

# KOMPARASI INDEKS VEGETASI UNTUK ESTIMASI STOK KARBON HUTAN MANGROVE KAWASAN SEGORO ANAK PADA KAWASAN TAMAN NASIONAL ALAS PURWO BANYUWANGI, JAWA TIMUR

*(Comparison of Vegetation Indices for Mangrove Carbon Stock Estimation in Segoro Anak Area, Alas Purwo National Park, Banyuwangi, East Java)*

**Hendry Frananda<sup>1</sup>, Hartono<sup>2</sup>, dan Retnadi Heru Jatmiko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Padang

<sup>2</sup>Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

Email : hendryken@gmail.com

Diterima (received): 24 Juni 2015; Direvisi (revised): 2 September 2015; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 21 Oktober 2015

## ABSTRAK

Estimasi kandungan karbon kawasan hutan mangrove sering dilakukan dengan memanfaatkan transformasi indeks vegetasi, dimana nilai yang diperoleh merupakan gabungan dari beberapa saluran pada citra untuk menonjolkan kenampakan vegetasi. Sulitnya medan hutan mangrove menjadikan transformasi indeks vegetasi sebagai salah satu cara efektif untuk mengestimasi karbon. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana data penginderaan jauh dapat dimanfaatkan dalam mengestimasi kandungan karbon pada hutan mangrove, dan untuk mengetahui transformasi indeks vegetasi terbaik dalam mengestimasi kandungan karbon hutan mangrove, sehingga akan diketahui korelasi antara masing-masing transformasi indeks vegetasi yang digunakan dengan kandungan karbon lapangan beserta tingkat akurasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dengan melakukan perhitungan kandungan karbon pada beberapa titik sampel lapangan dan melihat korelasi antara kandungan karbon pada titik sampel lapangan dengan nilai indeks dari masing-masing transformasi indeks vegetasi yang digunakan. Hasil penelitian berupa korelasi beserta tingkat akurasi dan kandungan karbon total dari masing-masing transformasi indeks vegetasi yang digunakan (SR, NDVI, TVI, RVI, SAVI, EVI) dengan data lapangan. Koreksi radiometrik yang dilakukan adalah histogram adjustment atau dark-pixel subtraction. EVI dan TVI merupakan indeks vegetasi yang memiliki korelasi dan akurasi terbaik untuk mengestimasi kandungan karbon hutan mangrove dengan nilai  $R^2$  dari EVI = 0,72 dan TVI = 0,63, dengan nilai RMSE EVI  $\pm$  74.40139 ton/ha dan nilai RMSE TVI  $\pm$  39.70762 ton/ha. Kesimpulan dari penelitian ini diketahui pada tingkat koreksi atmosfer yang sama, indeks vegetasi EVI dan TVI merupakan indeks yang memiliki hubungan korelasi dan akurasi terbaik, sehingga EVI dan TVI merupakan indeks vegetasi terbaik untuk mengestimasi karbon hutan mangrove.

**Kata kunci:** penginderaan jauh, estimasi, karbon hutan, indeks vegetasi

## ABSTRACT

Forest carbon content estimations are often done by using transformation of vegetation index, where the value that obtained was a combination of several canals in the image to show the appearance of vegetation. The difficult terrain of mangrove forest made the transformation of vegetation index as one of the effective ways to estimate carbon. The objective of this study were to determine the extent of remote sensing data can be used and the most optimum vegetation index transformation in estimating the carbon content in the mangrove forest, so as to obtain a correlation between each vegetation index transformation that are used with the carbon content of the field and its level of accuracy. The method were using the calculation of carbon content at some point field samples and examine the correlations between the carbon content at the point of field samples with an index value of each vegetation index transformation that are used. The result of this study was a correlation with the level of accuracy and total carbon content of each vegetation index transformation that are used (SR, NDVI, TVI, RVI, SAVI, EVI) with field data. Radiometric correction was conducted with histogram adjustment or dark-pixel subtraction. EVI and TV are the best correlation and accuracy of vegetation index for estimating the carbon content of mangrove forest with  $R^2$  values of EVI = 0.72 and TVI = 0,63, and the RMSE of EVI  $\pm$  74.40139 tons/hectare and TVI  $\pm$  39.70762 tons/hectare. The conclusion of this study was known at the same level of atmospheric correction, EVI and TVI vegetation index have the best correlation and accuracy, so that EVI and TVI are the best vegetation index for estimating carbon mangrove forests.

**Keywords:** remote sensing, estimation, forest carbon, vegetation index

**PENDAHULUAN**

Potensi sumberdaya hutan Indonesia sangat melimpah, dan salah satunya adalah hutan mangrove. Potensi hutan mangrove Indonesia cukup besar, Indonesia memiliki luas hutan mangrove terbesar di dunia (Kusmana, 1996). Total luas hutan mangrove dunia di tahun 2000 adalah 137.760 km<sup>2</sup> di 118 negara dan terdapat pada daerah tropis dan subtropis di dunia. Sekitar 75% hutan mangrove dunia ditemukan hanya pada 15 negara, dan hanya 6,9% berstatus dilindungi. Distribusi biogeografi mangrove adalah umumnya terbatas pada daerah tropis dan subtropis dan persentase terbesar hutan mangrove ditemukan antara Lintang 5° Utara dan 5° Selatan (Giri, C, 2005).

WALHI (2010), menjelaskan telah terjadi penurunan luas hutan mangrove. Luasan hutan mangrove Indonesia menurun dari luas awal sekitar 4.5 juta ha menjadi 1.9 juta ha. Penurunan luas hutan mangrove terjadi paling dominan karena kerusakan yang disebabkan oleh faktor manusia, seperti alih tata guna lahan mangrove menjadi lahan tambak, eksploitasi kayu mangrove untuk kayu bakar dan arang khususnya untuk jenis *Rhizophora spp* dan *Bruguiera spp*.

Kerusakan mangrove yang terjadi akan mempengaruhi besarnya kemampuan hutan mangrove dalam penyerapan karbon. Permasalahan iklim tersebut oleh *United Nations for Climate Change Convention* (UNFCCC) telah dicari solusi untuk mengurangi dampak emisi gas buang GRK. Pertemuan yang diselenggarakan di Bali pada tahun 2007 pada pertemuan *UN Conference of Parties* ke 13 (COP 13) mengeluarkan suatu program *Reduced Emissions from Deforestation and Degradation* (REDD) yang bertujuan untuk mendukung negara-negara berkembang di dalam mengurangi emisi dari deforestasi dan degradasi ([www.unfccc.int](http://www.unfccc.int)). Program REDD ini diharapkan negara berkembang berpartisipasi aktif untuk menjaga kelestarian hutannya sebagai bentuk sumbangsih alami dalam menciptakan “mesin penyerap karbon” untuk mengurangi emisi gas buang GRK.

Stok karbon pada suatu vegetasi khususnya pohon sangat diperlukan bagi keselarasan lingkungan dari emisi yang berlebihan karena pohon dan organisme foto-ototrof lainnya mengalami proses fotosintesis pada siang hari, proses tersebut membutuhkan suatu komponen penting berupa CO<sub>2</sub> dari atmosfer. Penyerapan CO<sub>2</sub> dalam jumlah besar oleh tumbuhan dilakukan pada siang hari bertepatan saat berbagai aktifitas manusia memproduksi emisi gas buang GRK (salah satunya karbon) di alam bebas.

