

PENGEMBANGAN METODE IDENTIFIKASI MANGROVE MENGUNAKAN CITRA ALOS AVNIR

Teguh Prayogo^{*)}, Muchlisin Arief, Kuncoro Teguh Setiawan, dan Nanin Anggraini

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh - LAPAN
Jl. Lapan No.70, Pekayon-Pasar Rebo, Jakarta 13710

^{*)}E-mail: teguhprav060@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan data satelit Landsat untuk mendeteksi mangrove di kawasan pesisir pulau-pulau kecil masih kurang optimal karena resolusi spasial yang dimiliki tidak dapat memberikan informasi yang lebih rinci di wilayah Kepulauan Seribu. Untuk itu diperlukan alternatif citra satelit penginderaan jauh serupa yang dapat memberikan informasi yang lebih rinci dan akurat dengan resolusi spasial yang lebih tinggi seperti data *The Advanced Land Observing Satellite - Advance Visible and Near Infrared Radiometer type 2* (ALOS AVNIR 2) dengan resolusi spasial 10x10 meter. Pengembangan model identifikasi mangrove menggunakan data ALOS AVNIR (3 Agustus 2009) dilakukan dengan metode visual menggunakan kombinasi kanal spektral melalui komposit warna *Red Green Blue* (RGB) dari kanal asli dan kanal buatan, klasifikasi digital menggunakan metode rasio kanal nilai ambang batas (*threshold*) tertentu, metode klasifikasi *unsupervised/supervised* dengan membagi nilai *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dalam interval yang sama dan berdasarkan kenampakan visual dari kombinasi kanal yang telah dibuat untuk mengidentifikasi mangrove. Berdasarkan hasil penelitian mangrove dapat diidentifikasi dari citra ALOS AVNIR dengan komposit RGB 432, RGB $4/3, 3/1, 2/1$, dan RGB $4, 2/1, 3/1$ dan diekstraksi secara digital dengan formulasi rasio kanal dan nilai ambang batas yaitu $(\text{NIR-Blue}) / (\text{NIR-Green}) < 1$; $(\text{NIR-Blue}) < 1,35$; dan $(\text{NIR-Green}) < 0,8$. Hasil perbandingan total luasan mangrove di Pulau Rambut dengan data hasil penelitian terakhir tahun 2002 dari citra satelit Landsat diperoleh ketelitian $\pm 91\%$. Metode klasifikasi menghasilkan 6 kelas kerapatan mangrove yang dapat dikelompokkan menjadi tiga kelas kerapatan sesuai klasifikasi Departemen Kehutanan (2006) dan Kementerian Negara Lingkungan Hidup (2011) serta telah sesuai dengan hasil pengamatan di lapangan.

Kata Kunci: ALOS-AVNIR, Mangrove, Unsupervised/Supervised Classifications.

1. PENDAHULUAN

Pulau-pulau di Kepulauan Seribu menyimpan kekayaan sumber daya pesisir yang cukup besar, di antaranya terumbu karang, mangrove, lamun dan perikanan (LAPI-ITB, 2001). Kepulauan Seribu dan Taman Nasional Laut Kepulauan Seribu (TNKpS) merupakan kawasan hutan mangrove yang cukup potensial (Pulau Penjaliran Barat dan Pulau Penjaliran Timur) dan mempunyai peranan penting sebagai sistem penyangga (*buffer zone*) bagi daratan pulau-pulau kecil. Kegiatan di berbagai sektor mengakibatkan kawasan Kepulauan Seribu mengalami tekanan ekologis dan perubahan fungsi habitat yang besar (LAPI-ITB, 2001). Berdasarkan data Balai TNKpS tahun 2007, hutan mangrove di Kepulauan Seribu tersisa 1,8 persen atau 100-150 hektar dari total luas lahan 4.027 hektar. Secara ideal $\pm 30\%$ (=1.300 ha) tetap dikonservasikan sebagai hutan mangrove. Keberadaan mangrove sangat penting karena mencegah abrasi dan menjaga keutuhan ekologi Kepulauan Seribu.

Pengamatan dan pemantauan kondisi sumber daya mangrove di Kepulauan Seribu telah banyak dilakukan melalui survei dan pemanfaatan penginderaan jauh. Data satelit penginderaan jauh memiliki beberapa kelebihan dibandingkan metode survei, yaitu cakupan wilayah pengamatan yang luas dalam waktu singkat dan rangkaian seri data untuk wilayah yang sama secara periodik. Penggunaan data satelit Landsat untuk mendeteksi mangrove di kawasan pesisir kepulauan masih kurang optimal karena resolusi spasial yang

dimiliki tidak dapat memberikan informasi yang lebih rinci di sebagian besar wilayah kepulauan dengan ukuran pulau-pulau kurang dari 5 Ha (50 pulau dari 110 pulau di Kepulauan Seribu) (Alamanda, 2009). Untuk itu diperlukan alternatif citra satelit penginderaan jauh serupa yang dapat memberikan informasi yang lebih rinci dan akurat dengan resolusi spasial yang lebih tinggi, seperti data ALOS AVNIR (10 x 10 m).

Menurut Manson *et al.* (2001) satelit Landsat hanya dapat mengidentifikasi keberadaan mangrove tepi dengan luas minimal 50 m². Untuk itu Landsat dianggap lebih tepat digunakan dalam pemantauan dan pemetaan mangrove dengan skala yang lebih luas. Keberadaan mangrove di wilayah Kepulauan Seribu yang terdapat di pulau-pulau dengan ukuran kecil sangat memungkinkan untuk dideteksi dari citra satelit dengan resolusi spasial yang lebih tinggi seperti ALOS AVNIR. Meskipun pada dasarnya semua citra satelit dapat memberikan informasi yang berguna bagi pengelolaan kehutanan, namun dengan resolusi spasial yang lebih tinggi dapat diperoleh sensitivitas dan akurasi yang lebih tinggi (Green *et al.*, 2000).

Keberhasilan pemanfaatan penginderaan jauh dalam mengidentifikasi mangrove dapat memberikan metode pemetaan serta pemantauan sumber daya mangrove secara lebih murah dan efektif dengan resolusi spasial yang lebih baik dalam suatu wilayah. Metode ini tentunya akan sangat bermanfaat bagi instansi yang terkait dengan pengelolaan sumber daya pesisir. Dalam rangka mendukung pemanfaatan, pengelolaan dan pemantauan sumber daya pesisir maka perlu dilakukan kajian metode identifikasi mangrove di Kepulauan Seribu dari data penginderaan jauh, khususnya yang memiliki resolusi spasial lebih tinggi dari Landsat, yaitu ALOS AVNIR.

Kegiatan ini bertujuan untuk mengembangkan metode identifikasi mangrove dari data ALOS AVNIR dengan mengambil studi kasus salah satu pulau di Kepulauan Seribu, yaitu Pulau Rambut. Pemilihan Pulau Rambut sebagai area studi mengingat pulau ini memiliki mangrove yang cukup luas (27 ha) dan jenis mangrove terbanyak di antara pulau-pulau lainnya di Kepulauan Seribu (Bappedalda DKI Jakarta, 2000). Pengembangan model identifikasi hutan mangrove menggunakan data ALOS AVNIR dilakukan dengan metode visual dan digital berupa penentuan kombinasi kanal spektral, analisis kisaran spektral, rasio kanal dan indeks vegetasi dengan menerapkan metode klasifikasi *unsupervised* (tak terbimbing)/*supervised* (terbimbing) serta verifikasi hasil pengolahan di lapangan. Hasil kajian ini diharapkan dapat diimplementasikan untuk pulau-pulau kecil di wilayah lainnya, sehingga hasilnya akan bermanfaat untuk digunakan sebagai bahan masukan dalam mendukung kegiatan pengelolaan sumber daya alam pesisir di Indonesia.

Mangrove adalah tumbuhan tropis yang komunitas tumbuhnya di daerah pasang surut dan sepanjang garis pantai (seperti: tepi pantai, muara laguna (danau di pinggir laut), dan tepi sungai) yang dipengaruhi oleh kondisi pasang surut air laut. Menurut FAO (1982) definisi mangrove adalah pohon dan semak-semak yang tumbuh di bawah ketinggian air pasang tertinggi. Mangrove termasuk varietas yang besar dari famili tumbuhan, yang beradaptasi pada lingkungan tertentu. Mangrove adalah sekumpulan vegetasi Dicotyledoneae dan/atau Monocotyledoneae terdiri atas jenis tumbuhan yang mempunyai hubungan taksonomi sampai dengan taksa kelas (*unrelated families*) tetapi mempunyai persamaan adaptasi morfologi dan fisiologi terhadap habitat yang dipengaruhi oleh pasang surut (Kepmen LH No. 201 tahun 2004). Tomlinson (1986) mengklasifikasikan jenis mangrove menjadi 3 (tiga) kelompok, yaitu: Kelompok Mayor, Kelompok Minor, dan Kelompok Asosiasi Mangrove. Menurut Tomlinson (1986), jenis-jenis mangrove yang mempunyai ciri-ciri di antaranya: hanya dapat tumbuh di habitat mangrove (daerah pasang surut), seperti tepi pantai, estuaria, laguna, delta, dan tepi sungai, memiliki akar napas yang khas yaitu

menyembul di permukaan tanah yang berair (pneumatofora). Di beberapa tempat, mangrove menunjukkan tingkatan zonasi yang nyata yang cenderung berubah dari tepi air menuju daratan.

Hutan mangrove adalah sebutan umum yang digunakan untuk menggambarkan suatu varietas komunitas pantai tropik yang didominasi oleh beberapa spesies pohon-pohon yang khas atau semak-semak yang mempunyai kemampuan untuk tumbuh dalam perairan asin. Hutan mangrove meliputi pohon-pohon dan semak yang tergolong ke dalam 8 famili, dan terdiri atas 12 genera tumbuhan berbunga: *Avicennia*, *Sonneratia*, *Rhizophora*, *Bruguiera*, *Ceriops*, *Xylocarpus*, *Lumnitzera*, *Laguncularia*, *Aegiceras*, *Aegiatilis*, *Suaeda*, dan *Conocarpus* (Bengen, 2000). Menurut Santoso (2005), ciri komunitas vegetasi mangrove antara lain dipengaruhi pasang surut air laut, berair payau (salinitas $>1\text{‰}$), dan substrat lumpur berpasir dengan variasinya. Jenis tumbuhan yang menduduki habitat ini antara lain bakau (*Rhizophora stylosa*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*), pedada (*Sonneratia alba*), api-api (*Avicennia marina*) seperti halnya yang ada di Pulau Rambut, Kepulauan Seribu.

