

ALGORITMA INDEKS VEGETASI *MANGROVE* MENGGUNAKAN
SATELIT LANDSAT ETM+
(*Vegetation Index Algorithm for Mangrove Derived
from Landsat ETM+*)

Oleh:

Risti Endriani Arhatin^{1*} dan Prihatin Ika Wahyuningrum²

Diterima: 5 Maret 2013; Disetujui: 22 Juli 2013

ABSTRACT

Traditional field monitoring of mangrove would be very difficult to survey. Remote sensing is a promising alternative to answer the problem for large-scale tropical mangrove management. The objectives of this research are to validate the accuracy of remote sensing data, namely Landsat-7 ETM+ images, for estimating mangrove forest canopy. The spatial data was Landsat ETM+ recording on May 21, 2002 (path / row: 116/059). Field data required physical condition of mangrove which observed using transect at several different locations. Transect plotted on size (30 × 30) metres. There were several step for data analysis which were radiometric correction, geometric correction, image enhancement and image classification. After that, it is analyzed by accuracy separability divergency transformation test and principal component analysis. The result of the research shows that the best vegetation index algorithm is Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI). PCA Result is {2,5180 (-0,522x₂ - 0,497x₃ - 0,470x₄ - 0,510x₅)} + {1,3057 (-0,462x₂ - 0,515x₃ - 0,548x₄ - 0,469x₅)}.

Keyword: mangrove, remote sensing, vegetation index

ABSTRAK

Monitoring *mangrove* dengan metode konvensional sangat sulit dilakukan. Sistem penginderaan jauh merupakan salah satu alternatif dalam mengatasi kendala dalam melakukan inventarisasi *mangrove* dengan cakupan areal yang luas. Tujuan penelitian ini melakukan validasi akurasi dari data Landsat-7 ETM+ dalam menduga kerapatan kanopi *mangrove*. Data spasial yang dipergunakan adalah citra Landsat ETM+ tanggal perekaman 21 Mei 2002 (*path/row*: 116/059). Data lapangan yang diperlukan adalah data kondisi fisik *mangrove*, pengamatan dilakukan pada beberapa lokasi yang berbeda, pada setiap lokasi dibuat transek. Setiap transek diplot dengan ukuran (30 × 30) meter². Analisis data meliputi koreksi radiometrik dan koreksi geometrik, penajaman citra dan klasifikasi citra. Setelah itu dilakukan uji ketelitian *separability transformasi divergency* dan analisis komponen utama. Hasil analisis menunjukkan algoritma vegetasi indeks yang paling baik adalah *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI). Analisis *PCA* diperoleh hasil persamaan {2,5180 (-0,522x₂ - 0,497x₃ - 0,470x₄ - 0,510x₅)} + {1,3057 (-0,462x₂ - 0,515x₃ - 0,548x₄ - 0,469x₅)}.

Kata kunci: mangrove, penginderaan jauh, indeks vegetasi

¹ Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK, IPB

² Departemen Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, FPIK, IPB

*Korespondensi: ristyend@yahoo.com

PENDAHULUAN

Pentingnya keberadaan hutan *mangrove* di daerah pesisir sudah diyakini secara luas di Indonesia, namun manajemen pemanfaatan hutan *mangrove* tersebut saat ini belum didasarkan pada data yang komprehensif dari sumberdaya *mangrove* tersebut, sehingga banyak hutan *mangrove* yang terdegradasi bahkan hilang sama sekali. Kurangnya data serta belum banyaknya penelitian *mangrove* dikarenakan selama ini kondisi lapangan menjadi hambatan yang besar bagi pelaksanaan survei dan penelitian. Sistem penginderaan jauh merupakan salah satu alternatif dalam mengatasi kendala tersebut diatas. Dengan sistem penginderaan jauh bisa dilakukan inventarisasi maupun monitoring sumberdaya alam, dengan cakupan areal yang luas, repetitif, sinoptik, biaya operasional yang relatif murah dan cepat, serta resiko yang kecil.

Saat ini penginderaan jauh merupakan teknologi yang sudah tidak asing lagi dalam memetakan maupun memantau *mangrove*. Beberapa penelitian yang telah dilakukan diantaranya: Satyanarayana *et al.* (2011) melakukan assesmen pada vegetasi *mangrove* di Tumpat, Delta Kelantan, pantai timur semenanjung Malaysia; Kuenzer *et al.* (2011) mengkaji metode image processing dalam diskriminasi *mangrove*; Koedsin and Vaiphasa (2013) melakukan pembedaan *mangrove* sampai pada tingkat spesies dengan menggunakan data hyperspektral; Ismail *et al.* (2011) dan KasawanI *et al.* (2010) menguji soil line based vegetation indices dalam memetakan *mangrove*; Ponnambalam *et al.* (2012) memetakan sebaran *mangrove* dan perubahan morfologi di Mullipallam, pantai tenggara India.

Dalam melakukan inventarisasi maupun monitoring wilayah *mangrove*, data tentang indeks vegetasi sangat penting, karena bisa sebagai indikator dalam pendugaan biomassa (Proisy *et al.* 2007; Satyanarayana *et al.* 2011), pendugaan leaf area index (Gong *et al.* 2003), produktivitas primer (Satyanarayana *et al.* 2011). Tujuan studi ini adalah: (1) mencari hubungan nilai indeks vegetasi yang diperoleh dari citra satelit dengan kerapatan kanopi *mangrove*; (2) mencari hubungan matematis terbaik antara nilai respon spektral dengan kerapatan kanopi *mangrove*.

METODE PENELITIAN

Data spasial yang dipergunakan adalah citra Landsat ETM+ tanggal perekaman 21 Mei 2002 (*path/row*: 116/059). Data lapangan yang diperlukan adalah data kondisi fisik *mangrove*, pengamatan dilakukan pada beberapa lokasi yang berbeda, pada setiap lokasi dibuat transek. Setiap transek diplot dengan ukuran (30 × 30) meter². Pada setiap transek diidentifikasi jenis *mangrove*, diukur persen penutupan kanopinya, serta dipetakan posisi tiap stasiun. Peralatan yang dipergunakan dalam pengamatan komunitas *mangrove*: perahu motor, *roll* meter, *Global Positioning System* (GPS), kompas dan kamera. Peralatan yang diperlukan dalam pengolahan data yaitu: seperangkat personal computer dengan software *ER Mapper 6.4* dan *Arc View 3.3*, serta software *Minitab 13* dan SPSS 12 untuk analisis statistik.