Konsep dalam penginderaan jauh yang menerangkan bahwa objek-objek dimuka bumi memiliki karakteristik pantulan spektral yang khas terhadap sumber energi yang datang, memungkinkan studi vegetasi ini dilakukan. Transformasi indeks vegetasi merupakan salah

satu teknik analisis citra yang sering dilakukan dalam analisis vegetasi secara umum, terdapat banyak jenis transformasi indeks vegetasi yang dapat digunakan, tetapi transformasi indeks vegetasi yang cocok untuk diterapkan pada kawasan mangrove masih menjadi kerancuan.

Berdasarkan berita acara pengukuran tanggal 27 Mei 1983, kawasan Taman Nasional Alas Purwo memiliki luasan 43.420 ha. Tipe ekosistem utama di kawasan Taman Nasional Alas Purwo adalah ekosistem hutan hujan tropis dataran rendah. Hutan mangrove pada kawasan Taman Nasional Alas Purwo memiliki luasan 1.200 Ha, ([www.tnalaspurwo.org](http://www.tnalaspurwo.org)). Kawasan hutan mangrove yang sangat luas dan memiliki medan yang sulit, sehingga inventarisasi secara terestrial di seluruh areal hutan sangat sulit dilakukan karena akan terkendala dari waktu, tenaga dan biaya. Oleh sebab itu diperlukan suatu cara untuk menghadapi hal ini yaitu dengan menggunakan citra penginderaan jauh.

**METODE**

Metode yang digunakan dalam penelitian estimasi stok karbon hutan mangrove ini adalah interpretasi citra penginderaan jauh secara visual/digital, dan kerja lapangan. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- a. Citra LANDSAT 7 ETM + (Daerah Taman Nasional Alas Purwo, resolusi 30 m, perekaman tahun 2002) untuk membuat satuan pemetaan dan penentuan titik sampel lapangan, Citra LANDSAT 7 ETM + digunakan karena memiliki resolusi spektral yang lebih baik untuk menonjolkan kenampakan mangrove.
- b. Citra ALOS AVNIR-2 (Daerah Taman Nasional Alas Purwo, resolusi 10 m, perekaman tahun 2009) digunakan untuk analisis regresi dalam mengestimasi kandungan karbon.
- c. Peta RBI skala 1 : 25.000 meliputi kawasan Hutan Mangrove Alas Purwo Banyuwangi (Sheet 1707-134 dan 1707-143, BAKOSURTANAL 2006).

**Koreksi Radiometrik Citra**

Ada tiga proses pada bagian koreksi radiometrik ini, yaitu konversi dari nilai piksel (*digital number* (DN)) ke ‘*at-sensor radiance*’, dan konversi dari ‘*at-sensor radiance*’ ke ‘*at-sensor reflectance*’, dilanjutkan dengan mengkonversi dari ‘*at-sensor reflectance*’ ke ‘*at-surface reflectance*’. Proses pertama bertujuan untuk mengembalikan nilai DN tiap piksel ke dalam satuan ‘*at-sensor*’ radiance (W/(m<sup>2</sup>.sr.µm)). Model hubungan antara DN dengan *radiance* pada tiap *band* adalah:

$$\text{Radiance } L_{\lambda} = \text{gain} * \text{DN} + \text{offset, atau} \\ = \text{gain} * \text{QCAL} + \text{offset} \dots\dots(1)$$

dimana :  
 $L_{\lambda}$  = Nilai radiansi

gain = gain (ALOS User Handbook, Jaxa 2006)  
 offset = offset (Band Exposure pada header citra)

Proses kedua adalah konversi dari 'at-sensor radiance' ke 'at-sensor reflectance', yang dimaksudkan untuk mengurangi variabilitas antar citra.

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

dimana :

- $\rho_p$  = Nilai pantulan objek pada sensor (reflectance at sensor)
- $L_\lambda$  = Nilai radiansi ( $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ )
- $d$  = Jarak bumi – matahari (unit astronomi) {dimana  $d = 1 - 0,01674 \times \cos(0,9856 \times (JD-4))$ }
- $ESUN_\lambda$  = Nilai spektral iradiansi matahari ( $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ )
- $\theta_s$  = Sudut puncak matahari ( $90^\circ - Sun Elevation$ )

Tahap selanjutnya dilakukan koreksi atmosfer relatif, yaitu *histogram adjustment* atau *dark-pixel subtraction*, dengan tujuan mengkonversi dari 'at-sensor reflectance' ke 'at-surface reflectance'.

**BV correction =  $\rho_p$ - bias** ..... (3)

Pada proses ini objek air diambil sebagai nilai bias, pemilihan objek air didasarkan karena objek air memiliki serapan maksimal dalam keadaan normal/ideal, apabila objek air dalam keadaan normal memiliki pantulan spektral yang cukup tinggi maka nilai tersebut dianggap sebagai nilai bias.

**Koreksi Geometrik Citra**

Citra Landsat 7 ETM+ dan ALOS yang digunakan dalam penelitian ini belum mengalami koreksi geometrik sehingga perlu dilakukan koreksi geometrik dengan menggunakan *image to image* dengan menggunakan rujukan citra lain yang sudah terkoreksi secara geometrik.

**Pemrosesan Citra**

Pengolahan data dalam penelitian ini meliputi *Masking* (pemotongan citra), interpretasi citra secara visual (Tipe Vegetasi dan Karakteristik Lahan) dan secara digital (Kepadatan Tajuk dengan menggunakan transformasi indeks vegetasi NDVI).

**1. Masking (pemotongan citra)**

Proses masking dilakukan untuk memisahkan daerah penelitian, dalam hal ini Hutan Mangrove pada kawasan Segoroanak Taman Nasional Alas Purwo.

**2. Penyusunan Peta Satuan Lahan**

Peta satuan lahan digunakan sebagai pendekatan dalam penentuan titik sampel

lapangan, digunakan 3 variabel pendekatan untuk membangun satuan lahan yaitu: tipe vegetasi, karakteristik lahan dan kerapatan vegetasi.

a. Tipe vegetasi

Perbedaan tipe vegetasi yang terlihat pada perekaman citra merepresentasikan perbedaan dari jenis vegetasi, perbedaan dari jenis vegetasi akan menghasilkan biomassa yang berbeda, hal ini dikarenakan perbedaan kepadatan volume antar tiap jenis spesies pohon umumnya berbeda. Pada proses ini kenampakan yang berbeda diasumsikan memiliki perbedaan tipe vegetasi penyusun mangrove, tipe yang berbeda diasumsikan merupakan jenis mangrove yang berbeda.

b. Interpretasi kerapatan vegetasi

Semakin rapat vegetasi maka kandungan karbon akan semakin besar dan begitu juga sebaliknya. Laju fotosintesis pada area vegetasi yang lebih rapat juga semakin tinggi sehingga laju perubahan CO<sub>2</sub> menjadi biomassa semakin cepat pada area yang memiliki vegetasi yang lebih rapat. Penentuan kerapatan vegetasi dengan menggunakan nilai indeks dari transformasi NDVI, transformasi NDVI ini memiliki rentang nilai antara (-1) hingga (+1). Nilai indeks lebih kecil atau sama dengan 0 menunjukkan awan, air dan tutupan lain selain vegetasi. Nilai yang mewakili vegetasi terdapat pada rentang 0,2 hingga 0,7 dan di atas nilai tersebut menggambarkan tingkat kesehatan tutupan vegetasi.

c. Interpretasi karakteristik lahan

Karakteristik lahan mempengaruhi vegetasi yang tumbuh pada daerah tersebut dan juga dapat menyebabkan perbedaan kerapatan. Faktor tersebut dapat disebabkan karena kandungan unsur hara tanah menjadi berbeda. Keterbukaan/ekspos lokasi baik dengan laut, muara, daratan, atau lokasi yang sering tergenang juga dapat berpengaruh terhadap jenis vegetasi yang tumbuh dan kecepatan pertumbuhannya. Kawasan hutan mangrove pada lokasi penelitian merupakan mangrove yang tidak berada disepanjang garis pantai seperti hutan mangrove pada umumnya, tetapi berada pada sepanjang muara sungai. Pada interpretasi visual dari citra Landsat 7 ETM + karakteristik hutan mangrove digolongkan menjadi dua yaitu karakteristik lahan sering tergenang dan karakteristik lahan yang jarang tergenang.

