

ANALISIS SALURAN SPEKTRAL YANG PALING BERPENGARUH DALAM IDENTIFIKASI KESEHATAN TERUMBU KARANG: Studi Kasus Pulau Menjangan Besar dan Menjangan Kecil, Kepulauan Karimunjawa

*(The Analysis of the Most Effective Spectral Bands for Coral Reefs Health Identification:
Case Study on Menjangan Besar and Menjangan Kecil Island, Karimunjawa Islands)*

Sigit Heru Murti dan Pramaditya Wicaksono

Program Studi Kartografi dan Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
Sekip Utara, Bulaksumur, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281
E-mail: sigit.heru.m@ugm.ac.id, prama.wicaksono@geo.ugm.ac.id

Diterima (received): 20 Oktober 2014; Direvisi (revised): 5 November 2014; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 13 November 2014

ABSTRAK

Salah satu faktor yang berpengaruh dalam penggunaan teknologi penginderaan jauh untuk identifikasi tingkat kesehatan terumbu karang adalah konfigurasi saluran spektral sensor. Pemahaman tentang saluran spektral yang berpengaruh positif terhadap proses identifikasi kesehatan terumbu karang sangat penting dalam efisiensi pemetaan, baik dari segi waktu maupun akurasi yang didapatkan. Penelitian ini bertujuan untuk mencari saluran spektral yang berkontribusi positif terhadap identifikasi kesehatan terumbu karang, dengan menggunakan bantuan analisis PCA (Principle Component Analysis) dan Factor Loadings pada citra Landsat 7 ETM+ dan ASTER. Tingkat kesehatan terumbu karang dilihat dari persentase tutupan karang hidupnya dan dibagi menjadi empat kelas yaitu Sangat Baik (>75% tutupan karang hidup), Baik (50-74%), Sedang (25-49%) dan Rusak (<25%). Untuk mengetahui saluran spektral yang paling baik dalam identifikasi kesehatan terumbu karang, klasifikasi multispektral dilakukan pada kombinasi PC (Principle Component) band dan dilakukan uji akurasi. Hasil uji akurasi dipasangkan dengan hasil analisis Factor Loadings untuk melihat kontribusi tiap saluran spektral pada tiap akurasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa saluran hijau merupakan saluran yang berkontribusi paling tinggi dan saluran merah adalah saluran memberikan kontribusi paling rendah. Saluran biru, yang merupakan saluran dengan penetrasi tubuh air paling baik, memberikan kontribusi yang lebih rendah dibandingkan dengan saluran hijau karena tingginya hamburan Rayleigh yang terjadi pada saluran biru tersebut.

Kata Kunci: Landsat 7 ETM+, ASTER, PCA, factor loadings, terumbu karang

ABSTRACT

One of the major factors to determine the success of remote sensing identification for coral reefs health is the spectral resolution of the sensor. The understanding about the characteristic of spectral bands contribute positively to the identification of coral reefs health is very important for the effective and satisfactory mapping results. This research aimed to identify the most effective spectral band for the coral reefs health identification, using Principle Component Analysis (PCA) and factor loadings analysis. Landsat 7 ETM+ and ASTER VNIR images were used in this research. Coral reefs health condition is determined from the percentage of live coral cover and divided into four ordinal classes: very good (>75% live coral reefs cover), good (50-74%), medium (25-49%), and bad (<25%). To find the most effective bands for coral reefs health identification, multispectral classification was applied on Principle Component (PC) bands combinations. Afterward, the mapping accuracy of each PC bands combination was assessed. Each accuracy assessment result was evaluated with factor loadings analysis result to understand the contribution of different spectral bands on the resulting mapping accuracy. The results show that green band is the most effective spectral band which provides the highest contribution to the mapping, while red band provide the lowest contribution. Blue band, which is the best water penetration band, was less efficient than green band due to the strong Rayleigh scattering that affects more significantly on shorter wavelengths.

Keywords: Landsat 7 ETM+, ASTER, PCA, factor loadings, coral reefs

PENDAHULUAN

Dalam mengidentifikasi kesehatan terumbu karang dengan menggunakan data penginderaan jauh, penting untuk mengetahui faktor-faktor yang dapat memberikan kontribusi positif dalam prosesnya. Salah satu faktor yang mempengaruhi kemampuan suatu sensor dalam melakukan identifikasi kesehatan terumbu karang adalah konfigurasi saluran spektralnya (Hedley *et al.*, 2012). Saat ini dengan berkembangnya teknologi penginderaan jauh, dihasilkan banyaknya sensor multispektral maupun hiperspektral dengan kombinasi saluran spektral yang bervariasi, mulai dari sinar tampak hingga inframerah. Banyaknya saluran spektral yang tersedia menyebabkan pentingnya untuk mengetahui saluran spektral mana yang berkontribusi positif dan efektif, dengan tujuan untuk efisiensi waktu pengolahan dan untuk mendapatkan hasil yang akurat.

Salah satu cara untuk mengetahui kontribusi saluran spektral terhadap akurasi klasifikasi adalah dengan melakukan analisis *factor loadings* pada citra hasil transformasi PCA (*Principle Component Analysis*). Analisis *factor loadings* merupakan suatu analisis statistik yang dapat digunakan untuk memberikan informasi mengenai kontribusi data masukan terhadap data hasil transformasi. Dalam hal ini, transformasi yang digunakan adalah PCA. Analisis *factor loadings* mampu memberikan informasi kuantitatif mengenai kontribusi tiap saluran spektral pada tiap PC (*Principle Component band*).

Citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Landsat 7 ETM+ dan ASTER VNIR. Kedua citra ini memiliki kombinasi saluran spektral yang cukup lengkap dan telah banyak digunakan secara umum untuk berbagai macam aplikasi penginderaan jauh untuk inventarisasi sumber daya alam pesisir dan habitat bentik (Capolsini *et al.*, 2003; Goodman *et al.*, 2013). Citra Landsat 7 ETM+ dan ASTER VNIR mempunyai perbedaan pada resolusi spektralnya, dimana ASTER VNIR tidak memiliki saluran biru yang merupakan saluran dengan penetrasi tubuh air paling baik. Tingginya kemampuan saluran biru untuk melakukan penetrasi ke dalam tubuh air memungkinkan saluran biru untuk mampu melakukan identifikasi terumbu karang pada wilayah yang lebih dalam. Kemampuan penetrasi saluran biru ini telah dibuktikan melalui penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Jupp (1988) dan Stumpf & Holderied (2003) yang menggunakan saluran biru maupun kombinasi saluran biru untuk melakukan pemetaan batimetri pada laut dangkal optis.

Berdasarkan pantulan spektralnya, terumbu karang akan memberikan variasi pantulan spektral yang berbeda pada kondisi yang berbeda. Adanya lapisan tipis alga yang menutupi terumbu karang dan atau *zooxanthellae* yang bersimbiosis dengan terumbu karang akan memberikan pola spektral

unik pada saluran-saluran serapan khlorofil. Lebih lanjut, terumbu karang terletak di bawah air dimana kemampuan penetrasi dari tiap saluran berbeda-beda dan terbatas. Kondisi ini menambah kerumitan dalam proses identifikasi variasi terumbu karang secara spektral. Sehingga dalam identifikasi kesehatan terumbu karang, sangat penting untuk mengetahui faktor yang lebih berpengaruh, antara kemampuan spektral sensor dalam membedakan karakteristik terumbu karang atau kemampuan dalam melakukan penetrasi dalam tubuh air. Selain itu, kontribusi saluran biru sebagai saluran dengan penetrasi tubuh air paling baik dalam identifikasi kesehatan terumbu karang juga dianalisis.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui saluran spektral yang paling baik dan berkontribusi positif dalam identifikasi kesehatan terumbu karang, dengan menggunakan analisis *factor loadings*. Penelitian ini tidak memasukkan pengaruh habitat bentik, namun lebih pada variasi kesehatan terumbu karang itu sendiri. Hasil yang diharapkan nantinya adalah pemahaman mengenai saluran spektral yang paling baik dalam membedakan terumbu karang sehat dengan terumbu karang rusak, bukan bagaimana membedakan terumbu karang dengan pasir atau habitat bentik lainnya. Meskipun demikian, secara tidak langsung hasil penelitian ini juga akan menunjukkan perbedaan antar-habitat bentik.

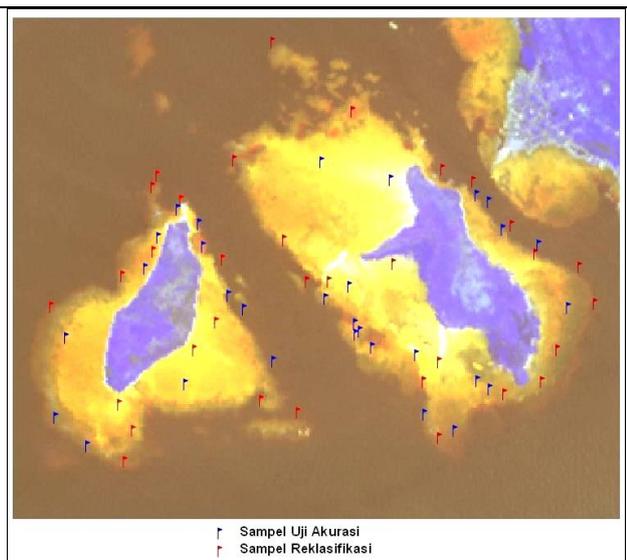
Pulau Menjangan Besar dan Menjangan Kecil terletak di barat daya dari Pulau Karimunjawa yang merupakan bagian dari Kecamatan Karimunjawa Kabupaten Jepara dan juga di bawah pengelolaan Balai Taman Nasional Laut Karimunjawa. Kedua pulau ini dikelilingi oleh berbagai macam habitat bentik seperti pasir, makro alga, padang lamun, dan terumbu karang. Pasir mendominasi sekitar pulau dan berasosiasi dengan beberapa komunitas makro alga dan lamun. Terumbu karang hidup dengan kondisi yang bervariasi pada kedalaman 2-20 m mulai dari daerah paparan hingga daerah tubir (Nababan *dkk.*, 2010). Daerah dengan tutupan terumbu karang paling tinggi terletak pada daerah *reef crest* dan *fore reef*. Lokasi wilayah penelitian disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (dalam kotak).