Analisis data

Tahap awal dalam pemrosesan citra adalah *pre-processing* yang meliputi koreksi radiometrik dan koreksi geometrik. Koreksi radiometrik untuk memperbaiki nilai-nilai *pixel* yang tidak sesuai dengan nilai pantulan atau pancaran *spektral* objek yang sebenarnya, sedangkan koreksi geometrik untuk mendapatkan citra yang sesuai dengan posisi yang sebenarnya di bumi. Penajaman citra (*Image Enhancement*) dilakukan dengan pembuatan komposit 453 (RGB). Pada penelitian ini menggunakan klasifikasi *maximum likelihood* yang merupakan metode standar untuk klasifikasi (McLachlan 1991). Asumsi pada metode klasifikasi ini data terdistribusi normal. Langkah-langkah pada klasifikasi *maximum likelihood*

adalah seleksi *training area*, penghitungan parameter statistik, penghitungan peluang tiap kelas per *pixel*, memasukkan *pixel* ke kelas berdasarkan peluang terbesar.

Uji ketelitian *separability transformasi divergency*

Metode transformasi divergensi digunakan dalam penelitian ini untuk mengukur tingkat keterpisahan antar kelas atau signature yang diwakili oleh *training sample*. Formulasi transformasi *divergency* dapat dituliskan dengan rumus (Swain and Davis 1978; Jensen 1986):

$$D_{ij} = \frac{1}{2} \left[\text{Tr} \left\{ \left(K_i - K_j \right) \left(K_i^{-1} - K_j^{-1} \right) \right\} + \text{Tr} \left\{ \left(K_i^{-1} - K_j^{-1} \right) \left(R_i - R_j \right) \left(R_i - R_j \right)^T \right\} \right]$$

$$TD_{ij} = 2000 * \left\{ 1 - \exp \left(- D_{ij} / 8 \right) \right\}$$

Keterangan:

- i, j* : pasangan kelas/signature ke *i* dan *j*
- D* : nilai divergensi
- K* : matrik kovarian kelas ukuran N x N (N = jumlah kanal kombinasi)
- R* : matriks rata-rata kelas ukuran N x 1
- Tr, -1, T* : operasi *trace, inverse* dan *transpose matriks*
- TD* : transformasi divergensi

Transformasi indeks vegetasi

Formula indeks vegetasi yang diuji pada penelitian ini meliputi *RVI, TRVI, DVI, NDVI, GNDVI, SAVI, GVI, IPVI, SLAVI, II* (Tabel 1). Dalam menentukan hubungan antara kerapatan kanopi *mangrove* dengan hasil transformasi indeks vegetasi digunakan analisis regresi. Pemilihan model terbaik ditentukan dari nilai R² (koefisien determinasi). Pengujian hipotesis melalui analisis ragam, hal ini dimaksudkan untuk menunjukkan apakah persen penutupan kanopi (*Y*) dengan hasil formula indeks vegetasi (*X*) memiliki hubungan yang berarti.

Tabel 1 Beberapa formula indeks vegetasi yang dipergunakan pada penelitian

No	Formula	Tipe Indeks Vegetasi	Rumus
1	<i>RVI</i>	<i>Ratio Vegetation Index</i>	$RVI = \frac{NIR}{Red}$
2	<i>TRVI</i>	<i>Transformed RVI</i>	$TRVI = \sqrt{\frac{NIR}{Red}}$
3	<i>DVI</i>	<i>Difference Vegetation Index</i>	$DVI = 2.4 NIR - Red$
4	<i>NDVI</i>	<i>Normalized difference vegetation index</i>	$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$
5	<i>GNDVI</i>	<i>Green normalized difference vegetation index</i>	$GNDVI = \frac{NIR - Green}{NIR + Green}$
6	<i>SAVI</i>	<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>	$SAVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red + L} (1 + L)$
7	<i>GVI</i>	<i>Global Vegetation Index</i>	$GVI = -0.2848 * TM1 - 0.2435 * TM2 - 0.5439 * TM3 + 0.7243 * TM4 + 0.0840 * TM5 - 0.1800 * TM7$
8	<i>IPVI</i>	<i>Infrared Percentage Vegetation Index</i>	$IPVI = \frac{1}{2} (NDVI + 1)$
9	<i>SLAVI</i>	<i>Specific leaf area vegetation index</i>	$SLAVI = \frac{NIR}{Red + MIR}$

Dalam analisis regresi dicobakan beberapa model persamaan sebagai berikut:

- 1) *Linear* $Y = b_0 + (b_1 t)$
- 2) *Logarithmic* $Y = b_0 + b_1 \ln(t)$

- 3) *Inverse* $Y = b_0 + \left(\frac{b_1}{t}\right)$
 4) *Quadratic* $Y = b_0 + b_1t + b_2t^2$
 5) *Cubic* $Y = b_0 + b_1t + b_2t^2 + b_3t^3$
 6) *Power* $Y = b_0 + (t^{b_1})$ atau $\ln(Y) = \ln(b_0) + (b_1 \ln(t))$
 7) *Compound* $Y = b_0 + (b_1^t)$ atau $\ln(Y) = \ln(b_0) + (t \ln(b_1))$
 8) *S-curve* $Y = \exp\left(b_0 + \frac{b_1}{t}\right)$ atau $\ln(Y) = b_0 + \left(\frac{b_1}{t}\right)$
 9) *Logistic* $Y = \frac{1}{\frac{1}{u} + (b_0(b_1^t))}$ atau $\ln\left(\frac{1}{Y} - \frac{1}{u}\right) = \ln(b_0) + t \ln(b_1)$
 10) *Growth* $Y = \exp(b_0 + b_1t)$ atau $\ln(Y) = b_0 + b_1t$
 11) *Exponential* $Y = b_0 \exp(b_1t)$ atau $\ln(Y) = \ln(b_0) + b_1t$

dimana:

- Y = persen penutupan kanopi
 b = konstanta
 t = hasil formula indeks vegetasi (RVI, TRVI, DVI, NDVI, GNDVI, SAVI, GVI, IPVI, SLAVI)

Analisis komponen utama

Peubah bebas yang digunakan terdiri dari; x_1 (kanal 2), x_2 (kanal 3), x_3 (kanal 4) serta x_4 (kanal 5). Kanal 2 untuk mengukur nilai pantul hijau pucuk tumbuhan. Kanal 3 untuk pemisahan vegetasi, yaitu memperkuat kontras antara vegetasi dan non vegetasi. Kanal 4 membantu identifikasi tanaman dan memperkuat kontras antara tanaman dengan tanah dan lahan dengan air. Kanal 5 untuk penentuan jenis tanaman, kandungan air pada tanaman dan kondisi kelembaban tanah.

