

Hubungan Stok Karbon Mangrove Lapangan dengan Indeks Vegetasi dan *Principal Component Analysis*

Eva Purnamasari^{1*}, Putu Wirabumi²

¹Universitas Negeri Padang, Indonesia

²Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 21 August 2023

Accepted 23 April 2024

Available online 31 August 2024

Kata Kunci:

Stok karbon lapangan,
Indeks vegetasi,
Principal Component Analysis (PCA)

Keywords:

Field carbon stock,
Vegetation indices,
Principal Component
Analysis (PCA)

ABSTRAK

Penelitian tentang studi stok karbon mangrove menggunakan data penginderaan jauh sudah banyak dilakukan, dengan berbagai topik, metode dan citra yang digunakan. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara stok karbon mangrove di lapangan dengan indeks vegetasi dan *Principal Component Analysis* (PCA). Metode dalam penelitian ini menggunakan analisis statistik antara lain uji normalitas dan uji korelasi. Berdasarkan hasil penelitian data PCA menghasilkan nilai negatif dan indeks vegetasi bernilai positif, sehingga data PCA tidak mampu melewati batas signifikansi uji korelasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemetaan stok karbon efektif dilakukan dengan menggunakan data indeks vegetasi. Hal ini perlu dikaji ulang terkait PCA khususnya penggunaan citra Sentinel 2A.

ABSTRACT

Much research has been done on the study of mangrove carbon stocks using remote sensing data, with various topics, methods, and images used. This study aims to determine the relationship between mangrove carbon stocks in the field with the vegetation index and Principal Component Analysis (PCA). The method in this study uses statistical analysis, including normality tests and correlation tests. Based on the research results, PCA data produced a negative value and the vegetation index had a positive value, so the PCA data was not able to cross the significance limit of the correlation test. This shows that effective carbon stock mapping is carried out using vegetation index data. This needs to be reviewed regarding PCA, especially the use of Sentinel 2A imagery.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2024 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.



* Corresponding author.

E-mail addresses: evapurnamasari@fis.unp.ac.id

1. Pendahuluan

Hutan mangrove merupakan jenis tanaman yang dapat tumbuh di tepi sungai atau tepi pantai yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut (Bengen, 2002; Salampessy et al., 2015). Dengan kata lain bahwa mangrove termasuk vegetasi halofia (halophytic vegetation) yaitu jenis vegetasi yang dapat tumbuh di tempat yang memiliki salinitas yang tinggi. Ekosistem mangrove adalah ekosistem vegetasi yang berada di daerah peralihan antara ekosistem darat dan ekosistem laut. Ekosistem mangrove memiliki manfaat dalam pengelolaan di daerah pesisir (Sofian et al., 2019; Murdiyarso et al., 2021). Salah satu manfaat tersebut yaitu, ekosistem mangrove dapat menyimpan stok karbon lebih banyak dibandingkan jenis vegetasi lain (Pendleton et al., 2012; Alongi et al., 2015; Murdiyarso et al., 2015). Tanaman mangrove dapat menyimpan karbon dalam bentuk biomassa yang terdapat pada struktur tanaman mangrove tersebut (Lestariningsih, 2018).

Banyak aplikasi penginderaan jauh untuk pola vegetasi tergantung pada pengetahuan tentang karakteristik spektral daun individu dan tanaman (Yang et al., 2013). Klorofil memiliki 12 peran penting dalam pengaruhnya terhadap respon spektral pada daun. Klorofil memungkinkan tanaman menyerap sinar matahari. Palishade parenchyma (sel yang kaya kloroplast) mempengaruhi serapan tinggi yang terjadi pada gelombang pankromatik karena proses fotosintesis (terutama pada gelombang merah dan biru) (Zhao et al., 2019; Sun et al., 2022). Spektrum inframerah, pantulan dipengaruhi oleh struktur jaringan sponge. Spongy mesophyll (jaringan sponge) akan mempengaruhi pantulan inframerah dekat, hanya 10-15% yang diserap sehingga pantulan tinggi. Pemanfaatan data penginderaan jauh sangat banyak sekali digunakan dalam kajian penelitian mangrove, karena hutan mangrove yang berada di daerah peralihan memiliki karakteristik yang khas pada data penginderaan jauh (Faizal et. al dalam Yuwono, 2017).