**3. Indeks Vegetasi**

Pengolahan citra digital pada citra ALOS setelah dilakukan koreksi radiometrik dan geometrik yaitu transformasi Indeks vegetasi, dimana nilai yang diperoleh merupakan gabungan dari beberapa spektral band spesifik dari citra untuk menonjolkan kenampakan vegetasi. Indeks Vegetasi adalah pengukuran optis tingkat kehijauan (*greenness*) kanopi vegetasi, sifat komposit dari klorofil daun, luas daun, struktur dan tutupan kanopi

vegetasi (Huete, 2011). Indeks vegetasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \dots\dots\dots (4)$$

b. *Triangular Vegetation Index* (TVI)

$$TVI = \frac{1}{2} (120(\rho_{NIR} - \rho_{green}) - 200(\rho_{red} - \rho_{green})) \dots\dots\dots (5)$$

c. *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI)

$$SAVI = \left( \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \right) (1 + L) \dots\dots\dots (6)$$

dimana :  
L = 0.5

d. *Enhanced Vegetation Index* (EVI) (Huete et al. 2002))

$$EVI = G \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + (C1 \times \rho_{red}) - (C2 \times \rho_{blue}) + L} (1 + L) \dots\dots\dots (7)$$

dimana :  
C1 = 6 ,  
C2 = 7.5,  
L = 1, dan  
G = 2.5

e. *Simple Ratio* (SR)

$$RVI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{red}} \dots\dots\dots (8)$$

4. Analisis statistik

Data lapangan dibagi menjadi dua yaitu data lapangan untuk membangun persamaan dalam statistik dan data lapangan untuk uji akurasi. Pengambilan data lapangan dilakukan pada tanggal 13 hingga 23 Juni 2011 dengan metode *stratified sampling* pada setiap satuan pemetaan (mapping unit) yang terbentuk untuk mengetahui biomassa pada titik sampel yang ditentukan. Pemilihan lokasi sampel didasarkan pada jumlah satuan pemetaan yang terbentuk yaitu sebanyak 12 kelas. Sampel diambil sebanyak 36 titik sampel, jumlah sampel untuk membangun persamaan dalam statistik diambil sebanyak 24 titik sampel dengan rincian 2 titik sampel untuk tiap kelas satuan lahan, sedangkan sampel untuk uji akurasi diambil sebanyak 12 titik sampel dengan rincian 1 titik sampel untuk setiap kelas satuan lahan. Ukuran plot sampel lapangan yang digunakan sebesar 20 m<sup>2</sup>.

Analisis regresi digunakan untuk membangun persamaan pada nilai kandungan karbon pada kerja lapangan yang selanjutnya dibandingkan dengan transformasi-transformasi yang digunakan. Proses ini memanfaatkan Citra ALOS sehingga akan menghasilkan citra baru yang mempunyai nilai dan sebaran karbon untuk setiap pikselnya. Langkah kerja untuk estimasi stok karbon pada penelitian ini terdiri dari :

1. Pengambilan sampel dengan pendekatan *non destructive sampling* (alometri).
2. Pendugaan melalui penginderaan jauh.
3. Membangun persamaan regresi berdasarkan data lapangan untuk menghitung biomassa.
4. Penerapan persamaan regresi masing-masing indeks vegetasi untuk mengetahui kandungan karbon seluruh kawasan hutan mangrove.

Biomassa yang diukur merupakan biomassa kering yang kandungan karbonnya diestimasi general sebesar 46% dari berat total biomassa kering (Hairiah dan Rahayu, 2007). Persamaan alometri yang digunakan pada penelitian ini menggunakan persamaan alometri untuk perhitungan biomassa pada hutan mangrove berdasarkan perbedaan kepadatan kayu antar spesies (Komiyama, 2005, 2008) :

a. Alometri Biomassa Batang  
 $W_S = 0,0696 \rho (D^2 H)^{0,931} \dots\dots\dots (9)$

b. Alometri Biomassa Ranting  
 $W_T = 0,251 \rho D^{2,46} \dots\dots\dots (10)$

c. Alometri Biomassa Daun  
 $W_L = 0,135 \rho D_B^{1,696} \dots\dots\dots (11)$

d. Alometri Biomassa Akar  
 $W_R = 0,1999 \rho^{0,899} D^{2,22} \dots\dots\dots (12)$

Dimana :

- D = Diameter pohon setinggi dada (DBH 1,3 m)
- D<sub>B</sub> = Diameter pohon pada cabang pertama (cm)
- H = Tinggi pohon (m)
- ρ = Nilai Kepadatan kayu atau berat kering per satuan volume kayu  
([www.worldagroforestrycentre.org](http://www.worldagroforestrycentre.org))

Penggunaan alometri dibedakan berdasarkan batang, ranting, daun dan akar. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan reproduksi pada masing-masing jenis spesies mangrove (ρ) yang dipengaruhi faktor lingkungan mangrove (Soares, 2005). Data hasil perhitungan karbon pada tiap sampel diolah dengan statistik untuk mendapatkan persamaan korelasi antara nilai karbon lapangan dengan masing-masing indeks vegetasi yang digunakan. Persamaan yang didapat diterapkan untuk mengestimasi kandungan stok karbon hutan mangrove secara keseluruhan dengan menggunakan Citra ALOS perekaman tahun 2009. Selanjutnya masing-masing transformasi indeks vegetasi yang digunakan akan dilakukan uji akurasi dengan menggunakan data lapangan untuk uji akurasi. Setelah diketahui koefisien korelasi (R<sup>2</sup>) dan akurasi dari masing-masing transformasi indeks vegetasi yang digunakan dapat disimpulkan indeks vegetasi terbaik untuk mengestimasi stok karbon hutan mangrove.

Analisis statistik yang digunakan adalah analisis korelasi dan analisis regresi. Analisis korelasi digunakan untuk mengukur keeratan hubungan antara variabel, dimana pada penelitian ini variabel yang digunakan adalah nilai indeks vegetasi yang digunakan dan nilai kandungan

karbon pada masing-masing sampel. Besarnya koefisien korelasi bergerak antara -1 sampai 1. Sedangkan analisis regresi digunakan untuk mengukur seberapa besar variabel bebas mampu menjelaskan variabel terikat, dimana yang menjadi variabel bebas adalah nilai indeks vegetasi yang digunakan dan yang menjadi variabel terikat adalah nilai kandungan karbon pada masing-masing sampel.

