 | Bukan Mangrove | Lahan yang ditumbuhi berbagai jenis vegetasi alamiah heterogen dengan tingkat kerapatan jarang hingga rapat |
| 3 | Kebun | Lahan yang digunakan untuk kegiatan pertanian tanpa pergantian tanaman selama dua tahun dan ditanami kelapa, karet atau tanaman campuran dengan tanaman lainnya |
| 4 | Lahan terbuka | Gabungan dari lahan tanpa tutupan dan yang telah mengalami substitusi penutupan lahan yang baik yang bersifat alamiah, semi alamiah maupun artifisial biasanya bersifat kedap air dan relatif permanen (jalan, permukiman, tanggul) |
| 5 | Mangrove | Vegetasi yang tumbuh berkembang pada habitat lahan basah, dengan vegetasi dominan berupa bakau |

lainnya (tanpa menggunakan band termal) sehingga setiap data terdiri dari 9 layer komposisi band, melalui proses *stacking*.

Pengelompokan citra satelit Landsat menjadi penutup lahan menggunakan klasifikasi hibrida. Teknik ini menggabungkan klasifikasi berbasis obyek (Blaschke, 2010) dengan aturan klasifikasi *random forest* (Breiman, 2001). Penerapannya menggunakan aplikasi *eCognition Developer*. Klasifikasi berbasis obyek menggabungkan proses segmentasi, ekstraksi fitur dan konsep klasifikasi dalam analisis citra (Blaschke, 2010). Segmentasi menggunakan algoritma *multiresolution segmentation* (MSR) pada setiap citra dengan layer input sebanyak 9 band, namun hanya 6 layer input saja yang digunakan dalam proses segmentasi yaitu biru, hijau, merah, inframerah dekat, inframerah menengah dan inframerah jauh. Masing-masing input layer menggunakan bobot yang sama yaitu 1. Skala pembangkit obyek adalah 0.5 untuk mendapatkan detil obyek lapangan yang lebih baik. Sementara kriteria pembangun homogenitas obyek yang berasal dari bentuk (*shape*) dan kekompakan (*compactness*) dinyatakan dengan kontribusi optimum sehingga diperoleh segmentasi obyek yang representatif.

Algoritma klasifikasi *random forest* menggunakan training area yang berasal dari pengamatan lapangan dan interpretasi citra satelit SPOT 6 resolusi tinggi, yaitu 1.5 meter yang telah difusi dengan band pankromatik. Sampel pengamatan lapangan diatur hanya boleh diwakili oleh satu obyek segmentasi. Setiap obyek segmentasi memiliki fitur atribut obyek yang merupakan nilai statistik piksel obyek dan terdiri dari: nilai rata-rata (*mean*), standar deviasi, median dan perbandingan rata-rata terhadap nilai tetangganya. Parameter *random forest* yang digunakan adalah jumlah minimum sampel setiap *node* adalah 7 dan jumlah pohon yang digunakan sebanyak 500.

Penerapan teknik klasifikasi hibrida pada aplikasi *eCognition Developer* dengan membangun pohon proses (*process tree*). Sebuah pohon proses dapat terdiri lebih dari satu *parent* dan setiap *parent* dapat memiliki beberapa *child*. Algoritma yang dimiliki oleh *parent* dapat mengeksekusi algoritma *child* yang dimilikinya, sehingga proses klasifikasi dapat diruntut secara sistematis dan memudahkan dalam proses *trial* dan *error* untuk mencari kombinasi parameter terbaik.

Secara umum klasifikasi hibrida pada *eCognition* terdiri tiga tahapan, yaitu: (i) segmentasi penerapatan algoritma segmentasi, menghasilkan obyek berdasarkan kemiripan yang dibangun oleh beberapa parameter segmentasi (ii) penentuan obyek sampel berdasarkan titik pengamatan lapangan dan (iii) penerapan algoritma *random forest* yang mengeksekusi sampel terhadap obyek dan penerapan sampel terhadap seluruh obyek segmentasi (Gambar 2).

Hasil klasifikasi disimpan dalam format *shapefile* dan siap digunakan oleh aplikasi system informasi geografis (SIG). Editing data vektor (*shapefile*) dapat dilakukan dengan mudah, mengingat setiap obyek telah diubah menjadi vektor penutup lahan. Khusus data tahun 2013 dilakukan perubahan atribut karena sebagian citra satelit Landsat 8 LDCM tertutupi oleh awan dan bayangan awan.

2.5. Uji Akurasi

Data lapangan dan peta penutup lahan digunakan untuk menghasilkan sebuah matrik kesalahan untuk mengukur akurasi peta tematik yang dihasilkan (Congalton, 1991). Matrik tersebut mampu mengestimasi akurasi *user* (kemungkinan obyek hasil klasifikasi sama dengan pengamatan lapangan) dan akurasi *produser* (kemungkinan setiap piksel kelas penutup lahan telah benar diklasifikasikan). Selain itu, dilakukan uji akurasi keseluruhan (proporsi piksel yang

benar dikelaskan) begitu juga dengan statistik Kappa (Congalton dan Green, 2009). Uji akurasi dilakukan tidak berdasarkan obyek atau uji akurasi yang berkaitan terhadap akurasi geometri obyek (seperti lokasi dan bentuk) (Whiteside *et al.*, 2011).