Berbagai tema penelitian tentang mangrove khususnya stok karbon banyak menggunakan data penginderaan jauh. Penelitian yang dilakukan oleh (Purnamasari et al., 2020) tentang komparasi indeks vegetasi untuk estimasi stok karbon mangrove menggunakan citra planetscope menghasilkan indeks vegetasi DVI memiliki nilai regresi dan akurasi yang paling baik dibandingkan dengan EVI dan NDVI. Penelitian yang dilakukan oleh (Hidayatullah et al., 2023) mengenai estimasi stok karbon mangrove berdasarkan spesies fungsi regresi menggunakan indeks vegetasi. Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut penggunaan indeks vegetasi sangat eksis dalam pemetaan stok karbon mangrove (Maxwell et al., 2023). Indeks vegetasi dapat meminimalkan efek atmosfer, latar belakang tanah, dan vegetasi tua untuk memberikan reflektansi spektral murni, yang sangat penting untuk estimasi stok karbon hutan secara ringkas (Taddeo et al., 2019; Poley et al., 2020; Munyati, 2022).

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, indeks vegetasi sangat eksis dalam pemetaan stok karbon. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara stok karbon mangrove di lapangan dengan indeks vegetasi dan *Principal Component Analysis* (PCA). Penggunaan PCA untuk mengidentifikasi variabel (komponen) yang dapat menjelaskan varians sebanyak mungkin dalam data multidimensi, menghitung matriks kovarians, nilai eigen, dan vektor eigen di antara semua data masukan, kemudian menentukan persentase total varians yang dijelaskan oleh masing-masing komponen, dan terakhir menghitung sekumpulan data baru (disebut saluran atau komponen eigen) dengan mengalikan vektor eigen untuk data masukan asli (Haq et al., 2022; Jesudhas et al., 2023; Mokarram et al., 2023). Fungsi regresi yang digunakan dalam pemetaan stok karbon harus melalui tahapan uji korelasi terlebih dahulu. Jika suatu variabel satu dengan variabel yang lain tidak berkorelasi dengan baik maka variabel yang diuji tidak dapat dilanjutkan ke tahapan selanjutnya. Sehingga, penelitian ini hanya sampai pada mengetahui korelasi variabel yang sedang diuji dan tidak sampai pada pemetaan stok karbon mangrove.

2. Metode

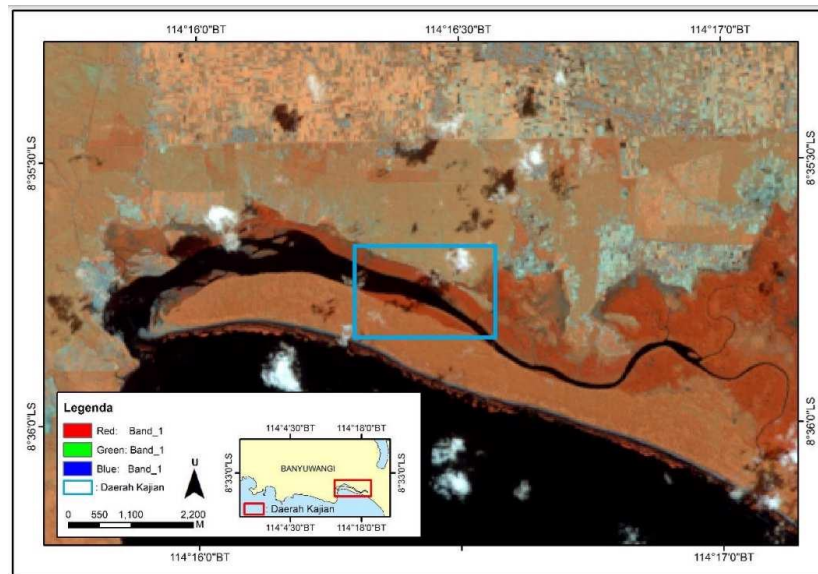
Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Taman Nasional Alas Purwo yang memiliki keanekaragaman hayati salah satunya mangrove. Gambaran lokasi kajian dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah. Lokasi kajian terletak di Teluk Grajagan. Teluk Grajagan secara geografis terletak pada koordinat $114^{\circ} 13' 20.203''$ BT - $114^{\circ} 20' 459.79''$ BT dan $8^{\circ} 35' 52.79''$ LS - $8^{\circ} 37' 28.697''$ LS. Terdapat 27 spesies mangrove yang tumbuh di kawasan Mangrove Bedul TN Alas Purwo, yang ada di seluruh Indonesia terdapat 43 spesies mangrove (Noor et al. 2006). *Rhizophora mucronata*, *Ceriops tagal* dan *Bruguiera gymnorhiza* merupakan ketiga spesies yang mendominasi di TN Alas Purwo dari 27 spesies yang ada.

