

# Estimasi biomassa dan kepadatan vegetasi mangrove menggunakan Landsat ETM+: Kasus Hutan Lindung Muara Gembong, Bekasi, Jawa Barat

## Biomass and density estimation of mangrove vegetation using Landsat ETM+: A case study on Muara Gembong protection forest, Bekasi, West Java

OKTAMA FORESTIAN, LILIK BUDI PRASETYO\*, CECEP KUSMANA

Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan Dan Ekowisata, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Darmaga, Bogor 16680, Jawa Barat

Manuskrip diterima: 7 Februari 2011. Revisi disetujui: 26 Agustus 2011.

**Abstract.** *Forestian O, Prasetyo LB, Kusmana C. 2011. Biomass and density estimation of mangrove vegetation using Landsat ETM+: A case study on Muara Gembong protection forest, Bekasi, West Java. Bonorowo Wetlands 1: 80-95.* The study focused on Muara Gembong Mangrove Forest, Bekasi District of West Java Province. The purposes of this study were to determine the extent, potential biomass, and density of mangrove vegetation using Landsat ETM+ data in 2001 and 2010. The data is processed by several stages include: strip-filling, importing, stacking layer, subsetting, geographic correction, radiometric correction, image classification, estimation of mangrove biosystem character, and accuracy assessment. Land cover types found in the Landsat scene of the region consist of nine class image classification categories, i.e. sea 1, sea 2, mangroves, open/built area, rice field 1, mixed farms, rice field 2, ponds, and rivers. Landsat images were classified by supervised classification techniques with the maximum likelihood method. Each class of land cover types created 10 training areas. Value of the inter-class separability (transformed divergence separability) image 2001 and 2010 more than 1,900 while the overall accuracy and Kappa accuracy respectively of 99.8% and 99.63% for an image in 2001; 99.61 % and 99.39% for the image in 2010. Based on the accuracy assessment, which is a classified image of 2010 has the highest overall classification accuracy of 83.33%, while the kappa statistic overalls worth 77.29 wide were in Karang Gading (78.99%), Tanjung Rejo (63.76%), while the lowest one was in Paluh Sibaji (20.58%) and Rugemuk (26.43%). The highest salinity was found at sub-districts of Labuhan Deli and Hampan Perak, while middle salinity at sub-district of Percut Sei Tuan, while of sub-district of Pantai Labu the salinity was from low level to middle. Based on the analysis of the vegetation closeness and canopy width, the condition of the coastal region of Deli Serdang regency mangroves was destroyed.

**Keywords:** Biomass, extent area, mangrove, NDVI

### PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove sebagai salah satu ekosistem penting di kawasan pesisir pantai terus mengalami tekanan di seluruh dunia. FAO (2003) mencatat bahwa luas mangrove dunia pada tahun 1980 mencapai 19,8 juta ha, turun menjadi 16,4 juta ha pada tahun 1990, dan menjadi 14,6 juta ha pada tahun 2000. Sedangkan di Indonesia, luas mangrove mencapai 4,25 juta hektar pada tahun 1980, turun menjadi 3,53 juta hektar pada tahun 199,0 dan tersisa 2,93 juta hektar pada tahun 2000. Apabila tidak diimbangi dengan kebijakan pengelolaan yang tepat, fenomena degradasi mangrove akan terus terjadi seiring dengan meningkatnya kebutuhan ruang untuk pembangunan sarana dan prasarana ekonomi. Ancaman degradasi mangrove akan semakin besar potensi terjadinya pada daerah yang dekat dengan pusat kegiatan ekonomi.

Hutan Mangrove Muara Gembong yang terletak di Pantai Utara Pulau Jawa dan berbatasan langsung dengan DKI Jakarta termasuk ke dalam kategori kawasan hutan lindung yang memiliki tingkat ancaman degradasi relatif tinggi. Sejak ditetapkan sebagai kawasan hutan lindung oleh Menteri Pertanian RI pada tahun 1954 melalui SK

Nomor 92/UM/54, hutan mangrove Muara Gembong terus mengalami berbagai tekanan seperti okupasi lahan, konversi lahan, dan alih fungsi/status lahan. Okupasi lahan dan konversi lahan menjadi permasalahan utama dalam pengelolaan Hutan Lindung Muara Gembong. Sebagian besar wilayahnya telah dikonversi menjadi tambak, sawah, kebun, bahkan permukiman.

Kajian ilmiah dilakukan bertujuan memberi ruang bagi pengembangan ekonomi masyarakat, Menteri Kehutanan RI mengeluarkan Surat Keputusan No. 475/Menhut-II/2005 tentang Alih Status Kawasan Hutan Lindung Ujung Krawang (Muara Gembong) seluas 5.170 hektar menjadi hutan produksi tetap (HPT). Kawasan ini dapat dikembangkan sesuai dengan perencanaan tata ruang Kabupaten Bekasi (Perda Kab. Bekasi No. 4/2007). Kebijakan ini tentu membawa dampak langsung maupun tidak langsung terhadap kondisi mangrove yang sudah rusak akibat berbagai tekanan.

Informasi mengenai sumberdaya mangrove pada kawasan hutan lindung penting untuk diketahui sebagai bahan pertimbangan kebijakan pengelolaan. Kebijakan pengelolaan mangrove yang tidak didasarkan pada informasi komprehensif dapat menyebabkan kegagalan

dalam pengelolaan dan berakibat banyaknya mangrove yang terdegradasi bahkan hilang sama sekali. Kendala utama dalam mengumpulkan informasi sumberdaya mangrove adalah aksesibilitas lapang, waktu, dan biaya. Untuk meminimalkan kendala ini, pemantauan dan pengawasan sumberdaya mangrove dapat dilakukan dengan menggunakan sistem penginderaan jauh (*Geographic Information System/GIS*) sebagai pendekatan metodologis.

Informasi mengenai luas dan penyebaran mangrove pada kawasan hutan lindung dapat diketahui dengan melakukan klasifikasi penutupan lahan (*landcover*). Citra satelit diolah sedemikian rupa sehingga menghasilkan beberapa kelas penutupan lahan yang ada di kawasan hutan lindung. Setelah diketahui wilayah yang termasuk ke dalam kelas tutupan mangrove, dapat ditentukan luas areal tersebut juga dapat dipetakan sebarannya. Berdasarkan hasil klasifikasi penutupan lahan ini juga dapat diamati pola perubahan mangrove di kawasan hutan lindung.

Informasi mengenai potensi biomassa dan kerapatan vegetasi merupakan hasil turunan dari proses klasifikasi kelas penutupan lahan di atas. Potensi biomassa dan kerapatan vegetasi mangrove ini nantinya digunakan sebagai gambaran seberapa besar kualitas mangrove yang ada. Untuk mendapatkan nilai potensi biomassa dan kerapatan vegetasi mangrove, data citra satelit yang sudah diklasifikasi dihitung nilai indeks vegasinya dan dimasukkan kedalam persamaan alometrik yang sudah ada. Indeks vegetasi yang umum digunakan adalah NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). penelitian ini bertujuan: (i) Menentukan luas dan sebaran mangrove. (ii) Menentukan potensi biomassa dan kerapatan mangrove.

## BAHAN DAN METODE

### Waktu dan tempat penelitian

Pengumpulan data lapangan dilakukan pada bulan Desember 2009, sedangkan data digital berupa data satelit dan peta digital dikumpulkan dalam rentang waktu bulan November 2009 sampai dengan bulan Juni 2010. Kegiatan pengolahan data dilakukan di Laboratorium Analisis Spasial PPLH Institut Pertanian Bogor. Lokasi yang dipilih untuk penelitian ini adalah Kawasan Hutan Lindung dan Hutan Produksi Terbatas Muara Gembong di Kabupaten Bekasi, Provinsi Jawa Barat.

### Metode penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap utama. Tahap awal bertujuan untuk membuat peta penutupan lahan kawasan Hutan Lindung dan Hutan Produksi Terbatas Muara Gembong. Fokus kegiatannya adalah pengolahan data citra satelit dan peta digital untuk mendeteksi keberadaan vegetasi mangrove. Tahap selanjutnya bertujuan untuk memperoleh gambaran kuantitas mangrove berdasarkan peta penutupan lahan yang telah dibuat. Fokus kegiatannya adalah mendeskripsikan peta tutupan lahan sehingga diperoleh luas dan sebaran mangrove; grafik perubahan mangrove berdasarkan analisis *time series* masing-masing citra; serta potensi biomassa dan kerapatan

mangrove dengan referensi allometrik indeks vegetasi penelitian terdahulu.

### Pengisian garis (*gap the filling*)

Data Landsat ETM+ yang perlu diisi *gap*-nya adalah yang mengalami kerusakan akibat SLC-OFF, yaitu data tahun 2010. Data tersebut diisi dengan data tahun yang sama dengan tanggal perekaman dan pola *gap* yang berbeda. Pengisian *gap* ini bertujuan untuk memperbaiki data yang cacat akibat kerusakan sensor SLC. Perangkat yang digunakan adalah *software* IDL v7.0 yang diperoleh dari situs resmi NASA (<http://www.nasa.gov/>).

### Penyiapan citra

Citra yang sudah diisi *gap*-nya, kemudian dipersiapkan untuk diolah menggunakan *software* pengolah data citra. Kegiatan yang dilakukan dalam penyiapan citra meliputi konversi data citra (*importing*); pembuatan citra komposit (*layer stack*); dan reproyeksi citra (*image reprojection*). Keseluruhan kegiatan tersebut dikerjakan dengan bantuan *software* ERDAS Imagine v9.1.

Data yang diperoleh dari USGS masih berekstensi \*.LIG untuk citra dengan SLC-ON dan \*.TIFF untuk citra dengan SLC-OFF. Kedua format ekstensi tersebut harus dikonversi menjadi ekstensi \*.IMG agar dapat diolah. Proses ini dilakukan satu per satu untuk *layer*/band 1, 2, 3, 4, 5, dan 7 setiap data citra. Selanjutnya, data setiap *layer*/band yang telah dikonversi digabungkan menjadi citra komposit. Citra komposit yang dihasilkan harus diperiksa sistem proyeksinya. Sistem proyeksi yang digunakan adalah koordinat UTM; *Spheroid* dan Datum WGS84; UTM Zona 48; dan lintang selatan.

### Geokoreksi dan pemotongan citra

Tujuan dilakukannya geokoreksi atau koreksi geometri adalah untuk menyamakan posisi piksel-piksel dari data citra Landsat multi waktu yang akan dianalisis, sekaligus memperbaiki piksel-piksel tersebut dari distorsi yang mungkin terjadi. Metode yang digunakan adalah koreksi geometri *image-to-image* dengan citra Landsat tahun 2001 sebagai acuan. Citra Landsat tahun 2001 tersebut dijadikan citra *master* atau acuan karena citra tersebut sudah dilakukan koreksi geometri oleh *provider*-nya yaitu USGS.

Citra yang sudah dikoreksi dipotong untuk mereduksi ukuran data sehingga lebih ringan ketika diolah komputer. Selain itu, pemotongan citra juga bertujuan untuk membuat deliniasi area sebagai batas kajian, yaitu batas wilayah hutan lindung dan hutan produksi terbatas. Acuan dalam pembuatan batas wilayah tersebut adalah peta digital hutan lindung dan hutan produksi terbatas yang diperoleh dari Dinas Kehutanan, Propinsi Jawa Barat.