2.6. Deteksi Perubahan Mangrove

Deteksi perubahan mangrove diketahui melalui operasi spasial menggunakan aplikasi sistem informasi geografis (ArcGIS Desktop versi 10.1). Data penutup lahan dalam format *shapefile* diubah menjadi ESRI *raster grid* berdasarkan nilai kelas penutup lahan dan setiap kelas penutup lahan memiliki kolom *value*, dan merupakan nilai interger unik, dimulai dari 1 hingga *i*, dan *i* adalah jumlah kelas penutup lahan. Dalam penelitian ini nilainya adalah: 1 (badan air), 2 (bukan mangrove), 3 (kebun), 4 (lahan terbuka), dan 5 (mangrove). Selanjutnya setiap *value* kelas penutup lahan dikalikan dengan faktor perbandingan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V' = V_i * 10^x \dots\dots\dots(1)$$

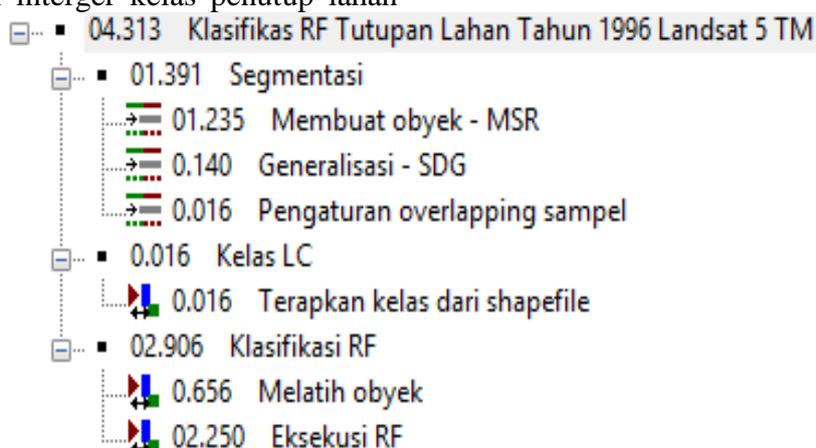
kelas ke-*i*, *10* adalah faktor pengali dan *x* seri data landsat yang merupakan bilangan bulat positif dimulai dari 0. Selanjutnya nilai *V'* seri penutup lahan dijumlah untuk memprediksi perubahan penutup lahan mangrove, melalui persamaan:

$$V'_{tot} = V'_{1996} + V'_{2002} + V'_{2010} + V'_{2013} \dots\dots\dots(2)$$

dimana *V'_{tot}* adalah nilai penjumlahan *V'* baru kelas penutup lahan tahun seri data Landsat. Nilai *V'_{tot}* terdiri dari empat digit, berkisar antara 1111 – 5555. Empat digit angka yang sama mengindikasikan tidak terjadinya perubahan penutup lahan, sebaliknya jika salah satu angka dari empat digit tersebut berbeda maka mengindikasikan telah terjadi perubahan penutup lahan di lokasi penelitian. Sebuah indek perubahan perubahan relatif (Frederiksen *et al.*, 2004) juga ikut dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$IPR = \frac{(pengurangan + penambahan)}{(pengurangan + penambahan + tetap)} \dots\dots\dots(3)$$

dimana *V'* adalah nilai *value* yang baru, *V_i* adalah nilai interger kelas penutup lahan



Gambar 2. Aturan (*rules set*) yang dikembangkan dengan menggunakan algoritma spesifik untuk menghasilkan kelas penutup lahan dengan teknik klasifikasi hibrida.

dimana *IPR* adalah indeks perubahan relatif, *pengurangan* adalah luas mangrove yang berkurang, *penambahan* adalah luas mangrove yang bertambah, *tetap* adalah luas mangrove yang tidak berubah. Nilai *IPR* berkisar antara 0 dan 1. Nilai 0 mengindikasikan terhadap tidak terjadi perubahan dan 1 mengindikasikan terjadi perubahan menyeluruh terhadap habitat mangrove yang dikaji.

Terdapat tiga sumber kesalahan dalam deteksi perubahan (Giri *et al.*, 2007; Ferreira *et al.*, 2009) yaitu: (i) perbedaan dalam pendefinisian kelas antar data, (ii) kesalahan posisi dan (iii) kesalahan klasifikasi. Untuk meminimalisir kesalahan tersebut, digunakan skema klasifikasi yang baku untuk keempat data, dalam penelitian ini digunakan 5 kelas penutup lahan, kesalahan posisi diminimalisir oleh data Landsat level 1T yang telah terkoreksi secara ortofoto dan kesalahan klasifikasi ditangani melalui pengamatan data terkini.

Data hasil klasifikasi tersebut masih memiliki kesalahan terutama karena terdapat banyaknya anak-anak sungai di Sungai Kambung. Editing secara manual dilakukan menggunakan data sekunder untuk menghilangkan kesalahan tersebut, dan selanjutnya analisis dilakukan untuk mengetahui penambahan dan pengurangan mangrove. Matrik perubahan diterapkan diantara hasil klasifikasi 1996–2002, 2002–2010 dan 2010–2013.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Komunitas mangrove di Sungai Kambung dibangun oleh 69 spesies tumbuhan mangrove yang terdiri dari 22 spesies mangrove sejati dan 46 spesies mangrove ikutan (Tabel 2). Dari tujuh lifeform pengelompokan mangrove menurut Giesen *et al.*, (2006), penelitian ini hanya mengamati 5 kelompok yaitu: i) pakis/*ferns* (14 jenis), epifit/*epiphytes* (4 spesies), iii) pemanjat/*climbers* (7 spesi-

es), iii) herba tanah/*other ground herbs* sebanyak (2 spesies), iv) palma dan tumbuhan seperti palma/*palm and palm-like plants* (6 spesies), v) pohon dan semak/*trees and shrubs* (36 spesies). Mangrove sejati Sungai Kambung yang dijumpai berasal dari 11 famili yaitu: *Avicenniaceae* (2 spesies), *Combretaceae* (2 spesies), *Euphorbiaceae* (1 spesies), *Lythraceae* (3 spesies), *Meliaceae* (2 spesies), *Myristicaceae* (1 spesies), *Arecaceae* (1 spesies), *Pteridaceae* (2 spesies), *Rhizophoraceae* (6 spesies), *Rubiceae* (1 spesies), dan *Sterculiaceae* (1 spesies). Beberapa famili tersebut merupakan komponen utama penyusun mangrove yaitu *Combretaceae*, *Arecaceae*, *Rhizophoraceae*, dan *Lythraceae* sedangkan family lainnya merupakan komponen minor (Tomlinson, 1986).