Tahap-tahap yang dilakukan untuk menentukan nilai komponen utama yaitu: 1) menentukan peubah Z hasil dari pembakuan peubah X ; 2) penentuan nilai akar ciri (λ_i) dari persamaan $|R - \lambda I| = 0$; 3) Menentukan nilai vektor ciri (ai) untuk setiap akar ciri dengan persamaan $(R - \lambda I) ai = 0$; 4) Menentukan komponen utama K_j melalui seleksi akar ciri. Metode yang digunakan dalam menentukan banyaknya komponen utama adalah berdasarkan nilai *eigen*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

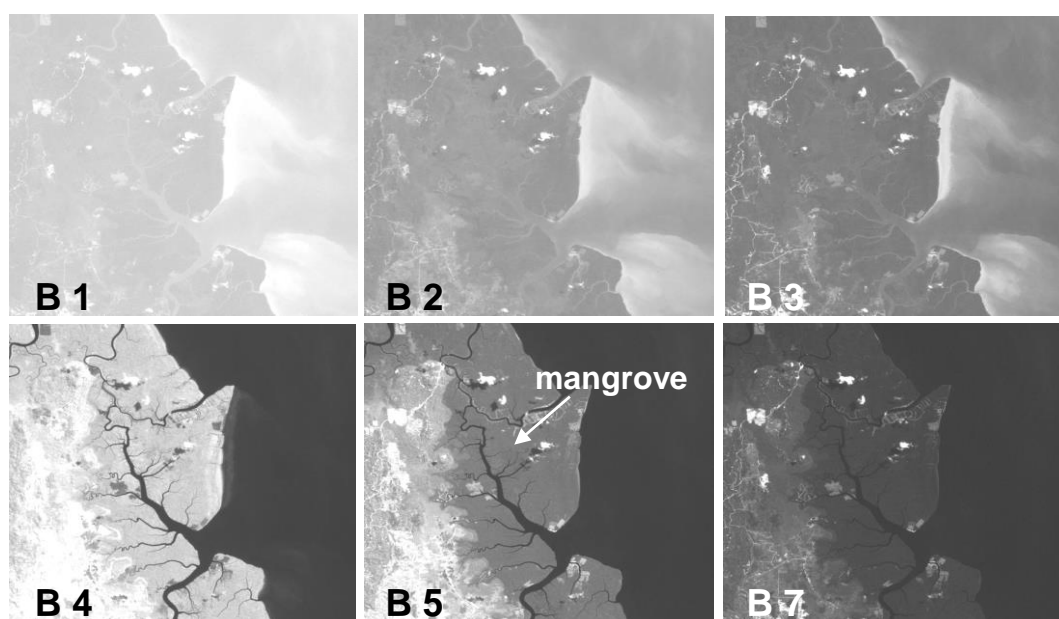
Pada pengamatan secara visual masing-masing kanal tunggal secara terpisah dalam mendeteksi objek *mangrove*, ternyata kanal yang paling representatif secara visual bisa membedakan *mangrove* dengan objek-objek lain adalah kanal 5, yang terletak pada selang panjang gelombang 1,55-1,75 μm (Gambar 1). Hal ini membuktikan bahwa pada selang panjang gelombang 1,55-1,75 μm tersebut kandungan air pada tanaman dan kondisi kelembaban tanah berpengaruh sangat kuat sehingga bisa membedakan antara *mangrove* dengan tumbuhan darat.

Penajaman citra (*Image Enhancement*)

Penajaman dilakukan dengan pembuatan komposit RGB 453 (Gambar 2). Dimana kanal 3 pada selang λ 0,63-0,69 μm , untuk pemisahan vegetasi, memperkuat kontras antara vegetasi dan non vegetasi. Kanal 4 yaitu pada selang λ 0,76-0,90 μm , membantu identifikasi tanaman dan memperkuat kontras antara tanaman dengan tanah dan lahan dengan air. Kanal 5 pada

selang λ 1,55-1,75 μm , untuk penentuan jenis tanaman, kandungan air pada tanaman dan kondisi kelembaban tanah (Gambar 2).

Pada identifikasi *mangrove* dengan citra komposit RGB 453 ini cukup mudah untuk membedakan *mangrove* dengan objek-objek lain. Berdasarkan analisis visual pengamatan nilai-nilai digital dan pertimbangan visual warna pada citra komposit tersebut, *mangrove* primer ditunjukkan oleh warna merah gelap, *mangrove* sekunder warna orange gelap dan mengacu pada habitatnya yang hidup di sepanjang pantai perairan asin. Tambak ditunjukkan dengan warna biru kehijauan. Warna biru sampai hitam adalah perairan, semakin dalam perairan akan ditunjukkan dengan warna yang semakin gelap. Vegetasi darat ditunjukkan dengan warna orange.



Gambar 1 Citra tiap kanal untuk identifikasi *mangrove*

Uji ketelitian keterpisahan (*separability*) *transformed divergency*

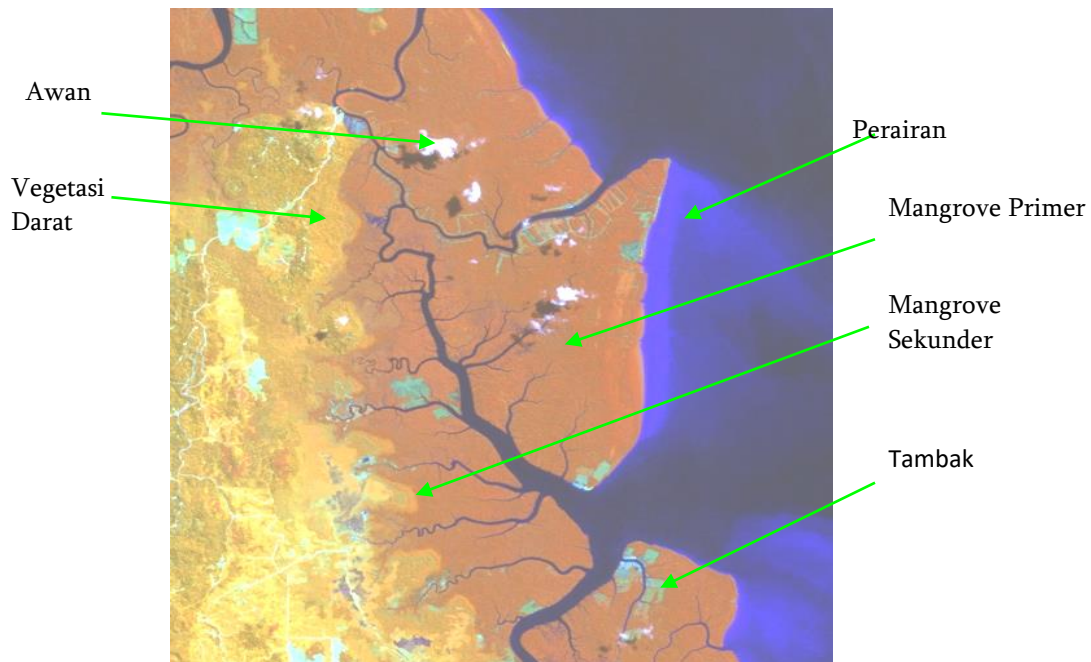
Selang nilai *transformed divergency* adalah antara 0 sampai dengan 2.000. Apabila *transformed divergency* lebih dari 1.900 maka keterpisahan antar objek bagus, namun apabila kurang dari 1.700 maka keterpisahan antar objek buruk (Jensen 1986). Arifin *et al.* 1996 juga mengemukakan apabila keterpisahan tersebut kecil (≤ 1.500) maka training area tersebut dapat digabung atau dihapus dengan mengganti kelas training area baru.