Indonesia memiliki hutan mangrove seluas 4,25 juta ha (FAO, 1982), sedangkan menurut ISME berdasarkan citra Landsat luas mangrove di dunia sekitar 18,1 juta ha. Mangrove di Kepulauan Seribu tumbuh di daerah pasang surut dengan tanah lumpur berpasir. Walaupun memiliki pantai, pulau-pulau di Kepulauan Seribu tidak memiliki karakteristik sebagai pantai daratan, sehingga tidak semua jenis mangrove bisa tumbuh di pulau, walaupun ada tidak tumbuh dominan di Kepulauan Seribu. Mangrove yang mendominasi adalah *Rhizophora stylosa*, sedangkan yang lainnya adalah *Rhizophora mucronata*, *Sonneratia alba* (pedada), *Bruguiera exaristata* (tancang), *Avicennia marina* (api-api), *Pemphis acidula* dan *Ceriop tagal*.

Menurut Bappedalda DKI Jakarta (2000), berdasarkan luas tutupan mangrovenya, Pulau Untung Jawa memiliki luas terbesar (31 ha) diikuti Pulau Rambut (27 ha), Pulau Bokor (25, 2 ha), Pulau Lancang Besar (16,5 ha), Pulau Peteloran Barat (11,3 ha), Pulau Penjalinan Barat (8,3 ha), dan Pulau Penjalinan Timur (6,8 ha). Berdasarkan jenis mangrovenya Pulau Rambut memiliki jenis mangrove terbanyak (9 jenis) di antara 7 pulau yang lain yaitu: *Rhizophora stylosa*, *Rhizophora mucronata*, *Sonneratia alba*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Avicennia marina*, *Lumnitzera racemosa*, *Ceriops tagal*, *Excoecaria agallocha*, *Xylocarpus granatum*. Namun menurut hasil penelitian Fakultas Kehutanan IPB (2002) bahwa luas hutan mangrove di Pulau Rambut menjadi 17,07 Ha. Penurunan luas mangrove di Pulau Rambut disebabkan oleh abrasi pantai dan pencemaran sampah yang menutupi mangrove sehingga mangrove menjadi mati dan tidak berkembang.

Pemanfaatan penginderaan jauh untuk mendeteksi vegetasi telah banyak dilakukan dengan memanfaatkan beberapa kanal spektral citra satelit. Penutup vegetasi mangrove dapat dideteksi menggunakan perbedaan reflektansi spektral visibel, inframerah-dekat (*near infrared* - NIR) dan inframerah-jauh (*short wave infrared* - SWIR) dari citra multispektral (Human *et. al.*, 2010). Dalam nilai reflektansi setiap piksel vegetasi mangrove yang terekam dalam piksel citra satelit merupakan kombinasi spektral relatif dari kanopi pohon, berbagai tutupan vegetasi lain yang berasosiasi, penutup tanah maupun lahan terbuka. Ketika kanopi atau pohonnya tidak padat/rapat, maka refleksi spektral dari tanah dan vegetasi mangrove akan mendominasi spektral piksel obyek tersebut.

Identifikasi mangrove dapat dilakukan dengan menggunakan kombinasi karakteristik kanal spektral (multispektral) melalui pendekatan matematis baik berupa rasio (perbandingan), pengurangan dan penjumlahan maupun perhitungan nilai indeks. Pada umumnya sering digunakan rasio normalisasi dari tingkat kehijauan daun yang sering disebut NDVI. Nilai

indeks ini dibangun dari data Landsat TM dan sangat efektif untuk mengukur tingkat kehijauan daun suatu vegetasi karena memiliki hubungan erat dengan tingkat penyerapan radiasi dalam proses fotosintesis (Tucker, 1979). NDVI mengukur tingkat kehijauan vegetasi berdasarkan perbandingan nilai spektral kanal visibel/tampak (biru s.d. merah) dengan inframerah-dekat. Indeks vegetasi dari kedua nilai spektral kanal visibel dengan inframerah-dekat diformulasikan sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{R_{nir} - R_{vis}}{R_{nir} + R_{vis}}$$

dimana R_{vis} adalah reflektansi permukaan bumi pada spektrum tampak (0,42-0,69 μm ; kanal 3 AVNIR) dan R_{nir} adalah reflektansi permukaan tanah dalam spektrum inframerah-dekat (0,76-0,89 μm ; kanal 4 AVNIR).

Prinsip dasar dari rumusan ini adalah radiasi matahari yang datang diserap oleh klorofil tanaman pada spektrum tampak dan struktur spons mesofil daun yang terkait dengan peningkatan reflektansi pada spektrum inframerah-dekat (Tucker dan Sellers, 1986). NDVI dipengaruhi oleh tingkat penyerapan klorofil pada panjang gelombang merah yang sebanding dengan kerapatan klorofil daun serta sebanding dengan kerapatan daun pada reflektansi panjang gelombang inframerah-dekat. Oleh karena itu, NDVI cenderung berkorelasi dekat dengan biomassa daun dan dapat menjadi indikator yang sangat baik bagi kesehatan tanaman, namun keterkaitan ini dapat bervariasi terhadap struktur jenis vegetasi. Warna dan kecerahan tanah juga mempengaruhi nilai-nilai NDVI (Bellairs *et al.*, 1994). Pemantauan mangrove seiring waktu dengan NDVI dari Landsat mengalami perubahan dengan mengkombinasikan terhadap data pengukuran lapangan, foto udara dan beberapa tanggal citra satelit optis terkalibrasi dan terkoreksi secara ortho. Kombinasi tersebut dapat digunakan untuk menentukan variasi tutupan kanopi mangrove sebagai indikasi kondisi dan kepadatan mangrove tersebut (Giri *et al.*, 2007; Paling *et al.*, 2003).

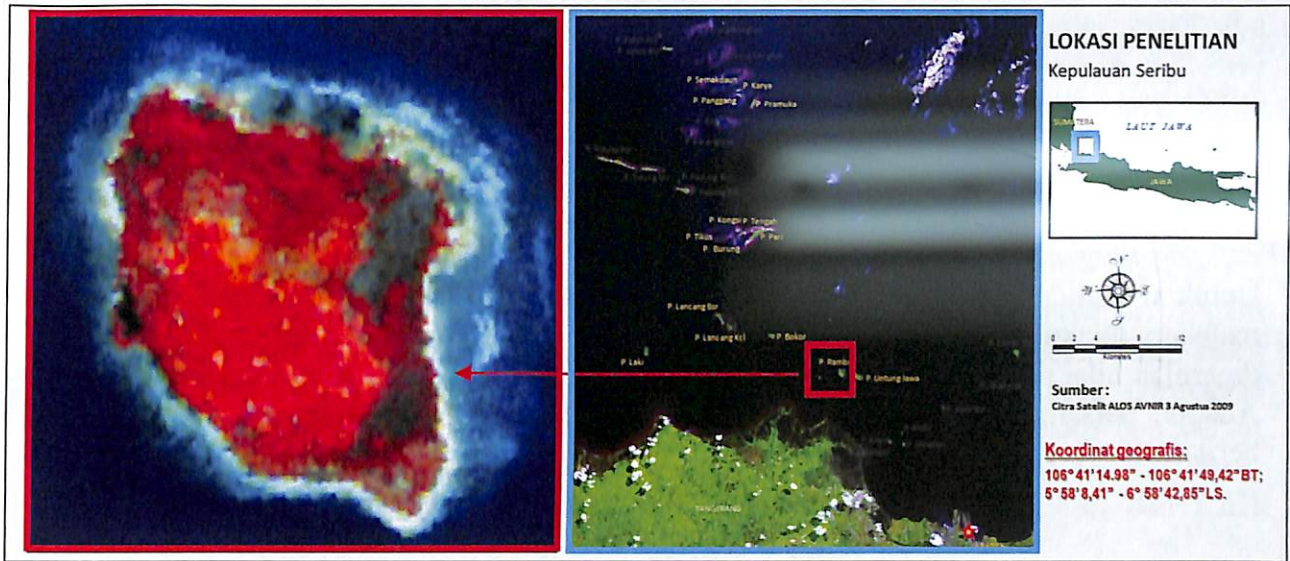
Sensor AVNIR adalah salah satu sensor satelit ALOS memiliki resolusi spasial 10 meter dengan luas cakupan wilayah 70 x 70 km di permukaan bumi dan waktu perekaman ulang 46 hari sekali. Citra ALOS AVNIR memiliki empat kanal dengan kisaran panjang gelombang menyerupai panjang gelombang Landsat. Masing-masing kanal tersebut yaitu kanal biru (0,42 - 0,50 μm), hijau (0,52 - 0,60 μm), merah (0,61-0,69 μm), dan inframerah-dekat (0,76 - 0,89 μm). Kanal merah dan inframerah-dekat merupakan kisaran spektral yang digunakan untuk menghitung nilai NDVI.

Pemanfaatan citra ALOS AVNIR dan citra satelit lebih tinggi resolusi spasialnya (Quickbird dan foto udara resolusi spasial 1 meter) dalam identifikasi mangrove telah dilakukan sebelumnya oleh Human *et al.*, (2010) dalam studi mangrove di dataran pasang surut wilayah pesisir Pilbara, pantai barat Australia. Identifikasi mangrove dilakukan dengan memanfaatkan perbandingan kanal 4 dan kanal 3 AVNIR dengan nilai ambang batas (*threshold*) rasio antara 0,604 dan 1,48 dan menggunakan indeks vegetasi (NDVI) untuk mendeteksi mangrove dari citra Quickbird dengan nilai ambang batas rasio $\geq 0,17$ dan $<0,61$.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan mengambil studi kasus Puau Rambut, Kepulauan Seribu, Provinsi DKI Jakarta. Lokasi wilayah studi dapat dilihat pada Gambar 1. Penelitian dilaksanakan pada tahun 2011. Data yang digunakan meliputi citra ALOS AVNIR akuisisi

3 Agustus 2009, citra Landsat orthorektifikasi untuk mengoreksi geometrik citra ALOS AVNIR, dan data pengamatan lapangan (2 Agustus 2011).