METODE

Survei lapangan dilakukan pada tanggal 15-16 Mei 2008 dengan kondisi cuaca cerah untuk mengambil data habitat bentik sebagai input *training area* untuk reklasifikasi citra hasil transformasi dan uji akurasi. Metode pengambilan sampel adalah *stratified random sampling* dengan memanfaatkan citra hasil klasifikasi multispektral tak terselia *Isodata* sebagai satuan pemetaannya. Informasi tutupan habitat bentik pada tiap sampel diambil dengan meletakkan kuadrat berukuran 1x1 m di atas habitat bentik dengan pengulangan empat kali sembari posisinya dicatat dengan menggunakan GPS (*Global Positioning System*). Informasi yang dicatat adalah tutupan dan komposisi habitat bentik dalam luasan sampel tersebut. Selain itu untuk kepentingan analisis data, sketsa tutupan habitat bentik pada tiap sampel juga dibuat. Jumlah sampel total adalah sebanyak 63 yang terdistribusi merata di Pulau Menjangan Besar dan Menjangan Kecil. Sebanyak 37 sampel diperoleh di Pulau Menjangan Besar dan 26 sampel diperoleh di Pulau Menjangan Kecil, seperti disajikan pada **Gambar 2**. Sampel tersebut dikelaskan berdasarkan persentase tutupan karang hidupnya berdasarkan **Tabel 1**.



Gambar 2. Sebaran sampel habitat bentik untuk proses reklasifikasi dan uji akurasi.

Tabel 1. Skema klasifikasi kesehatan terumbu karang berdasarkan persentase tutupan karang hidup (Wicaksono & Murti, 2011).

No	Kelas	Persentase Karang hidup (%)
1	Sangat Baik	>75
2	Baik	50-75
3	Sedang	25-50
4	Rusak	<25

Pengolahan Citra Digital

Data Penginderaan Jauh

Citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Landsat 7 ETM+ dengan tanggal perekaman 6 September 2001 dan ASTER VNIR dengan tanggal perekaman 26 Agustus 2004. Kedua citra memiliki resolusi radiometrik 8-bit. Meskipun ada perbedaan waktu perekaman antar-kedua citra, diasumsikan tidak banyak perubahan kondisi habitat bentik yang terjadi selama rentang waktu tersebut. Kondisi atmosfer pada bulan September dan Agustus yang sama-sama berada pada musim panas diasumsikan mirip.

Ditambah dengan informasi bahwa terumbu karang di Indonesia rata-rata tumbuh dengan kecepatan 2-4 cm per tahun sehingga perubahan yang terjadi selama tiga tahun tidak akan terlalu berpengaruh dan mengubah pantulan spektral pada piksel kedua citra yang memiliki resolusi spasial 15 m dan 30 m tersebut.

Koreksi Citra

Koreksi yang diterapkan pada kedua citra mencakup koreksi radiometrik dan *masking* daratan. GCP (*Ground Control Point*) yang digunakan untuk koreksi geometrik diperoleh dari citra satelit resolusi tinggi Quickbird. Koreksi geometrik sangat penting untuk dilakukan karena lokasi sampel hasil survei lapangan banyak yang jatuh pada daratan ketika diplot pada citra yang belum dikoreksi geometrik. Terlebih lagi, karena kedua citra nantinya akan dibandingkan, maka pada kedua citra digunakan lokasi GCP yang sama untuk meminimalisir bias lokasi (*spatial displacement*) antara kedua citra tersebut.

Kalibrasi sensor dilakukan dengan mengkonversi nilai DN (*digital number*) ke nilai spektral radiansi menggunakan nilai bias dan gain pada header Landsat 7 ETM+ dan ASTER VNIR. Nilai spektral radiansi dari kedua citra tersebut dikonversi ke TOA (*Top of Atmospheric*) reflektansi menggunakan prosedur standar (Abramset *et al.*, 1999; Chandler *et al.*, 2009). Koreksi atmosferik digunakan untuk menekan efek gangguan atmosferik pada citra pada saat perekaman. Metode koreksi atmosfer yang digunakan adalah metode *dark pixels subtract* (Chavez *et al.*, 1977; Armstrong, 1993). Koreksi ini mampu menormalisasi *path radiance* pada citra yang direkam pada kondisi atmosfer yang berbeda (Wicaksono & Danoedoro, 2012). Koreksi ini mengasumsikan ada objek yang menyerap energi matahari dengan sempurna. Sehingga objek tersebut bernilai minimal yang berarti objek tersebut mempunyai pantulan paling rendah dalam suatu scene citra. Laut dalam adalah objek yang diasumsikan mempunyai nilai minimal tersebut, sehingga nilai laut di atas minimal adalah bias atau

offset akibat pengaruh atmosfer. Untuk mendapatkan nilai offset akibat pengaruh atmosfer, nilai rata-rata dan standar deviasi dari nilai piksel laut dalam optis di tiap band dihitung dengan rumusnya seperti pada **Persamaan 1**.

$$L_i = L - (L_{\text{mean}} - (2 \times L_{\text{stdev}})) \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

- L_i = Nilai piksel yang terkoreksi atmosfer
- L = Nilai piksel asli
- L_{mean} = Rata-rata nilai piksel laut dalam
- L_{stdev} = Standar deviasi nilai piksel laut dalam

Setelah koreksi atmosferik dilakukan, piksel daratan di-*masking* agar tidak ikut terproses dalam PCA. *Masking* daratan dilakukan dengan menggunakan data garis pantai hasil interpretasi visual menggunakan komposit 457 pada data Landsat 7 ETM+ dan komposit 321 pada ASTER VNIR.