Ketinggian lokasi penelitian dari permukaan laut berkisar antara 2 – 5 meter dan seperti daerah iklim tropis lainnya pada lokasi penelitian memiliki dua musim yaitu musim penghujan dan kemarau. Berdasarkan data Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), jumlah frekuensi hujan 3-20 hari, dengan curah hujan per bulan 5,4-378,9 mm dan suhu berkisar antara 21-34°C.

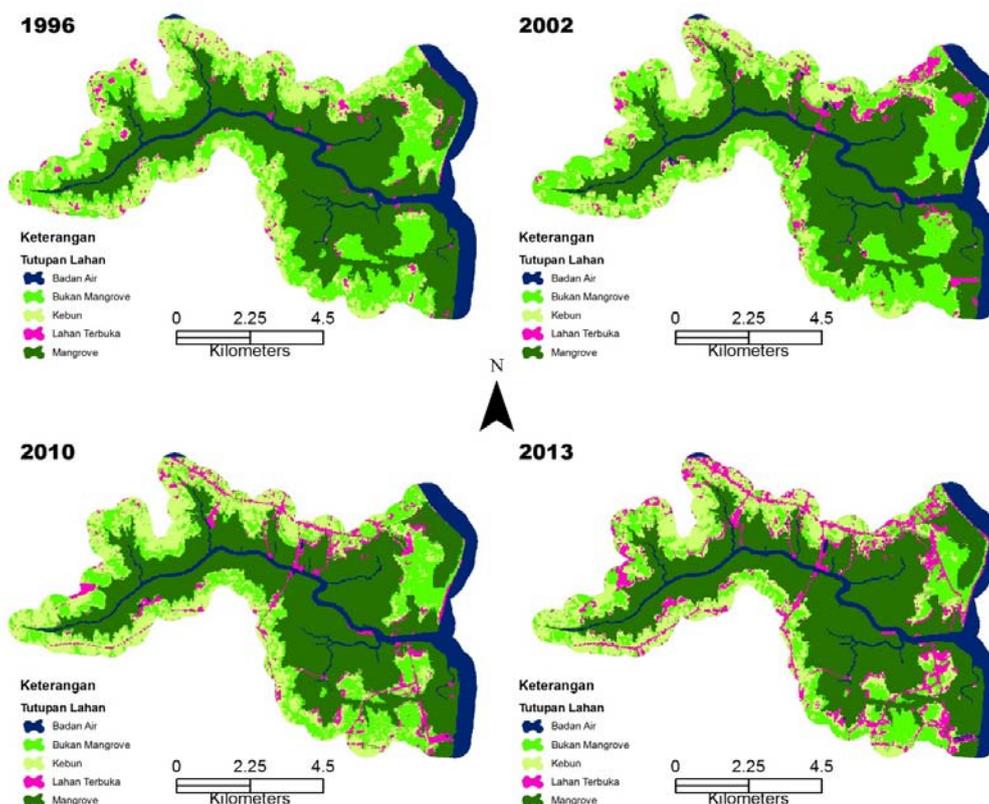
3.1. Klasifikasi Tutupan Lahan

Kelas penutup lahan mangrove yang terdiri dari lima kelas penutup lahan yaitu badan air, bukan mangrove, kebun, lahan terbuka dan mangrove, telah berhasil dipetakan dengan baik. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa mangrove tersebar di sepanjang Sungai Kambung dan anak-anak sungai yang bermuara padanya. Mangrove juga dapat dijumpai di sepanjang garis pantai di sekitar muara Sungai Kambung. Peningkatan sebaran kelas lahan terbuka terpetakan dengan jelas dan terlihat bahwa telah terjadi perubahan

penutupan lahan mangrove di Sungai Kambung. Pada tahun 1996 kelas lahan terbuka hanya terkonsentrasi pada beberapa lokasi di kawasan Sungai Kambung, seiring dengan meningkatnya interaksi manusia terhadap mangrove sebaran kelas lahan terbuka semakin tegas dan merambah mangrove (Gambar 3). Kelas lainnya juga memberikan kontribusi perubahan penutup lahan mangrove di Sungai Kambung.

Empat matrik kontingensi dibuat untuk menghitung akurasi keseluruhan, pengguna, produser dan statistik kappa. Diasumsikan bahwa data lapangan yang digunakan untuk penelitian ini secara akurat merepresentasikan realitas di lapangan. Namun demikian data lapangan masih memungkinkan untuk memiliki kesalahan, seperti adanya ketidakterkaitan antara data lapangan dengan citra

satelit yang diklasifikasi. Dari uji akurasi menunjukkan hasil yang cukup memuaskan. Nilai akurasi keseluruhan (OA) untuk seluruh hasil klasifikasi berkisar 82-87,7 % dan nilai statistik Kappa berkisar antara 0,76-0,84 (Tabel 3). Hasil akurasi pemetaan yang sama juga dihasilkan oleh Conchedda *et al.* (2008) dalam memetakan mangrove dengan menggunakan teknik klasifikasi berbasis obyek, menggunakan data citra SPOT XS dengan 6 kelas penutup lahan, sebesar 85,7%. Son *et al.* (2014) memetakan mangrove menggunakan data seri Landsat dengan teknik klasifikasi berbasis obyek, sebanyak lima kelas penutup lahan, dengan rentang akurasi yang diperoleh 82,3-84,2%. Dari hasil tersebut dapat dinyatakan bahwa pemetaan mangrove menggunakan teknik klasifikasi hibrida merupakan salah satu teknik alternatif yang menjanjikan.