Gambar 1. Lokasi Penelitian Pulau Rambut (dalam kotak merah), Kepulauan Seribu, DKI Jakarta

Pengembangan model identifikasi mangrove menggunakan data ALOS AVNIR dilakukan dengan metode visual dan digital berupa penentuan kombinasi kanal, analisis kisaran spektral (analisis diskriminan spektral), pemisahan obyek mangrove dengan non-mangrove menggunakan rasio kanal, dan perhitungan indeks vegetasi untuk menentukan nilai kerapatan mangrove. Klasifikasi mangrove dilakukan dengan menerapkan metode klasifikasi tak terbimbing dan terbimbing dan verifikasi hasil pengolahan dengan pengamatan di lapangan. Sebelum diolah lebih lanjut citra ALOS AVNIR dikoreksi geometrik menggunakan citra Landsat orthorektifikasi. Selanjutnya citra satelit multispektral AVNIR terkoreksi geometrik dihitung nilai radiansinya menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$L_{\lambda} = \frac{DN_{\lambda}}{Calcoef_{\lambda} \cdot Bandwidth_{\lambda}} \quad (1)$$

dimana: L_{λ} adalah radiansi masing-masing kanal spektral ($W/m^2/\mu m/sr$), yang dihitung dari nilai digital piksel; $Calcoef_{\lambda}$ adalah koefisien kalibrasi radiometrik ($DN/(mW/m^2 \cdot sr)$); $Bandwidth_{\lambda}$ adalah kisaran spektral masing-masing kanal (μm); dan DN_{λ} adalah nilai digital piksel masing-masing kanal. Formulasi di atas tidak dapat dilakukan karena tidak diketahui koefisien kalibrasi radiometriknya. Sehingga digunakan persamaan lain dengan menggunakan koefisien kalibrasi absolut (*gain* dan *offset*) yaitu:

$$L_{\lambda} = Grescale \cdot QCAL + Brescale \quad (2)$$

dimana: L_{λ} adalah radiansi spektral dalam $Watt/(m^2 \cdot ster \cdot \mu m)$; QCAL adalah nilai DN piksel terkalibrasi; Grescale adalah nilai gain terskala dalam $Watt/(meter \text{ persegi} \cdot ster \cdot \mu m)/DN$; Brescale adalah nilai offset terskala dalam $Watt/(meter \text{ persegi} \cdot ster \cdot \mu m)$. Gain dan offset terdapat pada *header* atau data *ancillary* produk data level 1. Nilai koefisien kalibrasi absolut disajikan pada Tabel 1.

Table 1. Koefisien kalibrasi absolut untuk ALOS AVNIR 3 Agustus 2009

Band	Gain	Offset
1	0,5946	0,0
2	0,5541	0,0
3	0,4730	0,0
4	0,6689	0,0

Untuk mengurangi perbedaan sudut perekaman sensor terhadap perbedaan sudut sinar matahari dilakukan normalisasi terhadap citra ALOS AVNIR yang digunakan sehingga diperoleh nilai reflektansi yang dihitung dari nilai radiansinya untuk masing-masing kanal. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai reflektansi adalah sebagai berikut:

$$\rho_p = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{ESUN_\lambda \cdot \cos \theta_s} \quad (3)$$

dimana:

ρ_p adalah nilai reflektansi, L_λ adalah nilai radiansi masing-masing kanal ($W/m^2/\mu m/sr$), $ESUN_\lambda$ adalah rata-rata irradiansi matahari exo-atmosferik yang merupakan konstanta dengan nilai yang berbeda-beda dari setiap kanal, θ_s adalah sudut zenith matahari dalam radian ketika data direkam ($\frac{\pi}{180} \times (90^\circ - \text{sudut elevasi matahari}(SZ))$), d adalah jarak bumi-matahari, yang dihitung dengan persamaan:

$$d = (1 - 0.01674 \cos(0.9856 \times (\text{Julian Day} - 4))) \quad (\text{Milder, 2008})$$

Hasil perhitungan nilai reflektansi selanjutnya dianalisis untuk mengidentifikasi obyek mangrove dan non-mangrove. Pemisahan obyek mangrove dengan non-mangrove dilakukan dengan melihat karakteristik spektral masing-masing kanal biru, hijau, merah, dan inframerah-dekat terhadap berbagai obyek dan khususnya vegetasi mangrove dengan non-mangrove, serta obyek lainnya. Berdasarkan karakteristik tersebut dilakukan perbandingan kanal untuk menampakkan obyek mangrove secara visual dan mengekstraksi obyek mangrove berdasarkan nilai ambang batas perbandingan tersebut. Kemudian hasil pemisahan obyek mangrove ini digunakan untuk menghitung nilai NDVI di kawasan mangrove dan proses klasifikasi tak terbimbing dan terbimbing. Nilai NDVI untuk vegetasi dari citra ALOS AVNIR di kawasan mangrove didasarkan pada persamaan berikut ini:

$$NDVI \text{ ALOS AVNIR} = (\text{kanal 4} - \text{kanal 3}) / (\text{kanal 4} + \text{kanal 3}) \quad (4)$$

Klasifikasi terbimbing yang dimaksud dalam penelitian ini tidak menggunakan training sample dengan berbagai metode pengelompokan pada umumnya, melainkan mengelaskan nilai NDVI dan obyek mangrove berdasarkan nilai ambang batas rasio kanal inframerah-dekat terhadap merah, hijau dan biru.

Selain itu, dilakukan kombinasi kanal untuk identifikasi mangrove dengan membuat komposit warna *red-green-blue* (RGB) semu dan kanal buatan. Meski memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi dari Landsat, citra ALOS AVNIR memiliki lebih sedikit kanal,

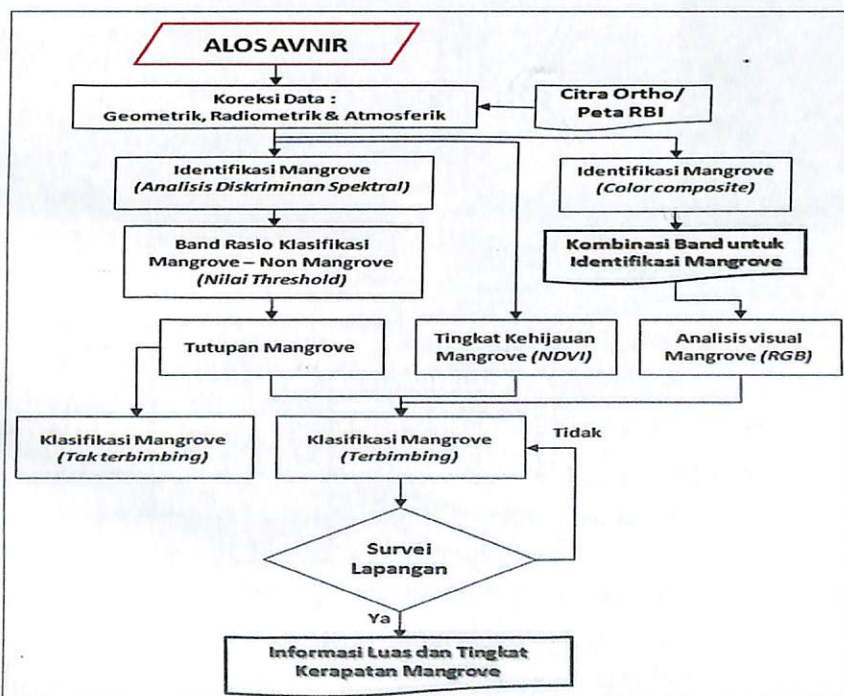
yaitu 4 kanal. Untuk itu perlu dikaji pembuatan kanal semu yang bertujuan mempertegas kenampakan mangrove secara visual berdasarkan karakteristik spektral masing-masing kanal.

Pemisahan obyek mangrove dari obyek non-mangrove secara digital berdasarkan nilai ambang batas rasio kanal dapat mempermudah untuk mengetahui luasan mangrove secara keseluruhan di wilayah tersebut lebih awal. Sehingga tingkat kerapatan mangrove dalam keseluruhan luasan tersebut dapat disesuaikan (reklasifikasi) berdasarkan hasil verifikasi di lapangan.

Klasifikasi mangrove dan tingkat kerapatannya dilakukan dengan mengklasifikasikan kerapatan tajuk mangrove berdasarkan rentang nilai NDVI hasil perhitungan citra satelit Landsat yang dikeluarkan oleh Departemen Kehutanan (2006) dan Kementerian Negara Lingkungan Hidup (KLH) (2011). Jumlah klasifikasi kerapatan mengacu pada buku "Pedoman Inventarisasi dan Identifikasi Mangrove" yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial Departemen Kehutanan dan dalam Kriteria Baku Kerusakan Ekosistem Mangrove pada Kawasan Lindung (KLH, 2011) Pembagian kerapatan mangrove berdasarkan dua klasifikasi Dephut (2006) dan KLH (2011) disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tingkat kerapatan mangrove berdasarkan nilai NDVI dan persentase tutupan tajuk oleh Dephut (2006) dan KLH (2011)

TINGKAT KERAPATAN	DEPHUT (2006)	KLH (2011)	
	KISARAN NDVI	KISARAN NDVI	% TUTUPAN KANOPI
a) Kerapatan tajuk lebat	$0,43 \leq NDVI \leq 1,00$	$0,43 \leq NDVI \leq 1,00$	$\geq 75 \%$
b) Kerapatan tajuk sedang	$0,33 \leq NDVI \leq 0,42$	$0,33 \leq NDVI \leq 0,42$	$\geq 50\% - < 75\%$
c) Kerapatan tajuk jarang	$-1,00 \leq NDVI \leq 0,32$	$NDVI \leq 0,32$	$< 50 \%$