Data

Penelitian ini menggunakan citra Sentinel 2A, tahapan koreksi dilakukan dengan mengubah nilai ToA menjadi at Surface Reflectance. Hal tersebut dikarenakan citra Sentinel 2A yang didapatkan telah terkoreksi radiometrik dalam bentuk ToA sehingga untuk proses selanjutnya adalah koreksi atmosferik dengan

metode DOS. Koreksi geometrik tidak dilakukan pada citra Sentinel 2A dikarenakan citra ini termasuk ke dalam citra level 1C yang telah dikoreksi geometrik sistematis oleh pihak Sentinel.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Masking citra dilakukan untuk memisahkan daerah penelitian dengan bukan daerah penelitian yang berada di satu scene citra. Daerah penelitian ini, yaitu hutan mangrove Kawasan Hutan Mangrove Bedul, Banyuwangi. Selain itu, masking juga dilakukan pemisahan antara tubuh air dan tutupan lahan lain selain mangrove dengan menggunakan interpretasi visual yang dibantu oleh penggunaan komposit citra. Dalam membedakan objek kajian tersebut menggunakan komposit 843. Setelah citra daerah kajian terpotong kemudian dilanjutkan proses indeks vegetasi, dalam penelitian ini menggunakan indeks vegetasi DVI (*Difference Vegetation Index*), EVI (*Enhanced Vegetation Index*), dan NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Selain proses indeks vegetasi, dalam penelitian ini juga memproses PCA.

Pengambilan Sampel Lapangan

Metode pengambilan sampel lapangan menggunakan metode *Purposive Sampling*. Metode ini dipilih dikarenakan dalam penentuan sampel berdasarkan atas karakteristik-karakteristik tertentu. Selain itu, metode ini dipilih agar saat kerja lapangan dapat lebih efisien dari segi waktu, tenaga, biaya dan aksesibilitasnya. Pada lokasi, dilakukan pengamatan, pengukuran diameter setinggi dada (DBH) serta jenis mangrovenya.. Jenis mangrove didapatkan dengan menggunakan pendekatan ekologi, yaitu berdasarkan ciri-ciri mangrove dan berdasarkan zona tumbuhnya mangrove. Data dari lapangan dihitung biomasnya berdasarkan alometri setiap spesies.

Biomassa yang dihitung pada penelitian ini adalah biomassa yang ada di atas permukaan tanah. Perhitungan biomassa mangrove dilakukan dengan metode alometri yang berdasarkan pada spesies mangrove yang ada di Kawasan Mangrove Bedul, Banyuwangi. Penelitian ini menggunakan persamaan alometri yang mengacu pada persamaan alometri Komiyama et al. (2008) karena persamaan tersebut digunakan untuk mangrove Asia.

Nilai stok karbon di atas permukaan diperoleh dari pendekatan nilai biomassa di atas permukaan. Aturan yang digunakan berdasarkan SNI 7724:2011, perhitungan karbon dari biomassa menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Cb = B \times \% C \text{ organik}$$

Keterangan:
 Cb : kandungan karbon dari biomassa (kg)
 B : total biomassa (kg)
 % C organic : nilai persentase kandungan karbon, sebesar 0,47 atau menggunakan nilai persen karbon yang diperoleh dari hasil pengukuran di laboratorium

Analisis Data

Uji Normalitas

Data-data perlu dilalukan uji normalitas agar diketahui bahwa data yang digunakan terdistribusi normal atau tidak (Ghazali, 2011). Hal tersebut perlu dilakukan karena data yang terdistribusi normal akan mengurangi tingkat kesalahan pada hasil akhir. Metode Kolmogorov-Smirnov digunakan dalam penelitian ini menguji kenormalan data, nilai D_n harus tidak melebihi batas nilai *Kolmogorov-Smirnov* tabel.

