

Pendugaan Stok Karbon Mangrove Menggunakan Citra Sentinel-2A Di Segara Anakan, Cilacap

Mohammad Aji Prakoso Niti Semito, Nirwani Soenardjo, Rini Pramesti*

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia
Corresponding author, email: rinipramesti63@gmail.com³

ABSTRAK: Mangrove sebagai salah satu ekosistem penyerap karbon dengan kapasitas besar memiliki potensi dalam kontribusi penurunan emisi karbon di atmosfer. Segara Anakan, salah satu kawasan ekosistem mangrove terbesar di Pulau Jawa memiliki kontribusi dalam penurunan emisi karbon. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan tutupan mangrove dan stok karbon di Segara Anakan, sehingga dapat disusun langkah untuk menjaga kelestarian ekosistem mangrove. Penelitian dilakukan dengan analisis data citra satelit Sentinel-2A. Perubahan yang diamati yaitu kondisi tutupan mangrove dan stok karbon secara temporal pada tahun 2019, 2021, dan 2023. Tutupan mangrove menurun pada tahun 2021 dan meningkat pada tahun 2023. Hasil uji Wilcoxon Signed-Rank pada kandungan biomassa dan stok karbon menunjukkan adanya peningkatan tidak signifikan pada tahun 2021 ($P>0,05$) dan peningkatan signifikan pada tahun 2023 ($P<0,05$). Dengan penelitian ini harapannya dapat disusun langkah yang tepat, baik dari pemangku kebijakan dan masyarakat setempat dalam menjaga kelestarian ekosistem mangrove.

Kata kunci: Mangrove; Biomassa; Stok Karbon; Segara Anakan; Sentinel-2A

Estimation of Mangrove Carbon Stock Using Sentinel-2A Image in Segara Anakan, Cilacap

ABSTRACT: *Mangroves, as one of the carbon-absorbing ecosystems with a large capacity, have the potential to contribute to the reduction of atmospheric carbon emissions. Segara Anakan, one of the largest mangrove ecosystems on Java, contributes to the reduction of carbon emissions. This study aims to determine changes in mangrove cover and carbon stock in Segara Anakan, thus providing measures to preserve the mangrove ecosystem. The study was conducted using Sentinel-2A satellite imagery analysis. The observed changes included the temporal condition of mangrove cover and carbon stock in 2019, 2021, and 2023. Mangrove cover decreased in 2021 and increased in 2023. The result of the Wilcoxon Signed-Rank test on biomass content and carbon stock showed a non-significant increase in 2021 ($P>0.05$) and a significant increase in 2023 ($P<0,05$). This study hopes to provide appropriate measures for stakeholders and local communities to preserve the mangrove ecosystem.*

Keywords: *Mangrove; Biomass; Carbon Stock; Segara Anakan; Sentinel-2A .*

PENDAHULUAN

Segara Anakan memiliki ekosistem hutan mangrove terluas di Pulau Jawa mencapai 7.105,5 ha (Fahriza *et al.*, 2022). Hutan mangrove di ini berperan dalam mengatur iklim lokal, melindungi dari erosi pantai, dan menyediakan habitat bagi berbagai spesies tumbuhan dan hewan. Selain manfaat tersebut, ekosistem mangrove berperan dalam penyerapan karbon di atmosfer, sebagai salah satu agen karbon biru atau *blue carbon* yang mampu menyimpan karbon lebih lama dari ekosistem darat lainnya. Serasah mangrove akan mengalami proses penguraian oleh bakteri yang akan menjadi sumber bahan organik di dalam sedimen (Yaqin *et al.*, 2022). Menurut Putri *et al.* (2024), kondisi anoksik di dalam sedimen mangrove akan memperlambat proses dekomposisi, sehingga karbon tetap dapat tersimpan di dalam sedimen. Karbon tersimpan dalam 39% bahan

organik di bawah tanah (Sasmito *et al.*, 2019).