Dari hasil uji keterpisahan dapat dilihat bahwa keterpisahan antar objek cukup baik (Tabel 2). Keterpisahan *mangrove* primer dengan perairan mencapai nilai maksimum yaitu 2.000, *mangrove* primer dengan *mangrove* sekunder mencapai nilai 1.985, *mangrove* primer dengan tambak mencapai nilai maksimum yaitu 2.000, *mangrove* primer dengan lainnya mencapai nilai 2.000. *Mangrove* sekunder dengan perairan mencapai nilai 2.000, *mangrove* sekunder dengan tambak mencapai nilai 2.000, *mangrove* sekunder dengan lainnya mencapai nilai 1.884.

Berdasarkan Tabel 2 tersebut bisa disimpulkan bahwa keterpisahan antar objek sangat baik, termasuk keterpisahan *mangrove* dengan objek-objek lainnya. Secara lengkap mengenai evaluasi keterpisahan dari tiap objek dapat dilihat pada di bawah ini.

Tabel 2 Nilai transformed divergency

Kelas	Perairan	<i>Mangrove</i> Primer	<i>Mangrove</i> Sekunder	Tambak	Lainnya/ Veg darat
Th 2002					
<i>Mangrove</i> primer	2.000				
<i>Mangrove</i> sekunder	2.000	1.985			
Tambak	2.000	2.000	2.000		
Lainnya/veg darat	2.000	2.000	1.884	1.999	
Awan	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000



Gambar 2 Citra komposit RGB 453

Klasifikasi *maximum likelihood*

Asumsi dari algoritma *maximum likelihood* ini adalah objek homogen akan menampilkan histogram yang terdistribusi normal (bayesian). Pada algoritma ini pixel dikelaskan sebagai objek tertentu tidak karena jarak euklidiannya, melainkan oleh bentuk, ukuran dan orientasi sampel pada feature space.

Berdasarkan hasil klasifikasi pada citra landsat-7 ETM+ tahun 2002 diketahui bahwa pada lokasi studi yang meliputi: Pijanau dan Pesayan (Kecamatan Sambaliung) Desa Radak/Buyung-buyung, Desa Semurut, Desa Tuban, Tabalar Muara (Kecamatan Talisayan) mempunyai hutan *mangrove* primer seluas 11.584,53 ha dan *mangrove* sekunder seluas 1.709,01 ha, sedangkan tambak seluas 587,34 ha.

Transformasi indeks vegetasi

Indeks vegetasi merupakan suatu algoritma yang diterapkan terhadap citra (biasanya multi kanal) untuk menonjolkan aspek kerapatan vegetasi atau pun aspek lain yang berkaitan dengan kerapatan, misalnya biomassa, konsentrasi klorofil, dan sebagainya. Nilai indeks vegetasi yang tinggi memberikan gambaran bahwa di areal yang diamati terdapat vegetasi yang mempunyai tingkat kehijauan tinggi, seperti areal hutan rapat dan lebat. Sebaliknya nilai indeks vegetasi yang rendah merupakan indikator bahwa lahan yang menjadi objek

pemantauan mempunyai tingkat kehijauan vegetasi rendah atau lahan dengan vegetasi sangat jarang atau kemungkinan besar bukan objek vegetasi. Pada Tabel 3 ditampilkan indeks vegetasi tiap stasiun dari beberapa algoritma pada citra Landsat-7 ETM+.

Analisis regresi antara persentase kerapatan kanopi *mangrove* (peubah respon) dengan hasil transformasi indeks vegetasi (peubah bebas) digunakan untuk mencari hubungan matematis terbaik antara kedua peubah tersebut. Nilai koefisien determinasi hasil analisis regresi antara persentase kerapatan kanopi *mangrove* (peubah respon) dengan hasil transformasi indeks vegetasi (peubah bebas) pada tiap model persamaan ditampilkan pada Tabel 4. Hasil koefisien determinasi indeks vegetasi dari Landsat-7 ETM+ rata-rata didapatkan nilai R² yang tinggi, kecuali transformasi indeks vegetasi difference vegetation index (DVI) dimana nilai tertingggi sebesar 0,5381. Dari sebelas model persamaan yang dicobakan, diperoleh hasil bahwa model persamaan cubic merupakan model yang paling baik untuk semua tranformasi indeks vegetasi yang digunakan pada penelitian ini. Koefisien determinasi indeks vegetasi (R²) untuk ratio vegetation index (RVI) 0,7978 dengan model persamaan cubic, transformed ratio vegetation index (TRVI) 0,7950 dengan model persamaan quadratic atau cubic, difference vegetation index (DVI) 0,5381 dengan model persamaan cubic, normalized difference vegetation index (NDVI) 0,8040 dengan model persamaan cubic, green normalized difference vegetation index (GNDVI) 0,8331 dengan model persamaan cubic, soil adjusted vegetation index (SAVI) 0,8032. .

Grafik regresi antara transformasi indeks vegetasi dengan persentase kerapatan kanopi pada tiap transformasi indeks vegetasi ditampilkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3 tersebut menampilkan model persamaan paling baik untuk tiap transformasi indeks vegetasi berdasarkan nilai koefisien determinasinya

Berdasarkan hasil analisa uji anova diperoleh hasil bahwa semua transformasi indeks vegetasi RVI, TRVI, DVI, NDVI, GNDVI, SAVI, GVI, IPVI dan SLAVI untuk semua model persamaan yang dicobakan memiliki Fhitung > Ftabel sehingga tolak H₀ dan terima H₁, yang berarti bahwa peubah penjelas (RVI, TRVI, DVI, NDVI, GNDVI, SAVI, GVI, IPVI dan SLAVI) memiliki kontribusi yang nyata terhadap peubah respon, yaitu persentase penutupan kanopi *mangrove* (Tabel 5).