Uji Korelasi

Uji korelasi juga dilakukan dalam penelitian ini untuk mengetahui hubungan antara variabel-variabel. Koefisien korelasi digunakan untuk mengetahui derajat hubungan variabel (Sudjana, 2002). *Pearson product moment* merupakan teknik korelasi yang dilakukan dalam penelitian ini (Riduwan, 2007) dengan rumus:

$$r = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

Keterangan:

$r = 0$ atau mendekati 0, maka hubungan antara kedua variabel sangat rendah atau tidak ada pengaruh sama sekali.

$r = 1$ atau mendekati 1, maka hubungan antara kedua variabel kuat atau ikut kuat dan mempunyai pengaruh secara positif (searah).

$r = -1$ atau mendekati -1, maka hubungan antara kedua variabel kuat atau cukup kuat dan mempunyai pengaruh secara negatif (berlawanan).

3. Hasil dan pembahasan

Jumlah titik yang ditetapkan di awal tidak terpenuhi, dari rencana 40 titik sampel lapangan hanya diperoleh 20 titik. Jumlah titik sampel tidak terpenuhi semua dikarenakan adanya beberapa faktor antara lain, sulitnya medan dan akses. Selain itu, adanya pertimbangan pasang-surut air laut dikarenakan akses untuk masuk ke lokasi titik sampel hanya dapat dilalui melalui Sungai Segara Anak. Dari hasil survei lapangan yang telah dilakukan ditemukan 14 spesies mangrove di sekitar Sungai Segara Anak.

Penelitian ini dalam memperoleh informasi mengenai kandungan biomassa mangrove menggunakan metode allometri. Rumus allometri yang digunakan berdasarkan spesies mangrove, terdapat 14 spesies mangrove yang telah diperoleh saat kerja lapangan. Selain itu, kanopi mangrove juga tidak dihitung dalam perhitungan biomassa dan karbon karena metode allometri hanya menggunakan data diameter pohon setinggi dada (DBH). Perhitungan biomassa mangrove dilakukan dengan menggunakan rumus allometri yang berdasarkan data DBH. Hal tersebut dikarenakan penyimpanan karbon lebih banyak terdapat pada struktur tegakan pohon atau tanaman.

Berdasarkan perhitungan biomassa dan karbon yang sudah dilakukan, spesies dominan yang memiliki nilai biomassa dan karbon yang paling tinggi pada spesies *R. Mucronata* sebesar 193.53 ton/ha untuk biomassa, dan 90.96 ton/ha untuk karbon. Spesies dominan yang memiliki nilai biomassa dan karbon paling rendah ada pada spesies *C*. Tagal sebesar 27.36 ton/ha untuk biomassa dan 12.86 ton/ha untuk karbon. Perbedaan spesies tersebut menghasilkan nilai biomassa dan karbon yang berbeda. Hal tersebut dipengaruhi oleh besaran DBH dari masing-masing spesies.

Transformasi indeks vegetasi dilakukan pada citra Sentinel 2A yang telah dikoreksi sampai pada level *at Surface Reflectance*. Indeks vegetasi yang digunakan, yaitu DVI, EVI dan NDVI. Pada indeks DVI dan NDVI menggunakan band merah dan band inframerah dekat, sedangkan indeks EVI menggunakan band biru, band merah dan band inframerah dekat. Jadi, semua band yang ada pada citra tidak digunakan sepenuhnya. Nilai indeks yang mendekati 1 menunjukkan adanya keberadaan vegetasi di lokasi penelitian tersebut, sedangkan nilai indeks yang jauh dari angka 1 menunjukkan daerah non vegetasi. Hasil proses indeks vegetasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1.