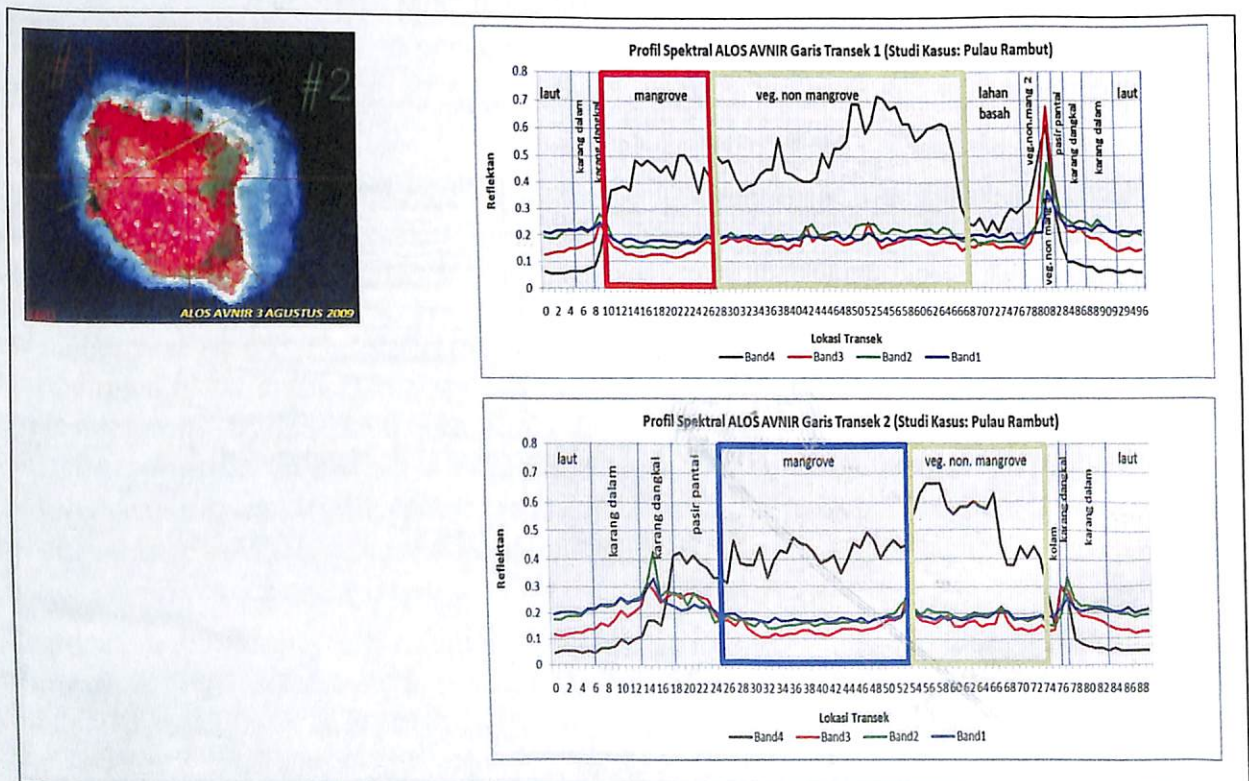


Gambar 2. Diagram alir metode identifikasi mangrove dari citra ALOS AVNIR

Hasil klasifikasi Dephut (2006) dan KLH (2011) dijadikan referensi dan dibandingkan dengan hasil klasifikasi secara tak terbimbing dan terbimbing dengan tujuan mengetahui jumlah kelas maksimum yang dapat diperoleh dari citra ALOS AVNIR. Klasifikasi tingkat kerapatan dengan metode terbimbing dilakukan dengan membagi selisih nilai NDVI maksimum dan minimum ke dalam interval yang sama menjadi 6 kelas dan pembagian kelas menurut kenampakan visual hasil kombinasi kanal kenampakan mangrove. Pembagian ke dalam 6 kelas mengikuti jumlah kelas hasil klasifikasi tak terbimbing yang telah dilakukan sebelumnya. Secara umum tahapan metode identifikasi disajikan pada Gambar 2.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

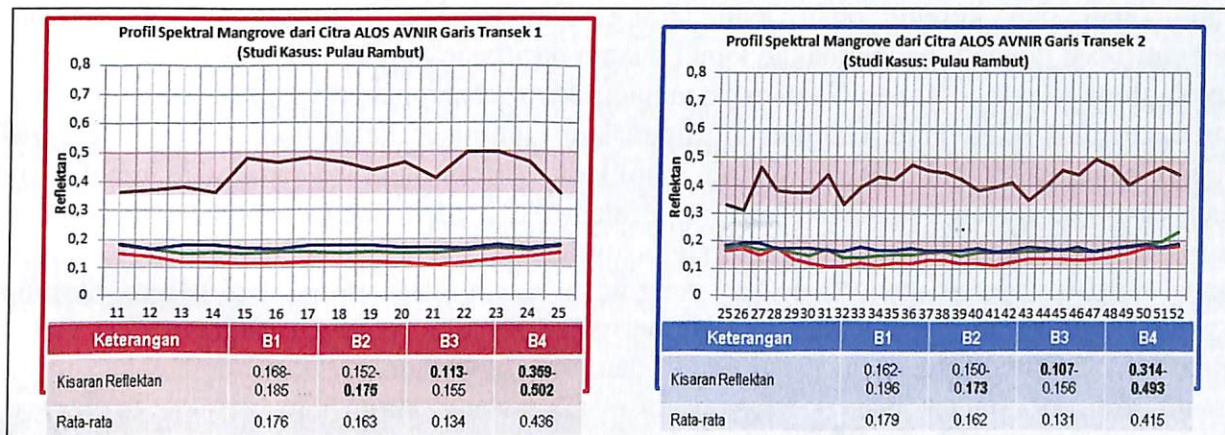
Pemilihan kombinasi warna untuk identifikasi mangrove secara visual didasarkan pada profil melintang dari garis transek masing-masing kanal obyek mangrove. Sebagai contoh digunakan dua garis transek yang hampir saling tegak lurus di Pulau Rambut arah barat laut ke tenggara serta garis dari arah timurlaut ke baratdaya (garis transek-1 dan transek-2 pada Gambar 3). Berdasarkan sifat karakteristik kanal multispektral (kanal visibel dan inframerah-dekat) ALOS AVNIR terhadap obyek di permukaan bumi (air, tanah dan vegetasi) secara tegas menunjukkan profil nilai reflektansi yang berbeda. Untuk obyek air kanal biru dan hijau memiliki nilai reflektansi yang lebih tinggi dari kanal merah dan inframerah dekat, sementara kenampakan sebaliknya terlihat pada obyek tanah (reflektansi kanal merah dan inframerah dekat lebih tinggi dari reflektansi kanal hijau dan biru). Obyek vegetasi non-mangrove memiliki nilai reflektansi kanal inframerah-dekat lebih tinggi (0,38 – 0,72) dibandingkan dengan kanal biru, hijau, dan merah yang berkelompok pada kisaran 0,16 – 0,23.



Gambar 3. Karakteristik spektral masing-masing kanal untuk mengidentifikasi mangrove dan non-mangrove dari citra ALOS AVNIR di Pulau Rambut

Berdasarkan karakteristik spektral, vegetasi non-mangrove terlihat memiliki nilai reflektansi inframerah-dekat lebih tinggi (0,38 – 0,72) dengan reflektansi kanal hijau lebih tinggi dari kanal biru dan merah. Karakteristik ini terlihat jelas perbedaannya dengan vegetasi mangrove, dimana reflektansi kanal NIR memiliki nilai lebih tinggi dari kanal visibel yang mengelompok dengan nilai kisaran lebih rendah. Kanal biru dan hijau berturut-turut memiliki nilai reflektansi lebih rendah dari NIR, sedangkan kanal merah memiliki nilai terendah seperti terlihat dalam Gambar 3. Berdasarkan profil spektral dari transek-1 dan transek-2 terlihat perbedaan karakteristik spektral antara vegetasi mangrove dan non-mangrove yang sangat jelas dari nilai reflektansi NIR pada mangrove yang lebih rendah dan susunan urutan kanal biru, hijau dan merah. Pada obyek mangrove nilai reflektansi NIR lebih rendah dan nilai reflektansi kanal biru lebih tinggi dari vegetasi non-mangrove, karakteristik ini terkait dengan kondisi fisik mangrove yang merupakan vegetasi lahan basah (pada area pasang-surut) dimana kanal biru memiliki sensitivitas lebih tinggi pada obyek yang mengandung unsur air (kotak merah dan biru pada Gambar 3).