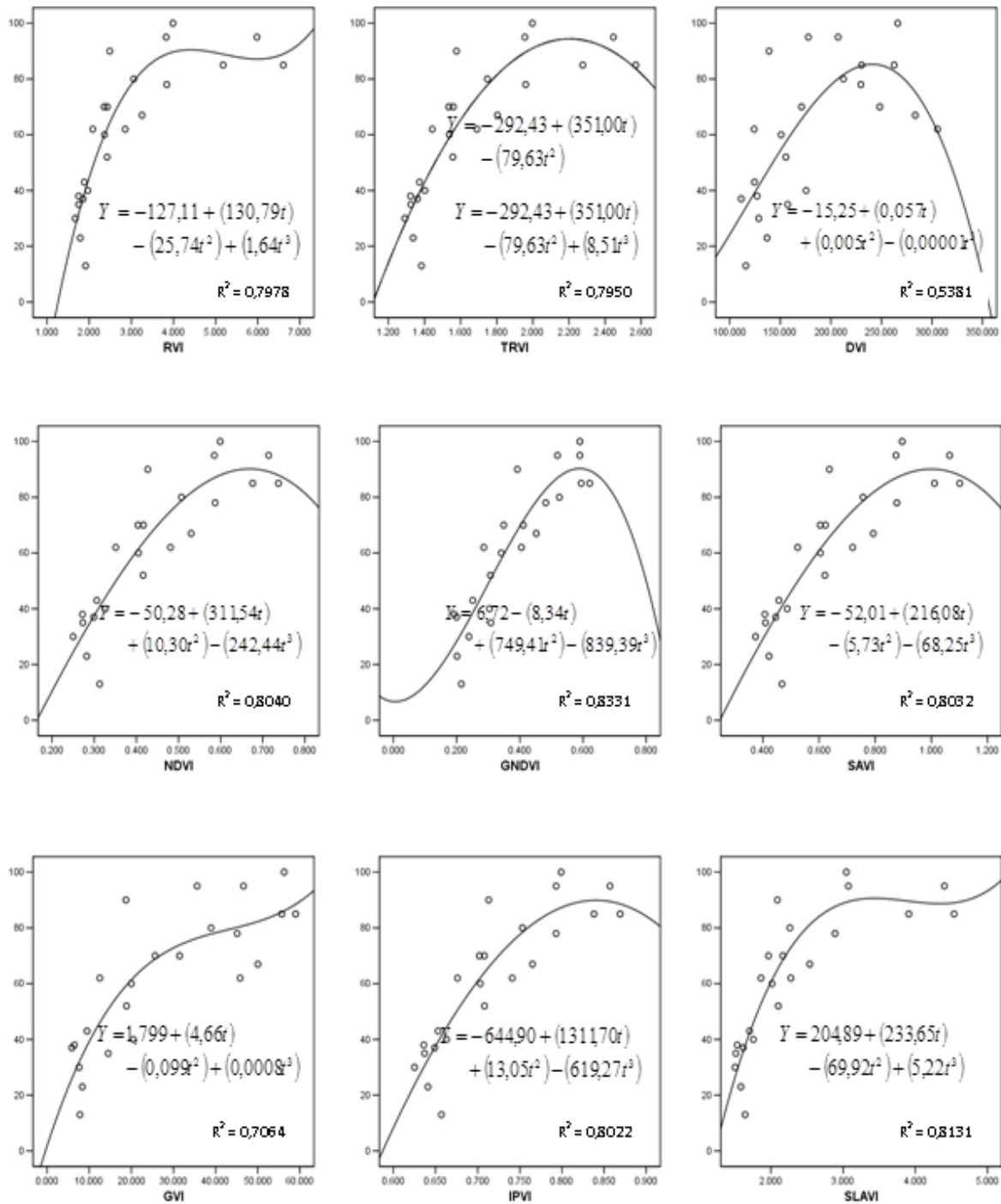
Berdasarkan nilai R² pada Tabel 4 dan hasil analisa uji anova pada Tabel 5 diketahui bahwa Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) merupakan tranformasi indeks vegetasi yang paling baik untuk melihat kerapatan kanopi *mangrove* di lokasi penelitian (Kabupaten Berau). Pada Tabel 6 berikut ditampilkan model persamaan paling baik untuk tiap transformasi indeks vegetasi.

Analisis komponen utama

Salah satu tantangan dalam analisis peubah ganda adalah mereduksi dimensi dari segugus data peubah ganda yang besar. Hal ini seringkali dilakukan dengan cara mereduksi gugus peubah tersebut menjadi gugus peubah yang lebih kecil atau gugus peubah baru yang jumlahnya lebih sedikit. Peubah-peubah baru tersebut merupakan fungsi dari peubah asal atau peubah asal itu sendiri yang memiliki proporsi informasi yang signifikan mengenai gugus data tersebut. Pereduksian dimensi ini sangat diperlukan pada saat melakukan eksplorasi data menggunakan plot-plot untuk memberikan informasi secara visual.

Penggunaan komponen utama, yang merupakan fungsi linear tertentu dari peubah asal, sering disarankan untuk digunakan dalam proses mereduksi banyaknya peubah. Komponen utama mampu mempertahankan sebagian besar informasi yang terkandung pada data asal. Komponen utama mampu mempertahankan sebagian informasi yang diukur menggunakan keragaman total hanya menggunakan sedikit komponen utama saja. Hasil analisis komponen

utama dengan menggunakan data hasil pembakuan peubah asli X menjadi peubah baku Z, diperoleh nilai akar ciri dan vektor ciri (Tabel 7).