Hasil transformasi indeks vegetasi

	Min	Max	Mean	StDev
DVI	0.00	0.29	0.05	0.08
EVI	0.00	0.45	0.08	0.13
NDVI	0.00	0.87	0.76	0.08

Transformasi PCA dilakukan untuk meningkatkan informasi pada daerah kajian dengan menggunakan citra Sentinel 2A. Transformasi ini diterapkan hanya pada daerah mangrove yang diperoleh dari proses masking. Hal ini dilakukan karena kemampuan transformasi PCA dapat meningkatkan variansi

tiap komponennya, sehingga variansi nilai piksel objek mangrove yang telah dibatasi sebelumnya dapat ditingkatkan untuk mempertajam informasi. Proses PCA membutuhkan informasi statistik untuk menghasilkan saluran baru yang disebut dengan *Principal Component*. Informasi statistik yang dibutuhkan antara lain nilai korelasi antar saluran dimana nilai korelasi dapat dihitung berdasarkan informasi kovariansi antar saluran. Nilai eigenvalue pada setiap komponen menunjukkan variasi informasi pada tiap saluran, semakin tinggi nilai eigenvalue maka informasi yang terdapat pada 75 komponen tersebut semakin banyak. Saluran utama (PC1) memiliki nilai eigenvalue paling tinggi sehingga sebagian besar informasi dari setiap saluran yang digunakan terakumulasi pada komponen utama (PC1) dan dilanjutkan pada komponen kedua dan seterusnya dan memiliki informasi yang sedikit. Nilai eigenvalue dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2.
Nilai eigenvalue PCA

Saluran	Eigenvalue
PC 1	0.01
PC 2	0
PC 3	0
PC 4	0

Untuk meminimalisir adanya dugaan dari hasil pengolahan dilakukan uji normalitas untuk mengetahui kelayakan data yang digunakan dalam analisis lanjutan yaitu korelasi dan regresi. Syarat untuk analisis statistik parametrik yaitu regresi adalah data yang digunakan harus berdistribusi secara normal. Tabel 4 merupakan hasil pengolahan uji normalitas, input data yang digunakan 20 data berdasarkan jumlah sampel yang telah diperoleh. Penentuan normal atau tidak normalnya data dilihat dari nilai Dn dan KS Tabel, jika nilai Dn lebih dari KS Tabel yaitu 0.30 data tersebut dianggap tidak normal, sebaliknya jika nilai Dn kurang dari 0.30 data tersebut dianggap normal dan dapat dilakukan analisis statistik lanjutan. Berdasarkan hasil tersebut, semua input data menghasilkan nilai Dn < KS Tabel sehingga, 20 data yang dijadikan untuk analisis lanjutan telah memenuhi asumsi dalam penelitian berbasis statistik parametrik. Dari hasil pengolahan uji normalitas tersebut, dapat disimpulkan bahwa data yang telah diperoleh layak untuk digunakan dalam analisis statistik.

Tabel 3.
Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov

Data	Statistik				
	Sample	Mean	StDev	Dn	KS Tabel
Karbon Lapangan	20	55.57	29.94	0.13	0.30
DVI	20	0.17	0.04	0.16	0.30
EVI	20	0.27	0.07	0.16	0.30
NDVI	20	0.73	0.04	0.24	0.30
PCA	20	0.00	0.00	0.09	0.30

Uji korelasi digunakan untuk melihat hubungan variabel yang digunakan dalam penelitian ini. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, nilai karbon di lapangan dengan indeks vegetasi. Kedua variabel jika memiliki hubungan ditandai dengan nilai data tersebut dapat melewati batas signifikansi nilai r pada jumlah sampel (n). Nilai data yang mampu melewati batas signifikansi digunakan untuk pemodelan stok karbon. Hasil uji korelasi dapat dilihat pada Tabel 5.