Gambar 3. Peta hasil klasifikasi penutup lahan di lokasi penelitian (1996-2013) menggunakan teknik klasifikasi hibrida.

Tabel 3. Hasil uji akurasi 4 seri citra Landsat. UA dan PA menyatakan akurasi untuk kelas mangrove. UA = akurasi user, PA = akurasi produser, OA= akurasi keseluruhan.

| Tahun | UA | PA | OA | Kappa |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1996 | 93,4% | 90,5% | 84,0% | 0,78 |
| 2002 | 96,7% | 93,7% | 82,6% | 0,76 |
| 2010 | 91,8% | 91,8% | 87,7% | 0,83 |
| 2013 | 95,9% | 93,6% | 88,4% | 0,84 |

Kelas mangrove dapat dipetakan dengan baik, hal tersebut dibuktikan dengan tingginya akurasi user dan produser yang dihasilkan oleh masing-masing data, yaitu lebih besar dari 90% (Tabel 3). Tinggi nilai akurasi tersebut mengindikasikan bahwa teknik klasifikasi berbasis obyek dan penggunaan algoritma random forest dapat dijadikan teknik alternatif dalam memetakan mangrove dan penutup lahan yang ada disekitarnya. Meskipun demikian masih dijumpai kesalahan dalam pemisahan (*misclassification*) kelas mangrove terhadap kelas-kelas lainnya.

Kesalahan omisi dan komisi tersebut diperkirakan kurang dari 10%. Beberapa hal yang memungkinkan untuk menjelaskan hal tersebut adalah penutup lahan yang berada disekitar mangrove menempati kawasan morfologi yang sama yaitu daerah pasang surut (*tidal flat*) dibelakang mangrove. Oleh karena itu sulit untuk menghindari kemiripan spek-

tral saat pemilihan sampel obyek untuk membangun aturan kelas yang spesifik (Conchedda *et al.*, 2008). Perbedaan waktu perekaman juga berkontribusi dalam kesalahan klasifikasi, yang berpengaruh terhadap fluktuasi tinggi muka air (Tabel 4) yang disebabkan oleh pasang surut untuk keempat data.

3.2. Analisis Perubahan Mangrove

Sejak tahun 1996 hingga 2013, luas mangrove di Sungai Kembung bertambah sebesar 1,7%. Laju perubahan antar data tidak sama dari 1996 ke 2002, dari 2002 ke 2010 dan 2010 ke 2013. Dari tahun 1996 ke tahun 2002 terjadi penambahan luas mangrove sebesar 0,5%, dari tahun 2002 ke 2010 terjadi penurunan luas 1,4% dan dari tahun 2010 ke 2013 terjadi peningkatan sebesar 2,6%. Luas penutup lahan mangrove masing-masing data disajikan pada Tabel 5.

Tabel 4. Prediksi tinggi muka air berdasarkan waktu perekaman citra satelit yang diperoleh dari stasiun terdekat, yaitu Kuala Siak. (Sumber: BlueChart Pacific v14 Tides untuk wilayah Singapura, Malaysia dan Indonesia).

| No | Citra Satelit | Waktu perekaman | | Prediksi pasang (m) |
|----|----------------|-----------------|----------|---------------------|
| | | Tanggal | Jam | |
| 1 | Landsat 5 TM | 6/19/1996 | 09:35:50 | 1,57 |
| 2 | Landsat 7 ETM+ | 7/3/2002 | 10:11:03 | 1,94 |
| 3 | Landsat 5 TM | 2/2/2010 | 10:13:41 | 0,58 |
| 4 | Landsat 8 LDCM | 5/17/2013 | 10:24:48 | 2,09 |

Tabel 5. Estimasi luas penutup lahan (dalam hektar).

| Tahun | Badan Air | Bukan Mangrove | Kebun | Lahan Terbuka | Mangrove |
|-------|-----------|----------------|--------|---------------|----------|
| 1996 | 714,3 | 1572,5 | 1566,0 | 191,3 | 3102,1 |
| 2002 | 717,0 | 1726,0 | 1251,1 | 335,5 | 3116,6 |
| 2010 | 719,7 | 1312,3 | 1586,1 | 453,7 | 3074,5 |
| 2013 | 732,0 | 1034,1 | 1467,7 | 756,4 | 3156,0 |