**5. Uji akurasi**

Proses uji akurasi bertujuan untuk membandingkan antara nilai kandungan karbon dugaan atau nilai kandungan karbon yang didapat dari persamaan regresi yang telah didapatkan masing-masing indeks vegetasi yang dipakai dengan nilai karbon aktual/lapangan, dan dilihat sejauh mana nilai penduga dapat memberikan ketelitian dalam menduga kandungan nilai karbon. Proses uji akurasi menggunakan 12 titik sampel yang mewakili setiap satuan pemetaan yang telah diambil pada saat kerja lapangan dan titik sampel ini bukan merupakan titik sampel yang digunakan untuk membangun persamaan regresi.

Uji akurasi dengan menggunakan tabel *Standar Error Estimasi* dimana hasil yang didapat yaitu kandungan karbon bernilai ± (kurang/lebih), atau akurasi dari persamaan yang dipakai berada diatas atau dibawah nilai yang didapat dari proses uji akurasi. Pada proses uji akurasi ini digunakan hasil persamaan regresi yang telah didapat untuk setiap indeks vegetasi yang dipakai (NDVI, SAVI, SR, TVI, EVI, dan RVI), diterapkan pada titik sampel untuk di uji akurasi pada tiap persamaan regresi untuk tiap-tiap indeks vegetasi tersebut dengan menggunakan rumus :

$$SE = \sqrt{\frac{(y-y')^2}{n-2}} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

- SE = Standar Error Estimasi
- y = Kandungan Karbon Lapangan
- y' = Estimasi Kandungan Karbon dengan Persamaan Regresi-Korelasi
- n = Jumlah Titik Sampel

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Jumlah sampel sebanyak 36 sampel yang ditetapkan di awal tidak dapat terpenuhi. Pada saat kerja lapangan peneliti hanya mampu mendapat 33 sampel. Pada satuan pemetaan 1, 8 dan 12, peneliti hanya berhasil mendapatkan 2 sampel untuk masing-masing satuan pemetaan tersebut. Jumlah sampel tidak dapat terpenuhi disebabkan oleh berbagai faktor antara lain sulitnya medan hutan mangrove, tidak adanya akses jalan darat pada kawasan hutan mangrove dan pertimbangan cepatnya pasang-surut air laut pada saat melakukan pengumpulan data. Hal ini dikarenakan akses untuk masuk ke kawasan hutan mangrove hanya dapat dilakukan melalui sungai.

Data lapangan yang dikumpulkan pada saat kerja lapangan berupa diameter pohon setinggi dada atau ± 130 cm (D/dbh), diameter pohon pada cabang pertama (D<sub>B</sub>), tinggi pohon (H) dan jenis spesies mangrove (ρ). Jenis mangrove di kawasan hutang mangrove di daerah penelitian terdapat 13 jenis yang teridentifikasi pada saat kerja lapangan yaitu: *Rhizophora mucronata*, *Xylocarpus moluccensis*, *Avicennia lanata*, *Rhizophora apiculata*, *Ceriops tagal*, *Excoecaria agallocha*, *Bruguiera cylindrica*, *Avicennia officinalis*, *Xylocarpus granatum*, *Bruguiera sexangula*, *Avicennia marina*, *Sonneratia sp*, dan *Lumnitzera littorea*.

Jenis spesies mangrove kemudian dihitung kandungan biomasnya dengan menggunakan persamaan yang telah dikembangkan oleh Komiyama (2005, 2008). Pohon dibagi menjadi 4 bagian utama yaitu batang, ranting/cabang, daun dan akar. Formula yang digunakan untuk 4 bagian pohon tersebut berbeda-beda. Setelah kandungan biomassa pohon diketahui maka nilai dari kandungan biomassa tersebut dikonversi menjadi nilai kandungan karbon dengan mengalikan 0,46 atau dapat dikatakan 46% dari kandungan biomassa merupakan nilai kandungan karbon.

**Hasil Analisis Statistik dan Pengolahan Citra Digital**

Pengolahan citra digital pada citra ALOS yang meliputi beberapa indeks vegetasi yaitu SR (*Simple Ratio*), NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), TVI (*Triangular Vegetation Index*), SAVI (*Transformed Vegetation Index*), EVI (*Enhanced Vegetation Index*), dan RVI (*Ratio Vegetation Index*). Input masukan yang digunakan terhadap 6 alometri indeks vegetasi yang dipakai adalah sama yaitu citra *reflectance at surface* dari ALOS. Peta kandungan karbon kawasan Segoro Anak dari masing-masing indeks vegetasi dapat dilihat pada **Gambar 6**, sedangkan hasil uji ketelitian disajikan pada **Tabel 1**. Hasil analisis regresi pada masing-masing indeks vegetasi adalah sebagai berikut:

**a. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)**

Berdasarkan hasil analisis regresi antara NDVI dengan nilai karbon pada lokasi sampel lapangan sebanyak 21 titik sampel didapat model persamaan  $Y = 914.0X - 330$ , dengan nilai koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) yaitu sebesar 0,61 atau dapat dikatakan 61 % nilai karbon dapat dijelaskan oleh variabel NDVI, seperti ditunjukkan pada **Gambar 1**. Nilai karbon total yang didapat dengan menggunakan indeks vegetasi NDVI ini sebesar 589.225 ton, nilai karbon rata-rata untuk setiap piksel diketahui sebesar 4,3431 ton/piksel dan nilai karbon rata-rata untuk setiap meter diketahui sebesar 0,0434 ton/m<sup>2</sup>.

Tabel 1. Hasil uji akurasi.

No	Karbo n (y)	NDVI			SAVI			TVI			EVI			SR		
		Nilai	y'	y-y'												
1	589,13 7	0,867 7	463,0 8	126,0 5	13,01 6	463,0 4	126,1 6	13,25 5	424,3 4	164,8 4	0,751 2	448,9 5	140,1 9	14,11	502,0 4	87,09
2	680,73 7	0,872 3	467,2 8	213,4 5	13,08 5	467,2 4	213,4 9	15,65 4	498,1 8	182,5 5	0,846 2	512 3	168,7 4	14,66	519,6 2	161,1 1
3	487,39 8	0,895 2	488,1 7	-0,78	13,42 7	488,1 3	-0,74	14,59 2	465,4 9	21,9	0,814 2	490,7 3	-3,34	18,07 7	629,9 2	-142,5
4	451,46 4	0,906 4	498,4 1	-46,95	13,59 5	498,3 6	-46,9	15,16 5	483,1 4	-31,69	0,847 1	512,5 5	-61,09	20,35 8	703,6	-252,1
5	353,39 4	0,854 9	451,3 9	-98	12,82 4	451,3 4	-97,95	15,34 7	488,7 5	-135,3	0,81 1	487,9 1	-134,5	12,78 4	458,9 8	-105,5
6	696,23 4	0,902 9	494,3 4	201,8	13,52 9	494,3 5	201,8	17,10 1	542,7 6	153,4	0,926 1	565,0 1	131,2	19,40 1	672,6 8	23,55
7	539,48 6	0,59 5	209,2 5	-155,3	0,885 2	209,2 2	-155,2	7,777 7	255,5 7	-201,6	0,431 5	236,7 6	-182,8	3,878 8	171,2 8	-117,3
8	240,19 6	0,794 8	396,4 1	-156,2	11,92 1	396,3 6	-156,1	11,73 7	377,5 6	-137,3	0,654 7	384,9 2	-144,7	87,44 3	328,4 7	-88,2
9	141,25 9	0,727 8	335,1 7	-193,9	10,91 6	335,1 3	-193,8	12,44 2	399,2 7	-258	0,636 7	372,9 4	-231,6	63,46 5	251,0 2	-109,7
10	330,59 9	0,797 3	398,7 4	-68,15	1,196 4	398,7 2	-68,11	17,86 7	71,07 2	259,5	0,163 3	58,82 7	271,7	88,67 5	332,4 5	-1,85
11	245,71 6	0,868 2	463,5 7	-217,8	13,02 4	463,5 2	-217,8	13,94 6	445,5 8	-199,8	0,772 8	463,2 4	-217,5	14,17 9	504,0 1	-258,3
12	523,39 6	0,895 3	488,2 9	35,1	13,42 9	488,2 4	35,15	14,65 2	467,3 2	56,07	0,820 4	494,8 7	28,52	18,1	630,6 6	-107,2
<b>Total</b>				<b>-360,2</b>			<b>-360,2</b>			<b>-125,5</b>			<b>-235,2</b>			<b>-911,3</b>
<b>Standar Error Estimasi</b>				<b>114,1</b>			<b>113,9</b>			<b>39,7</b>			<b>74,4</b>			<b>288,2</b>