Gambar 3 Grafik hasil analisis regresi antara transformasi indeks vegetasi dengan persentase kerapatan kanopi *mangrove*

Tabel 3 Hasil indeks vegetasi dari beberapa algoritma pada tiap stasiun

Stasiun	Lintang	Bujur	% Penu-tupan	RVI	TRVI	DVI	NDVI	GNDVI	SAVI	GVI	IPVI	SLAVI	Dominansi Jenis <i>Mangrove</i>
1	605028	233574	30	1,667	1,291	128,670	0,250	0,239	0,374	7,588	0,625	1,503	<i>Ceriops sp.</i>
2	602942	232840	60	2,363	1,537	150,870	0,405	0,341	0,605	20,010	0,703	2,016	<i>Ceriops sp.</i>
3	601692	230822	80	3,056	1,748	212,437	0,507	0,525	0,757	38,904	0,753	2,263	<i>Rhizophora sp.</i>
4	600564	227278	70	2,429	1,559	171,025	0,417	0,411	0,623	25,640	0,708	2,166	<i>Rhizophora sp., Ceriops sp.</i>
5	600191	225589	90	2,488	1,577	138,937	0,427	0,392	0,637	18,708	0,713	2,091	<i>Rhizophora sp.</i>
6	598208	227141	95	5,981	2,446	207,202	0,714	0,590	1,065	46,610	0,857	4,403	<i>Rhizophora sp.</i>
7	583123	224131	85	6,606	2,570	230,465	0,737	0,621	1,101	55,714	0,869	4,536	<i>Rhizophora sp.</i>
8	579400	229376	100	3,987	1,997	266,102	0,599	0,590	0,896	56,265	0,799	3,045	<i>Nypa sp.</i>
9	578762	239786	70	2,353	1,534	248,375	0,404	0,349	0,604	31,439	0,702	1,967	<i>Sonneratia sp., Nypa sp., Bruguiera sp.</i>
10	591833	242310	35	1,752	1,324	157,348	0,273	0,308	0,409	14,526	0,637	1,515	<i>Avicennia sp. Nypa sp.</i>
11	599218	239767	43	1,882	1,372	124,499	0,306	0,251	0,457	9,480	0,653	1,705	<i>Avicennia sp., Bruguiera sp., Nypa sp.</i>
12	599698	239600	37	1,853	1,361	111,323	0,299	0,200	0,446	5,881	0,649	1,618	<i>Avicennia sp.</i>
13	601919	238468	52	2,423	1,557	155,523	0,416	0,307	0,621	18,868	0,708	2,102	<i>Avicennia sp.</i>
14	604096	236422	38	1,749	1,322	127,126	0,272	0,192	0,407	6,505	0,636	1,534	<i>Sonneratia sp.</i>
15	606081	235014	78	3,841	1,960	229,663	0,587	0,482	0,877	45,110	0,793	2,888	<i>Sonneratia sp., Rhizophora sp.</i>
16	603023	233647	85	5,178	2,276	262,552	0,676	0,594	1,011	58,989	0,838	3,909	<i>Rhizophora sp.</i>
17	602664	232555	23	1,787	1,337	136,893	0,282	0,201	0,422	8,357	0,641	1,585	<i>Avicennia sp., Sonneratia sp.</i>
18	600538	232553	62	2,083	1,443	124,198	0,351	0,286	0,524	12,523	0,676	1,863	<i>Sonneratia sp., Nypa sp.</i>
19	600052	234435	67	3,254	1,804	283,449	0,530	0,452	0,793	50,022	0,765	2,538	<i>Avicennia sp.</i>
20	599294	235487	62	2,855	1,690	305,449	0,481	0,405	0,720	45,803	0,741	2,277	<i>Rhizophora sp., Bruguiera sp.</i>
21	594636	235443	95	3,824	1,956	177,722	0,585	0,519	0,874	35,621	0,793	3,073	<i>Nypa sp.</i>
22	592239	233849	13	1,913	1,383	115,975	0,313	0,215	0,468	7,798	0,657	1,643	<i>Nypa sp.</i>
23	584451	241485	40	1,965	1,402	175,497	0,326	0,304	0,487	20,474	0,663	1,758	<i>Sonneratia sp., Nypa sp.</i>

Tabel 4 Nilai koefisien determinasi dari hasil analisis regresi antara persen penutupan kanopi dengan transformasi indeks vegetasi

No	Persamaan	RVI	TRVI	DVI	NDVI	GNDVI	SAVI	GVI	IPVI	SLAVI
1	Linear	0,5489	0,6164	0,3657	0,7285	0,8022	0,7278	0,6320	0,7267	0,5873
2	Logarithmic	0,6775	0,6774	0,4201	0,7787	0,8245	0,7779	0,6966	0,7462	0,6851
3	Inverse	0,7636	0,7272	0,4588	0,7924	0,7981	0,7919	0,6418	0,7626	0,7626
4	Quadratic	0,7756	0,7950	0,5309	0,8035	0,8297	0,8027	0,6950	0,8019	0,8002
5	Cubic	0,7978	0,7950	0,5381	0,8040	0,8331	0,8032	0,7064	0,8022	0,8131
6	Compound	0,4271	0,4875	0,3614	0,5951	0,6756	0,5944	0,5544	0,5933	0,4542
7	Power	0,5446	0,5446	0,4162	0,6525	0,7280	0,6517	0,6468	0,6142	0,5560
8	S-curve	0,6335	0,5942	0,4582	0,6791	0,7378	0,6785	0,6226	0,6326	0,6387
9	Growth	0,4271	0,4875	0,3614	0,5951	0,6756	0,5944	0,5544	0,5933	0,4542
10	Exponential	0,4271	0,4875	0,3614	0,5951	0,6756	0,5944	0,5544	0,5933	0,4542
11	Logistic	0,4271	0,4875	0,3614	0,5951	0,6756	0,5944	0,5544	0,5933	0,4542

Tabel 5 Nilai Fhitung dan Ftabel tiap transformasi indeks vegetasi pada data Landsat-7 ETM+