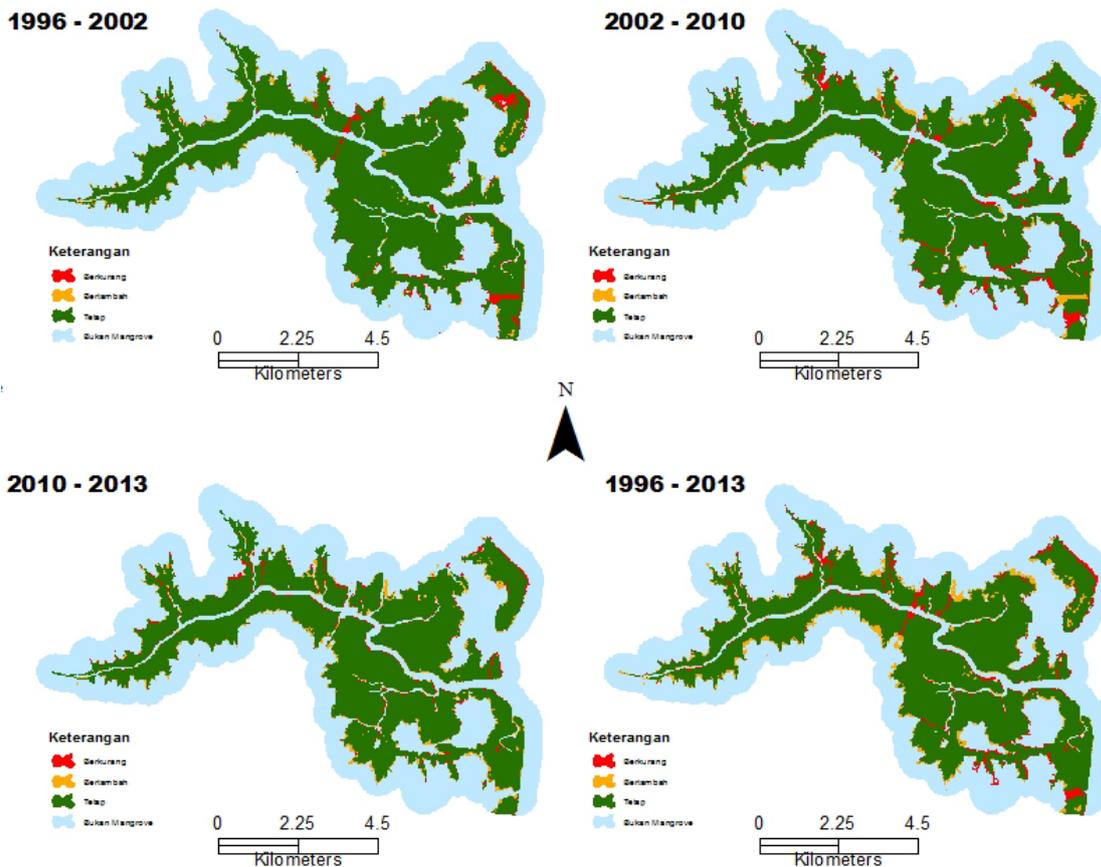
Luas mangrove di Sungai Kembung yang berubah tidak begitu tinggi, seperti yang disajikan oleh matrik perubahan (Tabel 6), penambahan luas tutupan mangrove lebih tinggi dibandingkan dengan pengurangan tutupan mangrove. Misalnya, lebih dari 6% kelas mangrove tahun 2002 berubah menjadi kelas bukan mangrove, yaitu kebun masyarakat dan lahan terbuka pada tahun 2010. Periode yang sama, matrik perubahan menunjukkan 3,8% badan air, 1,7% bukan mangrove, 2,8% dan 18,9% lahan terbuka berubah menjadi mangrove. Pola yang hampir sama juga dijumpai pada dua periode lainnya. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa, 93,7-96,6% mangrove,

28,5-69,8% lahan terbuka, 60,7-69,1% kebun masyarakat, 54,6-75,3% bukan mangrove dan 94,7-96,7% badan air tidak mengalami perubahan.

Faktor utama yang menyebabkan perubahan mangrove di lokasi penelitian disebabkan oleh faktor alam dan antropogenik. Persentase penambahan mangrove terbesar dijumpai pada kelas lahan terbuka (Gambar 4). Periode 1996-2002 terjadi penambahan sebesar 14,3%. Terlihat bahwa, mangrove yang telah ditebang pada tahun 1996 (menjadi kelas lahan terbuka) kembali tumbuh menjadi kelas mangrove tanpa mendapatkan perlakuan khusus dari manusia. Kemudian laju penambahan mangrove meningkat menja-

Tabel 6. Persentase perubahan penutup lahan dari tahun 1996 hingga 2002, dari 2002 hingga 2010 dan dari 2010 hingga 2013.

| | Badan air | Bukan mangrove | Kebun | Lahan terbuka | Mangrove |
|----------------|-----------|----------------|-------|---------------|----------|
| 1996 – 2002 | | | | | |
| Badan air | 96,66 | 0,04 | 0,05 | 0,60 | 2,65 |
| Bukan mangrove | 0,17 | 75,26 | 14,80 | 5,24 | 4,54 |
| Kebun | 0,30 | 29,03 | 60,74 | 8,56 | 1,37 |
| Lahan terbuka | 2,45 | 29,16 | 25,59 | 28,50 | 14,30 |
| Mangrove | 0,47 | 1,03 | 0,58 | 1,94 | 95,98 |
| 2002 – 2010 | | | | | |
| Badan Air | 94,67 | 0,05 | 0,03 | 1,48 | 3,78 |
| Bukan mangrove | 0,03 | 54,64 | 36,73 | 6,88 | 1,72 |
| Kebun | 0,07 | 17,16 | 69,11 | 10,84 | 2,82 |
| Lahan terbuka | 2,07 | 22,37 | 22,16 | 34,55 | 18,86 |
| Mangrove | 1,05 | 2,54 | 0,42 | 2,33 | 93,67 |
| 2010 – 2013 | | | | | |
| Badan air | 95,07 | - | 0,01 | 1,09 | 3,83 |
| Bukan mangrove | 0,03 | 57,31 | 21,62 | 13,24 | 7,80 |
| Kebun | 0,04 | 16,05 | 68,77 | 14,13 | 1,00 |
| Lahan terbuka | 2,76 | 2,74 | 15,55 | 69,83 | 9,13 |
| Mangrove | 1,11 | 0,49 | 0,73 | 1,10 | 96,56 |



Gambar 4. Peta perubahan mangrove (1996-2013), warna merah mengindikasikan pengurangan mangrove, orange mengindikasikan penambahan mangrove, warna hijau mengindikasikan mangrove yang tidak berubah dan cyan merupakan obyek bukan mangrove.

di 18,9% pada pengamatan data tahun 2002–2010. Dalam rentang waktu tersebut, pemerintah melalui program nasional, MCRMP (*Marine Coastal Resources Management Program*) yang juga diimplementasikan di Kabupaten Bengkalis, dan Sungai Kembung merupakan salah satu lokasi program tersebut, memfasilitasi kelompok masyarakat setempat untuk melakukan kegiatan pengelolaan mangrove termasuk di dalamnya penanaman mangrove. Rentang tahun 2010-2013, laju penambahan mangrove lebih kecil yaitu 9,1%. Pada rentang tersebut program MCRMP telah berakhir kelompok masyarakat pengelola mangrove telah berkurang dan beberapa kawasan kelola telah ada yang dipanen, penambahan

mangrove diperkirakan berasal dari pertumbuhan alami mangrove.