Saat ini sedang dikembangkan suatu metode pendugaan stok karbon menggunakan citra satelit. Citra satelit dapat digunakan untuk mengetahui nilai indeks vegetasi seperti NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Melalui nilai indeks vegetasi seperti NDVI, dapat diketahui nilai biomassa di suatu kawasan sebagai dasar dalam penghitungan nilai stok karbon. Monitoring vegetasi dapat dilakukan melalui beberapa citra satelit, seperti satelit Landsat 8 dan satelit Sentinel-2. Citra satelit Sentinel-2 memiliki korelasi yang terbaik dengan kandungan biomassa dibandingkan citra satelit lainnya (Wai *et al.*, 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk menduga stok karbon yang tersimpan dan melihat kecenderungan perubahan nilai stok karbon pada tahun 2019, 2021, dan 2023 di ekosistem mangrove di Segara Anakan, Kabupaten Cilacap melalui hasil citra satelit Sentinel-2A. Hasil dari penelitian ini dapat berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik tentang manfaat ekosistem mangrove sebagai agen penyimpan stok karbon dan penyusunan strategi untuk mendukung konservasi dan pengelolaan ekosistem yang penting ini.

MATERI DAN METODE

Materi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu citra satelit Sentinel-2A L1C kawasan hutan mangrove Segara Anakan, Kabupaten Cilacap. Parameter yang diamati yaitu kandungan biomassa dan stok karbon, serta jumlah tutupan mangrove berdasarkan nilai NDVI. Metode penelitian yang dilakukan yaitu deskriptif kuantitatif dengan analisis geospasial. Pendekatan deskriptif kuantitatif memungkinkan untuk memberikan gambaran suatu keadaan secara objektif dengan data numerik (Yanuar *et al.*, 2023). Pendekatan tersebut dapat menggambarkan perubahan stok karbon pada ekosistem mangrove dari tahun 2019, 2021, dan 2023 di lokasi penelitian. Menurut Saputra dan Santosa (2020), analisis geospasial dapat digunakan untuk analisis perubahan spasial-temporal. Analisis geospasial dilakukan dengan mengolah data citra satelit Sentinel-2A untuk mendapatkan nilai indeks vegetasi.

Data yang diunduh dalam penelitian ini yaitu data citra satelit Sentinel-2A dalam bentuk *file raster* sebagai data yang dianalisis, dan data peta administrasi desa seluruh Indonesia serta data peta persebaran mangrove di seluruh dunia dalam bentuk *shapefile* sebagai acuan dalam pemotongan data citra. Data citra satelit Sentinel-2A diunduh dari laman <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>, data peta administrasi desa diunduh dari laman resmi Badan Informasi Geospasial, <https://geoservices.big.go.id/petarbi/>, dan data peta persebaran mangrove diunduh dari laman <https://www.globalforestwatch.org/>. Citra satelit yang telah diunduh, selanjutnya dilakukan *pre-processing* terlebih dahulu, yaitu koreksi atmosferik dan pemotongan citra. Proses koreksi atmosferik dilakukan menggunakan algoritma Sen2Cor yang akan mengubah citra Sentinel-2A L1C menjadi citra Sentinel-2A L2A yang memiliki reflektansi permukaan (Tavares *et al.*, 2019). Proses pemotongan citra dan estimasi stok karbon dilakukan menggunakan *software* ArcMAP 10.8. Peta dipotong mengikuti peta administrasi desa seluruh Indonesia dan peta persebaran mangrove.

Estimasi stok karbon diawali dengan analisis NDVI menggunakan *tools Raster Calculator*. Nilai NDVI dihitung merujuk pada persamaan menurut Nse *et al.* (2020):

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Keterangan: NIR = Pita *Near Infrared*; Red = Pita Merah

Menurut Fatemi dan Narangifard (2019), nilai NDVI memiliki rentang -1 sampai 1. Nilai negatif mengindikasikan non vegetasi, sedangkan nilai positif menunjukkan adanya vegetasi. Setiap rentang nilai NDVI menunjukkan kondisi tutupan yang berbeda (Tabel 1). Hasil analisis NDVI selanjutnya akan diseleksi hanya pada piksel yang terindikasi sebagai tutupan vegetasi. Seleksi dilakukan menggunakan rumus fungsi *Con* pada *tools Raster Calculator* (Ruan *et al.*, 2020).