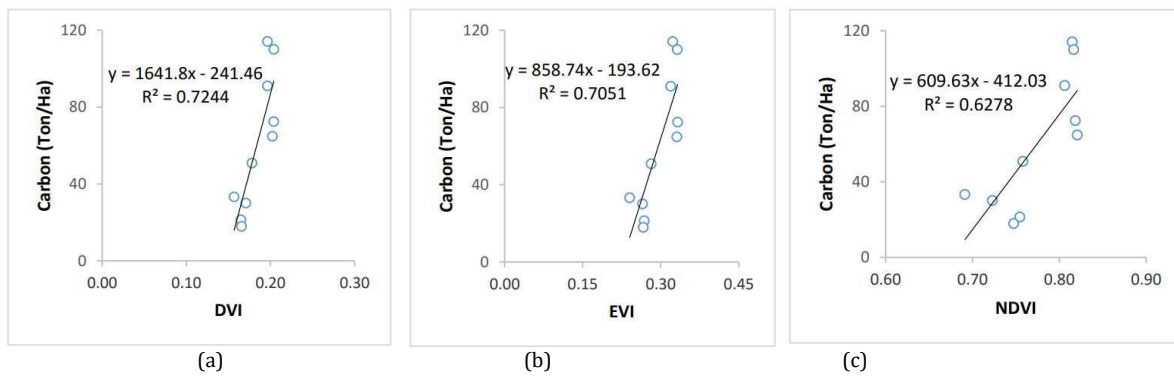
Tabel 4.
Nilai data yang melewati batas signifikansi uji korelasi

Data	Normalitas Data	r (Korelasi)
DVI	Normal	0.85
EVI	Normal	0.84
NDVI	Normal	0.79
PC1	Normal	-0.18
PC2	Normal	0.22
PC3	Normal	-0.43
PC4	Normal	-0.12

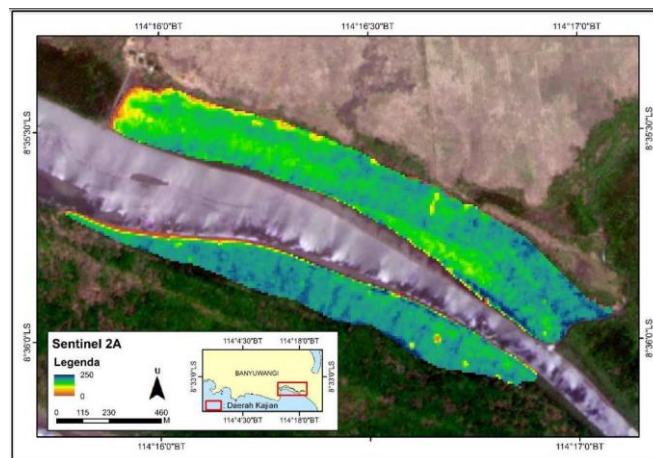
Berdasarkan tabel di atas, data yang mampu melewati batas signifikansi adalah semua data indeks vegetasi ditunjukkan dengan warna kuning pada tabel, sedangkan data dari nilai PCA tidak mampu melewati batas signifikansi dari citra Sentinel 2A. Sehingga dalam penelitian ini data PCA tidak dapat

dijadikan sebagai input dalam pemodelan empiris melalui analisis regresi. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemetaan stok karbon efektif dilakukan dengan menggunakan data indeks vegetasi. Data dari nilai PCA tidak mampu melewati batas signifikansi dikarenakan hasil pengolahan PCA dari setiap saluran citra menghasilkan nilai yang sangat rendah dan beberapa saluran terdapat nilai yang negatif, sehingga dapat mempengaruhi hasil dari analisis korelasi. Penggunaan PCA banyak digunakan dalam analisis sebaran karakteristik spesies mangrove dibandingkan dengan pemetaan stok karbon. Pernyataan ini sesuai dengan hasil penelitian oleh Poedjirahajoe et al., 2017 bahwa dalam PCA digunakan untuk menentukan karakteristik spasial objek yang ada di lokasi kajian penelitian. Selain itu, pada penelitian yang dilakukan oleh Rahma et al., 2020, pola distribusi spasial vegetasi mangrove dianalisis dengan menggunakan pendekatan analisis multivariat PCA.

Uji regresi dilakukan pada Sentinel 2A dengan menggunakan indeks DVI, EVI dan NDVI. Indeks vegetasi berperan sebagai variabel bebas dan nilai estimasi stok karbon sebagai variabel terikat. Persamaan tertinggi yang didapatkan dari hasil regresi antara nilai indeks vegetasi dan nilai estimasi stok karbon lapangan digunakan untuk membuat peta stok karbon. Hasil analisis regresi dari citra Sentinel 2A nilai R² tertinggi didapatkan dari input indeks DVI.