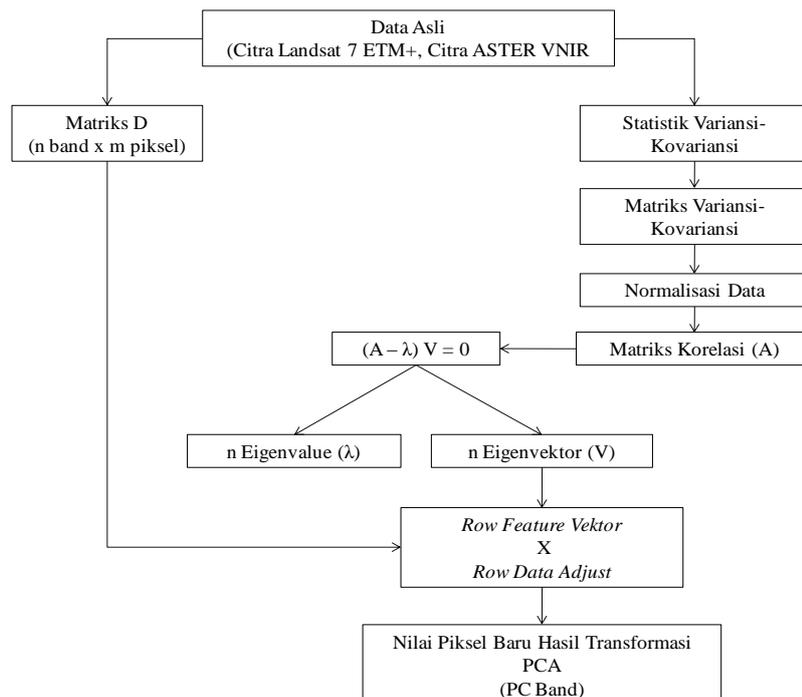
Principle Component Analysis (PCA)

Metode yang digunakan untuk mengetahui kontribusi tiap saluran spektral dalam identifikasi kesehatan terumbu karang adalah PCA dan analisis *factor loadings*. PCA merupakan proses rotasi data untuk mendapatkan data baru yang jumlahnya lebih sedikit namun informasinya efektif dan mampu menonjolkan informasi tersembunyi yang tidak dapat ditampilkan oleh saluran spektral band biasa. Hal ini dikarenakan PC band tidak saling berhubungan satu sama lain, sehingga kemampuan dalam pembedaan objek dan kontras meningkat. Rotasi pada PCA akan menempatkan informasi yang khusus dan unik pada tiap band-nya

(Smith, 2005). Selain itu PCA juga mampu menekan gangguan (*noise*) pada saluran asli dan menempatkan *noise* tersebut pada PC band akhir. Kondisi ini menyebabkan proses *masking* menjadi penting. Apabila proses *masking* tidak dilakukan maka nilai piksel dari laut dan habitat bentik, yang tidak saling berkorelasi antar-*band* karena adanya perbedaan koefisien pelemahan kolom air, akan dianggap *noise* oleh PCA. PCA akan menitik-beratkan proses rotasi pada piksel daratan. Tanpa proses *masking*, analisis PCA mungkin akan merugikan dalam analisis kesehatan terumbu karang berbasis nilai piksel. Saat ini PC band mulai banyak digunakan untuk membantu pemetaan habitat bentik berbasis nilai piksel dan terbukti mampu memberikan peningkatan akurasi klasifikasi yang signifikan pada berbagai tingkat kedetailan pemetaan habitat bentik (Wicaksono, 2014).

Kedua citra yang digunakan memiliki kondisi perekaman dan sensitivitas detektor yang berbeda. Proses perhitungan PCA dilakukan dengan matriks korelasi, tidak menggunakan matriks kovariansi yang nilainya bervariasi tergantung jenis citranya, agar input data statistik kedua citra pada proses PCA mempunyai nilai yang dapat dibandingkan. Proses PCA menggunakan matriks korelasi ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Input dari PCA adalah data statistik citra yang berupa rata-rata, standar deviasi, variansi, kovariansi, dan korelasi dari band yang telah di-*masking*. Statistik tersebut nantinya akan disusun menjadi matriks yang digunakan untuk mendapatkan nilai *eigenvector* dan *eigenvalue* yang digunakan untuk merotasikan data asli (Smith, 2005). Data statistik kedua citra tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.



Gambar 3. Diagram alir proses PCA menggunakan *matriks* korelasi.

Tabel 2. Data statistik Landsat 7 ETM+ setelah proses *masking* daratan.

Band	Min	Max	Mean	Stdev	Variansi
Biru	56	181	81,165	8,958	80,256
Hijau	35	173	44,784	11,062	122,383
Merah	20	210	30,144	8,096	65,559
NIR	0	110	4,974	10,679	114,051

Tabel 3. Data statistik ASTER VNIR setelah proses *masking* daratan.