### Koreksi radiometrik

Teknik koreksi radiometrik yang digunakan yaitu teknik penyesuaian histogram (*histogram adjustment*). Asumsi dari metode ini adalah dalam proses koding digital oleh sensor, obyek yang memberikan respon spektral yang paling rendah seharusnya bernilai 0. Apabila nilai ini ternyata melebihi angka 0 maka nilai tersebut dihitung

sebagai offset dan koreksi dilakukan dengan mengurangi seluruh nilai pada saluran tersebut dengan offset-nya. Nilai

Penyesuaian histogram meliputi evaluasi histogram pada setiap band dari data citra Landsat. Biasanya data pada panjang gelombang tampak (TM saluran 1-3) mempunyai nilai minimum yang lebih tinggi karena dipengaruhi oleh hamburan atmosfer. Sebaliknya penyerapan atau absorpsi pada atmosfer akan mengurangi kecerahan pada data yang direkam dalam interval panjang gelombang yang lebih besar seperti TM 4,5,7. Sehingga data pada band ini nilai minimumnya mendekati nilai nol (Samsuri 2004).

Teknis dalam penyesuaian histogram yaitu dengan menggunakan software Er Mapper 7.1 yang sudah kompatibel dengan data Landsat berformat \*.IMG. Formula pada kotak dialog algoritma diedit dengan persamaan 3 sebagai berikut:

“INPUT1-G”

Keterangan:

INPUT1 = Band/layer data Landsat (setiap layer dikoreksi).

G = Nilai minimum pada setiap band/layer.

#### Image enhancement

Citra Landsat yang akan diklasifikasikan penutupan lahannya harus memiliki tingkat kecerahan yang terbaik sehingga setiap piksel yang ada mudah dikenali dan dibedakan. Khususnya pada klasifikasi terbimbing (*supervised classification*).

Pada penyajian citra Landsat dengan multiband, untuk mendapatkan kombinasi band yang terbaik dilakukan evaluasi dengan metode OIF (*optimim index factor*). OIF merupakan ukuran banyaknya informasi yang dimuat pada satu citra komposit. Ukuran ini merupakan perbandingan antara total simpangan baku dari ketiga band yang digunakan dengan ketiga koefisien korelasi dari masing-masing pasangan band yang digunakan (Jaya 2009). Kombinasi tiga kanal spektral yang terpilih adalah kombinasi yang memiliki nilai OIF tertinggi. Rumus yang digunakan untuk OIF adalah (Chaves et al. 1082):

$$OIF = \frac{\sum_{i=1}^3 s_i}{\sum_{i,j=1}^3 |r_{ij}|}$$

Keterangan:  $s_i$  = Simpangan baku setiap kanal  
 $r_{i,j}$  = Koefisien korelasi antara kanal  $i$  dan  $j$

Setelah mendapatkan pola kombinasi yang memuat informasi terbanyak, citra Landsat yang akan diklasifikasi perlu dilakukan penajaman kontras sesuai dengan kemudahan *interpreter* dalam membedakan warna dan rona pada citra. Penajaman citra (*image enhancement*) dilakukan untuk lebih memudahkan interpretasi visual suatu citra. Walaupun citra telah dikoreksi terhadap pengaruh radiometrik, atmosferik dan karakteristik sensor, kenampakan citra masih tetap kurang optimal untuk interpretasi visual.

Ada banyak metode dari penajaman citra, yaitu penajaman kontras (*contrast enhancement*) yang juga dikenal sebagai penajaman global (*global enhancement*) dan penajaman lokal (*spatial/local enhancement*).

Penajaman kontras yaitu mentransformasi seluruh bagian dari citra asli dengan menggunakan pendekatan statistik, contohnya adalah perentangan kontras linear (*linear contrast stretch*); perentangan dengan kesetaraan histogram (*histogram equalized stretch*) dan perentangan kontras perbagian (*piece wise contrast stretch*). Penajaman lokal yaitu penajaman yang didasarkan pada kondisi lokal yang dijadikan penentuan untuk penajaman seluruh citra, contohnya adalah penghalusan citra (*image smoothing*) dan penajaman citra (*image sharpening*) (Tim PIDD 2003).

#### Klasifikasi citra

Citra Landsat diklasifikasi dengan teknik klasifikasi terbimbing (*supervised classification*). Metode yang digunakan adalah metode kemungkinan maksimum (*Maximum Likelihood Classifier*). Menurut Jaya (2009), metode ini adalah metode yang paling umum digunakan dan merupakan metode standar. Metode ini mempertimbangkan berbagai faktor, diantaranya adalah peluang suatu piksel untuk dikelaskan ke dalam kelas atau kategori tertentu. Peluang ini sering disebut dengan *prior probability*, dapat dihitung dengan menghitung prosentase tutupan pada citra yang akan diklasifikasi. Jika peluang ini tidak diketahui maka besarnya peluang dinyatakan sama untuk semua kelas (satu per jumlah kelas yang dibuat).

Citra yang sudah diklasifikasi selanjutnya dilakukan evaluasi akurasi. evaluasi akurasi bertujuan untuk menguji tingkat keakuratan secara visual dari hasil klasifikasi terbimbing dengan menggunakan titik-titik kontrol lapangan untuk uji akurasi. Titik-titik lain yang ditentukan sebanyak kelas-kelas yang telah ditetapkan dalam klasifikasi pada lokasi diluar area contoh yang telah digunakan sebelumnya.

Evaluasi akurasi terhadap besarnya kesalahan klasifikasi area contoh untuk menentukan besarnya persentase ketelitian pemetaan. Evaluasi ketelitian pemetaan meliputi jumlah piksel area contoh yang diklasifikasikan dengan benar atau salah, pemberian nama kelas secara benar, persentase banyaknya piksel dalam masing-masing kelas serta persentase kesalahan total.

#### Pendugaan Biomassa dan Kerapatan Mangrove

Biomassa dan kerapatan mangrove dihitung menggunakan persamaan alometrik dari hasil penelitian terdahulu. Persamaan tersebut menggambarkan hubungan erat antara indikator biologis mangrove dengan pola reflektansi yang direkam oleh satelit. Pola reflektansi yang direkam tersebut diolah sehingga dihasilkan nilai atau indeks yang semakin erat hubungannya dengan karakteristik mangrove. Nilai indeks yang digunakan adalah NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

Persamaan NDVI yang digunakan untuk menduga potensi biomassa mangrove dan kerapatannya adalah sebagai berikut:

(i) Persamaan alometrik penduga potensi biomassa (Prasetyo et al. 2000):

$$W = \frac{30,97183 - 56,898258NDVI}{1 + 3,95247NDVI - 9,5673017NDVI^2}$$

$$W = \text{Potensi biomassa (kg/m}^2\text{)}$$

$$R^2 = 83,7 \%$$

(ii) Persamaan alometrik penduga kerapatan vegetasi (Arhatin 2007):

$$Y = -50,28 + (311,54NDVI) + (10,3NDVI^2) - (242,44NDVI^3)$$

Y = Kerapatan vegetasi (%)

$$R^2 = 80,40 \%$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Gambaran umum hasil penelitian

Hasil yang diperoleh setelah melalui berbagai proses adalah peta penutupan lahan yang memuat informasi mengenai sebaran dan luasan vegetasi mangrove di kawasan hutan lindung dan hutan produksi terbatas Muara Gembong pada tahun 2001 dan 2010. Selain itu, informasi mengenai perubahan luasan vegetasi mangrove berikut potensi biomassa dan kerapatan vegetasinya sebagai indikator biologis mangrove dapat diketahui juga.

### Pengisian strip data citra SLC-OFF

Pengisian *strip* (garis) pada data citra yang rusak akibat kerusakan sensor SLC dilakukan menggunakan *software* (perangkat lunak) IDL v7.0. Perangkat lunak ini dikeluarkan oleh NASA, Amerika Serikat. Pengisian ini bertujuan untuk memperbaiki data yang hilang akibat strip tersebut. Strip diisi dengan menggunakan data citra lain yang mengalami *stripping* pada tempat yang berbeda. Gambar 1 menunjukkan data citra sebelum dan sesudah diisi strip-nya.

### Konversi format data citra

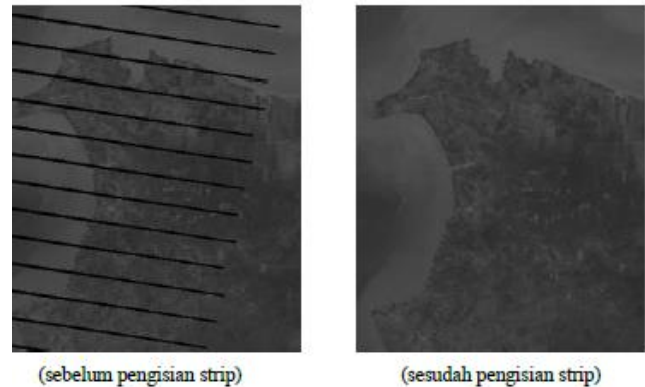
Data citra yang diperoleh dari USGS tersimpan dalam format dasar (*raw image*). Format ini tidak dikenali oleh perangkat lunak pengolah data spasial seperti ERDAS Imagine sehingga perlu dikonversi ke dalam format standar yang dikenali perangkat lunak tersebut. Tabel 1 menunjukkan bentuk format data sebelum dan sesudah dikonversi.

### Penyusunan citra komposit

Citra yang sudah dikonversi masih terdiri dari file-file setiap band yang terpisah. Setiap band tersebut memiliki fungsi masing-masing dalam menampilkan suatu objek liputan. Band-band tersebut perlu untuk disatukan agar dapat dilakukan analisis multi-band pada data citra. Citra yang terdiri dari multi-band disebut citra komposit. Kombinasi band yang dibutuhkan untuk analisis citra pada penelitian ini adalah band 1, 2, 3, 4, 5, dan 7. Tabel 2 menunjukkan perbedaan ukuran file setiap band dan citra kompositnya.

### Koreksi geometrik dan pemotongan citra

Peta digital yang digunakan sebagai pembatas objek/wilayah kajian belum memiliki sistem proyeksi digital. Peta ini harus diberi koordinat digital agar dapat sinkron dengan data citra. Sistem kordinat digital yang dipakai adalah Sistem Grid UTM, Proyeksi *Transverse Mercator*, Datum WGS 84, dan Zona 48 *South*. Titik acuan (*ground control point*) yang digunakan sebanyak sembilan titik (Tabel 3).



Gambar 1. Data citra Landsat tahun 2010 Band 1

Tabel 1. Format citra sebelum dan sesudah dikonversi

Citra tahun	Format dasar	Format konversi	Keterangan
2001	*.L1G	*.IMG	SLC-ON
2010	*.TIFF	*.IMG	SLC-OFF

Tabel 2. Ukuran file setiap band dan citra komposit

Citra tahun	Ukuran file (Kb)	
	Tiap band	Citra komposit
2001	57.039	342.189
2010	57.410	355.002

Tabel 3 Titik acuan/GCP pada proses georeferensi peta digital

GCP	Input		Referensi		RMSE
	X	Y	X	Y	
1	577	-603	715000	9345000	0,00
2	577	-2989	715000	9325000	0,00
3	3535	-2993	740000	9325000	0,00
4	3539	-606	740000	9345000	0,00
5	2944	-2395	735000	9330000	0,00
6	1169	-1797	720000	9335000	0,00
7	2944	-1799	735000	9335000	0,00
8	1169	-2393	720000	9330000	0,00
9	1761	-604	725000	9345000	0,00

Koreksi geometrik citra tahun 2010 menggunakan teknik *image-to-image* dengan citra tahun 2001 sebagai acuan. Metode resampling yang digunakan adalah *nearest neighbor*. Koreksi geometrik citra tahun 2010 menggunakan sebelas titik GCP dengan nilai RMSE Totalnya sebesar 0,44. Daftar titik GCP pada koreksi citra tahun 2010 diperlihatkan pada Tabel 4. Sedangkan sebaran GCP citra tahun 2010 diperlihatkan pada Gambar 2.