No	Persamaan	RVI		TRVI		DVI		NDVI		GNDVI		SAVI		GVI		IPVI		SLAVI	
		F_{hit}	F_{tab}	F_{hit}	F_{tab}	F_{hit}	F_{tab}	F_{hit}	F_{tab}	F_{hit}	F_{tab}	F_{hit}	F_{tab}	F_{hit}	F_{tab}	F_{hit}	F_{tab}	F_{hit}	F_{tab}
1	Linear	25,55	4,32	33,75	4,32	12,11	4,32	56,35	4,32	85,15	4,32	56,15	4,32	36,06	4,32	55,85	4,32	28,79	4,32
2	Logarithmic	44,11	4,32	44,10	4,32	15,22	4,32	73,87	4,32	98,66	4,32	73,55	4,32	48,22	4,32	61,75	4,32	45,69	4,32
3	Inverse	67,84	4,32	55,99	4,32	17,80	4,32	80,13	4,32	83,03	4,32	79,92	4,32	37,63	4,32	67,44	4,32	67,45	4,32
4	Quadratic	34,56	3,49	38,77	3,49	11,32	3,49	40,88	3,49	48,72	3,49	40,69	3,49	22,79	3,49	40,49	3,49	40,04	3,49
5	Cubic	24,99	3,13	38,77	3,49	7,38	3,13	25,98	3,13	31,61	3,13	25,85	3,13	15,24	3,13	40,57	3,49	27,55	3,13
6	Compound	15,65	4,32	19,97	4,32	11,89	4,32	30,86	4,32	43,73	4,32	30,78	4,32	26,13	4,32	30,64	4,32	17,48	4,32
7	Power	25,11	4,32	25,11	4,32	14,97	4,32	39,43	4,32	56,19	4,32	39,29	4,32	38,45	4,32	33,43	4,32	26,29	4,32
8	S-curve	36,30	4,32	30,74	4,32	17,76	4,32	44,44	4,32	59,08	4,32	44,31	4,32	34,65	4,32	36,15	4,32	37,12	4,32
9	Growth	15,65	4,32	19,97	4,32	11,89	4,32	30,86	4,32	43,73	4,32	30,78	4,32	26,13	4,32	30,64	4,32	17,48	4,32
10	Exponential	15,65	4,32	19,97	4,32	11,89	4,32	30,86	4,32	43,73	4,32	30,78	4,32	26,13	4,32	30,64	4,32	17,48	4,32
11	Logistic	15,65	4,32	19,97	4,32	11,89	4,32	30,86	4,32	43,73	4,32	30,78	4,32	26,13	4,32	30,64	4,32	17,48	4,32

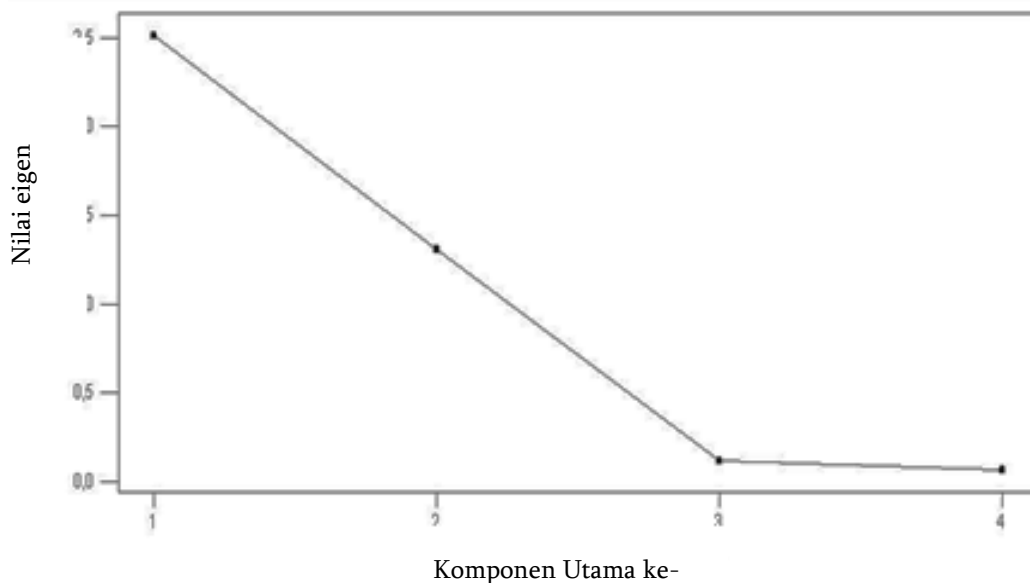
Tabel 6 Persamaan regresi antara persentase penutupan kanopi mangrove dengan hasil transformasi indeks vegetasi

No	Formula	Model Persamaan Regresi
1	RVI	$Y = -127,11 + (130,79t) - (25,74t^2) + (1,64t^3)$
2	TRVI	$Y = -292,43 + (351,00t) - (79,63t^2)$ atau $Y = -292,43 + (351,00t) - (79,63t^2) + (8,51t^3)$
3	DVI	$Y = -15,25 + (0,057t) + (0,005t^2) - (0,00001t^3)$
4	NDVI	$Y = -50,28 + (311,54t) + (10,30t^2) - (242,44t^3)$
5	GNDVI	$Y = 6,72 - (8,34t) + (749,41t^2) - (839,39t^3)$
6	SAVI	$Y = -52,01 + (216,08t) - (5,73t^2) - (68,25t^3)$
7	GVI	$Y = 1,799 + (4,66t) - (0,099t^2) + (0,0008t^3)$
8	IPVI	$Y = -644,90 + (1311,70t) + (13,05t^2) - (619,27t^3)$
9	SLAVI	$Y = 204,89 + (233,65t) - (69,92t^2) + (5,22t^3)$

Keterangan: Y= persen penutupan kanopi; t= hasil formula indeks vegetasi

Tabel 7 Hasil analisis komponen utama dari data Landsat-7 ETM+

<i>Eigen analysis of the Correlation Matrix</i>				
<i>Eigenvalue</i>	2,5180	1,3057	0,1155	0,0608
<i>Proportion</i>	0,629	0,326	0,029	0,015
<i>Cumulative</i>	0,629	0,956	0,985	1,000
<i>Variable</i>	PC1	PC2	PC3	PC4
Kanal 2	-0,522	-0,462	-0,289	0,656
Kanal 3	-0,497	-0,515	0,204	-0,668
Kanal 4	-0,470	0,548	-0,638	-0,268
Kanal 5	-0,510	0,469	0,684	0,226



Gambar 4 Plot scree analisis komponen utama

Berdasarkan analisis komponen utama pada Tabel 7 menunjukkan bahwa komponen utama pertama (PC1) telah mampu menerangkan 62,9% dari keragaman yang ada, komponen utama kedua (PC2) mampu menerangkan 32,6%, komponen utama ketiga (PC3) mampu menerangkan 2,9%, sedangkan sampai komponen utama keempat (PC4) mampu menerangkan

1,5%. Kedua komponen utama (PC1 dan PC2) tersebut telah mampu menerangkan keragaman total data sebesar 95,6%. *Plot scree* analisis komponen utama ditampilkan pada Gambar 4.