Gambar 2. Analisis Regresi (a) DVI; (b) EVI; dan (c) NDVI



Gambar 3. Peta Stok Karbon

Gambar 3 menunjukkan peta distribusi spasial stok karbon pada citra Sentinel 2A diperoleh dari indeks DVI. Kawasan mangrove bagian selatan atau bagian bawah memiliki stok karbon lebih tinggi dengan didominasi warna merah. Sedangkan stok karbon kawasan mangrove bagian selatan cenderung bervariasi dengan ditunjukkan dengan warna merah, hijau sampai biru. Perbedaan stok karbon di kawasan mangrove bagian selatan dan utara dimungkinkan karena perbedaan nilai indeks vegetasi yang dihasilkan.

4. Simpulan dan saran

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa data PCA tidak mampu melewati batas signifikansi yang artinya data PCA tidak memiliki hubungan dengan stok karbon lapangan. Sehingga, dari hasil tersebut data PCA tidak dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu, analisis regresi dan pemetaan stok karbon. Penelitian selanjutnya jika menggunakan data yang sama perlu dikaji ulang dalam penggunaan citra Sentinel 2A. Perlu dibandingkan antara nilai PCA setelah koreksi radiometrik dan sebelum koreksi radiometrik.

Ucapan terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Taman Nasional Alas Purwo yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian di Kawasan Mangrove Bedul. Penulis juga mengucapkan kepada R.F Lestari, S.A. Hafid, S.M. Ridha, A.D. Rahmandhana, M.F. Hidayatullah, M.A. Purnomo, dan A. Widodo atas bantuan selama survei lapangan.