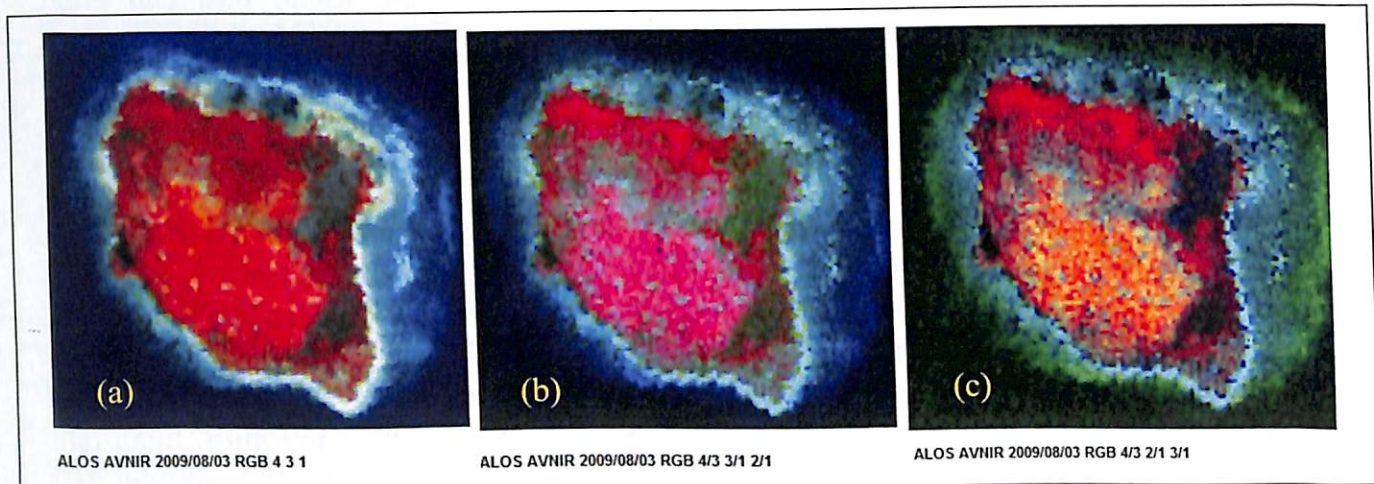
Karakteristik kanal multispektral ALOS AVNIR pada obyek mangrove menunjukkan nilai reflektansi NIR berada pada kisaran 0,31 – 0,50; sedangkan untuk kanal biru, hijau dan merah berturut-turut memiliki kisaran 0,16 – 0,20; 0,15 – 0,17; 0,10 – 0,15. Meskipun dari kisaran nilai reflektansi kanal biru, hijau, dan merah ada yang berhimpit, namun berdasarkan nilai rata-rata masing-masing kanal kelompok kanal visibel tersebut menunjukkan urutan nilai reflektansi yang semakin lebih kecil dari kanal biru, hijau dan merah. Rata-rata masing-masing kanal biru, hijau, dan merah yaitu: 0,18; 0,16 dan 0,13. Karakteristik nilai reflektansi mangrove dari masing-masing kanal dari garis transek-1 dan 2 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Karakteristik spektral masing-masing kanal citra ALOS AVNIR untuk identifikasi mangrove di Pulau Rambut

Berdasarkan karakteristik spektral masing-masing kanal ALOS AVNIR dilakukan komposit warna semu dan kanal buatan untuk mempermudah mengenali obyek mangrove dari obyek lain di sekitarnya. Untuk menampakkan obyek mangrove digunakan semua kanal multispektral AVNIR. Komposit warna utama dibuat menggunakan kanal asli yaitu NIR (kanal-4), merah (kanal-3) dan biru (kanal-1). Penggunaan kombinasi warna RGB ini didasarkan pada perbedaan karakteristik spektral yang cukup besar antara kanal atau kanal NIR dan merah, serta penggunaan kanal Biru yang sensitif terhadap obyek berair yang merupakan habitat utama mangrove (Gambar 5a). Berdasarkan kenampakan komposit RGB 431 pada Gambar 5a, terlihat perbedaan cukup jelas antara vegetasi mangrove

(merah gelap) dan non mangrove (jingga kemerahan) serta unsur tanah basah (abu gelap), pasir pantai (putih) dan kedangkalan perairan pantai (cyan hingga biru muda). Penggunaan kombinasi kanal RGB 431 ini dapat membedakan secara tegas antara vegetasi mangrove dan non mangrove (Gambar 5a).



Gambar 5. Kombinasi warna RGB untuk mendeteksi mangrove secara visual berdasarkan karakteristik spektral kanal ALOS AVNIR, (a) RGB 432, (b) RGB $4/3 \ 3/1 \ 2/1$ dan (c) RGB $4 \ 2/1 \ 3/1$

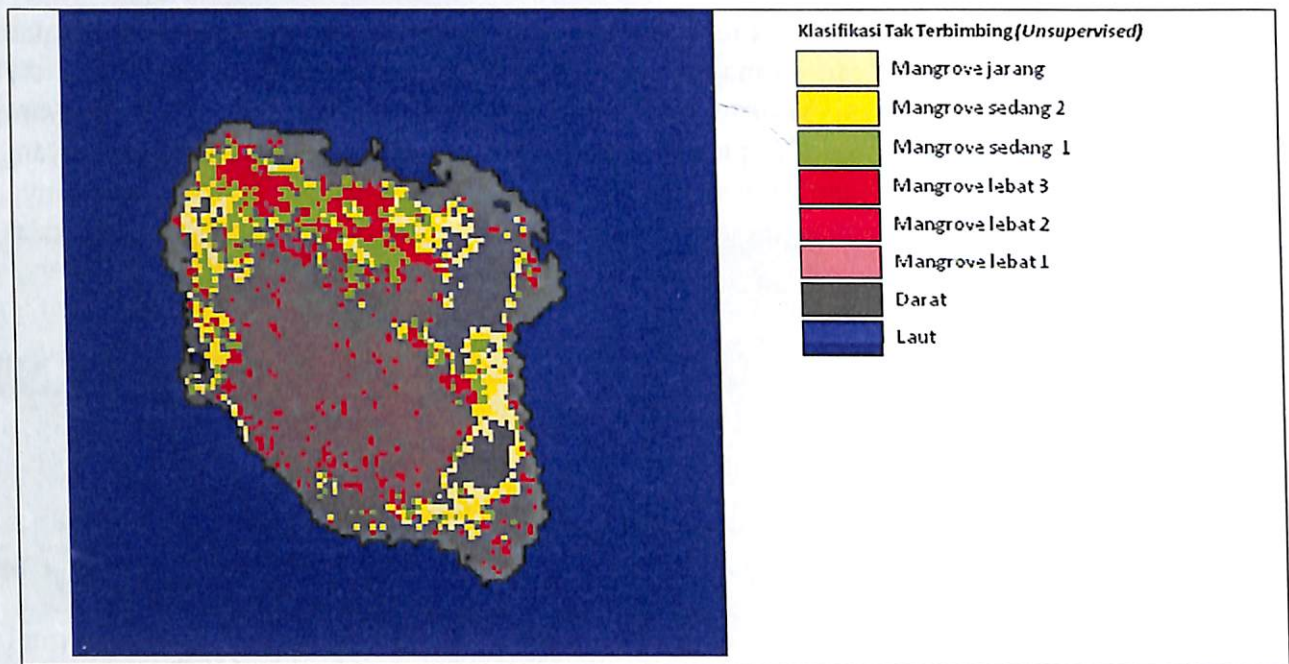
Selain dapat memisahkan vegetasi mangrove dan non mangrove dengan tegas, citra AVNIR dengan resolusi yang lebih tinggi dari citra yang sebelumnya sering digunakan untuk mendeteksi mangrove (Landsat) dapat pula mengidentifikasi kenampakan vegetasi yang rapat dan kurang rapat atau jarang. Kenampakan kerapatan vegetasi dapat diidentifikasi dengan menggunakan kanal buatan dari rasio kanal berdasarkan karakteristik spektralnya. Gambar 5b dan Gambar 5c menunjukkan kenampakan vegetasi yang rapat dan jarang dengan jelas. Pada Gambar 5b digunakan kombinasi kanal buatan RGB $4/3 \ 3/1 \ 2/1$ (kombinasi rasio kanal NIR dan merah, rasio kanal merah dan biru serta rasio kanal hijau dan biru), kerapatan vegetasi mangrove teridentifikasi oleh rasio kanal NIR dan merah dimana kedua kanal ini memiliki sensitivitas terhadap unsur vegetasi dan tanah. Sehingga pada tutupan vegetasi mangrove yang rapat unsur tanah tidak tampak lagi karena tertutup kanopi vegetasi mangrove dan terlihat berwarna merah terang di bagian utara Pulau Rambut. Sementara itu, rasio kanal merah dan biru digunakan untuk menampakkan unsur tanah dan air (tanah basah) sebagai kawasan pasang surut dan habitat mangrove, kenampakan lahan basah terbuka akan mendominasi kenampakan pada citra apabila tidak terdapat vegetasi mangrove atau hanya terdapat sedikit tegakan mangrove yang baru tumbuh (jarang) dan kenampakan ini pada citra satelit terlihat berwarna hijau gelap (bagian timur Pulau Rambut). Rasio kanal hijau dan biru yang memiliki sensitivitas terhadap unsur vegetasi dan air digunakan untuk menampakkan vegetasi jarang, dimana vegetasi mangrove jarang yang bercampur dengan unsur tanah dan air akan terlihat sebagai warna biru bercampur merah (bagian utara Pulau Rambut antara warna merah terang dan merah muda pada Gambar 5b).

Selain kombinasi warna RGB $4/3 \ 3/1 \ 2/1$ juga digunakan kombinasi dengan rasio kanal yang sama namun berbeda kombinasinya dengan komposisi RGB $4 \ 3/1 \ 2/1$, dengan kombinasi ini lebih mempertegas kerapatan mangrove jarang dan menampakkan unsur tanah (lahan basah) yang berwarna biru gelap (Gambar 5c). Berdasarkan karakteristik

spektralnya, kanal merah (kanal-3) memiliki sensitivitas terhadap obyek tanah sedangkan kanal biru (kanal-1) dan hijau (kanal-2) memiliki sensitivitas terhadap obyek air dan vegetasi, sehingga kombinasi rasio kanal tersebut dapat menampakkan obyek yang memiliki tutupan vegetasi rapat dan jarang, dimana pada tutupan vegetasi mangrove yang jarang unsur tanah dan air (tanah basah) lebih mendominasi daripada unsur vegetasinya. Sebaliknya pada tutupan vegetasi mangrove yang rapat kedua unsur (tanah dan air) tidak tampak lagi karena tertutup kanopi vegetasi mangrove, sehingga terdeteksi sebagai tutupan vegetasi yang rapat. Kedua kombinasi warna tersebut (Gambar 5b dan 5c) dapat digunakan untuk menampilkan tingkat kerapatan mangrove secara visual, namun pada kombinasi Gambar 5b hanya menampakkan vegetasi yang rapat di kawasan mangrove sedangkan pada Gambar 5c kenampakan vegetasi mangrove yang jarang lebih terlihat jelas (bagian tengah Pulau Rambut, antara warna jingga dan merah terang).