Band	Min	Max	Mean	StdDev	Variansi
Hijau	0	171,70	44,438	38,185	1458,132
Merah	0	179,83	27,725	30,560	933,923
NIR	0	218,94	20,137	30,717	943,539

Analisis *factor loadings* dilakukan pada dataset PC band. Kontribusi tiap saluran spektral masukan dihitung pada tiap saluran PC band dengan menggunakan rumus pada **Persamaan 2**.

$$R(a, p) = \frac{A(a, p) \times \sqrt{\lambda(p)}}{\sqrt{Var(a)}} \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

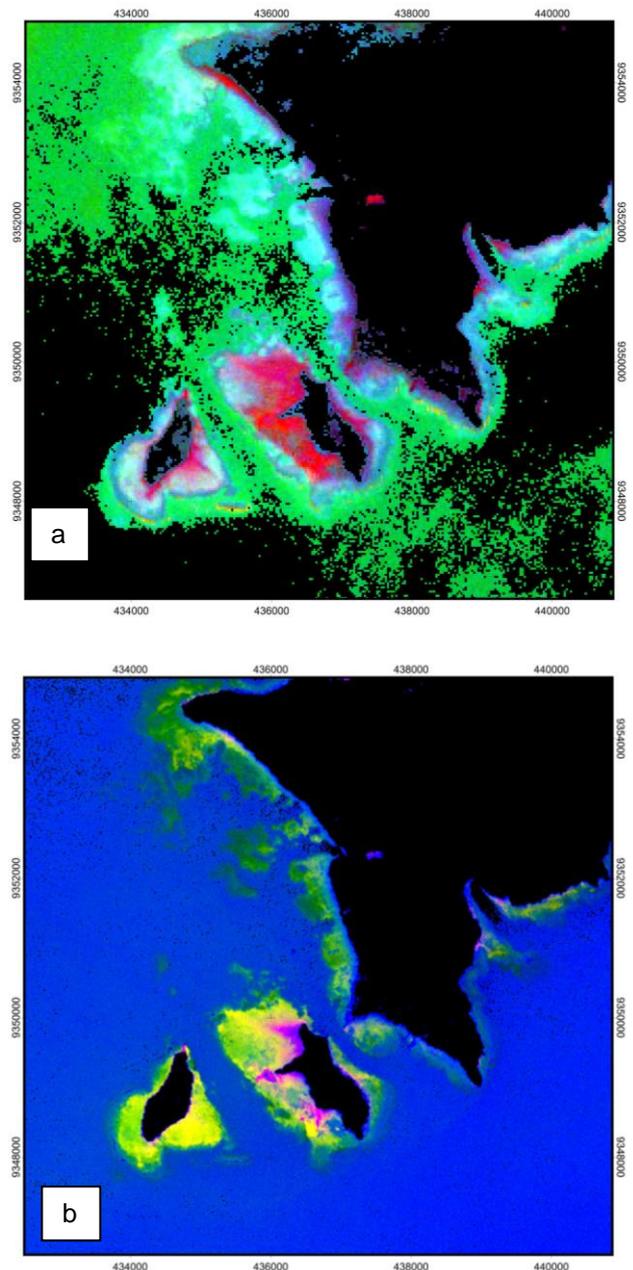
- R(a,p) = Kontribusi saluran **a** pada komponen **p**
- A(a,p) = *Eigenvector* saluran **a** untuk komponen **p**
- λ(p) = *Eiegenvalue* komponen **p**
- Var(a) = Variansi pada saluran **a**

Nilai luaran dari rumus tersebut akan menunjukkan saluran spektral manakah yang mendominasi pada tiap PC *band*. Dengan melakukan klasifikasi digital dan uji akurasi pada tiap kombinasi PC *band*, dapat diketahui kombinasi manakah yang paling tinggi akurasi beserta saluran spektral yang mendominasi dan berkontribusi pada kombinasi PC *band* tersebut. Citra Landsat 7 ETM+ dan ASTER VNIR hasil transformasi PCA dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Klasifikasi Multispektral dan Uji Akurasi

Klasifikasi multispektral *maximum likelihood* dilakukan pada tiap kombinasi PC *band* pada masing-masing sensor. Kombinasi PC *band* yang digunakan sebagai masukan dalam klasifikasi multispektral adalah kombinasi PC 1 dan 2 (PC12), PC1 dan 3 (PC13), PC2 dan 3 (PC23) dan PC 1,2 dan 3 (PC123) dari masing-masing sensor.

Uji akurasi hasil klasifikasi dilakukan menggunakan analisis *confusion matrix*. Melalui analisis ini, dapat diperoleh informasi akurasi keseluruhan (*overall accuracy*), *user accuracy* dan *producer accuracy*. *Error omission* dan *error comission* juga diperoleh. Sampel yang digunakan dalam proses uji akurasi adalah sampel yang tidak digunakan dalam proses reklasifikasi multispektral.



Gambar 4. Komposit warna PC1-PC2-PC3 pada (a) Citra Landsat 7 ETM+ dan (b) ASTER VNIR.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji akurasi menunjukkan bahwa PC *band* dari Landsat 7 ETM+ mempunyai konsistensi akurasi yang lebih baik jika dibandingkan dengan PC *band* dari ASTER VNIR, meskipun akurasi klasifikasi tertinggi yang diperoleh sama. Landsat 7 ETM+ mampu menghasilkan akurasi klasifikasi berkisar antara 40-46,67% sedangkan ASTER VNIR berkisar antara 26,6-46,67%. Nilai akurasi ini tidak memasukkan kelas laut dalam optis ke dalam proses uji akurasi karena akan menyebabkan overestimasi dari hasil uji akurasi.