Sumber : Pengolahan Data Lapangan, 2011

Dimana :

- y = Kandungan karbon lapangan
- y' = Estimasi kandungan karbon dengan persamaan regresi-korelasi
- Nilai = Nilai indeks yang digunakan

**b. Triangular Vegetation Index (TVI)**

Berdasarkan hasil analisis regresi antara TVI dengan nilai karbon pada lokasi sampel lapangan sebanyak 21 titik sampel didapat model persamaan  $Y = 30.80X + 16.04$ , dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yaitu sebesar 0.62 atau dapat dikatakan 62 % nilai karbon dapat dijelaskan oleh variabel TVI, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Nilai karbon total yang didapat dengan menggunakan indeks vegetasi TVI ini sebesar 583.981 ton, nilai karbon rata-rata untuk setiap piksel diketahui sebesar 4,2409 ton/piksel dan nilai karbon rata-rata untuk setiap meter diketahui sebesar 0,0424 ton/m<sup>2</sup>.

**c. Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)**

Berdasarkan hasil analisis regresi antara SAVI dengan nilai karbon pada lokasi sampel lapangan sebanyak 21 titik sampel didapat model persamaan  $Y = 609.3X - 330$ , dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yaitu sebesar 0.61 atau dapat dikatakan 61 % nilai karbon dapat dijelaskan oleh variabel SAVI, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Nilai karbon total yang didapat dengan menggunakan indeks vegetasi SAVI ini sebesar 589.168 ton, nilai karbon rata-rata untuk setiap piksel diketahui sebesar 4,2409 ton/piksel dan nilai karbon rata-rata untuk setiap meter diketahui sebesar 0,0424 ton/m<sup>2</sup>.

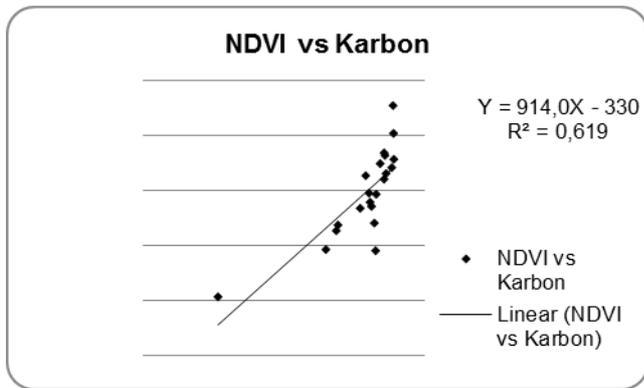
**d. Enhanced Vegetation Index (EVI)**

Berdasarkan hasil analisis regresi antara EVI dengan nilai karbon pada lokasi sampel

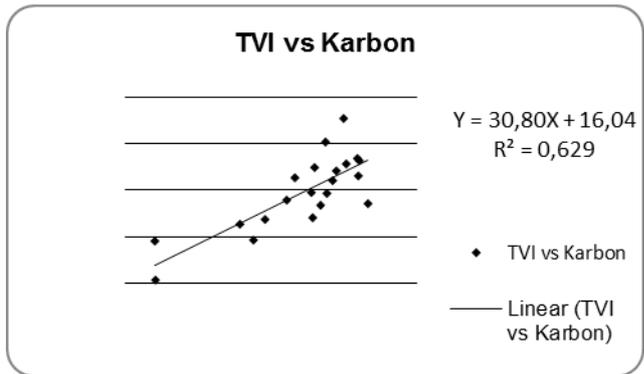
lapangan sebanyak 21 titik sampel didapat model persamaan  $Y = 663.6X - 49.60$ , dengan nilai koefisien **determinasi** ( $R^2$ ) yaitu sebesar 0,71 atau dapat dikatakan 71% nilai karbon dapat dijelaskan oleh variabel EVI, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai karbon total yang didapat dengan menggunakan indeks vegetasi EVI ini sebesar 600.569 ton, nilai karbon rata-rata untuk setiap piksel diketahui sebesar 4,3669 ton/piksel dan nilai karbon rata-rata untuk setiap meter diketahui sebesar 0,0436 ton/m<sup>2</sup>.

**e. Simple Ratio (SR)**

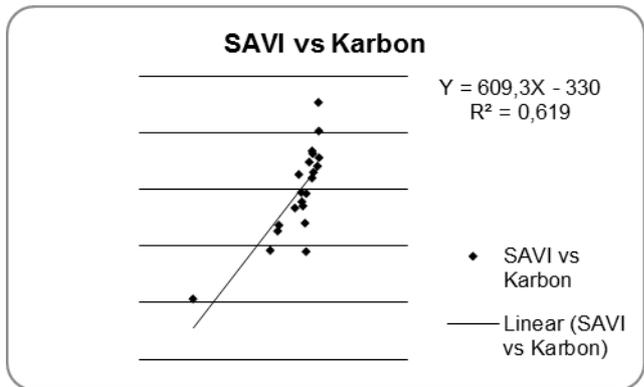
Berdasarkan hasil analisis regresi antara SR dengan nilai karbon pada lokasi sampel lapangan sebanyak 21 titik sampel didapat model persamaan  $Y = 32,3X + 46,03$ , dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yaitu sebesar 0,75 atau dapat dikatakan 75% nilai karbon dapat dijelaskan oleh variabel SR (lihat pada Gambar 5). Nilai karbon total yang didapat dengan menggunakan indeks vegetasi SR ini sebesar 662.212 ton, nilai karbon rata-rata untuk setiap piksel sebesar 4,7889 ton/piksel dan nilai karbon rata-rata untuk setiap meter diketahui sebesar 0,0478 ton/m<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil analisis korelasi-regresi untuk setiap variabel indeks vegetasi yang digunakan, SR merupakan indeks vegetasi yang memiliki nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) paling besar yaitu sebesar 0,75, sedangkan NDVI merupakan indeks vegetasi yang memiliki nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) paling kecil yaitu sebesar 0,61.