Hasil identifikasi mangrove secara visual menggunakan kombinasi dan rasio kanal serta analisis kisaran spektral (analisis deskriminan spektral) digunakan dalam membantu identifikasi dan ekstraksi mangrove secara digital dengan metode klasifikasi tak terbimbing dan terbimbing. Ekstraksi informasi mangrove dari citra ALOS AVNIR secara digital menggunakan metode terbimbing dilakukan dengan memisahkan obyek mangrove dan non mangrove menggunakan rasio kanal dan perhitungan indeks vegetasi untuk menentukan nilai kerapatan mangrovenya. Nilai kerapatan diperoleh dari hasil pengurangan NDVI maksimum dan minimum yang dibagi dalam 6 kelas yang disesuaikan dengan hasil klasifikasi tak terbimbing yang mengacu pada 3 kelas kerapatan menurut Dephut (2006) serta KLH (2011). Data hasil pemisahan obyek mangrove dari obyek non mangrove secara digital digunakan sebagai pembatas dalam perhitungan NDVI dan perhitungan tingkat kerapatan mangrove (klasifikasi).

Klasifikasi tak terbimbing dilakukan terhadap nilai reflektansi keempat kanal AVNIR dengan ketentuan sebagai berikut: maksimum iterasi sebanyak 100 kali, interval sampling 1 x 1 piksel, pengkelasan maksimum 30 kelas, standar deviasi maksimum 4,5 dan jarak minimum antar kelas rata-ratanya sebesar 3,2. Berdasarkan hasil klasifikasi tak terbimbing tersebut diperoleh 30 kelas penutup vegetasi di kawasan mangrove, selanjutnya sejumlah kelas tersebut dianalisis dan dikelompokkan mengacu pada klasifikasi Dephut (2006) serta KLH (2011). Dari hasil analisis terhadap 30 kelas tersebut dapat dikelompokkan menjadi 6 kelas tingkat kerapatan mangrove yang berbeda. Enam kelas tersebut terdiri dari 1 kelas untuk mangrove jarang, 2 kelas mangrove sedang, dan 3 kelas untuk mangrove lebat. Sehingga terdapat tiga kelas kelompok mangrove mengikuti klasifikasi Dephut (2006) serta KLH (2011), luas masing-masing tingkat kerapatan mangrove disajikan pada Tabel 3. Warna dalam setiap baris Tabel 3 menunjukkan kesesuaian masing-masing kelas hasil klasifikasi terbimbing dan tak terbimbing terhadap klasifikasi Dephut (2006) serta KLH (2011). Hasil klasifikasi tingkat kerapatan mangrove dari metode tak terbimbing dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Klasifikasi mangrove di Pulau Rambut menggunakan metode tak terbimbing

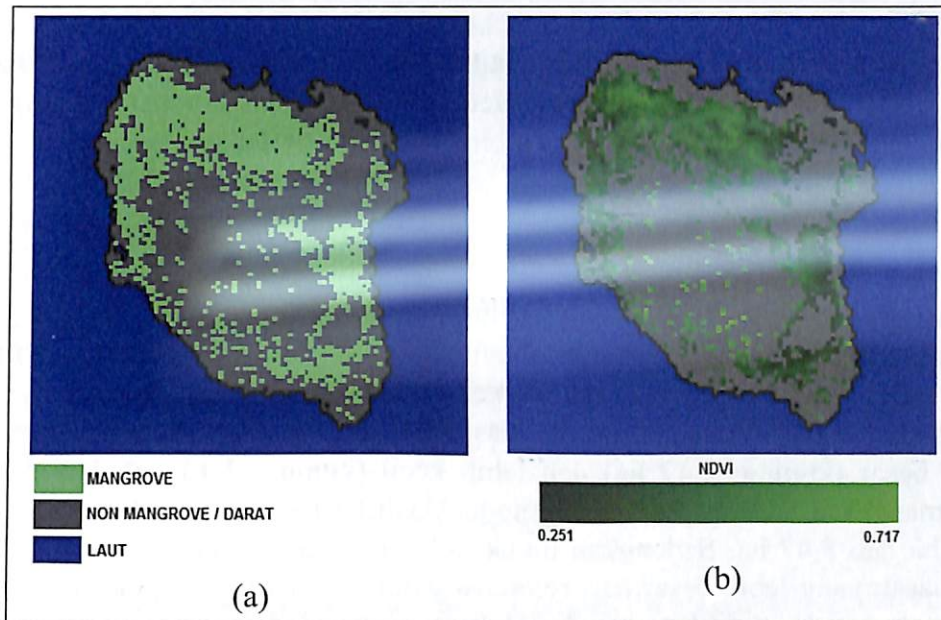
Klasifikasi mangrove menggunakan metode terbimbing dari citra ALOS AVNIR dilakukan dengan menerapkan rasio kanal dan penentuan nilai ambang batas tertentu untuk memisahkan mangrove dan non mangrove menggunakan formulasi sebagai berikut:

$$\text{Mangrove} = (\text{NIR-Blue}) / (\text{NIR-Green}) < 1, (\text{NIR-Blue}) < 1.35, (\text{NIR-Green}) < 0.83$$

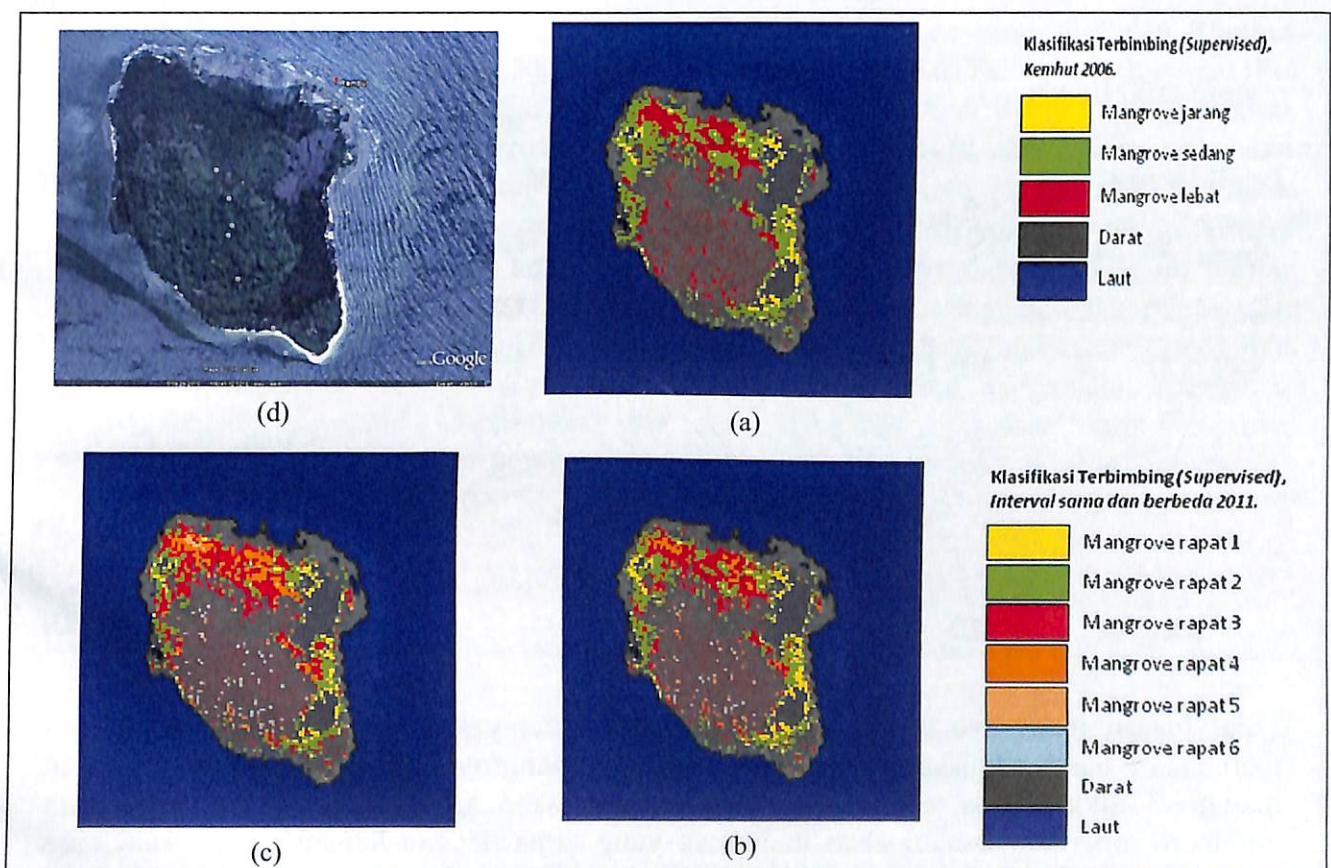
atau

$$\text{Mangrove} = (\text{B4-B1}) / (\text{B4-B2}) < 1, (\text{B4-B1}) < 1.35, (\text{B4-B2}) < 0.83$$

Tingkat kerapatan mangrove diperoleh dari nilai NDVI berdasarkan perhitungan nilai reflektansi kanal NIR dan kanal merah. Penggunaan rasio kanal tersebut didasarkan pada rasio kanal hijau dan biru terhadap NIR dimana kanal hijau dan NIR sensitif terhadap vegetasi dan tanah, sedangkan kanal biru sensitif terhadap obyek air terkait habitat mangrove. Hasil pemisahan obyek mangrove dan non mangrove serta nilai NDVI disajikan pada Gambar 7a dan 7b. Berdasarkan hasil perhitungan NDVI diperoleh nilai minimum 0,251 dan maksimum 0,717. Selanjutnya nilai NDVI diklasifikasi menjadi tingkat kerapatan mangrove menjadi enam kelas dengan interval kelas yang sama dan pembagian kelas interval menurut kenampakan visual identifikasi mangrove (komposit warna RGB). Hasil klasifikasi menurut Dephut (2006) serta KLH (2011) kemudian dibandingkan dengan hasil tak terbimbing dan terbimbing dengan interval sama dan interval menurut visual untuk mengetahui perbedaan luasan masing-masing tingkat kerapatannya dari metode yang berbeda. Hasil klasifikasi tingkat kerapatan dan luas mangrove berdasarkan nilai NDVI serta interval dari masing-masing metode dapat dilihat pada Gambar 8 dan Tabel 3.