Pengurangan luas mangrove terjadi disebabkan karena pengaruh antropogenik yaitu merubah mangrove menjadi lahan terbuka dengan fungsinya sebagai jalan, tanggul, permukiman dan tambak udang (Gambar 4). Tahun 1996, kelas lahan terbuka di daerah Mangrove hanya difungsikan sebagai permukiman sekaligus usaha dapur arang bakau dan tidak ditemukan fungsi lainnya. Rentang tahun 1996 – 2002, terjadi alih fungsi mangrove menjadi jalan dan tambak udang dengan laju pengurangan mangrove sebesar 1,9%. Rentang tahun 2002–2010 merupakan puncak eksploitasi mangrove di Sungai Kembung dengan laju

pengurangan sebesar 2,3%. Kenaikan ini dipicu oleh penebangan vegetasi mangrove khususnya jenis *Rhizophora* spp, *Bruguiera* spp dan *Xylocarpus* sp untuk kebutuhan dapur arang dan alih fungsi mangrove bertambah dengan dibangunnya tanggul-tanggul pembatas oleh pemerintah daerah Kabupaten Bengkalis, dengan tujuan untuk mengantisipasi naiknya muka air pada saat pasang tertinggi dan bertambahnya area tambak di kawasan mangrove pantai. Mulai tahun 2008 pemerintah daerah Kabupaten Bengkalis, melalui Dinas Kehutanan mengeluarkan aturan untuk menghentikan sementara produksi dapur arang di wilayah Kabupaten Bengkalis. Hal tersebut berhasil menekan degradasi mangrove di Sungai Kambung, laju pengurangan turun mencapai angka 1,1% dari data 2010-2013.

Berdasarkan hasil kajian ini, mangrove di Sungai Kambung berada pada status relatif stabil dengan perkiraan laju penambahan tutupan mangrove hampir 1,7% antara tahun 1996 dan 2013. Bagaimana pun hal ini tidak menggambarkan kondisi yang sesungguhnya di lapangan. Banyak ditemukan tekanan-tekanan pada tingkatan tertentu seperti penebangan untuk konstruksi bangunan dan arang bakau serta pembersihan lahan untuk jalan dan atau tanggul. Hasil perekaman citra satelit Landsat 5 TM tahun 1996 mengindikasikan mangrove di Sungai Kambung telah mengalami tekanan, terlihat beberapa kawasan telah berubah menjadi lahan terbuka, dan tekanan tersebut kian meningkat meskipun peningkatannya tidak begitu besar, yaitu 60,3 hektar pada tahun 2002, 84,2 hektar pada tahun 2010 dan 86,9 hektar pada tahun 2013. Diperkirakan tekanan tersebut telah berlangsung lebih lama, mengingat praktek-praktek pemanfaatan langsung mangrove berupa kayu telah berlangsung lama dan turunturun, khususnya pembuatan arang bakau oleh dapur-dapur arang (panglong arang) yang umum dijumpai di sekitar

kawasan mangrove Pulau Bengkalis, termasuk Sungai Kambung. Hal tersebut diperkuat oleh Kusmana (2012), bahwa sejak tahun 1952, Bengkalis telah dijadikan model pengelolaan mangrove di Indonesia yang dikenal dengan istilah *working plan*.

Penebangan pohon mangrove untuk berbagai kepentingan seperti kayu bakar, material bangunan dan jalan, bahan baku arang, sering dijumpai pada saat pengecekan lapangan. Penebangan mangrove tidak hanya berakibat terhadap hilangnya tutupan mangrove tapi yang lebih penting lagi adalah berubahnya struktur komunitas mangrove (Ferreira *et al.*, 2009). Beberapa kajian menyatakan bahwa gangguan secara antropogenik maupun alami dapat mempengaruhi terhadap kerapatan tegakan, basal area dan kompleksitas jika dibandingkan dengan mangrove yang tidak mengalami gangguan (Bandeira *et al.*, 2009; Urrego *et al.*, 2014). Selain itu dapat juga terjadi okupasi kawasan tertanggung oleh jenis vegetasi lainnya (Radhika, 2006).

Selain perhitungan matrik perubahan, estimasi perubahan mangrove menunjukkan bahwa selama 17 tahun terakhir, dapat diketahui bahwa rata-rata pengurangan mangrove sebesar 156,22 hektar dan penambahan sebesar 183,17 hektar. Disamping itu dapat juga dihitung IPR yang mengindikasikan laju perubahan mangrove di Sungai Kambung (Tabel 6) Nilai 0 dan 1 menyatakan kondisi ekstrim, tidak terjadi dan terjadi perubahan mangrove. Sementara nilai diantaranya mengindikasikan perubahan yang fluktuatif. Nilai IPR berkisar antara 0.08 – 0.11 dan nilai tersebut menyatakan bahwa telah terjadi perubahan mangrove.

Perubahan terendah terjadi dalam rentang waktu 1996-2002, perubahan tertinggi terjadi pada rentang waktu 2002-2010. Jika rentang waktu pengamatan dilebarkan dari tahun 1996-2013, nilai IPR meningkat menjadi 0,13. Nilai terse-

Tabel 5 . Estimasi luas mangrove di lokasi penelitian (luas dalam hektar) dan IPR (indek perubahan relatif).

| Tahun | Luas Mangrove | | | IPR |
|-------------|---------------|------------|---------|------|
| | Pengurangan | Penambahan | Tetap | |
| 1996 - 2002 | 124,65 | 139,14 | 2977,47 | 0,08 |
| 2002 - 2010 | 197,37 | 155,25 | 2919,24 | 0,11 |
| 2010 - 2013 | 105,66 | 187,2 | 2968,83 | 0,09 |
| 1996 - 2013 | 197,19 | 251,1 | 2904,93 | 0,13 |

but mengindikasikan perubahan mangrove dalam rentang tersebut lebih besar lagi dibanding perubahan data lainnya.