Area liputan citra yang luas melebihi objek kajian perlu dipersempit dengan melakukan pemotongan citra. Citra dipotong dengan metode *two corners*. Metode ini membutuhkan dua koordinat sebagai sudut pemotongan. Kedua titik ini (Tabel 5) diperoleh dari peta digital. Hasil dari pemotongan citra tahun 2001 ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 4 Daftar GCP koreksi geometrik citra tahun 2010

GCP	Input		Referensi		RMSE
	X	Y	X	Y	
1	725762.518	9338105.172	725807.345	9338099.148	0.312
2	736318.728	9330244.324	736368.885	9330237.231	0.495
3	757528.751	9280661.671	757593.580	9280621.523	0.295
4	731937.825	9333273.791	731985.935	9333266.945	0.543
5	711001.843	9324038.984	711042.281	9324012.072	0.297
6	755257.589	9340845.582	755312.935	9340858.583	0.423
7	659523.426	9333453.983	659542.744	9333406.689	0.187
8	704338.517	9340808.042	704374.718	9340791.923	0.498
9	738154.427	9281052.085	738211.093	9281001.634	0.307
10	723844.231	9341172.179	723887.065	9341167.213	0.730
11	722038.563	9334700.306	722081.837	9334688.664	0.419
<b>RMSE <math>\Sigma</math></b>					<b>0.435</b>

Tabel 5. Koordinat titik pemotongan citra

Sudut	Sumbu X	Sumbu Y
Kiri atas	711213	9349054
Kanan atas	741693	9321755

Tabel 6 Nilai minimum dan maksimum histogram nilai digital sebelum dan sesudah dikoreksi

Citra	Sebelum dikoreksi		Bias	Setelah dikoreksi	
	Min.	Maks.		Min.	Maks.
<b>2001</b>					
B1	66	210	66	0	144
B2	41	211	41	0	170
B3	25	208	25	0	183
B4	8	152	8	0	144
B5	7	255	7	0	248
B7	6	255	6	0	249
<b>2010</b>					
B1	73	221	73	0	148
B2	46	210	46	0	164
B3	30	241	30	0	211
B4	11	128	11	0	117
B5	9	255	9	0	246
B7	6	255	6	0	249

Tabel 7. Nilai OIF setiap kombinasi RGB

RGB	Nilai OIF		RGB	Nilai OIF	
	Citra 2001	Citra 2010		Citra 2001	Citra 2010
123	131,04	116,82	234	635,70	439,50
124	459,66	311,82	235	923,31	502,04
125	656,12	358,10	237	484,11	310,27
127	284,13	222,59	245	1.114,92	544,58
134	558,33	418,07	247	779,92	451,29
135	839,13	495,13	257	843,10	411,70
137	422,29	300,36	345	1.395,05	724,93
145	912,59	472,25	347	1.075,16	546,23
147	621,32	381,25	357	1.188,86	502,74
157	712,11	363,73	457	668,35	249,00

Tabel 8 Nilai TD mangrove terhadap kelas penutupan lahan lainnya

Penutupan lahan	Nilai TD mangrove	
	Citra 2001	Citra 2010
Laut 1	2.000	2.000
Laut 2	2.000	2.000
Mangrove	0	0
Tahah terbuka/ terbangun	2.000	2.000
Padi 1	2.000	2.000
Kebun campuran	1.989	2.000
Padi 1	2.000	2.000
Tambak	1.985	2.000
Sungai	2.000	2.000

### Koreksi radiometrik

Hasil analisis histogram menunjukkan bahwa setiap band citra tahun 2001 dan 2010 mengalami distorsi radiometrik. Nilai distorsi untuk setiap band berbeda satu sama lain (Tabel 6). Metode yang digunakan dalam memperbaiki distorsi ini adalah metode penyesuaian histogram. Nilai digital setiap band menjadi seragam dimulai dari nol setelah dikurangi nilai biasnya. Nilai bias merupakan nilai digital minimal yang tidak dimulai dari nol.

### Penajaman citra

Ukuran yang digunakan untuk menyatakan banyaknya informasi yang dapat diberikana oleh suatu tampilan citra adalah Nilai *Optimum Index Factor* (OIF). Semakin tinggi nilai OIF menunjukkan semakin banyak keragaman informasi yang ditampilkan citra. Pemilihan citra komposit dengan keragaman informasi tertinggi dapat dilakukan dengan melihat nilai OIF tampilan citra tersebut. Hasil analisis nilai OIF menunjukkan bahwa tampilan citra komposit dengan kombinasi Band 3-4-5 memiliki nilai OIF tertinggi (Tabel 7). Nilai OIF untuk citra tahun 2001 sebesar 1.395,05 dan untuk citra tahun 2010 sebesar 724,93.

Kombinasi Band 3-4-5 pada filter *layer* RGB (*red-green-blue*) dapat dijadikan enam kombinasi citra komposit RGB. Keenam kombinasi tersebut adalah RGB-345, RGB-354, RGB-435, RGB-453, RGB-534, dan RGB-543. Setiap kombinasi citra komposit RGB memiliki tampilan warna yang berbeda dalam mendeteksi suatu objek tertentu seperti

vegetasi, badan air, atau tanah terbuka. Berdasarkan analisis visual ditetapkan citra komposit RGB-453 memiliki kemampuan yang lebih tinggi dalam mendeteksi objek khususnya mangrove (Gambar 4).

### Klasifikasi penutupan lahan

Proses klasifikasi penutupan lahan (*landcover*) suatu citra diawali dengan penentuan kelas-kelas penutupan lahan yang teridentifikasi dari analisis visual citra tersebut. Analisis visual citra komposit RGB-453 yang dikombinasikan dengan data peninjauan lapang dan tampilan rupa bumi pada Google Maps menunjukkan bahwa citra tahun 2001 dan 2010 yang dianalisis memiliki sembilan kelas penutupan lahan. Kesembilan kelas penutupan lahan tersebut meliputi: (i) Laut 1; (ii) Laut 2; (iii) Mangrove; (iv) Tanah terbuka/terbangun; (v) Padi 1; (vi) Kebun campuran; (vii) Padi 2; (viii) Tambak; dan (ix) Sungai.

Ukuran yang digunakan untuk menentukan tingkat keterpisahan kelas-kelas tersebut adalah nilai *Transformed Divergence* (TD). TD memiliki selang nilai antara 0 sampai dengan 2.000. Semakin tinggi nilai TD menunjukkan bahwa objek tersebut semakin terpisah dengan objek lainnya yang dibandingkan.

Tingkat keterpisahan (separabilitas) mangrove pada citra tahun 2001 terhadap kelas penutupan lahan lainnya menunjukkan derajat baik ( $2.000 > TD \geq 1900$ ), sedangkan untuk citra tahun 2010 menunjukkan derajat sempurna ( $TD = 2.000$ ). Tabel 8 menunjukkan nilai TD kelas mangrove terhadap kelas penutupan lahan lainnya pada citra tahun 2001 dan 2010.

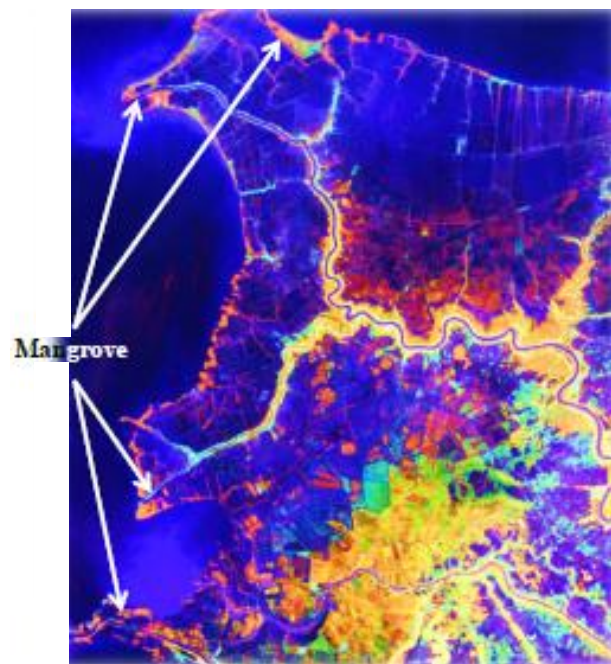
Teknik yang digunakan dalam mengklasifikasikan citra menjadi kelas penutupan lahan adalah teknik klasifikasi terbimbing (*supervised classification*). Teknik ini membutuhkan beberapa area contoh (*training area*) sebagai pencari statistik untuk mengelompokkan piksel-piksel pada citra sesuai dengan nilai digitalnya. Area contoh yang dibuat harus merepresentasikan kelas penutupan lahan yang ditetapkan. Tingkat keterwakilan setiap kelas penutupan lahan terhadap area contoh yang dibuat dapat diukur menggunakan uji akurasi pada matriks kontingensi/error (*error matrix*).



**Gambar 2.** Sebaran GCP pada koreksi geometrik citra 2010 ke citra 2001.



**Gambar 3.** Citra tahun 2001 hasil pemotongan dengan metode *two corners*



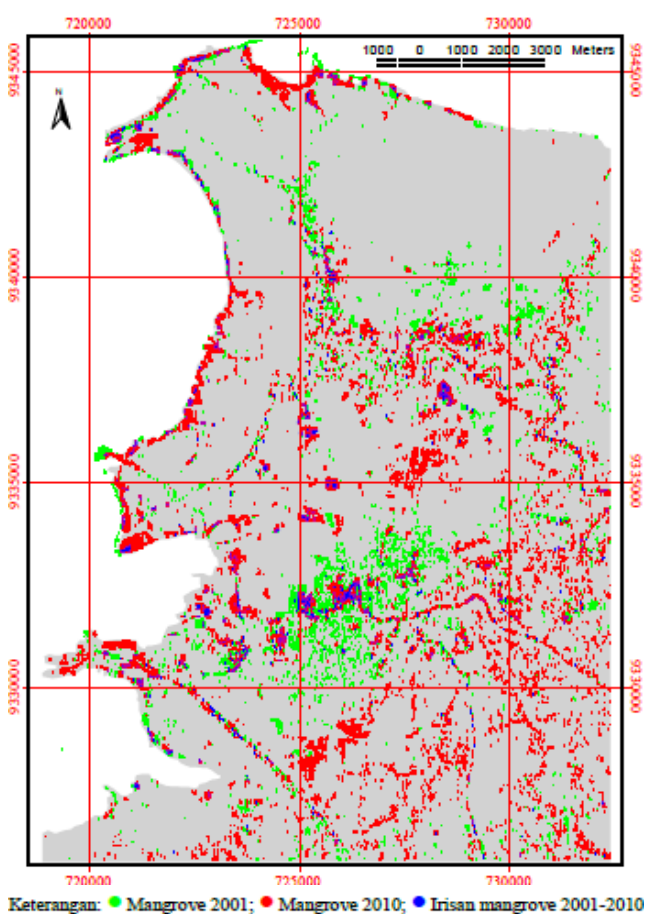
**Gambar 4.** Tampilan visual citra RGB-453 tahun 2010

Nilai uji akurasi tersebut menggambarkan tingkat ketelitian dalam pembuatan area contoh setiap kelas. Nilai akurasi yang diperoleh dengan menggunakan matriks kontingensi menghasilkan nilai *producer's accuracy* (PA), *user's accuracy* (UA), *overall accuracy* (OA), dan *kappa accuracy* (KA).