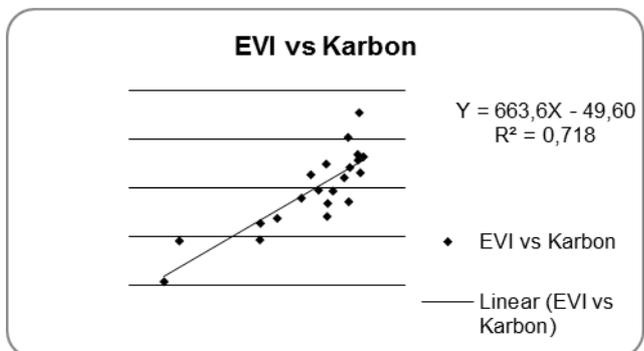
**Gambar 1.** Grafik hubungan antara NDVI dengan karbon.



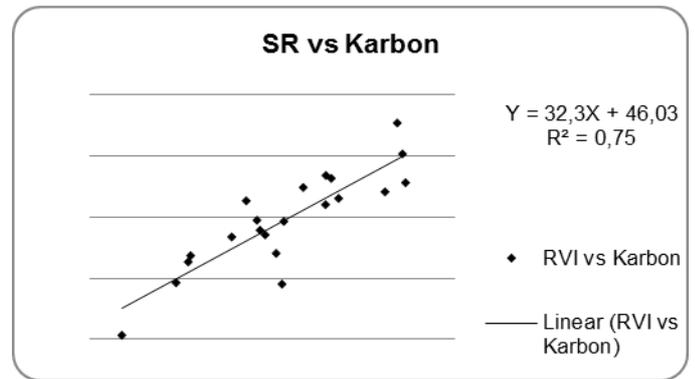
**Gambar 2.** Grafik hubungan antara TVI dengan karbon.



**Gambar 3.** Grafik hubungan antara SAVI dengan karbon.



**Gambar 4.** Grafik hubungan antara EVI dengan karbon.



**Gambar 5.** Grafik hubungan antara SR dengan karbon.

Hasil analisis regresi terhadap titik sampel lapangan untuk uji akurasi pada **Tabel 1** diketahui RMSE untuk indeks vegetasi yang dipakai. Indeks vegetasi yang memiliki RMSE terbaik adalah TVI sebesar ±39.70762 ton/ha, diikuti EVI sebesar ±74.40139 ton/ha, SAVI sebesar ±113.9104 ton/ha, NDVI sebesar ±114.068 ton/ha, dan SR sebesar ±288.1775. Nilai akurasi rata-rata untuk semua indeks vegetasi yang digunakan sebesar ±120,53 ton/ha.

Pada **Tabel 2** ditampilkan perbandingan dari formula yang dipakai, koefisien determinasi ( $R^2$ ) dan akurasi dari masing-masing indeks vegetasi yang digunakan. Dapat dilihat tidak ada hubungan antara koefisien determinasi dengan akurasi yang didapatkan, sehingga akurasi indeks vegetasi yang tinggi tidak menggambarkan koefisien determinasi yang tinggi, dan begitu juga sebaliknya.

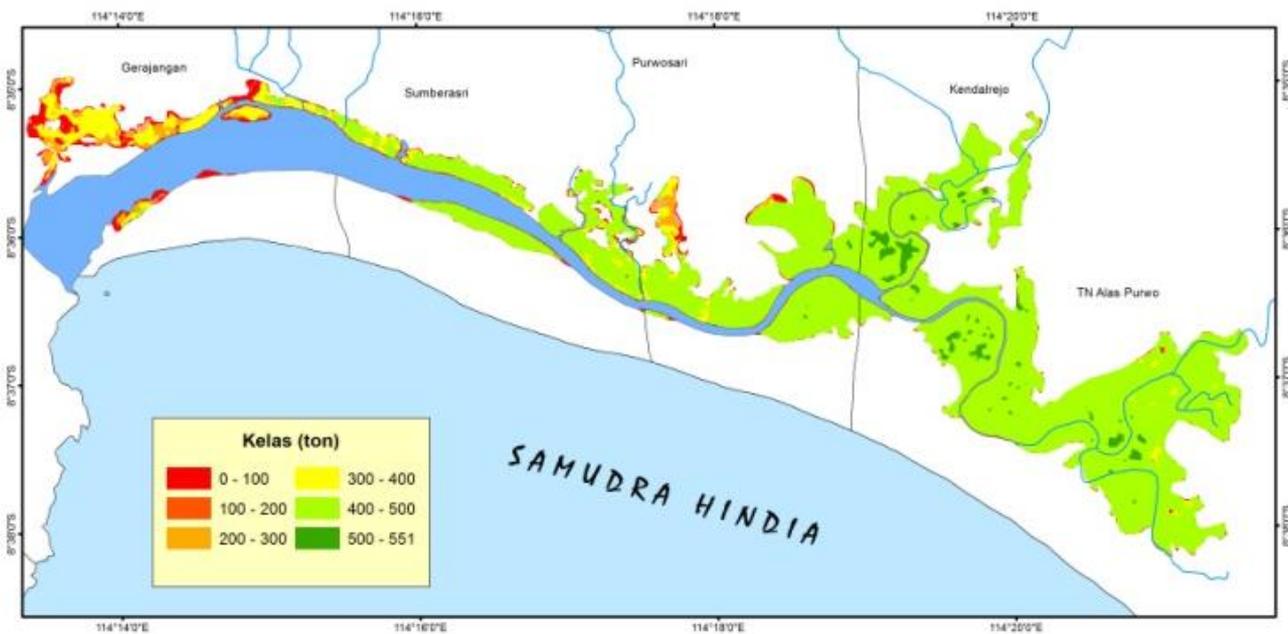
**Tabel 2.** Perbandingan indeks yang digunakan.

Transformasi	$R^2$	Akurasi (RMSE)
NDVI	0,61	± 114,1
TVI	0,62	± 39,7
SAVI	0,61	± 113,9
EVI	0,71	± 74,4
SR	0,75	± 288,2