Perhatian serius dari seluruh pemangku kepentingan sangat mendesak dibutuhkan, guna keberlanjutan dan eksistensi mangrove di Sungai Kembung. Banyak penelitian telah memberikan alarm peringatan untuk menjaga eksistensi mangrove dari degradasi dan deforestasi (FAO, 2007; Polidoro *et al.*, 2010; Giri *et al.*, 2011). Peranan pemerintah khususnya pemerintah daerah Kabupaten Bengkalis untuk segera memajukan peranannya sebagai fasilitator dan katalisator pembangunan yang proaktif dan produktif dalam pengelolaan mangrove serta mendukung dan memberikan ruang kepada masyarakat tempatan dalam partisipasi pengelolaan yang berbasis masyarakat (Datta *et al.*, 2012).

IV. KESIMPULAN

Klasifikasi hibrida berbasis obyek pada citra satelit beresolusi menengah (citra Landsat) dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan tutupan lahan mangrove dengan tingkat akurasi yang tinggi di Sungai Kembung. Deteksi perubahan tutupan mangrove di lokasi penelitian relatif stabil karena terjadi penambahan dan pengurangan luasan tutupan. Secara umum, perubahan tutupan mangrove terjadi di kawasan perbatasan mangrove (*mangrove edge*). Penambahan luas tutupan mangrove disebabkan oleh penanaman mangrove oleh masyara-

kat lokal (kelompok pengelola mangrove) dan pertumbuhan alami, sedangkan pengurangan luas tutupan mangrove disebabkan oleh alih fungsi mangrove menjadi penutup lahan lainnya seperti lahan terbuka akibat penebangan, permukiman, jalan, tanggul, dan tambak udang. Selama hampir dua dekade, luas mangrove di Sungai Kembung berkurang sebesar 197,2 hektar, bertambah seluas 251,1 hektar, dan tidak mengalami perubahan seluas 2904,9 hektar. Diperlukan dukungan serius seluruh pemangku kepentingan dalam pengelolaan mangrove di Sungai Kembung untuk mempertahankan eksistensi dan keberlangsungannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kelompok pengelola mangrove, BELUKAP, atas partisipasi dan fasilitasi yang diberikan, selama pengumpulan data lapangan. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada para reviewer yang telah banyak memberikan komentar dan masukan untuk perbaikan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Alatorre, L.C., R. Sánchez-Andrés, S. Cirujano, S. Beguería, and S. Sánchez-Carrillo. 2011. Identification of mangrove areas by remote sensing: The roc curve technique applied to the northwestern Mexico coastal zone using landsat

- imagery. *Remote Sens.*, 3(8):1568-1583.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. Klasifikasi penutup lahan. Jakarta. 35hlm.
- Bandeira, S.O., C.C.F. Macamo, J.G. Kairo, F. Amade, N. Jiddawi, and J. Paula. 2009. Evaluation of mangrove structure and condition in two trans-boundary areas in the western Indian ocean. *Aquatic Conservation: Marine Freshw. Ecosyst.*, 19 (SPEC.ISS.):S46-S55.
- Blaschke, T. 2010. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS J. Photogramm.*, 65(1):2-16.
- Breiman, L. 2001. Random forests. *Mach Learn.*, 45(1):5-32.
- Carney, J., T.W. Gillespie, and R. Rosomoff. 2014. Assessing forest change in a priority west African mangrove ecosystem: 1986–2010. *Geoforum*, 53(0):126-135.
- Conchedda, G., D. Laurent, and M. Philippe. 2008. An object-based method for mapping and change analysis in mangrove ecosystem. *ISPRS J. Photogramm.*, 63:578-589.
- Congalton, R.G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sens. Environ.*, 49:1671-1678.
- Congalton, R.G. and K. Green. 2009. Assessing the accuracy of remotely sensed data. Principle and practices. CRC Press. Boca Raton. 183p.
- Coppin, P., I. Jonckheere, K. Nackaerts, B. Muys, and E. Lambin. 2004. Review article. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *Int. J Remote Sens.*, 25(9):1565-1596.
- Datta, D., R.N. Chattopadhyay, and P. Guha. 2012. Community based mangrove management. A review on status and sustainability. *J. Environ. Manage.*, 107:84-95.
- Food & Agriculture Organization (FAO). 2007. The world's mangrove 1980 - 2005. Rome: FAO. 77p.
- Ferreira, M.A., F. Andrade, S.O. Bandeira, P. Cardoso, R.N. Mendes, and J. Paula. 2009. Analysis of cover change (1995–2005) of Tanzania/Mozambique trans-boundary mangroves using landsat imagery. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosys.*, 19(S1):S38-S45.
- Frederiksen, M., D. Krause-Jensen, M. Holmer, and J.S. Laursen. 2004. Spatial and temporal variation in eelgrass (*Zostera marina*) landscapes. Influence of physical setting. *Aquat. Bot.*, 78(2):147-165.
- Giesen, W., S. Wulffraat, M. Zieren, and L. Scholten. 2006. Mangrove guidebook for southeast Asia. Bangkok: FAO dan Wetlands International. 781p.
- Giri, C.P., E. Ochieng, L.L. Tieszen, Z. Zhu, A. Singh, T. Loveland, J. Masek, and N. Duke. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecol. Biogeogr.*, 20(1):154-159.
- Giri, C.P., B. Pengra, Z. Zhu, A. Singh, and L.L. Tieszen. 2007. Monitoring mangrove forest dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000. *Estuar Coast Shelf S.*, 73(1-2):91-100.
- He, C., A. Wei, P. Shi, Q. Zhang, and Y. Zhao. 2011. Detecting land-use/land-cover change in rural-urban fringe areas using extended change-vector analysis. *Int. J. App. Earth Obs.*, 13(4):572-585
- Helmi, M., A. Karyono, dan R. Pribadi. 2013. Analisis perubahan luas mangrove berdasarkan citra satelit IKONOS tahun 2004 dan 2010 di