Area contoh yang dibuat sudah mewakili kelas penutupan lahan yang ditentukan. Persentase nilai akurasi menunjukkan nilai terkecil sebesar 94,40% yang masih lebih tinggi dari standar minimal yang ditetapkan sebesar 85%. Bahkan pada beberapa kelas penutupan lahan, nilai akurasinya dapat mencapai angka 100% (Tabel 9).

**Tabel 9.** Persentasi ketelitian matriks kontingensi

Penutupan lahan	Citra 2001		Citra 2010	
	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)
Laut 1	99,98	99,98	99,98	99,94
Laut 2	99,97	99,88	99,67	99,48
Mangrove	98,06	100,00	100,00	99,80
Tahah terbuka/ terbangun	100,00	100,00	100,00	100,00
Padi 1	100,00	100,00	100,00	100,00
Kebun campuran	100,00	99,59	99,87	100,00
Padi 1	94,40	97,39	99,74	98,98
Tambak	98,70	95,94	95,90	97,39
Sungai	94,86	99,64	94,89	99,24
Overall accuracy (%)	99,80		99,61	
Kappa accuracy (%)	99,63		99,39	

**Gambar 5.** Sebaran mangrove citra tahun 2001 dan tahun 2010.

### Luas dan sebaran mangrove

Luasan mangrove pada tahun 2010 mengalami pertambahan luas sebesar 281,52 ha atau sekitar 52,09 % dari luas tahun 2001. Pada tahun 2001 luas mangrove sebesar 540,72 ha kemudian menjadi 822,24 ha pada tahun 2010. Proses klasifikasi penutupan lahan citra tahun 2010 memiliki tingkat akurasi klasifikasi overall (*overall classification accuracy*) sebesar 83,33% dan nilai statistik kappa overall bernilai 77,29%. Sebagian besar pertambahan mangrove terjadi di sekitar pantai seperti ditampilkan pada

Gambar 5. Gambar tersebut memperlihatkan *overlay* mangrove tahun 2001 dan 2010.

### Potensi biomassa dan kerapatan mangrove

Potensi biomassa vegetasi mangrove tahun 2001 sebesar 46,7 ton/ha kemudian pada tahun 2010 menjadi sebesar 53,5 ton/ha. Total potensi biomassa mangrove di Muara Gembong pada tahun 2001 sebesar 34.043,12 ton kemudian meningkat menjadi 63.135,99 ton pada tahun 2010. Total pertambahan potensi selama sembilan tahun sebesar 29.092,87 ton atau sekitar 3.232,54 ton/tahun. Sedangkan untuk kerapatan mangrove pada tahun 2001 mencapai 55,78% kemudian menjadi 8,43% pada tahun 2010.

### Pengolahan data citra

Sejak tahun 2003, sensor ETM+ Landsat-7 mengalami kerusakan SLC (*scan line corrector*) sehingga citra yang direkam mengalami *strip/garis-garis*. Garis-garis tersebut merupakan area yang tidak terekam oleh satelit dan ukurannya akan semakin besar ke kanan dan ke kiri, sedangkan pada bagian tengahnya tidak mengalami *stripping*. Namun, ada juga citra yang mengalami *stripping* di sepanjang area liputannya. Posisi *stripping* dapat berbeda untuk setiap citra. Kerusakan ini menyebabkan proses interpretasi menjadi lebih sulit. Dalam beberapa kasus interpretasi citra, kerusakan ini tidak dapat ditoleransi.

Kerusakan citra tersebut dapat diperbaiki dengan menggunakan *software frame\_and\_fill* (IDL v7.0) yang direkomendasikan oleh NASA. Software dapat diunduh pada [http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/software/gap\\_filling\\_software.html](http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/software/gap_filling_software.html). Prinsip kerjanya adalah dengan meng-*overlay*-kan citra master dan citra pengisi. Citra master adalah data citra utama yang akan diinterpretasikan. Citra pengisi adalah data citra yang memiliki posisi *stripping* berbeda dan waktu perekaman yang relatif dekat dengan citra master. *Stripping* pada citra master akan diisi oleh data pada citra pengisi sehingga *stripping* pada citra master akan hilang.

Citra tahun 2010 yang direkam pada tanggal 02 Maret 2010 diperbaiki dengan cara diisikan citra lain yang memiliki posisi *stripping* berbeda dan waktu perekaman relatif dekat. Data di USGS yang paling memungkinkan digunakan sebagai citra pengisi adalah citra perekaman tanggal 21 Mei 2010. Software ini bekerja pada level individual band sehingga perbaikan yang dilakukan adalah pada level band. Citra yang telah diisi akan memiliki band yang terbebas dari garis-garis (Gambar 1). Band 1 citra tahun 2010 akan hilang garis-garisnya setelah diperbaiki.

Band-band pada kedua citra hasil pengisian *stripping* tersebut masih berbentuk format dasar dari USGS. Format dasar ini tidak dikenali oleh *software* mengolah citra seperti ERDAS Imagine v9.1 sehingga tidak bisa diolah. Citra tahun 2001 berbentuk format \*.L1G sedangkan citra tahun 2010 berformat \*.TIFF. Menurut USGS (2001), \*.L1G adalah format untuk citra yang diterbitkan dalam keadaan sudah terkoreksi secara geometrik sehingga citra dalam format ini sudah setengah jadi dan dapat langsung digunakan tanpa harus mengalami proses koreksi geometrik. Sedangkan citra dengan format \*.TIFF adalah

format citra yang diterbitkan tanpa terlebih dahulu dikoreksi. Dengan kata lain, citra tersebut masih berupa citra dasar/mentah (*raw image*) sehingga harus dikoreksi sebelum digunakan. Kedua jenis format tersebut harus dikonversi menjadi format \*.IMG agar dapat dikenali oleh software ERDAS Imagine v9.1.

Konversi format diproses dengan bantuan menggunakan fasilitas impor software ERDAS Imagine v9.1. Proses konversi dilakukan satu per satu untuk setiap band citra. Band yang dikonversi adalah band yang akan digunakan dalam pembuatan citra komposit untuk keperluan analisis penutupan lahan saja. Band yang dikonversi adalah band 1, 2, 3, 4, 5, dan 7. Band 6 dan Band 8 tidak dikonversi karena tidak digunakan dalam analisis penutupan lahan. Band 6 berisi informasi mengenai temperatur permukaan bumi, sedangkan Band 8 adalah band pankromatik dengan ukuran piksel 15x15 m<sup>2</sup>.

Proses konversi format \*.TIFF ke \*.IMG berbeda dengan proses konversi format \*.L1G ke \*.IMG. Pada proses konversi format \*.TIFF ke \*.IMG tidak memerlukan informasi tambahan sehingga dapat langsung dikonversi. Sedangkan pada proses konversi format \*.L1G ke \*.IMG membutuhkan informasi tambahan berupa *Number of Line* dan *Pixel per Line*. Kedua informasi ini diperoleh dari metadata citra tahun 2001 yang disertakan dalam paket citra tahun 2001. Dari data tersebut diketahui bahwa *Number of Line* bernilai 7061 sedangkan *Pixel per Line* bernilai 8141. Pada akhir proses, didapatkan file band-band dari kedua citra (tahun 2001 dan 2010) sudah dalam format \*.IMG. Perbedaan format antara sebelum dan sesudah konversi ditunjukkan pada Tabel 1.

Data citra hasil konversi terdiri dari beberapa file band citra yang berdiri sendiri. File-file band ini belum dapat dijadikan data yang baik untuk keperluan analisis. Apabila ditampilkan pada jendela tampilan software pengolah citra digital, file band ini hanya menampilkan gradasi warna hitam dan putih saja. Objek yang ada pada area liputannya sulit untuk diidentifikasi. Proses analisis citra membutuhkan kombinasi informasi dari beberapa band agar dapat membedakan objek tutupan lahan dengan baik, sehingga citra yang akan dianalisis penutupan lahannya harus disajikan dalam beberapa kombinasi band yang sesuai dengan objek kajiannya.

Setiap band citra tersebut memiliki informasi dan karakteristik yang berbeda ketika ditampilkan. Penyajian dalam beberapa kombinasi band akan meningkatkan jumlah informasi yang diberikan oleh citra. File-file band tersebut harus disatukan menjadi satu kesatuan citra agar dapat ditampilkannya dalam berbagai kombinasi band. Citra yang terdiri dari beberapa kombinasi band disebut citra multi-band atau citra komposit.

Penyusunan band-band menjadi citra komposit dilakukan dengan *Layer Stacking* menggunakan software ERDAS Imagine v9.1. Tidak ada perbedaan prosedur dalam penyatuan band-band setiap citra tersebut. Band yang disatukan adalah semua band yang telah dikonversi, yaitu Band 1, 2, 3, 4, 5, dan 7. Setelah proses ini dilakukan, file band citra menjadi satu kesatuan file yang berukuran lebih besar (Tabel 2).

Citra yang akan dianalisis penutupan lahannya harus memenuhi beberapa persyaratan agar hasil yang didapatkan sesuai dengan objek kajian dan dapat dibandingkan antara satu citra dengan citra yang lain. Persyaratan tersebut adalah sebagai berikut: (i) Wilayah yang dianalisis mencakup objek kajian yang sama yaitu Muara Gembong; (ii) Antara satu citra dengan citra yang lain memiliki posisi piksel yang sama agar dapat dibandingkan; dan (iii) Sistem proyeksi peta yang digunakan sesuai dengan wilayah kajian.

Peta yang dijadikan acuan penentuan batas objek kajian adalah Peta Penutupan Lahan Permohonan Tukar Menukar Kawasan Hutan Untuk Pengembangan Wilayah Pantai Utara Kabupaten Bekasi Provinsi Jawa Barat (Surat Menteri Kehutanan Nomor : S.184/Menhut-II/2009). Peta digital ini sudah planimetri dan memiliki koordinat UTM yang tercetak pada peta. Peta ini belum memiliki koordinat sistem secara digital, sehingga harus dilakukan proses georeferensi yaitu proses pemberian koordinat digital pada peta yang sudah planimetri (Jaya 2009). Proses georeferensi peta digital dilakukan dengan software ERDAS Imagine v9.1.