Daftar Rujukan

- Alongi, D. M., Murdiyarso, D., Fourqurean, J. W., Kauffman, J. B., Hutahaean, A., Crooks, S., Lovelock, C. E., Howard, J., Herr, D., Fortes, M. 2015. Indonesia's blue carbon: a globally significant and vulnerable sink for seagrass and mangrove carbon. *Wetl. Ecol. Manag.*, 24, 3-13
- Bengen, D. G. 2002. *Sinopsis Ekosistem dan Sumberdaya Alam Pesisir dan Laut serta Prinsip Pengelolaannya (Synopsis of Coastal and Marine Natural Ecosystems and Resources and their Management Principles)*. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan, Bogor.
- Ghazali, I. 2011. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 19*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Haq, S. M., Rashid, I., Calixto, E. S., Ali, A., Kumar, M., Srivastava, G., Bussmann, R. W., Khuroo, A. 2022. A. Unravelling patterns of forest carbon stock along a wide elevational gradient in the Himalaya: implications for climate change mitigation. *Forest ecology and management*, 2022.
- Hidayatullah, M. F., Kamal, M., Wicaksono, P. 2023. Species-Based Aboveground Mangrove Carbon Stock Estimation Using Worldview-2 Image Data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100959>.
- Jesudhas, C. J., C. Titus, J., Roy, T. 2023. Remote Sensing-based Drought Hazard Monitoring and Assessment in a Coastal Plain: A Principal Component Approach. *Environmental Research*, 243.
- Komiyama, A., Pongpan, S., dan Ong, J. E. 2008. Allometry, Biomass and Productivity of Mangrove Forest: A Review. *Aquatic Botany*, 2008(89), 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.006>
- Lestariningsih, W. A., Soenardjo, N., Pribadi, R. 2018. Estimasi Cadangan Karbon Pada Kawasan Mangrove Di Desa Timbulsloko, Demak, Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*, 2018(7), 121-130.
- Maxwell, T. L., Hengl, T., Parente, L. L., Minarik, R., Worthington, T. A., Bunting, P., Smart, L. S., Spalding, M. D., Landis, E. 2023. Global Mangrove Soil Organic Carbon Stocks Dataset at 30 m Resolution for the Year 2020 Based on Spatiotemporal Predictive Machine Learning. *Data in Brief*, 50.
- Mokarram, M., Zarei, A. R. 2023. Soil Erosion Prediction Using Markov and CA-Markov Chains Methods and Remote Sensing Drought Indicators. *Ecological Informatics*, 78.
- Munyati, C., 2022. Detecting the distribution of grass aboveground biomass on a rangeland using Sentinel-2 MSI vegetation indices. *Adv. Space Res.*, 69, 1130-1145.
- Murdiyarso, D., Arifanti, V. B., Sidik, F., Sillanp, M., Sasmito, S.D. 2021. Optimizing carbon stocks and sedimentation in Indonesian mangroves under different management regimes, in: K.W. Krauss, Z. Zhu, C.L. Stagg (Eds.). *Wetland Carbon and Environmental Management, American Geophysical Union Publications*, 159-172.
- Murdiyarso, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, S. D., Donato, D. C., Manuri, S., Krisnawati, H., Taberima, S., Kurnianto, S. 2015. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nat. Clim. Change*, 5, 1089-1092.
- Noor, Y. R., Khazali, M., Suryadiputra, I. N. N. 2006. *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia*. Jakarta: Wetlands International, Indonesia Programme.
- Pendleton, L., Donato, D.C., Murray, B.C., Crooks, S., Jenkins, W.A., Sifleet, S., Craft, C., Fourqurean, J.W., Kauffman, J.B., Marb, N. 2012. Estimating global "blue carbon" emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PLoS One*, 7.
- Planet Labs. (2018). *Planet Imagery Product Specification*. Planet Labs Inc 2018.
- Poedjirahajoe, E., Marsono, D., Wardhani, F. K. 2017. Penggunaan Principal Component Analysis dalam Distribusi Spasial Vegetasi Mangrove di Pantai Utara Pematang. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 11(2017): 29-42.
- Poley, G., Lucy, Mcdermid, Gregory, J., 2020. A systematic review of the factors influencing the estimation of vegetation aboveground biomass using unmanned aerial systems. *Remote Sens.* 12, 1052.
- Purnamasari, E., Kamal, M., Wicaksono, P. 2020. Comparison of Vegetation Indices for Estimating Aboveground Mangrove Carbon Stocks Using PlanetScope Image. *Regional Studies in Marine Science*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101730>
- Rahma, I. Y., Amalia, A. R., Maulana, I. S., Hilal, M. S., Aulya, Z. S., Nandi., Ridwana, R. 2020. Analisis Komparasi Metode Pemetaan Ekosistem Mangrove Menggunakan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Geografi*, 17(2): 49-55.
- Riduwan, A. 2007. *Rumus dan Data dalam Aplikasi Statistika*. Bandung: Alfabeta.

- Salampessy, M. L., Febryano, I. G., Martin, E., Siahaya, M. E., Papilaya, R. 2015. Cultural capital of the communities in the mangrove conservation in the coastal areas of Ambon Dalam Bay, Moluccas, Indonesia. *Environ. Sci.*, 23, 222–229.
- Sofian, A., Kusmana, C., Fauzi, A., Rusdiana, O. 2019. Ecosystem services-based mangrove management strategies in Indonesia: a review. *AAFL Bioflux*, 12 (1),151–166.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2011. Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon – Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon 111 Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Sudjana. 2002. Metode Statistika. Bandung: Tarsito.
- Sun, D., Robbins, K., Morales, N., Shu, Q., Cen, H., 2022. Advances in optical phenotyping of cereal crops. *Trends Plant Sci.*, 27 (2), 191–208.
- Taddeo, S., Dronova, I., Depsky, N., 2019. Spectral vegetation indices of wetland greenness: responses to vegetation structure, composition, and spatial distribution. *Remote Sens. Environ.*, 234, 111467.
- Yuwono, R. A. 2017. Pemanfaatan Citra Satelit Landsat 8 OLI untuk Pemetaan Kerapatan Kanopi Hutan Mangrove di Segara Anakan, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah. Skripsi. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Zhao, C., Zhang, Y., Du, J., Guo, X., Wen, W., Gu, S., Wang, J., Fan, J., 2019. Crop phenomics: current status and perspectives. *Front. Plant Sci.*, 10, 714.