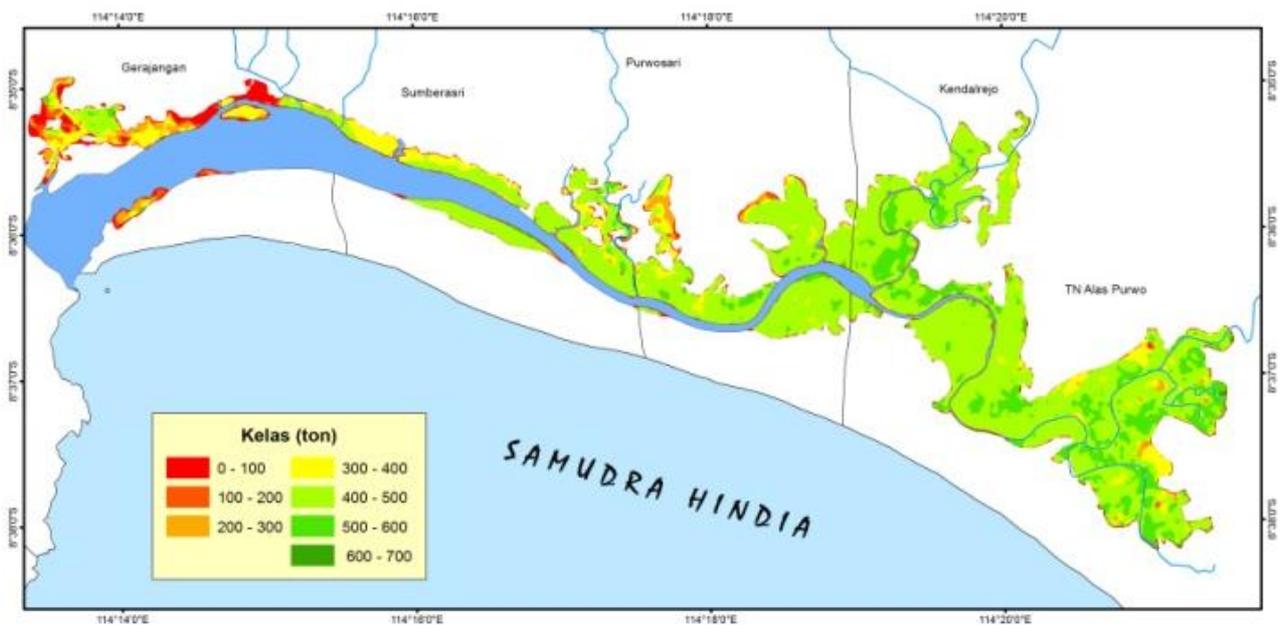
Sumber : Pengolahan Data Lapangan, 2011

Transformasi TVI dan EVI menggunakan panjang gelombang lain selain  $\rho_{red}$  dan  $\rho_{NIR}$  dalam formulanya yaitu  $\rho_{green}$  pada transformasi TVI dan  $\rho_{blue}$  pada transformasi EVI, penggunaan panjang gelombang yang lebih banyak dalam formulanya dapat menghasilkan koefisien regresi ( $R^2$ ) dan akurasi yang lebih baik bila dibandingkan dengan transformasi NDVI, SAVI dan SR yang hanya menggunakan perbandingan dua panjang gelombang yaitu  $\rho_{red}$  dan  $\rho_{NIR}$ .

Konsistensi dari masing-masing indeks vegetasi terhadap level koreksi radiometrik dapat berbeda, beberapa indeks vegetasi memiliki akurasi yang baik dan konsisten pada berbagai level koreksi radiometrik dalam pemetaan karbon, NDVI merupakan indeks vegetasi yang paling sering digunakan untuk berbagai kajian ekologis, NDVI merupakan indikator jumlah kehijauan vegetasi (Domenikiotis *et al.*, 2003).

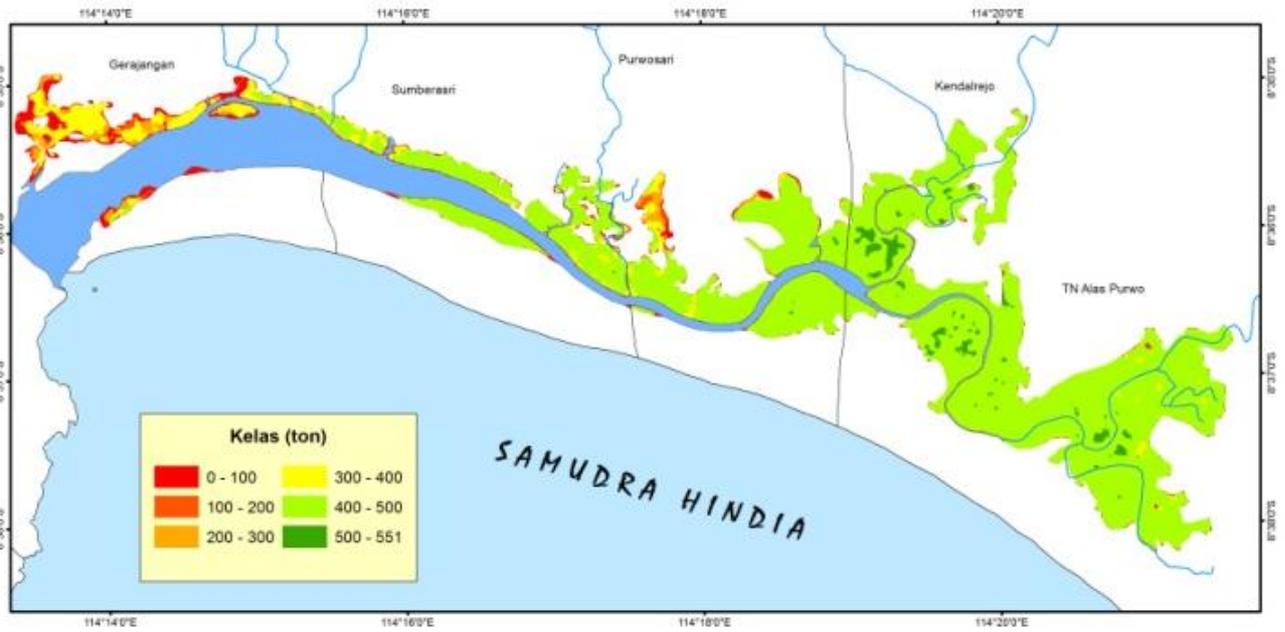


a. Metode Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

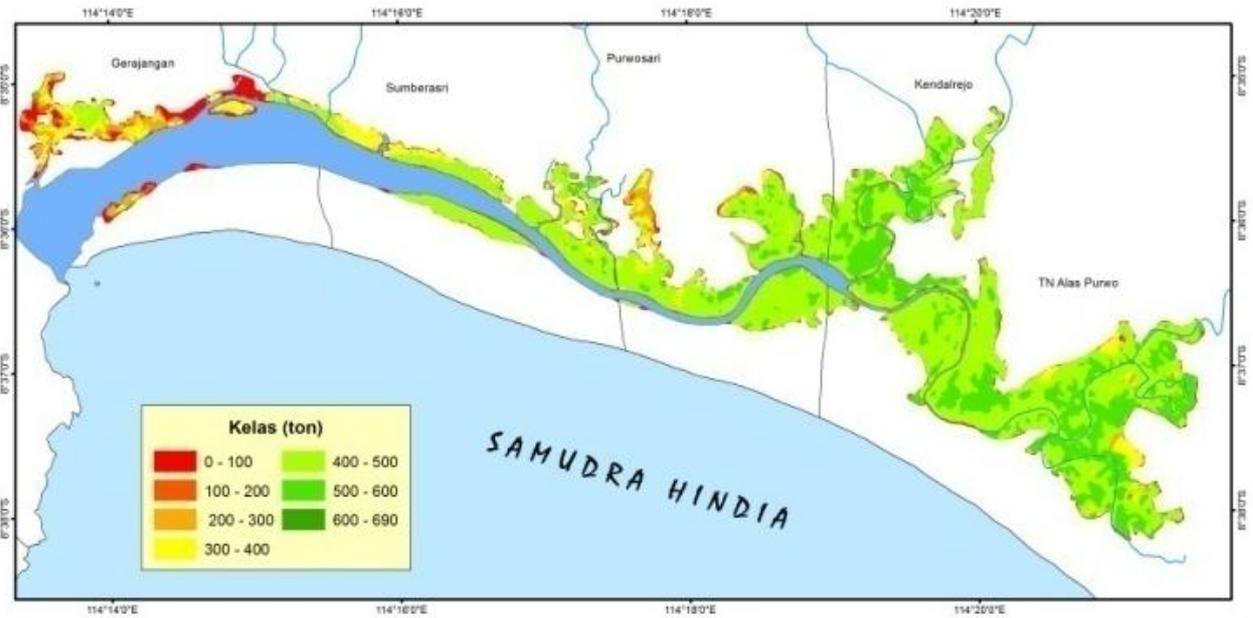


b. Metode Triangular Vegetation Index (TVI)