Sistem proyeksi peta digital diperbaiki sesuai dengan informasi yang diperoleh dari legenda peta tersebut. Sistem proyeksi yang digunakan adalah Sistem Grid UTM, Proyeksi *Transverse Mercator*, Datum WGS 84, dan Zona 48 *South*. Pada proses georeferensi ini, titik acu (*GCP/ground control point*) yang digunakan sebanyak sembilan titik yang tersebar merata pada seluruh area peta digital (Tabel 3). Peta digital yang sudah memiliki sistem koordinat digital dapat digunakan untuk menentukan batas objek/area kajian.

Membandingkan penutupan lahan antara satu citra dengan citra lain sesungguhnya adalah membandingkan antara piksel pada satu citra dengan piksel pada citra lain dengan posisi yang sama. Piksel sebagai komponen terkecil citra digital memberikan informasi tentang jenis penutupan lahan yang ada di lapangan. Agar citra dapat dibandingkan antara satu dengan yang lainnya, maka setiap citra harus memiliki posisi piksel yang sama. Proses perbandingan piksel ini sesungguhnya adalah proses pengamatan perubahan penutupan lahan.

Nilai piksel tersebut menunjukkan jenis penutupan lahannya sehingga sebuah piksel yang diamati harus berada pada koordinat yang sama pada citra yang lain. Oleh karena itu, setiap citra harus diregistrasi (disamakan posisinya) dengan sebuah citra acuan. Citra acuan yang digunakan adalah citra tahun 2001. Citra 2001 dipilih sebagai acuan karena sudah planimetri sesuai keterangan dari USGS (2001). Proses penyamaan posisi ini disebut juga koreksi geometrik dengan metode *image-to-image* (citra ke citra).

Citra tahun 2010 digeokoreksi dengan menggunakan persamaan transformasi orde 1 atau disebut juga *Affine transformation* dengan teknik resampling *nearest neighbor*. Transformasi *affine* dipilih dengan memperhatikan bahwa pada proses geokoreksi *image-to-image* yang terjadi adalah pergeseran piksel-piksel yang terkoreksi hanya seputar sumbu absis (X) dan sumbu ordinat (Y). Sedangkan teknik resampling *nearest neighbor* dipilih karena teknik ini hanya mengambil kembali nilai yang terdekat yang telah

tergeser ke posisi yang baru sehingga tidak akan mengubah nilai peksel-piksel yang ada (Arhatin 2007).

Proses koreksi geometrik citra tahun 2010 menggunakan 11 titik kontrol (GCP). Kesebelas titik kontrol tersebut tersebar seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Nilai RMSE total yang didapatkan adalah sebesar 0,44. Nilai ini memenuhi kaidah pemilihan GCP yang mensyaratkan RMSE total maksimal 0,5. Setiap titik kontrol yang dipilih memiliki nilai RSME yang berbeda-beda (Tabel 4).

Citra yang sudah dikoreksi geometrik kemudian dipotong untuk mendapatkan wilayah kajian yang lebih fokus. Pemotongan citra menggunakan metode dua sudut (*two corners*). Metode ini akan menghasilkan potongan citra yang berbentuk bujur sangkar. Sudut yang digunakan adalah sudut kiri atas (*upper left*) dan sudut kanan bawah (*lower right*). Kedua sudut tersebut merupakan sebuah koordinat dengan kombinasi nilai absis (X) dan ordinat (Y). Nilai absis dan ordinat masing-masing sudut tersebut diambil dari nilai absis dan ordinat sudut-sudut pada peta digital. Nilai absis dan ordinat tersebut ditunjukkan pada Tabel 5, sedangkan citra hasil pemotongan ditunjukkan pada Gambar 3.

Citra yang sudah dikoreksi secara geometrik dan difokuskan wilayah kajiannya perlu dianalisis pola histogram nilai digitalnya untuk mengetahui distorsi radiometrik yang mungkin terjadi. Prosedur analisisnya adalah dengan menggunakan *software* ER Mapper v7.1. melalui *software* tersebut diperlihatkan histogram nilai digital setiap band citra 2001 dan 2010. Band yang memiliki histogram tidak dimulai dari nol dianggap memiliki distorsi radiometrik.

Hasil analisis pola histogram menunjukkan terjadinya sejumlah distorsi radiometrik untuk semua band citra. Distorsi radiometrik ini besarnya bervariasi pada setiap band citra. Besar nilai distorsi semakin menurun nilainya dari Band 1 ke Band 7 (Tabel 6). Distorsi ini harus dikoreksi untuk menghilangkan bias pada nilai digital. Metode koreksi yang digunakan adalah *histogram adjustment* (penyesuaian histogram).

Asumsi pada metode penyesuaian histogram adalah bahwa nilai digital minimum pada suatu liputan citra adalah nol. Jika nilai digital minimum tidak dimulai dari nol, maka penambahan tersebut disebut sebagai *offset*-nya. Berdasarkan asumsi tersebut, nilai digital minimum pada citra sebelum dikoreksi dianggap sebagai pengurang, sehingga akan didapatkan rentang nilai digital minimum dan maksimum tanpa nilai *offset*. Metode penyesuaian histogram ini tidak mengubah pola grafik sebaran nilai piksel, namun hanya menggeser nilai minimum dan maksimum (Arhatin 2007).

Prosedur koreksi radiometrik metode penyesuaian histogram adalah dengan menggunakan *software* ERDAS Imagine v9.1 pada menu Model Maker. Perintah dalam model maker yang digunakan pada setiap band adalah sebagai berikut:

$$DN_{ij} = \$n1\_ < raster >_{ij} - offset_{ij}$$

dengan,

$DN_{ij}$  = nilai digital citra ke-i band ke-j setelah dikoreksi

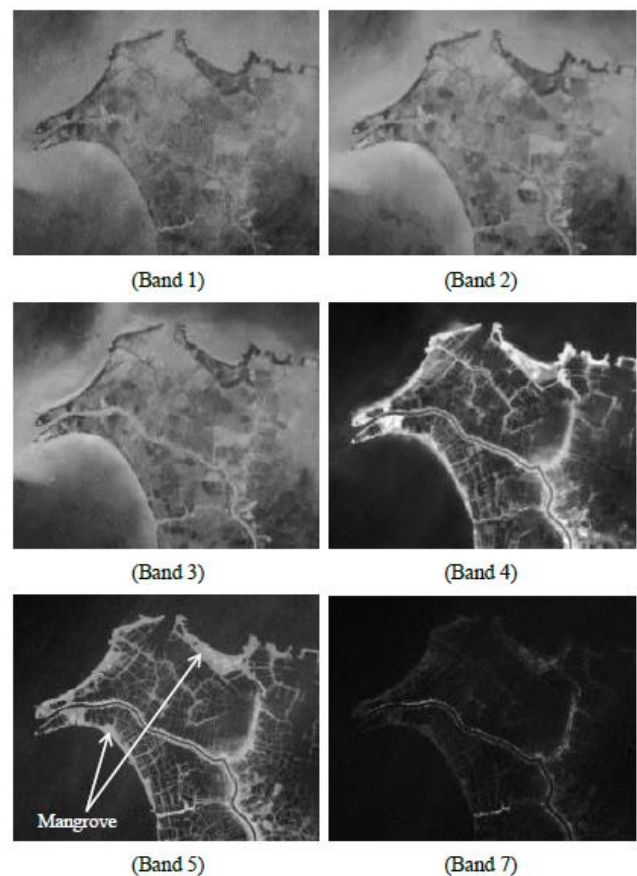
$\$n1\_ < raster >_{ij}$  = nilai digital citra ke-i band ke-j sebelum dikoreksi

Offset = nilai bias citra ke-i band ke-j

Setelah dilakukan koreksi dengan metode penyesuaian histogram, didapatkan pola histogram nilai digital tanpa *offset*. Rentang nilai digital sebelum dan sesudah dikoreksi berikut nilai *offset*-nya diperlihatkan pada Tabel 6.

Setiap band pada citra memiliki karakter dan kemampuan berbeda dalam menampilkan informasi tutupan lahan. Hal ini berkaitan dengan rentang panjang gelombang reflektansi matahari dari objek yang direkam. USGS (2001) menjelaskan jenis aplikasi band citra digital sesuai dengan panjang gelombang yang ditangkapnya (Tabel 10).

Hasil pengamatan pada tampilan tunggal setiap band citra yang sudah dikoreksi dalam mendeteksi objek mangrove menunjukkan bahwa Band 5 memiliki kemampuan yang paling baik dalam membedakan objek mangrove. Dibandingkan dengan tampilan pada band lainnya, Band 5 dapat menunjukkan objek mangrove secara jelas. Band 5 terletak pada selang panjang gelombang 1,55-1,75  $\mu\text{m}$  yang mampu menunjukkan kandungan air pada tanaman, kondisi kelembaban tanah dan berguna untuk membedakan awan dengan salju (USGS 2001). Perbandingan band lain dalam mendeteksi mangrove dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Tampilan citra tahun 2010 setiap band untuk identifikasi mangrove.

Interpretasi citra sulit dilakukan apabila hanya menggunakan tampilan band tunggal saja. Hal ini ditunjukkan seperti pada Gambar 6 di atas. Meskipun Band 5 memiliki kemampuan dalam membedakan objek mangrove, namun informasi yang diperoleh sangat terbatas. Untuk memperjelas tampilan objek dilakukan pembuatan citra komposit sebagai salah satu metode dalam penajaman citra (*image enhancement*).

Citra komposit membutuhkan tiga kombinasi band sebagai input pada masing-masing filter *red*, *green*, dan *blue* (RGB). Kombinasi yang dimaksud adalah kombinasi band untuk masing-masing filter yang mempunyai informasi tertinggi. Derajat atau ukuran jumlah informasi ini dapat dilihat menggunakan nilai faktor indeks optimum (*optimum index factor/OIF*). Ukuran ini merupakan perbandingan antara total simpangan baku dari ketiga band yang digunakan dengan tiga koefisien korelasi dari masing-masing pasangan band yang digunakan (Jaya 2009). Nilai OIF tertinggi akan menyajikan lebih banyak warna, sehingga diharapkan mampu memberikan informasi lebih banyak (Arhatin 2007).

Nilai OIF diperoleh melalui tiga tahap, yaitu (i) mengetahui nilai *univariate*, (ii) menghitung nilai *variance-covariance* (ragam-peragam) dan nilai matriks korelasinya, dan (iii) menghitung nilai OIF itu sendiri. Tahap 1

dilakukan menggunakan *software* ERDAS Imagine v9.1 sedangkan tahap 2 dan 3 dihitung dengan menggunakan *software* Microsoft Excel 2010. Nilai *univariate* dan ragam-peragam untuk masing-masing citra ditunjukkan pada Tabel 11 dan Tabel 12.

Berdasarkan nilai *variance-covariance* dan matriks korelasi di atas, nilai OIF setiap kombinasi band citra komposit RGB dapat dihitung. Jumlah kombinasi band citra komposit RGB dari enam band (Band 1, 2, 3, 4, 5, dan 7) adalah 20 kombinasi. Kombinasi citra komposit RGB berikut nilai OIF untuk setiap kombinasi pada masing-masing citra diperlihatkan pada Tabel 7.

Nilai OIF tertinggi diperoleh pada kombinasi RGB-345 untuk setiap citra, yaitu sebesar 1.395,05 untuk citra tahun 2001 dan 724,93 untuk citra tahun 2010. Ketiga kombinasi band ini (band 3, 4, dan 5) diartikan sebagai kombinasi band yang mampu menampilkan informasi secara lebih banyak dibandingkan kombinasi band lainnya. Nilai OIF yang tinggi menunjukkan besarnya nilai standar deviasi masing-masing band dan kecilnya nilai koefisien korelasi antar band tersebut. Korelasi antar band yang rendah diharapkan mampu memberikan informasi yang saling melengkapi dan meminimalkan peluang terjadinya *overlapping* informasi.