Adanya perbedaan akurasi pada tiap kombinasi PC band dipengaruhi oleh saluran spektral yang mendominasi tiap-tiap PC band tersebut. Saluran spektral yang paling baik dalam mengidentifikasi kesehatan terumbu karang akan menghasilkan akurasi yang lebih tinggi daripada saluran spektral yang lain. Analisis *factor loadings* menunjukkan bahwa saluran spektral mana yang mendominasi kombinasi PC band dengan akurasi tertinggi. Hasil analisis *factor loadings* disajikan pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**. Perlu diketahui bahwa PC4 pada data Landsat 7 ETM+ tidak digunakan karena mayoritas informasi yang terkandung di dalamnya adalah *noise*, sehingga tidak disarankan memasukkan PC4 dalam kombinasi PC band untuk klasifikasi multispektral.

Tabel 4. Nilai *factor loadings* tiap Saluran Spektral pada tiap PC band Citra Landsat 7 ETM+.

Saluran	PC band			
	1	2	3	4
Biru	0,571	0,193	0,074	0,060
Hijau	0,634	0,105	0,023	-0,065
Merah	-0,055	-0,076	0,061	-0,107
NIR	-0,927	0,011	0,094	0,006

Tabel 5. Nilai *factor loadings* tiap saluran spektral pada tiap PC band citra ASTER VNIR.

Saluran	PC band		
	1	2	3
Hijau	0,243	0,064	0,016
Merah	0,308	-0,018	-0,029
NIR	-0,153	0,122	-0,018

Perbandingan antara kontribusi saluran hijau dan saluran biru yang merupakan saluran dengan penetrasi tubuh air paling baik dapat dilihat dari hasil akurasi kombinasi PC band Landsat 7 ETM+. Saluran hijau masih mampu menghasilkan akurasi yang lebih tinggi. Kemampuan saluran hijau ini ditunjukkan ketika dipasangkan dengan PC band yang didominasi oleh saluran dengan penetrasi tubuh air paling buruk yaitu inframerah dekat. Akurasi dari kombinasi tersebut masih lebih baik dibandingkan akurasi dari kombinasi saluran biru dengan inframerah dekat. Ringkasan hasil uji akurasi dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Berdasarkan **Tabel 4**, **Tabel 5**, dan **Tabel 6**, dapat disimpulkan bahwa saluran hijau merupakan saluran terbaik dalam identifikasi kesehatan terumbu karang, yang ditunjukkan dengan tingginya akurasi kombinasi PC band yang didominasi oleh saluran hijau. Pada kombinasi PC band tanpa dominasi saluran hijau, akurasi yang diperoleh cenderung menurun. Hal ini terjadi baik pada Landsat 7 ETM+ maupun ASTER AVNIR. Akurasi yang lebih tinggi pada citra Landsat 7 ETM+ diperoleh dari kombinasi PC1 dengan PC lain. PC2 yang didominasi oleh saluran biru dan PC3 yang didominasi oleh saluran inframerah dekat menghasilkan akurasi yang lebih rendah. Bukti

yang lebih jelas mengenai rendahnya akurasi klasifikasi tanpa PC band yang dominasi saluran hijau ditunjukkan oleh kombinasi PC12 pada citra ASTER VNIR. Kombinasi ini menghasilkan akurasi yang sangat rendah yaitu 26,67%. PC1 didominasi oleh saluran merah dan PC2 didominasi informasi dari saluran inframerah dekat.

Ada berapa alasan yang menyebabkan saluran hijau mampu menghasilkan akurasi yang lebih baik daripada saluran biru. Pertama, saluran hijau memiliki kemampuan penetrasi tubuh air hampir sama baiknya dengan saluran biru. Keuntungan saluran hijau adalah mempunyai hamburan *Rayleigh* yang jauh lebih rendah dibandingkan saluran biru. Hamburan *Rayleigh* pada saluran hijau hampir setengah kali lipat lebih rendah daripada saluran biru (Marten, 2004). Kedua, saluran biru terletak pada band serapan khlorofil seperti halnya saluran merah sehingga energi matahari yang sampai ke terumbu karang lebih banyak yang diserap daripada dipantulkan kembali meskipun intensitas serapannya tidak sekuat saluran merah. Kondisi ini menghasilkan informasi spektral kesehatan terumbu karang yang mencapai sensor lebih terbatas, meskipun serapan dari khlorofil ini juga menghasilkan karakteristik serapan yang unik. Saluran hijau sebaliknya terletak pada puncak pantulan dari khlorofil dan alga *zooxanthellae* yang berada dalam tubuh polip terumbu karang.