Gambar 4 merupakan *plot scree* akar ciri empat komponen utama dari data Landsat-7 ETM+. Pada Gambar tersebut terlihat bahwa *plot scree* mulai melandai setelah komponen utama ketiga. Namun nilai eigen >1 sampai pada komponen utama kedua sehingga banyaknya komponen utama yang dipilih untuk analisis adalah sebanyak dua komponen, yaitu komponen utama pertama dan komponen utama kedua.

$$Y = 2,5180PC1 + 1,3057PC2$$

$$PC1 = -0,522x_2 - 0,497x_3 - 0,470x_4 - 0,510x_5$$

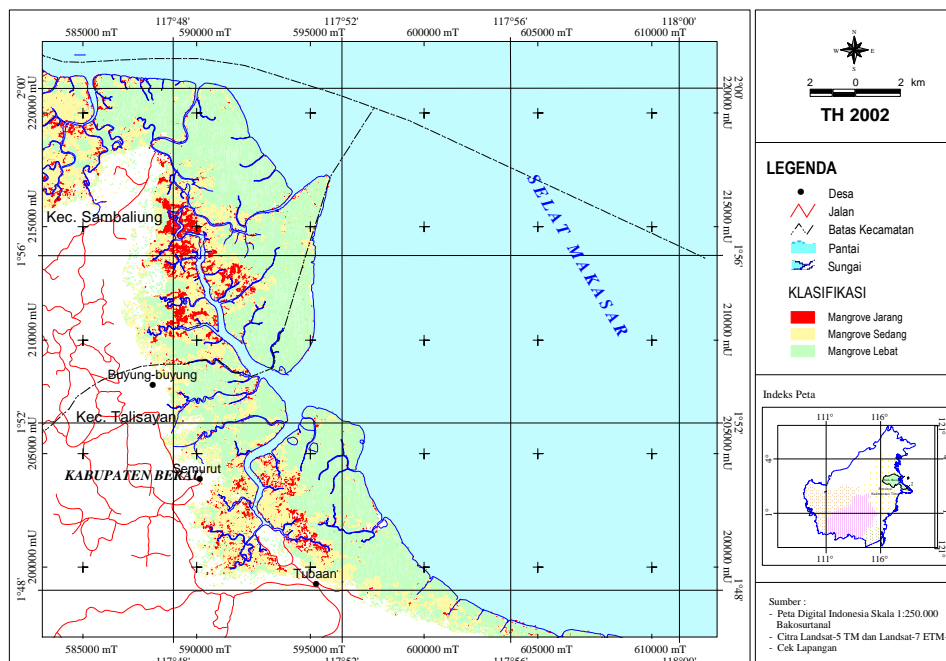
$$PC1 = -0,462x_2 - 0,515x_3 + 0,548x_4 + 0,469x_5$$

Maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$Y = 2,5180 \{(-0,522x_2) - (0,497x_3) - (0,470x_4) - (0,510x_5)\} \\ + 1,3057 \{(-0,462x_2) - (0,515x_3) + (0,548x_4) + (0,469x_5)\}$$

Overlay citra klasifikasi dengan indeks vegetasi (GNDVI)

Overlay antara citra klasifikasi dengan transformasi indeks vegetasi *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI) akan menghasilkan peta *mangrove* dengan berbagai tingkat kerapatan, yaitu *mangrove* kerapatan jarang, *mangrove* kerapatan sedang dan *mangrove* kerapatan lebat. Berdasarkan hasil overlay diketahui *mangrove* dengan kerapatan jarang di daerah penelitian seluas 1.437,75 ha, *mangrove* dengan kerapatan sedang 5.685,75 ha dan *mangrove* dengan kerapatan lebat seluas 6.170,04 ha. Hasil overlay antara citra klasifikasi *maximum likelihood* dengan indeks vegetasi (GNDVI) ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Peta hasil overlay klasifikasi *maximum likelihood* dengan GNDVI

KESIMPULAN

Algoritma transformasi indeks vegetasi yang paling baik dalam menduga kerapatan kanopi *mangrove* di Kabupaten Berau adalah *Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)*; Model matematis $Y = \{2,5180 (-0,522x^2 - 0,497x^3 - 0,470x^4 - 0,510x^5)\} + \{1,3057 (-0,462x^2 - 0,515x^3 - 0,548x^4 - 0,469x^5)\}$ bisa digunakan dalam menduga kerapatan kanopi *mangrove* di Kabupaten Berau.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin S, Dirgahayu D, Carolita I. 1996. Studi Kelayakan Klasifikasi Liputan Lahan Terhadap Citra Komposit HIS. Majalah LAPAN no 78. Jakarta: LAPAN.
- Gong P, Ruiliang Pu, Biging GS, Larraieu MR. 2003. Estimation of Leaf Area Index Using Vegetation Indices Derived From Hyperion Hyperspectral Data. *Journal of IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.
- Ismail MH, Othman CKACK, Usali N. 2011. Performance of Intrinsic and Soil Line-Based Vegetation Indices to Mangrove Mapping in Malaysia. *Journal of Biodiversity and Ecological Sciences*.
- Jensen JR. 1986. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. New Jersey: Prentice Hall Englewood Cliffs.
- Kasawani I, Norsaliza U, Hasmadi IM. 2010. Analysis of Spectral Vegetation Indices Related to Soil-Line for Mapping Mangrove Forests Using Satellite Imagery. *Applied Remote Sensing Journal*. 1(1):25-31.
- Koedsin W, Vaiphasa C. 2013. Discrimination of Tropical Mangroves at the Species Level with EO-1 Hyperion Data. *Remote Sensing*. 5: 3562-3582. doi:10.3390/rs5073562
- Kuenzer C, Bluemel A, Gebhardt S, Quoc TV, Dech S. 2011. Remote Sensing of Mangrove Ecosystems: A Review. *Remote Sensing*. 3: 878-928. doi:10.3390/rs3050878
- McLachlan G. 1991. *Discriminant Analysis and Statistical Pattern Recognition*. New York: Wiley.
- Ponnambalam K, Chokkalingam L, Subramaniam V, Ponniah JM. 2012. Mangrove Distribution and Morphology Changes in the Mullipallam Creek, South Eastern Coast of India. *International Journal of Conservation Science*. 3: 51-60.
- Proisy C, Coueron P, Fromard F. 2007. Predicting and Mapping Mangrove Biomass from Canopy Grain Analysis Using Fourier-Based Textural Ordination of IKONOS Images Original Research Article. *Remote Sensing of Environment*. 109: 379-392
- Ricotta C, Avena G, Palma AD. 1999. Mapping and Monitoring Net Primary Productivity with AVHRR NDVI Time Series. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Satyanarayana B, Idris IF, Husain M, Dahdouh-Guebas F. 2011. Assessment of Mangrove Vegetation Based on Remote Sensing and Ground-truth Measurements at Tumpat, Kelantan Delta, East Coast of Peninsular Malaysia. *International Journal of Remote Sensing*. 32 (6): 1635–1650.
- Swain PH, Davis SM. 1978. *Remote Sensing: The Quantitative Approach*.