**Tabel 10.** Karakteristik Band pada Landsat ETM+

Band	Panjang gelombang ( $\mu\text{m}$ )	Aplikasi
1	0,45-0,52	Untuk pemetaan perairan pantai, pembedaan tanah dan vegetasi, analisis tanah dan air, dan pembedaan tumbuhan berdaun lebar dan konifer.
2	0,52-0,60	Untuk inventarisasi vegetasi dan penilaian kesuburan.
3	0,63-0,69	Untuk pemisahan kelas vegetasi dan memperkuat kontras antara penampakan vegetasi dan non-vegetasi.
4	0,76-0,90	Untuk deteksi akumulasi biomassa vegetasi, identifikasi jenis tanaman, dan memudahkan pembedaan tanah dan tanaman, serta lahan dan air.
5	1,55-1,75	Untuk menunjukkan kandungan air pada tanaman, kondisi kelembaban tanah dan berguna untuk membedakan awan dengan salju.
6	10,40-12,50	Untuk analisis vegetasi stress, pembedaan kelembaban tanah, klasifikasi vegetasi, analisis gangguan vegetasi, dan pemetaan suhu.
7	2,09-2,35	Untuk pemetaan formasi geologi dan pemetaan hidrotermal.
8	0,50-0,90	Untuk peningkatan resolusi spasial.

**Tabel 11.** Nilai *univariate* citra tahun 2001 dan 2010

Band	<i>Univariate</i>					
	1	2	3	4	5	7
Citra 2001						
Minimum	1,000	2,000	6,000	2,000	0,000	0,000
Maximum	79,000	87,000	119,000	148,000	174,000	128,000
Mean	18,333	27,287	34,909	31,282	30,768	17,669
SD	7,578	10,451	13,458	24,736	29,115	15,247
Citra 2010						
Minimum	5,000	9,000	15,000	4,000	3,000	0,000
Maximum	85,000	88,000	128,000	112,000	246,000	249,000
Mean	25,840	32,867	40,837	27,341	25,438	17,198
SD	7,883	9,752	12,502	16,398	17,248	8,716

**Tabel 12.** Nilai *variance-covariance* (ragam-peragam) dan matriks korelasi citra tahun 2001 dan 2010

<i>Variance-Covariance</i>						
Band	1	2	3	4	5	7
<b>Citra 2001</b>						
Band 1	57,432					
Band 2	73,932	109,231				
Band 3	85,458	124,142	181,115			
Band 4	-85,190	-79,071	-76,835	611,877		
Band 5	-79,343	-76,978	-38,005	610,930	847,701	
Band 7	-31,858	-31,165	-0,356	272,004	427,123	232,460
<b>Citra 2010</b>						
Band 1	62,134					
Band 2	71,798	95,101				
Band 3	81,652	112,339	156,310			
Band 4	-32,785	-28,614	-17,125	268,896		
Band 5	-25,655	-24,754	-5,351	251,327	297,503	
Band 7	-4,520	-4,069	9,358	106,923	141,782	75,968
<b>Matriks korelasi</b>						
Band	1	2	3	4	5	7
<b>Citra 2001</b>						
Band 1	1,000					
Band 2	0,933	1,000				
Band 3	0,838	0,883	1,000			
Band 4	-0,454	-0,306	-0,231	1,000		
Band 5	-0,360	-0,253	-0,097	0,848	1,000	
Band 7	-0,276	-0,196	-0,002	0,721	0,962	1,000
<b>Citra 2010</b>						
Band 1	1,000					
Band 2	0,934	1,000				
Band 3	0,829	0,921	1,000			
Band 4	-0,254	-0,179	-0,084	1,000		
Band 5	-0,189	-0,147	-0,025	0,889	1,000	
Band 7	-0,066	-0,048	0,086	0,748	0,943	1,000

Kombinasi ketiga band tersebut sudah tepat dalam proses pendeteksian mangrove. Band 3 yang terletak pada selang panjang gelombang 0,63-0,69  $\mu\text{m}$  berguna untuk pemisahan kelas vegetasi dan memperkuat kontras antara penampakan vegetasi dan non-vegetasi. Band 4 yang terletak pada panjang gelombang 0,76-0,90  $\mu\text{m}$  berguna untuk mendeteksi akumulasi biomassa vegetasi, identifikasi jenis tanaman, dan memudahkan pembedaan tanah dan tanaman, serta lahan dan air, sedangkan Band 5 yang terletak antara 1,55-1,75  $\mu\text{m}$  berguna untuk menunjukkan kandungan air pada tanaman, kondisi kelembaban tanah dan berguna untuk membedakan awan dengan salju.

kombinasi ketiga band tersebut dapat dibuat enam citra komposit RGB untuk setiap citra. Citra komposit RGB yang dapat ditampilkan adalah citra RGB-345, RGB-354, RGB-435, RGB-453, RGB-534, dan RGB-543. Tampilan visual suatu objek dapat berbeda apabila kombinasi band yang dimasukkan dalam filter RGB berbeda. Perlu dilakukan analisis visual untuk mengetahui kombinasi filter dan band mana yang mampu menampilkan daerah mangrove secara lebih jelas. Berdasarkan hasil analisis visual tersebut, diperoleh hasil visual terbaik pada RGB-453. Tampilan visual citra tahun 2010 RGB-453 ditunjukkan pada Gambar 4.

Citra komposit RGB-453 yang terbentuk dianalisis secara visual untuk mendapatkan beberapa kelas penutupan

lahan (*land cover*) yang nantinya akan digunakan sebagai acuan dalam klasifikasi citra. Penentuan kelas penutupan lahan didasarkan pada perbedaan warna, pola warna, pola spektral, dan posisinya pada bentang lanskap. Selain itu, digunakan juga data koordinat lapang yang diperoleh saat peninjauan lapang dan tampilan visual dengan resolusi yang lebih tinggi sebagai data pembanding. Koordinat lapang yang diperoleh dari kegiatan peninjauan lapang, sedangkan tampilan resolusi visual yang lebih tinggi diperoleh dari Google Maps (<http://maps.google.co.id/>).

Hasil analisis tersebut ditentukan beberapa kelas penutupan lahan sebagai berikut:

#### *Laut 1*

Perairan laut dikategorikan menjadi dua kelas, yaitu laut 1 dan laut 2. Laut 1 adalah perairan laut dalam yang letaknya relatif jauh dari daratan. Warna yang ditampilkan pada citra adalah biru kehitaman.

#### *Laut 2*

Laut 2 adalah perairan laut dangkal yang banyak menandung sedimen terlarut. Letaknya di sekitar bibir pantai. Konsentrasi sedimen terlarut ini cenderung meningkat pada area teluk dan muara sungai. Warna yang ditampilkan adalah biru cerah sampai ungu.

### *Mangrove*

Mangrove adalah area yang ditutupi vegetasi mangrove. Pada mangrove dengan tingkat kerapatan rendah, lapisan permukaan tanah daerah mangrove yang basah memberikan kontribusi yang signifikan terhadap tampilan warna mangrove pada citra. Warna yang ditampilkan adalah oranye kemerahan.

### *Tanah terbuka/terbangun*

Kelas ini merupakan wilayah dengan permukaan tanah kering. Termasuk kedalam kelas ini adalah bangunan, lapangan, jalan, sawah/lumpur yang sudah mengering. Warna yang ditampilkan adalah biru kehijauan.

### *Padi 1*

Padi 1 adalah area persawahan dengan tanaman padi yang masih lebat. Biasanya berada pada periode waktu menjelang panen. Warna yang ditampilkan adalah warna kuning cerah.

### *Kebun campuran*

Kelas jenis penutupan lahan ini merupakan area pertanian non irigasi. Kebun campuran biasanya terletak di dekat area persawahan atau bahkan merupakan peralihan fungsi dari sawah ketika musim kemarau. Tanaman yang dibudidayakan berupa sayuran, palawija, dan tanaman semusim lainnya. Warna yang ditampilkan adalah warna kuning emas mendekati oranye.

### *Padi 2*

Padi 2 adalah area persawahan dengan tanaman padi yang masih baru ditanam atau tanah yang baru diolah. Tingkat kelembaban tanah yang tinggi menyebabkan reflektan yang diterima satelit tampilan pada kelas ini seperti area perairan yang berlumpur. Warna yang ditampilkan pada citra adalah ungu.

### *Tambak*

Tambak adalah wilayah daratan yang sengaja diberi genangan air untuk dijadikan tempat pemeliharaan ikan. Sebagian besar wilayahnya ditutupi oleh air. Hasil analisis visual citra RGB-453 menunjukkan dua pola warna pada wilayah tambak yang berarti terdapat dua kelas tambak. Pola warna yang pertama ditunjukkan adalah biru tua sampai kehitaman seperti warna kelas Laut 2, namun secara posisi lanskap terletak di wilayah daratan. Pola warna yang kedua dan dijadikan indikator penciri untuk kelas tambak adalah warna kecoklatan.












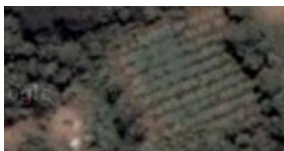

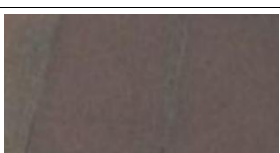

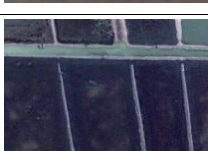

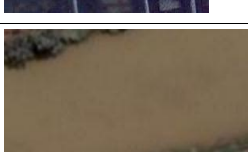
### *Sungai*

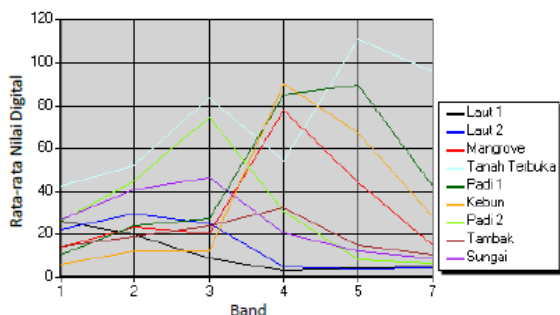
Kelas ini didominasi oleh air tawar. Kualitas air yang terdapat di dalamnya terkadang mengandung lumpur dan terlihat coklat. Kondisi ini berpengaruh pada reflektansi warna citra. Warna yang ditampilkan pada citra adalah warna abu-abu.

Pengklasifikasian jenis penutupan lahan tersebut tidak jauh berbeda dengan Jaya et al. (2001) yang membagi kelas penutupan lahan di Tanjung Karawang, Kecamatan Muara Gembong berdasarkan citra satelit Landsat TM menjadi delapan kategori, yaitu: (i) laut 1; (ii) laut 2; (iii) kolam ikan; (iv) persawahan; (v) permukiman; (vi) pertanian lahan kering; (vii) sungai; dan (viii) mangrove. Hasil

pengkelasan tersebut memiliki perbandingan pola warna citra dan tampilan nyata (*real view*) menggunakan resolusi citra yang lebih tinggi seperti diperlihatkan pada Tabel 13. Resolusi citra yang lebih tinggi diperoleh dari Google Maps (<http://maps.google.co.id/>).