Gambar 7. Hasil Klasifikasi mangrove dan non mangrove di Pulau Rambut dari citra ALOS AVNIR menggunakan rasio kanal NIR, Biru dan Hijau (a) dan Citra NDVI (b) dari kanal NIR dan kanal Merah



Gambar 8. Perbedaan luas dan tingkat kerapatan mangrove berdasarkan kanal rasio menggunakan klasifikasi terbimbing (search jarum jam); (a). Menurut Kemhut (2006) dan KLH (2011), (b) Interval sama, (c) Interval kenampakan visual citra RGB; dan (d) Kenampakan visual mangrove berdasarkan True Color Composite dari Citra Quicbird 31 Juli 2010 (sumber: Google Earth)

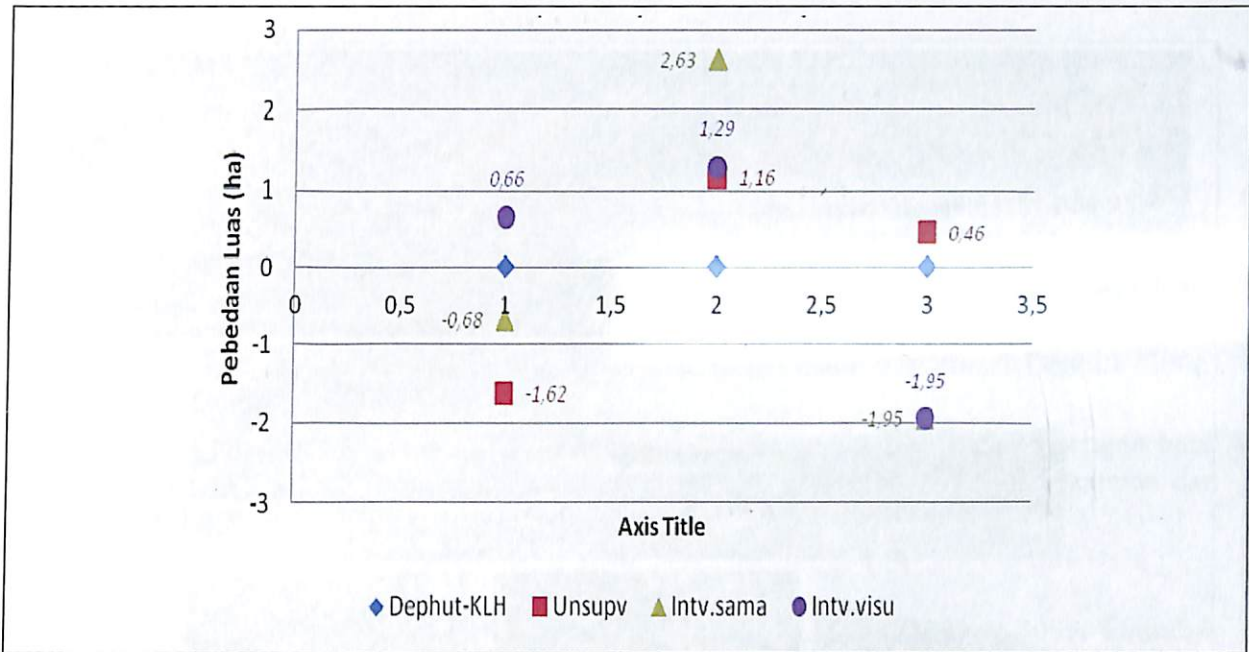
Dari Gambar 8a dan Tabel 3 terdapat tiga kelas tingkat kerapatan dan luasan mangrove menurut Dephut (2006) serta KLH (2011) yaitu mangrove jarang (kuning: 1,79 ha), sedang (hijau: 9,76) dan lebat (merah: 7,17 ha). Berdasarkan 6 kelas kerapatan mangrove hasil klasifikasi menggunakan metode tak terbimbing (Gambar 6) dapat dikelompokkan menjadi tiga kelas seperti klasifikasi Dephut (2006) serta KLH (2011) dengan masing-masing luas mangrove jarang (kuning muda: 3,41 ha), sedang (kuning dan hijau: 8,60) dan lebat (merah terang s.d merah muda: 6,71 ha).

Hasil klasifikasi menggunakan metode terbimbing dengan pembagian interval yang sama dan interval berdasarkan visual menghasilkan 6 kelas tingkat kerapatan dengan penamaan mangrove rapat 1-6. Pengelompokan 6 kelas menjadi 3 kelas (referensi) mengikuti kisaran/interval NDVI nya. Hasil kedua klasifikasi memberikan luasan mangrove jarang yang lebih besar (kuning: 2,47 ha) dan lebih kecil (kuning: 1,13 ha). Untuk kelompok kerapatan mangrove sedang dari dua metode klasifikasi memberikan luasan lebih kecil yaitu 7,13 ha dan 8,47 ha. Sedangkan untuk kelompok tingkat kerapatan mangrove lebat memiliki luasan yang lebih besar dari referensi yaitu 9,12 ha (kelompok tingkat kerapatan dan total luasannya dapat dilihat pada Tabel 3).

Tabel 3. Tingkat kerapatan dan luas mangrove berdasarkan nilai NDVI dan persentase tutupan tajuk oleh Dephut 2006 dan KLH (2011) menggunakan metode tak terbimbing dan terbimbing dari citra ALOS AVNIR di Pulau Rambut

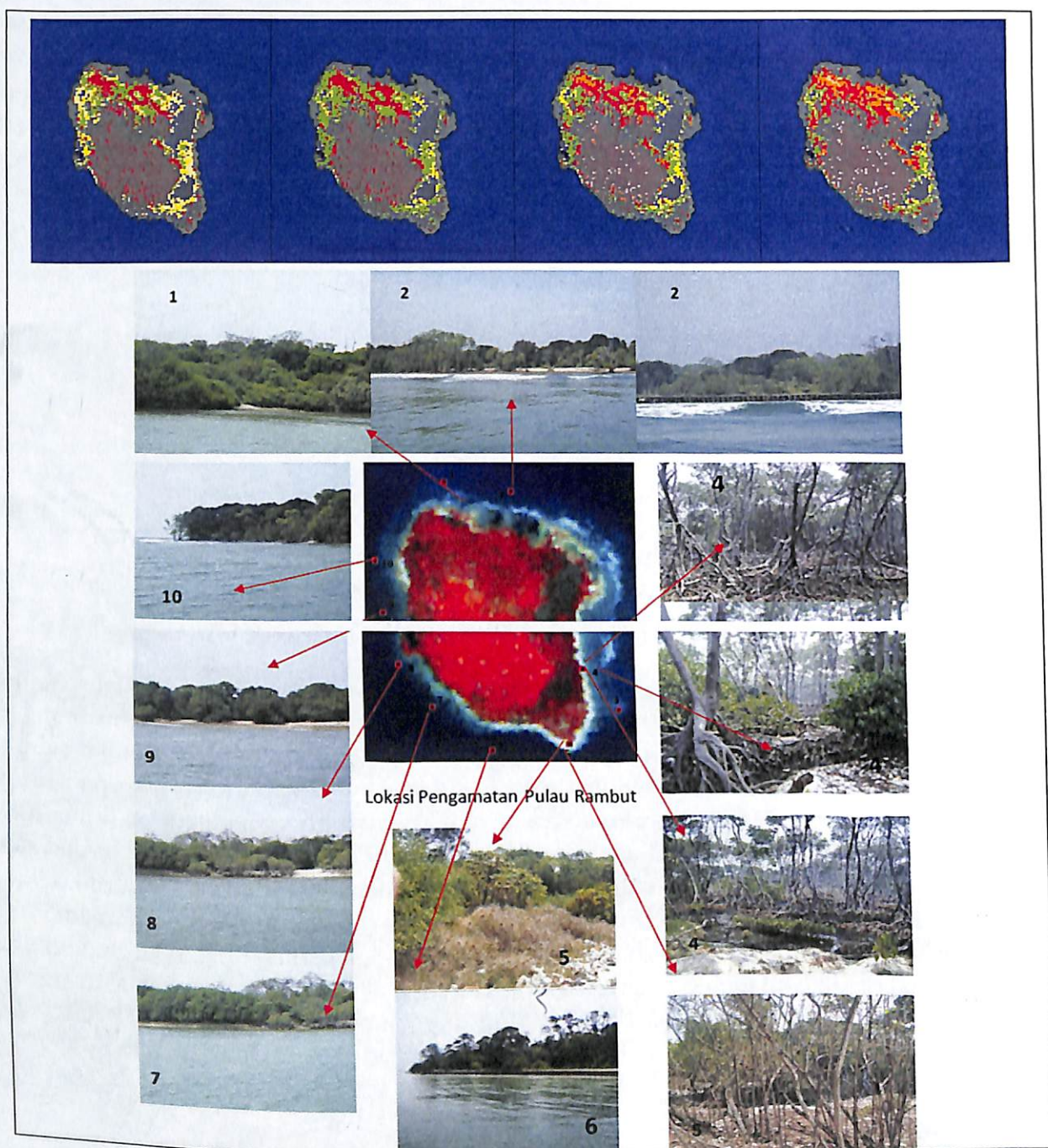
DEPHUT (2006) & KLH (2011)		UNSUPERVISED			SUPERVISED																
					Interval Sama							Interval Visual									
No.	Tingkat Kerapatan Mangrove	NDVI		Interval NDVI	Luas (Ha)	Tingkat Kerapatan Mangrove	Luas (Ha)	Luas total (Ha)	No.	Tingkat Kerapatan Mangrove	NDVI		Interval NDVI	Luas total (Ha)	Luas (Ha)	NDVI		Interval NDVI	Luas (Ha)	Luas total (Ha)	
		Min	Mak								Min	Mak				Min	Mak				Min
1	Jarang	0,25	<0,32	0,07	1,79	1 Jarang	3,41	3,41	1	Rapat 1	0,25	0,33	0,08	2,47	2,47	0,25	0,30	0,04	1,13	1,13	
2	Sedang	0,33	0,43	0,10	9,76	2 Sedang 2	3,98	8,60	2	Rapat 2	0,33	0,41	0,08	7,13	7,13	0,30	0,35	0,05	3,12	8,47	
						3 Sedang 1	4,62		3	Rapat 3	0,41	0,48	0,08	6,48		0,35	0,41	0,06	5,35		
3	Lebat	0,43	<1,00	0,57	7,17	4 Lebat 3	4,03			4	Rapat 4	0,48	0,56	0,08	1,97	9,12	0,41	0,47	0,05	5,94	
						5 Lebat 2	1,57	6,71	5	Rapat 5	0,56	0,64	0,08	0,47			0,47	0,54	0,07	2,25	9,12
						6 Lebat 1	1,11		6	Rapat 6	0,64	0,72	0,08	0,20			0,54	0,72	0,18	0,93	
TOTAL LUASAN					18,72		18,72						18,72							18,72	