Saluran merah yang mempunyai penetrasi tubuh air paling rendah pada gelombang tampak menjadi saluran dengan kontribusi minimal dalam identifikasi kesehatan karang. Kombinasi PC band yang didominasi oleh saluran merah menghasilkan akurasi yang lebih rendah. Jika digabungkan dengan PC band yang didominasi oleh inframerah dekat akurasinya akan menjadi sangat rendah hingga hanya 26,67% dan merupakan hasil akurasi terendah dalam penelitian ini. Penyebabnya adalah saluran merah kurang baik dalam melakukan penetrasi ke dalam tubuh air sehingga informasi terumbu karang menjadi terbatas. Saluran merah di perairan Karimunjawa hanya mampu menembus pada kedalaman kurang dari 4 meter (Wicaksono & Hafizt, 2013). Kedua, saluran merah menghasilkan pantulan yang sangat rendah terhadap khlorofil yang menyebabkan informasi spektral yang terekam oleh sensor menjadi terbatas meskipun unik. Banyaknya khlorofil pada alga yang bersimbiosis pada polip terumbu karang menyebabkan serapan pada saluran merah sangat kuat.

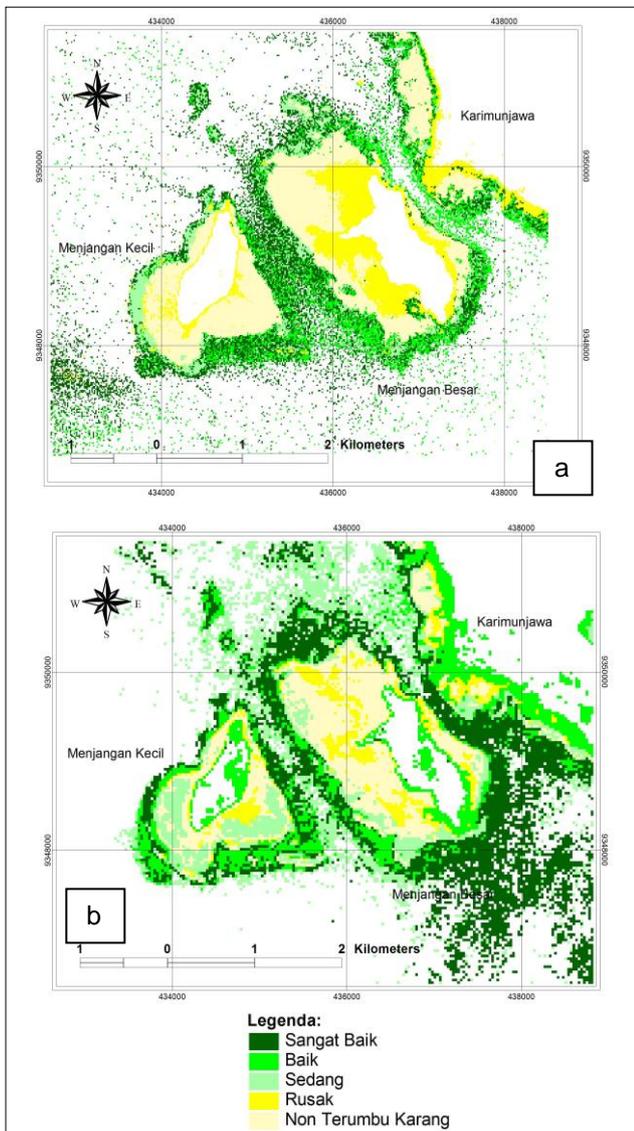
Nilai statistik pada **Tabel 2** dan **Tabel 3** juga menunjukkan bahwa saluran merah memiliki nilai variansi yang paling rendah diantara semuanya. Rendahnya nilai variansi ini menunjukkan bahwa informasi yang terkandung dalam saluran merah adalah yang paling rendah dan hanya sedikit objek yang bisa diidentifikasi. Hal ini sangat berkebalikan dengan saluran hijau yang selalu memiliki nilai

variansi paling tinggi pada kedua citra Landsat 7 ETM+ dan ASTER VNIR. Meskipun demikian, dengan masih terbatasnya saluran tampak pada resolusi spektral citra multispektral, semua saluran tampak sebaiknya dimasukkan dalam proses pemetaan kesehatan terumbu karang. Karena

pemetaan terumbu karang merupakan proses yang kompleks dan rumit, maka setiap informasi yang dapat disajikan oleh tiap saluran spektral sangat berharga. Hasil klasifikasi kesehatan terumbu karang dengan akurasi terbaik dari masing-masing citra disajikan pada **Gambar 5**.

Tabel 6. Tabel ringkasan dari hasil uji akurasi pemetaan kesehatan terumbu karang menggunakan citra Landsat 7 ETM+ dan ASTER VNIR.

Sensor	PC	Akurasi	Spektral Band yang Mendominasi		
			PC 1	PC 2	PC 3
Landsat 7 ETM+	12	46,67%	Hijau (0,634)	Biru (0,193)	-
	13	46,67%	Hijau (0,634)	-	NIR (0,094)
	23	40,00%	-	Biru (0,193)	NIR (0,094)
	123	46,67%	Hijau (0,634)	Biru (0,193)	NIR (0,094)
ASTER VNIR	12	26,67%	Merah (0,308)	NIR (0,122)	-
	13	46,67%	Merah (0,308)	-	Hijau (0,016)
	23	40,00%	-	NIR (0,122)	Hijau (0,016)
	123	33,30%	Merah (0,308)	NIR (0,122)	Hijau (0,016)



Gambar 5. Hasil klasifikasi kesehatan terumbu karang dengan akurasi terbaik dari kombinasi (a) PC12 Landsat 7 ETM+ dan (b) PC13 ASTER VNIR.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa saluran spektral terbaik dan berkontribusi positif dalam mengidentifikasi kesehatan terumbu karang adalah saluran hijau. Hal ini dikarenakan oleh kepekaannya terhadap klorofil dalam polip terumbu karang dan kemampuannya dalam penetrasi tubuh air. Untuk itu sebaiknya saluran hijau selalu disertakan dalam proses identifikasi kesehatan terumbu karang.