**Tabel 13** Perbandingan kelas penutupan lahan berdasarkan tampilan visual

Kelas	Pola warna RGB-453	Tampilan google maps
Laut 1		
Laut 2		
Mangrove		
Tanah terbuka/terbangun		
Padi 1		
Kebun campuran		
Padi 2		
Tambak		
Sungai		



**Gambar 7.** Pola spektral kelas jenis penutupan lahan berdasarkan citra 2001

Analisis pola spektral telah dilakukan pada semua kelas jenis penutupan lahan berdasarkan tampilan visual citra komposit RGB-453. Pada Gambar 7, pola spektral menunjukkan pemisahan yang baik antar jenis kelas jenis penutupan lahan tersebut, terutama pada Band 3, 4, dan 5. Seperti yang terlihat pada pola spektral di atas, hasil analisis menunjukkan bahwa reflektansi kelas mangrove mengalami peningkatan pada Band 4 dan kembali menurun pada Band 5 sampai Band 7. Hal ini menunjukkan bahwa pola spektral mangrove menyerupai pola spektral vegetasi pada umumnya seperti yang diungkapkan Jaya et al. (2001) bahwa reflektansi mangrove akan selalu meningkat ketika panjang gelombang meningkat dari Band 3 (merah:  $0,63-0,69 \mu\text{m}$ ) ke Band 4 (inframerah dekat:  $0,76-0,90 \mu\text{m}$ ), kemudian menurun pada Band 5 (infra merah tengah:  $1,55-1,75 \mu\text{m}$ ) dan Band 7 ( $2,09-2,35 \mu\text{m}$ ).

Pola yang sama juga ditunjukkan pada jenis kelas kebun campuran dan padi 1. Kedua jenis penutupan lahan tersebut memiliki pola reflektansi yang meningkat dari Band 3 ke Band 4 dan kembali menurun pada Band 5 sampai Band 7. Perbedaan utama pola spektral ketiga jenis penutupan lahan tersebut terletak pada Band 5. Seperti hasil analisis visual pada band tunggal, vegetasi mangrove terlihat lebih jelas pada Band 5. Band 5 terletak pada selang panjang gelombang  $1,55-1,75 \mu\text{m}$  yang mampu menunjukkan kandungan air pada tanaman, kondisi kelembaban tanah dan berguna untuk membedakan awan dengan salju. Berdasarkan informasi tersebut dapat diketahui bahwa tingkat kelembaban permukaan tanah paling tinggi adalah pada mangrove kemudian diikuti kebun campuran dan padi 1. Hal ini kemungkinan dikarenakan kebun campuran relatif dapat menjaga kelembaban tanahnya dari pada padi yang sudah memasuki masa panen.

Selain analisis visual, analisis kuantitatif dilakukan untuk mengetahui tingkat keterpisahan masing-masing jenis penutupan lahan tersebut. Analisis kuantitatif untuk mengukur tingkat keterpisahan masing-masing kelas penutupan lahan digunakan indeks separabilitas *Transformed Divergence* (TD). Indeks ini mempertimbangkan rataan dan varians nilai statistik dalam membandingkan jenis penutupan lahannya. Selang nilai TD adalah antara 0 sampai 2.000. Apabila TD lebih dari 1.900 maka keterpisahan antar jenis penutupan lahan realtaif baik, namun apabila kurang dari 1.700 maka keterpisahan antar objek buruk (Jensen 1986). Menurut Jaya et al. (2001), nilai indeks TD dikatakan sempurna apabila memiliki nilai 2.000, dikatakan baik apabila nilai TD berada di atas 1.900,

dikatakan cukup apabila berada di atas 1.700, dikatakan buruk apabila berada di atas 1.600, dan dikatakan tidak terpisahkan apabila berada di bawah 1.600. Apabila nilai TD sama dengan atau lebih kecil dari 1.500 maka area contoh tersebut dapat digabungkan atau dihapuskan dengan mengganti area contoh yang baru.

Berdasarkan hasil uji tingkat keterpisahan (Tabel 14) dapat dilihat bahwa keterpisahan antar kelas relatif baik. Keterpisahan mangrove sebagai objek kajian utama terhadap kelas penutupan lahan yang lainnya mencapai derajat sempurna untuk citra tahun 2010 dan mencapai derajat baik untuk citra tahun 2001. Pada citra tahun 2001 terdapat area mangrove yang beririsan dengan area kebun campuran dan tambak. Jika ditinjau kembali pola spektral masing-masing kelas penutupan lahan terlihat bahwa pola spektral mangrove hampir sama dengan pola spektral kebun campuran. Namun pola spektral mangrove berbeda dengan pola spektral tambak. Irisan antara area mangrove dan tambak kemungkinan disebabkan oleh pola sebaran mangrove dan tambak yang berasosiasi terutama pada area tambak yang ditanami mangrove oleh petani.

#### Kondisi penutupan lahan

Citra tahun 2001 dan 2010 diklasifikasikan menggunakan teknik klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) metode kemiripan maksimum (*maximum likelihood*). Dalam klasifikasi terbimbing, harus dibuat suatu *training area* (area contoh) guna mendapatkan penciri kelas (ragam-peragam, mean, minimum, dan maksimum). Masing-masing atau kelompok area mewakili satu kelas penutupan lahan. Secara teoritis jumlah piksel yang harus diambil per kelas sebanyak jumlah band yang digunakan plus 1 ( $N+1$ ) (Jaya 2009). Setiap kelas penutupan lahan dibuatkan sepuluh area contoh. Setiap area contoh dievaluasi pola spektralnya untuk mendapatkan area contoh yang sesuai dengan kelas penutupan lahan yang diinginkan.

Area contoh untuk kelas tambak pada citra tahun 2001 memiliki pola spektral yang menyerupai pola spektral vegetasi yaitu meningkat pada Band 4. Hal ini disebabkan oleh terdapatnya vegetasi pada area yang dipilih sebagai tambak tersebut. Vegetasi dapat berupa mangrove atau berasosiasi dengan tambak di bagian galangan tambak atau tumbuhan air yang tumbuh hidup di permukaan tambak.

Keseluruhan area contoh yang terpilih dievaluasi tingkat akurasi menggunakan matriks kontingensi yang sering disebut sebagai *error matrix* atau *confusion matrix*. Dalam matriks kontingensi ini dapat dihitung besarnya nilai *producer's accuracy* (PA/akurasi pembuat) dan *user's accuracy* (UA/akurasi pengguna) dari setiap kelas. Akurasi pembuat adalah nilai akurasi yang diperoleh dengan membagi jumlah piksel yang terklasifikasikan dengan benar terhadap jumlah total piksel area contoh setiap kelas. Sedangkan akurasi pengguna adalah nilai akurasi yang diperoleh dengan membagi jumlah piksel yang terklasifikasikan dengan benar terhadap jumlah piksel yang terklasifikasikan ke dalam kelas tersebut (Jaya 2009). Metode yang digunakan dalam menghitung matriks kontingensi tersebut adalah metode *maximum likelihood*.

**Tabel 14** Nilai indeks TD pada setiap jenis penutupan lahan

Kelas penutupan lahan	Laut 1	Laut 2	Mangrove	Tanah terbuka	Padi 1	Kebun campuran	Padi 2	Tambak	Sungai
<b>Citra 2001</b>									
Kelas 1	0								
Kelas 2	2.000	0							
Kelas 3	2.000	2.000	0						
Kelas 4	2.000	2.000	2.000	0					
Kelas 5	2.000	2.000	2.000	2.000	0				
Kelas 6	2.000	2.000	1.989	2.000	2.000	0			
Kelas 7	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0		
Kelas 8	2.000	2.000	1.985	2.000	2.000	2.000	1.972	0	
Kelas 9	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.995	2.000	0
<b>Citra 2010</b>									
Kelas 1	0								
Kelas 2	2.000	0							
Kelas 3	2.000	2.000	0						
Kelas 4	2.000	2.000	2.000	0					
Kelas 5	2.000	2.000	2.000	2.000	0				
Kelas 6	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0			
Kelas 7	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0		
Kelas 8	2.000	1.997	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0	
Kelas 9	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0

Selain akurasi pembuat dan pengguna, matriks kontingensi dapat digunakan untuk menghitung nilai *Overall accuracy* (OA) dan *Kappa accuracy* (KA). Akurasi overall menekankan hasil klasifikasi yang difokuskan hanya pada diagonal utama pada matriks konkingensi, sedangkan akurasi kappa menghitung pola distribusi akurasi pada kelas-kelas yang dibuat. Akurasi kappa adalah suatu ukuran dalam menilai hasil klasifikasi dengan menggunakan data referensi yang berupa data dari area contoh yang dibuat. Selang nilai akurasi kappa adalah antara 0,0 sampai dengan 1,0. Nilai 1,0 menunjukkan bahwa hasil klasifikasi sangatlah tepat dan sesuai dengan data referensi (Arhatin 2007). Lebih lanjut Arhatin (2007) mengatakan bahwa jika nilai akurasi kappa lebih dari 0,75 menunjukkan derajat hasil klasifikasi yang baik, sedangkan jika nilainya kurang dari 0,4 menunjukkan derajat hasil klasifikasi yang buruk.

Tabel 15 memperlihatkan dengan lebih detil distribusi piksel-piksel referensi yang terklasifikasi. Berdasarkan tabel tersebut, piksel data referensi kelas mangrove citra tahun 2001 terkelaskan sebanyak 98,06% sebagai mangrove, 0,65% sebagai kebun campuran, dan 1,29% sebagai tambak. Sedangkan pada citra tahun 2010 menunjukkan bahwa seluruh piksel data referensi terkelaskan sebagai mangrove. Selain itu, pada kelas mangrove citra tahun 2001 hasil klasifikasi menunjukkan bahwa tidak ada piksel dari kelas penutupan lahan yang lainnya yang terkelaskan kedalam kelas mangrove. Sedangkan untuk kelas mangrove citra tahun 2010 menunjukkan bahwa terdapat 0,13% piksel kebun campuran yang terkelaskan sebagai mangrove. Secara umum dapat diketahui bahwa masing-masing area contoh yang dibuat telah terkelaskan dengan baik. Demikian pula untuk kelas mangrove.

Salah satu faktor penting dalam keberhasilan pemetaan mangrove adalah pemilihan metode klasifikasi citra. Klasifikasi citra secara umum bertujuan untuk mengelaskan piksel-piksel menjadi kelas penutupan lahan yang sesuai. Menurut Jaya (2009), metode kemiripan maksimum (*maximum likelihood*) merupakan metode yang paling umum digunakan dan merupakan metode standar dalam mengklasifikan citra. Metode ini mempertimbangkan berbagai faktor seperti peluang suatu piksel untuk dikelaskan kedalam kelas tertentu.

Citra tahun 2001 dan tahun 2010 diklasifikasikan menggunakan metode kemiripan maksimum sehingga didapatkan peta penutupan lahan. Berdasarkan uji akurasi klasifikasi, citra tahun 2010 yang diklasifikasikan memiliki tingkat akurasi klasifikasi overall (*overall classification accuracy*) sebesar 83,33%, sedangkan statistik kappa overall bernilai 77,29%. Nilai ini berada di bawah standar akurasi yang ditetapkan oleh USGS sebesar 85% untuk citra Landsat ETM+. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh jumlah *ground truth* yang digunakan sebagai data referensi uji akurasi tidak proporsional sesuai dengan kelas penutupan lahan yang ditentukan.