- kecamatan Mlonggo, tahunan dan kedung kabupaten jepara jawa tengah. *J. Mar. Res.*, 2(3):129-137.
- Heumann, B.W. 2011. Satellite remote sensing of mangrove forests: Recent advances and future opportunities. *Prog. Phys. Geog.*, 35(1):87-108
- Kasawani, I., U. Norsaliza, and I.M. Hasmadi. 2010. Analysis of spectral vegetation indices related to soil-line for mapping mangrove forest using satellite imagery. *J. Appl. Remote Sens.*, 1(1):25-31.
- Kirui, K.B., J.G. Kairo, J. Bosire, K.M. Viergever, S. Rudra, M. Huxham, and R.A. Briers. 2013. Mapping of mangrove forest land cover change along the Kenya coastline using Landsat imagery. *Ocean Coast. Manage.*, 83:19-24.
- Kuenzer, C., A. Bluemel, S. Gebhardt, T.V. Quoc, and S. Dech. 2011. Remote sensing of mangrove ecosystems. A review. *Remote Sens.*, 3(5):878-928.
- Kusmana, C. 2012. Management of mangrove ecosystem in Indonesia. Workshop on Mangrove Re-plantation and Coastal Ecosystem Rehabilitation. Yogyakarta. Hlm.: 219-227.
- Long, J.B. and C. Giri. 2011. Mapping the Philippines' mangrove forests using Landsat imagery. *Sensors*, 11(3):2972-2981.
- Lyons, M.B., S.R. Phinn, and C.M. Roelfsema. 2012. Long term land cover and seagrass mapping using landsat and object-based image analysis from 1972 to 2010 in the coastal environment of south east Queensland, Australia. *ISPRS J. Photogramm.*, 71(0):34-46.
- Opa, E.T. 2010. Analisis perubahan luas lahan mangrove di kabupaten Pohuwato propinsi Gorontalo dengan menggunakan citra Landsat. *J. Perik. Kel. Tro.*, 6(2): 79-82.
- Polidoro, B.A., K.E. Carpenter, L. Collins, N.C. Duke, A.M. Ellison, J.C. Ellison, E.J. Farnsworth, E.S. Fernando, K. Kathiresan, and N.E. Koedam. 2010. The loss of species: Mangrove extinction risk and geographic areas of global concern. *PLoS ONE*, 5(4):e100095
- Pribadi, R., P. Subardjo, dan F. Fajri. 2012. Studi perubahan luasan vegetasi mangrove menggunakan citra Landsat TM dan Landsat 7 ETM+ tahun 1998 – 2010 di pesisir kabupaten Mimika Papua. *J. Mar. Res.*, 1(1):146-145.
- Radhika, D. 2006. Mangrove ecosystems of southwest Madagascar. An ecological, human impact, and subsistence value assessment. *Trop. Res. Bul.*, 25:7-13.
- Richards, J.A. 2013. Remote sensing digital image analysis. An introduction fifth edition. Heidelberg, Springer. 453p.
- Richter, R. 1996. A spatially adaptive fast atmospheric correction algorithm. *International J. Remote Sens.*, 17(6):1201-1214.
- Rouse, J.W., R. Haas, J. Schell, and D. Deering. 1974. Monitoring vegetation systems in the great plains with erts. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt, NASA. 1008p.
- Roy, D.P., M.A. Wulder, T.R. Loveland, R.G. Allen, M.C. Anderson, D. Helder, J.R. Irons, D.M. Johnson, and R. Kennedy. 2014. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sens, Environ.*, 145(0): 154-172.
- Son, N., C. Chen, N. Chang, C. Chen, L. Chang, and B. Thanh. 2014. Mangrove mapping and change detection in Ca Mau Peninsula,

- Vietnam, using Landsat data and object-based image analysis. *IEEE J. Sel. Topics. Appl. Earth Observ.*, 99:1-8.
- Taşdemir, K., P. Milenov, and B. Tapsall. 2012. A hybrid method combining SOM-based clustering and object-based analysis for identifying land in good agricultural condition. *Comput. Electron. Agric.*, 83:92-101.
- Tomlinson, P.B. 1986. The botany of mangrove. Cambridge University Press. New York. 405p.
- Urrego, L.E., E.C. Molina, and J.A. Suárez. 2014. Environmental and anthropogenic influences on the distribution, structure, and floristic composition of mangrove forests of the gulf of urabá (Colombian Caribbean). *Aquat. Bot.*, 114:42-49.
- Whiteside, T.G., G.S. Boggs, and S.W. Maier. 2011. Comparing object-based and pixel-based classifications for mapping savannas. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 13(6): 884-893.
- Xu, H. 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int. J. Remote Sens.*, 27(14): 3025-3033.
- Yetty, H., S. Fachrurrozie, A. Dwi, dan R. Rasjid. 2012. Analisis perubahan kawasan mangrove berdasarkan interpretasi data spasial di Tanjung Sembilang, pantai timur Sumatera, Banyuasin, Sumatera Selatan. *J. Eksakta*, 11(2):53-62.
- Zha, Y., J. Gao, and S. Ni. 2003. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *Int. J. Remote Sens.*, 24(3):583-594.
- Zhang, X., P. Xiao, and X. Feng. 2013. Impervious surface extraction from high-resolution satellite image using pixel and object-based hybrid analysis. *Int. J. Remote Sens.*, 34(12):4449-4465.
- Diterima* : 1 Desember 2014
Direview : 15 Desember 2014
Disetujui : 30 Desember 2014