Total luasan mangrove dari metode ini adalah sama yaitu 18,72 ha, nilai luasan ini merupakan hasil pemisahan mangrove dan non mangrove sebelum tingkat kerapatan mangrove diklasifikasi. Hasil klasifikasi menggunakan ketiga metode tersebut secara umum memberikan kenampakan mangrove yang sama dengan kenampakan visual citra resolusi tinggi dari Quicbird 31 Juli 2010 (sumber: Google Earth). Dari tiga metode yang diujicobakan, berturut-turut penggunaan metode tak terbimbing dan penentuan interval dari kenampakan visual RGB memiliki perbedaan terkecil dengan klasifikasi mangrove Dephut-KLH daripada kedua metode lainnya, besarnya perbedaan ditunjukkan dalam Gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan luas kerapatan mangrove dari metode klasifikasi tak terbimbing dan terbimbing (interval sama dan interval dari visual citra) terhadap klasifikasi Dephut-KLH

Menurut Bappedalda DKI Jakarta (2000), luas tutupan mangrovenya di Pulau Rambut adalah 27 ha, namun pada tahun 2002 berdasarkan hasil penelitian Fakultas Kehutanan IPB (menggunakan citra satelit Landsat) bahwa luas hutan mangrove di Pulau Rambut sebesar 17,07 Ha. Penurunan luas mangrove di Pulau Rambut disebabkan oleh abrasi pantai dan pencemaran sampah yang menutupi mangrove sehingga mangrove menjadi mati dan tidak berkembang. Berdasarkan perbandingan total luasan mangrove di Pulau Rambut dari data terakhir tersebut dapat dihitung ketelitian identifikasi mangrove dari metode ini sekitar 91,2%. Adanya perbedaan luas ini perlu dikaji lebih lanjut dengan pengamatan dan pengukuran lapangan yang lebih rinci. Pada penelitian ini belum dilakukan pengukuran tutupan dan kerapatan mangrove secara rinci, dan hanya sebatas pengamatan mangrove jarang, sedang dan lebat. Berdasarkan verifikasi sebagian besar klasifikasi kerapatan mangrove telah sesuai dengan kondisi di lapangan seperti ditunjukkan pada Gambar 10 (Mangrove Lebat: foto no. 1 dan 2, Mangrove Sedang: foto no. 4 Mangrove Jarang: foto no. 6, 7, 8, 9 dan 10).



Gambar 10. Titik lokasi pengamatan kerapatan mangrove di Pulau Rambut

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil identifikasi mangrove dari citra ALOS AVNIR akuisisi tanggal 3 Agustus 2009 dapat disimpulkan bahwa:

- Mangrove di Pulau Rambut dapat diidentifikasi secara visual dengan menerapkan metode kombinasi kanal melalui komposit warna dari kanal asli dan kanal buatan dengan kombinasi sebagai berikut: RGB 4 3 2, RGB $\frac{4}{3} \frac{3}{1} \frac{2}{1}$ dan RGB 4 $\frac{2}{1} \frac{3}{1}$.
- Secara digital obyek mangrove dan non-mangrove dapat dipisahkan dengan baik menggunakan metode rasio kanal nilai ambang batas tertentu berdasarkan karakteristik spektralnya, dengan formulasi sebagai berikut: mangrove=(NIR-Blue)/(NIR-Green)<1; (NIR-Blue)<1,35; (NIR-Green)<0.83 atau mangrove=(B4-B1)/(B4-B2)<1; (B4-

$B1 < 1,35$; $(B4-B2) < 0,8$. Hasil perbandingan total luasan mangrove di Pulau Rambut dengan data hasil penelitian terakhir tahun 2002 dari citra satelit Landsat diperoleh ketelitian $\pm 91\%$.

- Tingkat kerapatan mangrove dapat diklasifikasi dengan menerapkan metode klasifikasi tak terbimbing dari nilai reflektansi 4 kanal multispektral AVNIR dan metode terbimbing dengan membagi nilai NDVI dalam interval yang sama dan berdasarkan kenampakan visual dari kombinasi kanal yang telah dibuat untuk mengidentifikasi mangrove. Metode klasifikasi tersebut menghasilkan 6 kelas kerapatan mangrove yang dapat dikelompokkan menjadi tiga kelas kerapatan sesuai klasifikasi Dephut (2006) dan KLH (2011).
- Hasil klasifikasi menggunakan kedua metode secara umum telah sesuai dengan hasil pengamatan di lapangan, namun diperlukan pengamatan dan pengukuran tutupan dan kerapatan mangrove lebih rinci.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamanda. 2009. Kepulauan Seribu. Artikel ditulis pada 17 September 2009. Diunduh pada tanggal 30 Maret 2011 dari website: <http://www.citraindahrumahku.com/kepulauan-seribu/>.
- Bappedalda DKI Jakarta. 2000. Laporan Draft Final Koordinasi Evaluasi Kawasan Mangrove Cagar Alam dan Taman Nasional Laut Kepulauan Seribu DKI Jakarta.
- Bellairs, S.M., Turner, N.C., Hick, P.T., dan Smith, R.C.G. 1994. Plant and Soil Influences on Estimating Biomass of Wheat in Plant Breeding Plots Using Field Spectral Radiometer. *Australian Journal of Agricultural Research* 47(7):1017-1034.
- Bengen, D.G. 2001. Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan – Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Departemen Kehutanan. 2006. Inventarisasi dan Identifikasi Mangrove Wilayah Balai Pengelolaan DAS Pemali Jratun, Provinsi Jawa Tengah. Laporan Akhir. Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Pemali-Jratun. Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial. Departemen Kehutan Provinsi Jawa Tengah.
- FAO. 1982. Management and Utilization of Mangroves in Asia and the Pacific. Food and Agriculture Organization of the United Nations Environmental Paper #3, Roma.
- Fakultas Kehutanan IPB. 2002. Konsep Pengembangan Lingkungan Kawasan Suaka Margasatwa Pulau Rambut. Kerjasama Dinas Pertanian dan kehutanan Provinsi DKI Jakarta dengan Fakultas Kehutanan IPB, Bogor.
- Fitriani, N. 1999. Perubahan Landscape Perlindungan Alam Pulau Rambut Menggunakan Sistem Informasi Geografis. Skripsi Sarjana. Fakultas Kehutanan IPB. Bogor.
- Giri, C., Pengra, B., Zhu, A., Singh, A., dan Tieszen, L.L. 2007. Monitoring Mangrove Forest Dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India Using Multitemporal Satellite Data from 1973 to 2000. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73:91-100.
- Green E.P., Mumby, P.J., Edwards, A.J., dan Clark, C.D. 2000. Assessing Mangrove Leaf Area Index and Canopy Closure in Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management. Edwards, A.J. (Ed.). Coastal Management Sourcebooks series, UNESCO Publishing.
- Human, B.A. dan McDonald, J.I. 2009. Knowledge Review and Gap Analysis: Resource Condition Monitoring in the Pilbara and Kimberley Regions of Western Australia. Coastal and Marine Resource Condition Monitoring - Scoping Project. Final NRM Report, Project 073007 - Part 1. Department of Fisheries, Government of Western Australia. Fisheries Research Report No. 197, 192pp.

- Human, B.A., Murray, K., Zdunic, K., dan Behn, G. 2010. Field Trial of Potential Resource Condition Indicators, and an Exploration of the Utility of Remote Sensing, for Mangroves and Intertidal Mud Flats in the Pilbara – Pilot Study. Coastal and Marine Resource Condition Monitoring – Scoping Project. Final NRM Report, Project 073001 – Part 2. Department of Fisheries, Government of Western Australia. 104 pp.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2011. Draft Revisi Kepmen KLH No. 201 Tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove. Dokumen Draft Revisi Kepmen KLH No. 201, Tahun 2004. Jakarta.
- Kepmen LH. 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. Nomor 201 Tahun 2004 Tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove.
- LAPI-ITB. 2001. Laporan Akhir Pengelolaan Laut Lestari: Pendataan dan Pemetaan Potensi Sumber Daya Alam Kepulauan Seribu dan Pesisir Teluk Jakarta. Laporan Akhir. Lembaga Afiliasi Penelitian dan Industri - Institut Teknologi Bandung.
- Mason F.J., Loneragan, I.M., McLeod, I.M., dan Kenyon, R.A. 2001. Assessing Techniques for Estimating the Extent of Mangroves: Topographic Maps, Aerial Photographs and Landsat TM images. *Marine and Freshwater Resources* 52:787-92.
- Milder J.C. 2008. ASTER Processing Method. Manual for ASTER Image Processing. Department of Natural Resource, Cornell University.
- Paling, E.I., Humphreys, G., dan McCardle, I. 2003. The Effect of a Harbour Development on Mangroves in Northwestern Australia. *Wetlands Ecology and Management* 54:281-290.
- Santoso, N. 2005. Pelestarian Vegetasi Lokal dalam Rangka Pengembangan Tata Ruang Kepulauan Seribu (Conservation of Local Vegetation in the Space Development of Kepulauan Seribu). *Media Konservasi* Vol. X, No. 1 Juni 2005: 7 – 117. Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata Fakultas Kehutanan IPB.
- Tomlinson, P.B. 1986. *The Botany of Mangroves*. Cambridge University Press, Cambridge. 413 pages. ISBN 0-521-25567-8.
- Tucker, C.J. 1979. Red and Photographic Infrared Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of the Environment* 8:127-150.
- Tucker, C.J. dan Sellers, P.J. 1986. Satellite Remote Sensing of Primary Production. *International Journal of Remote Sensing* 7:1395-1416.