Koordinat *ground truth* yang digunakan sebanyak 35 titik. Tiga puluh lima titik tersebut diperoleh pada kegiatan peninjauan lapang bersama Tim Terpadu Muara Gembong, Ditjenplan Kemenhut RI. Koordinat tersebut diambil pada Bulan Desember 2009 sehingga kemungkinan beberapa titik yang berada pada tipe penggunaan lahan sebagai pertanian mengalami perubahan tipe penutupan lahan pada tahun 2010 saat citra direkam oleh satelit.

Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa citra tahun 2010 memiliki areal mangrove yang lebih luas dari pada citra tahun 2001. Luas area mangrove pada citra tahun 2010

seluas 822,24 ha sedangkan pada citra tahun 2001 seluas 540,72 ha. Pertumbuhan luas mangrove dalam kurun waktu + 9 tahun sebesar 281,52ha atau sekitar 52,06 % luas awal. Luas kelas penutupan lahan yang lainnya dapat dilihat pada Tabel 16.

Luas penutupan lahan (*land-cover*) di Muara Gembong berkaitan dengan pola penggunaan lahan (*land-use*). Beberapa kelas penutupan lahan dapat berubah dengan relatif cepat dibandingkan dengan kelas lainnya. Kelas-kelas yang relatif cepat berubah biasanya terletak pada tipe penggunaan lahan sebagai areal budidaya seperti pertanian dan perikanan. Tipe penutupan sawah dan kebun campuran akan berubah seiring dengan berubahnya rotasi kegiatan pertanian seperti panen dan pengolahan lahan. Selain itu,

area tambak akan dikeringkan setelah panen untuk kemudian dipupuk guna meningkatkan pakan organik bagi ikan dan udang.

Pertumbuhan mangrove paling banyak terdapat pada daerah pantai. Namun juga ditemukan titik-titik pertumbuhan mangrove yang ditemukan disepanjang sungai maupun berasosiasi pada areal pertanian budidaya. Mangrove yang berkembang pada areal pertanian budidaya biasanya merupakan mangrove yang berasosiasi dengan tambak. Jika diperhatikan pola sebaran mangrove pada areal yang jauh dari sungai atau pantai, dapat diketahui bahwa kemungkinan mangrove tersebut adalah jenis kebun campuran yang terkelaskan sebagai mangrove karena jumlah *ground truth* yang diambil kurang memadai.

**Tabel 15.** Nilai akurasi berdasarkan matriks kontingensi

Data klasifikasi (%)	Data referensi (%)								
	Laut 1	Laut 2	Mangrove	Tanah terbuka	Padi 1	Kebun campuran	Padi 2	Tambak	Sungai
<b>Citra 2001</b>									
Kelas 1	99,98	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kelas 2	0,03	99,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kelas 3	0,00	0,00	98,06	0,00	0,00	0,65	0,00	1,29	0,00
Kelas 4	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kelas 5	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kelas 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Kelas 7	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	94,40	5,42	0,00
Kelas 8	0,13	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	98,70	0,13
Kelas 9	0,00	2,74	0,00	0,00	0,00	0,00	2,40	0,00	94,86
<b>Citra 2010</b>									
Kelas 1	99,98	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kelas 2	0,07	99,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00
Kelas 3	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kelas 4	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kelas 5	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kelas 6	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	99,87	0,00	0,00	0,00
Kelas 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,74	0,00	0,26
Kelas 8	0,00	4,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	95,90	0,00
Kelas 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,92	2,19	94,89

**Tabel 16** Luas penutupan lahan hasil klasifikasi citra tahun 2001 dan 2010

Kelas	Tahun 2010			Tahun 2001		
	Piksel	Ha	%	Piksel	Ha	%
Laut 1	0	0	0,00	473	42,57	0,31
Laut 2	5.696	512,64	3,75	4.571	411,39	3,01
Mangrove	9.136	822,24	6,01	6.008	540,72	3,95
T. Terbuka	9.680	871,2	6,37	8.750	787,5	5,75
Padi 1	5.456	491,04	3,59	9.966	896,94	6,55
Kebun	11.259	1.013,31	7,40	10.997	989,73	7,23
Padi 2	2.344	210,96	1,54	20.712	1.864,08	13,62
Tambak	100.902	9.081,18	66,35	70.152	6.313,68	46,13
Sungai	7.596	683,64	5,00	20.440	1839,6	13,44
Jumlah	152.069	13.686,21	100,00	152.069	13.686,21	100,00

### Biomassa dan kerapatan mangrove

Proses pendugaan potensi biomassa dan kerapatan mangrove di kawasan Muara Gembong dilakukan dengan pendekatan tidak langsung yaitu dengan metode alometrik. Alometrik yang digunakan adalah alometrik yang berasal dari penelitian terdahulu. Dalam pendugaan potensi biomassa digunakan persamaan alometrik yang dikembangkan oleh Prasetyo et al. (2000) yang meneliti potensi biomassa mangrove di Kabupaten Cilacap, Jawa Barat. Sedangkan untuk pendugaan kerapatan mangrove digunakan persamaan alometrik yang dikembangkan oleh Arhatin (2007) yang meneliti tingkat kerapatan mangrove di Kabupaten Berau, Kalimantan Timur.

Perbedaan kedua lokasi penelitian tersebut dengan lokasi penelitian di Muara Gembong dapat menjadi penyebab bias data hasil pendugaan. Karakteristik ekosistem kedua tempat di atas dengan lokasi penelitian di Muara Gembong dapat menyebabkan pola liputan citra yang berbeda. Namun dengan pendekatan metodologis yang sama diharapkan dapat meminimalkan bias yang mungkin terjadi. Aspek metodologis yang sama tersebut diantaranya adalah metode koreksi radiometrik dan teknik serta metode klasifikasi citra. Metode koreksi radiometrik yang digunakan adalah metode *histogram adjustment*, sedangkan teknik dan metode klasifikasi citra yang digunakan adalah teknik terbimbing (*supervised classification*) dengan metode kemiripan maksimum (*maximum likelihood*).

Citra Landsat tahun 2001 dan 2010 yang telah dikoreksi secara radiometrik dikonversi menjadi peta sebaran kelas NDVI. Peta sebaran kelas NDVI ini selanjutnya diinterseksikan dengan peta sebaran mangrove sehingga diperoleh peta sebaran NDVI untuk kelas mangrove. Setiap piksel pada peta sebaran tersebut diinterpolasikan dengan persamaan alometrik di atas untuk mendapatkan nilai potensi biomassa dan kerapatan vegetasi mangrove.

Berdasarkan nilai interpolasi nilai NDVI kelas mangrove, potensi biomassa vegetasi mangrove tahun 2001 sebesar 46,7 ton/ha kemudian pada tahun 2010 menjadi sebesar 53,5 ton/ha. Total potensi biomassa mangrove di Muara Gembong pada tahun 2001 sebesar 25.251,62 ton kemudian meningkat menjadi 43.989,84 ton pada tahun 2010. Total pertambahan potensi selama sembilan tahun sebesar 18.738,22 ton atau sekitar 2.082,22 ton/tahun.

Sedangkan untuk kerapatan mangrove pada tahun 2001 mencapai 55,78% kemudian menjadi 8,43% pada tahun 2010. Nilai yang diperoleh berbanding terbalik dengan potensi biomassa dan luas vegetasi mangrove. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh persamaan alometrik yang digunakan untuk mengekspresikan data NDVI dalam mendapatkan nilai kerapatan mangrove tidak sesuai.

Dengan kata lain, sebaran nilai NDVI kelas mangrove citra tahun 2010 berada di luar *R-square* persamaan tersebut.

### KESIMPULAN

Perkembangan Oosit karang lunak *Sarcophyton crassocaule* antara hasil fragmentasi dan non fragmentasi (alam) tidak berbeda nyata pada umur 8 bulan maupun 10 bulan setelah fragmentasi. Fragmentasi tidak mempengaruhi perkembangan Oosit pada karang lunak baik pada bulan ke-8 maupun ke-10 setelah fragmentasi. Kedalaman penanaman hasil fragmentasi tidak menunjukkan perbedaan yang nyata antara penanaman di kedalaman 3 ataupun 12 meter.

### DAFTAR PUSTAKA

- Arhatin RE. 2007. Pengkajian Algoritma Indeks Vegetasi Dan Metode Klasifikasi Mangrove Dari Data Satelit Landsat-5 Dan Landsat-7 ETM+ (Studi Kasus di Kabupaten Berau, Kaltim). [Thesis]. Program Pascasarjana IPB. Bogor.
- Chavez PS, Jr, Berlin GL, Sowers LB. 1982. Statistical method for selecting Landsat MSS ratios. *J Appl Photograph Eng* 8 (1): 23-30.
- FAO. 2003. Status and trends in mangrove area extent worldwide. In: Wilkie ML, Fortuna S (eds.). *Forest Resources Assessment Working Paper No. 63*. Forest Resources Division. FAO, Rome.
- Jaya INS, Saleh MB, Ismail RI, Nurwanto H, Kusmana C, Abe N. 2001. Practical technique for detecting mangrove vegetation using digital MOS Messr and Landsat-5 TM Images: A case study in Karawang Cape, West Java. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 7 (1): 23-36.
- Jaya INS. 2009. Analisis Citra Digital : Perspektif Penginderaan Jauh Untuk Pengelolaan Sumberdaya Alam. Fakultas Kehutanan IPB, Bogor.
- Jensen JR. 1986. *Introductory Digital Image Processing*. Prentice-Hall, New Jersey.
- Peraturan Daerah Kabupaten Bekasi Nomor 4 Tahun 2007 Tentang Perubahan Atas Peraturan Daerah Kabupaten Bekasi Nomor 4 Tahun 2003 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Bekasi Tahun 2003-2013
- Prasetyo LB, Saito G, Tsuruta H. 2000. Development of database for ecosystem changes and emissions changes of GHG using remote sensing and GIS in Sumatra Island, Indonesia. *Proceedings of the 21st Asian Conference on Remote Sensing*, Taipei
- Samsuri. 2004. Aplikasi Penginderaan Jauh dalam Pengelolaan sumberdaya Hutan. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Surat Keputusan Menteri Kehutanan No. 475/Menhut-II/2005 tahun 2005 tentang Alih Status Kawasan Hutan Lindung Ujung Krawang (Muara Gembong)
- Surat Keputusan Menteri Pertanian No. 92/UM/54, tahun 1954 tentang penetapan hutan lindung Muara Gembong
- TIM PIDD [Tim Penyusun Inventarisasi Data Dasar Survey Sumber Daya Alam Pesisir dan Laut]. 2003. *Sumber Daya Mangrove Pulau Madura dan Kepulauan Kangean Jawa Timur*. Bakosurtanal. Bogor.
- USGS [United States Geological Survey]. 2010. SLC-off Products: Background. U.S. Geological Survey. Sioux Falls, SD. [http://landsat.usgs.gov/products\\_slc\\_offbackground.php](http://landsat.usgs.gov/products_slc_offbackground.php)