**Gambar 6.** Peta kandungan karbon kawasan Segoro Anak dari masing-masing indeks vegetasi



c. Metode Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)



d. Metode Enhanced Vegetation Index (EVI)

**Gambar 6.** Peta kandungan karbon kawasan Segoro Anak dari masing-masing indeks vegetasi



e. Metode *Simple Ratio* (SR))

**Gambar 6.** Peta kandungan karbon kawasan Segoro Anak dari masing-masing indeks vegetasi

NDVI bukan terbaik untuk mengestimasi karbon, namun memiliki akurasi yang relatif konsisten pada berbagai tingkat koreksi radiometrik (Wicaksono *et al.*, 2011). Pada fenomena *seasonality* hasil perbandingan antara pemanfaatan NDVI dan EVI menunjukkan bahwa EVI relatif lebih sensitif terhadap *seasonality* dibandingkan dengan NDVI (Ferreira *et al.*, 2003).

Keadaan geografis dari ekosistem hutan mangrove yang terletak pada daerah peralihan antara darat dan perairan/laut dapat menjadi faktor yang mempengaruhi panjang gelombang dalam formula masing-masing indeks yang digunakan, pada *pblue* dan *pgreen* yang lebih peka terhadap objek air bila dibandingkan dengan *pred* dan *pNIR*, menjadikan transformasi EVI dan TVI lebih baik bila dibandingkan dengan transformasi yang hanya menggunakan *pred* dan *pNIR* dalam formulanya.

Biomassa hutan mangrove bervariasi terkait usia, jenis yang dominan, dan lokasinya. Pada kawasan hutan mangrove primer seperti kawasan Segoro Anak ini, kandungan biomassa cenderung rendah pada daerah dekat laut dan kandungan

biomassa cenderung meningkat semakin ke arah dalam. Variasi dapat disebabkan kondisi lingkungan yang berbeda seperti faktor endapan atau lumpur yang lebih tinggi semakin ke arah hulu dan perbedaan salinitas antar wilayah (Mitra, 2011).

Tahapan penelitian yang telah dilakukan yaitu membangun persamaan regresi korelasi untuk mencari hubungan antara kandungan karbon dilapangan dengan indeks vegetasi yang digunakan sampai dengan uji akurasi dari titik sampel lapangan, peneliti mengetahui indeks vegetasi EVI dan TVI merupakan indeks yang memiliki hubungan korelasi tinggi dan memiliki akurasi yang terbaik bila dibandingkan dengan indeks vegetasi yang lain untuk mengestimasi kandungan karbon hutan mangrove. Peneliti sangat menyarankan indeks vegetasi EVI dan TVI sebaiknya digunakan untuk mengestimasi kandungan biomassa/karbon hutan mangrove dalam penelitian-penelitian sejenis dikemudian hari. Pemilihan indeks vegetasi yang tepat sangat membantu dalam menginventarisasi hutan mangrove.

vegetasi. Hal ini dikarenakan beberapa indeks vegetasi memiliki akurasi yang baik/konsisten pada berbagai level koreksi radiometrik dalam pemetaan dan ada yang tidak memiliki akurasi yang baik/tidak konsisten (Wicaksono *et al.*, 2011)

**KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian dapat ditarik kesimpulan bahwa Indeks vegetasi EVI dan TVI merupakan indeks yang memiliki hubungan korelasi dan akurasi terbaik yaitu dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar EVI = 0,72 dan TVI = 0,63, dan juga memiliki akurasi sebesar EVI =  $\pm 74.40139$  ton/ha dan TVI =  $\pm 39.70762$  ton/ha bila dibandingkan dengan indeks vegetasi yang lain. Level koreksi radiometrik yang digunakan dapat mempengaruhi hasil koefisien determinasi ( $R^2$ ) dan akurasi dari masing-masing transformasi indeks

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Prof. DR. Hartono, DEA, DESS, Bapak Drs. Retnadi Heru Jatmiko, M.Sc, dan Bapak Projo Danoedoro, M.Sc, Ph.D yang telah banyak membantu penulis dalam penelitian ini, disela-sela kesibukan dan rutinitasnya namun tetap

meluangkan waktu untuk memberikan petunjuk, dorongan, saran dan arahan sejak rencana penelitian hingga selesainya penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Domenikiotis, C., Loukas, A., & Dalezios, N. R. (2003). The use of NOAA/AVHRR satellite data for monitoring and assessment of forest fires and floods. *Natural Hazards and Earth System Science*, 3(1/2), 115-128.
- Ferreira, L. G., Yoshioka, H., Huete, A., & Sano, E. E. (2003). Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere–Atmosphere Experiment in Amazônia (LBA). *Remote Sensing of Environment*, 87(4), 534-550.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., ... & Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 154-159.
- Hairiah, K dan Rahayu, S. (2007). *Pengukuran “Karbon Tersimpan” di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. Bogor. World Agroforestry Centre – ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Unibraw, Indonesia.
- Huete, A., Didan, K., Leeuwen, W.V., Miura, T., Glenn, E. (2011). *MODIS Vegetation Indices*. Land Remote Sensing and Global Environmental Change. Springer. New York
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 83(1), 195-213.
- JAXA, (2006). *ALOS; User Handbook*. Earth Observation Research Centre. Japan Aerospace Exploration Agency. Japan
- Komiyama, A., Pongpam, S., & Kato, S. (2005). Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 21(04), 471-477.
- Komiyama, A., Ong, J. E., & Pongpam, S. (2008). Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 128-137.
- Kusmana, C. 1996. *Nilai Ekonomis Hutan Mangrove*. Fakultas Kehutanan IPB, Bogor. Media Konservasi Vol. V No. (1) ; 17-24.
- Mitra, A., Sengupta, K., & Banerjee, K. (2011). Standing biomass and carbon storage of above-ground structures in dominant mangrove trees in the Sundarbans. *Forest ecology and management*, 261(7), 1325-1335.
- Soares, M. L. G., & Schaeffer-Novelli, Y. (2005). Above-ground biomass of mangrove species. I. Analysis of models. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65(1), 1-18.
- Walhi. (2010). *Hutan Mangrove: Laju Kerusakan di Lampung Sulit Diredam*. <http://www.walhi.or.id/in/ruang-media/walhi-di-media/1048-hutan-mangrove-laju-kerusakan-di-lampung-sulit-diredam>. (10 12 2010)
- Wicaksono, P., Danoedoro, P., Hartono, H., Nehren, U., & Ribbe, L. (2011, October). Preliminary work of mangrove ecosystem carbon stock mapping in small island using remote sensing: above and below ground carbon stock mapping on medium resolution satellite image. *Proceedings of SPIE: Vol. 8174. Remote sensing for agriculture, ecosystems, and hydrology XIII*. International Society for Optics and Photonics.