Saluran dengan kontribusi terendah adalah saluran merah karena rendahnya kemampuan dalam penetrasi tubuh air dan adanya serapan kuat oleh klorofil. Saluran biru sebagai saluran dengan penetrasi tubuh air yang paling baik menghasilkan akurasi yang baik namun masih lebih rendah dibandingkan saluran hijau. Penyebabnya adalah adanya serapan dari klorofil dan tingginya hamburan *Rayleigh* yang besarnya hampir dua kali lipat dari saluran hijau. Koreksi atmosferik absolut yang dapat digunakan untuk menghilangkan hamburan *Rayleigh* pada saluran biru perlu dilakukan untuk memaksimalkan kemampuan saluran biru dalam mengidentifikasi kesehatan terumbu karang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami berterima kasih pada staf Balai Taman Nasional Karimunjawa yaitu Endang dan Yusuf Syaifudin atas bantuannya dalam survei lapangan di Karimunjawa. Selain itu juga kami berterima kasih kepada LAPAN yang telah membantu menyediakan citra Landsat 7 ETM+ untuk penelitian ini. Terakhir kami mengucapkan terima kasih kepada Bapak Drs. Projo Danoedoro, M.Sc., Ph.D., Dr. Nurul Khakhim, M.Si., dan Prof. Dr. Sunarto, MS atas bantuan, kritik, dan saran pada saat pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrams, M., S. Hook, & B. Ramachandran. (1999). *ASTER User Handbook (Ver. 2)*. California: Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology. California.
- Armstrong, R.A. (1993). Remote sensing of submerged vegetation canopies for biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 10-16.
- Capolsini, P., S. Andrefouet, C. Rion, & C. Payri. (2003). A Comparison of Landsat ETM+, SPOT HRV, IKONOS, ASTER and airborne MASTER Data for Coral Reef Habitat Mapping in South Pacific Island. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(2), 187-200.
- Chandler, G., B.L. Markham, & D. Helder. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113, 893-903.
- Chavez, P., G. Berlin, & W. Mitchell. (1977). Computer Enhancement Techniques of Landsat MSS Digital Images for Landuse/Landcover Assessments. *Remote Sensing of Earth Resources*, 6, 259.
- Goodman, J.A., S.J. Purkis, & S.R. Phinn. (2013). *Coral Reef Remote Sensing A Guide for Mapping, Monitoring and Management*. (S.R. Phinn, Ed.) Springer.
- Hedley, J.D., C.M. Roelfsema, S.R. Phinn, & P.J. Mumby. (2012). Environmental and sensor limitations in optical remote sensing of coral reefs: implications for monitoring and sensor design. *Remote Sensing*, 4, 271-302.
- Jupp, D.L. (1988). Background and extensions to depth of penetration (DOP) mapping in shallow coastal waters. *Proceedings of the Symposium on Remote Sensing of the Coastal Zone*. Gold Coast, Queensland.
- Marten, S. (2004). *An Introduction to Ocean Remote Sensing*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Nababan, M.G., Munasik, I. Yulianto, T. Kartawijaya, R. Prasetya, dan R.L. Ardiwijaya. (2010). *Status Ekosistem di Taman Nasional Karimunjawa: 2010*. Wildlife Conservation Society-Indonesia Program. Bogor.
- Smith, R.B. (2005). *Outline of Principle Component Analysis*. Site: http://www.yale.edu/ceo/Documentation/PCA_Outline.pdf. Diakses pada 20 September 2014.
- Stumpf, R.P. & K. Holderied. (2003). Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnology and Oceanography*, 48(1), 547-556.
- Wicaksono, P. (2014). Pemetaan Makro Alga Menggunakan Citra Penginderaan Jauh Resolusi Spasial Tinggi di Pulau Kemujan Kepulauan Karimunjawa. *Seminar Nasional Teknologi Terapan II*. Sekolah Vokasi UGM. Yogyakarta.
- Wicaksono, P. & P. Danoedoro. (2012). Multitemporal Vegetation Cover Mapping using ALOS AVNIR-2: The Importance of Atmospheric Effect Normalization on Multitemporal Analysis. *Report and Proceedings of ALOS Application and Verification Project in Indonesia*. JAXA & LAPAN. Jakarta.
- Wicaksono, P. & M. Hafizt. (2013). Mapping seagrass from space: Addressing the complexity of seagrass LAI mapping. *European Journal of Remote Sensing*, 46, 18-39.
- Wicaksono, P. & S.H. Murti. (2011). Evaluation of ASTER Performance for Coral Reef Cover Mapping. Case Study in Menjangan Besar and Menjangan Kecil Island, Karimunjawa Island, Indonesia. *Proceedings of The 11th South East Asian Survey Congress and 13th International Surveyors Congress. "Innovation towards Sustainability"*. SEASC 2011. Kuala Lumpur.