Tabel 1. Kategori Nilai NDVI (Bouamrane *et al.*, 2021)

Kelas	Nilai NDVI
Air/Awan	-0,41379 – -0,10141
Bangunan/Pasir Sungai	-0,10141 – 0,055727
Lahan Kosong	0,055727 – 0,20579
Semak/Rumput/Anakan	0,20579 – 0,37036
Agroforestri	0,37036 – 0,51037
Hutan Lebat	0,51037 – 0,82051

Kandungan biomassa dihitung berdasarkan nilai NDVI di setiap piksel. Kandungan biomassa dihitung menggunakan *tools Raster Calculator* dan menggunakan rumus fungsi *Con* untuk menyeleksi hanya piksel yang terindikasi vegetasi yang dihitung nilai biomasanya. Kandungan biomassa dihitung merujuk pada persamaan Poudel *et al.* (2023):

$$Y : 26,676 - 125,73 \times NDVI + 304 \times NDVI^2$$

Keterangan: Y = Kandungan Biomassa; NDVI = Nilai NDVI setiap piksel

Model diuji dengan analisis regresi linear dan divalidasi menggunakan *relative Root Mean Square Error* (rRMSE) antara hasil estimasi kandungan biomassa menggunakan citra satelit Sentinel-2A dengan estimasi kandungan biomassa di lapangan. Data lapangan yang digunakan untuk pengujian model adalah data hasil penelitian Aulia *et al.* (2022). Menurut Strullu *et al.* (2020), nilai rRMSE yang kecil menunjukkan data model mampu menggambarkan kondisi di lapangan dengan akurat. Nilai rRMSE dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Keterangan: RMSE = *Root Mean Square Error*; n = Jumlah Data; y_i = Nilai Data Lapangan ke-i; \hat{y}_i = Nilai Data Model ke-i

$$rRMSE = \frac{RMSE}{\bar{y}} \times 100$$

Keterangan: rRMSE = *relative Root Mean Square Error*; RMSE = *Root Mean Square Error*; \bar{y} = Rata-Rata Nilai Data Lapangan

Kandungan biomassa selanjutnya dikonversi menjadi stok karbon menggunakan *tools Raster Calculator*. Menurut Sasmito *et al.* (2019), karbon di atas tanah terkandung dalam 47% biomassa, sedangkan karbon di bawah tanah terkandung dalam 39% biomassa. Analisis melalui citra satelit Sentinel-2A hanya mampu mengestimasi stok karbon di atas tanah, maka untuk mengetahui stok karbon dari data biomassa yang telah diperoleh dapat menggunakan persamaan berikut:

$$C = B \times 0.47$$

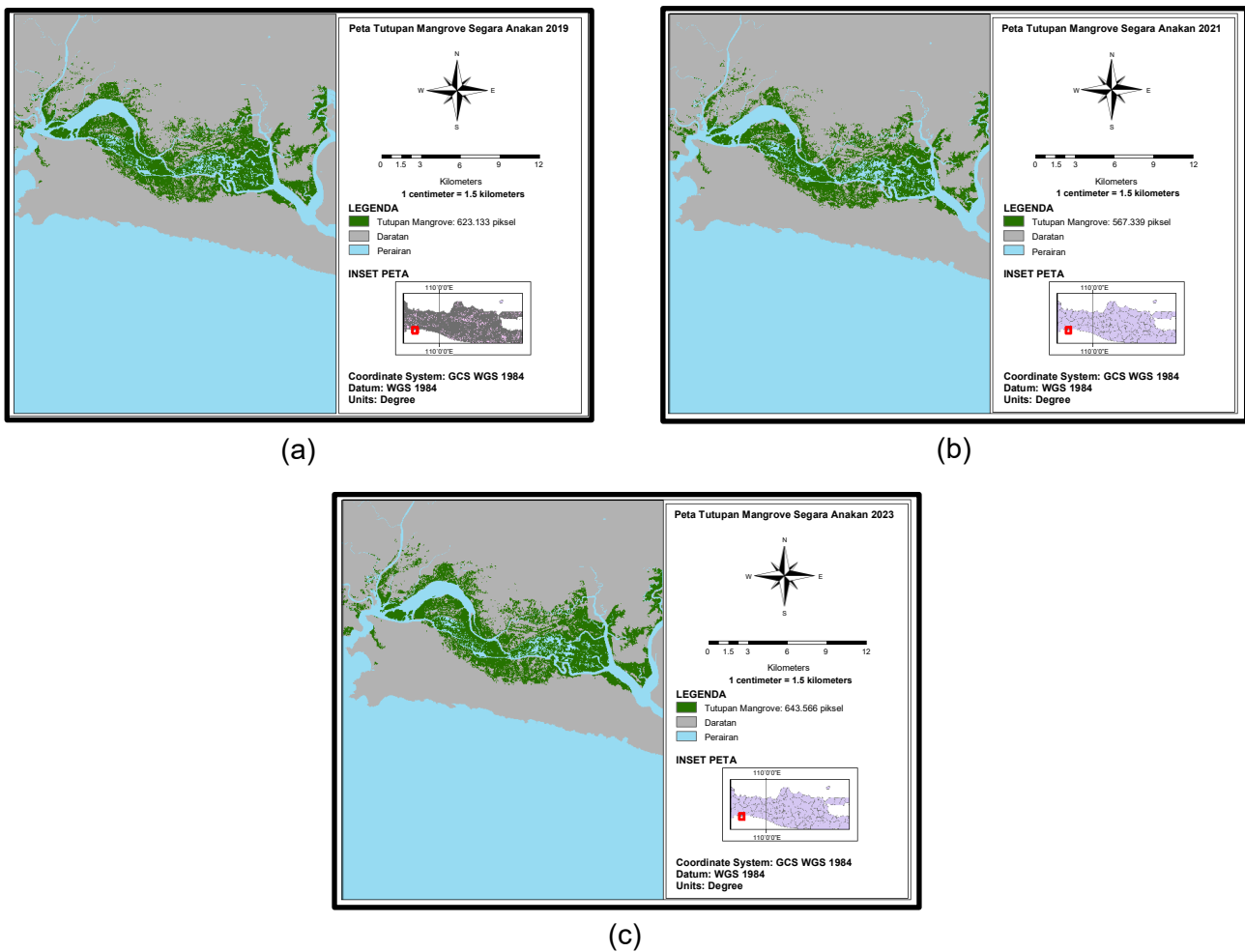
Keterangan: C = Stok Karbon; B = Kandungan Biomassa

Analisis statistik dilakukan pada kandungan biomassa dan stok karbon untuk mengetahui perubahan dari tahun 2019, 2021, dan 2023 menggunakan *software IBM SPSS 29.0*. Uji

Kolmogorov-Smirnov dilakukan untuk menguji normalitas data. Uji Friedman dilakukan untuk mengetahui apakah ada perbedaan signifikan atau tidak diantara data tahun 2019, 2021, dan 2023. Uji Wilcoxon Signed-Rank dilakukan sebagai uji lanjutan dari Uji Friedman untuk mengetahui dimana terjadi perubahan signifikan dan kecenderungan perubahan diantara data tahun 2019, 2021, dan 2023.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengamatan melalui citra Sentinel-2A pada tahun 2019, 2021, 2023, diketahui kondisi tutupan mangrove di lokasi penelitian menurun pada tahun 2021 dan meningkat pada tahun 2023. Setiap piksel pada peta mewakili luas 100 m² di lapangan. Jumlah piksel tutupan vegetasi mangrove pada tahun 2019 yaitu 623.133 piksel, artinya tutupan mangrove pada tahun 2019 memiliki luas sekitar 6.231,33 hektar. Terjadi penurunan luasan tutupan mangrove pada tahun 2021, yaitu hanya terdapat 567.339 piksel, artinya tutupan mangrove pada tahun 2021 memiliki luas sekitar 5.673,39 hektar. Pada tahun 2023, luas tutupan mangrove meningkat, yaitu memiliki 643.566 piksel, artinya tutupan mangrove pada tahun 2023 memiliki luas sekitar 6.435,66 hektar. Peta kondisi tutupan mangrove pada tahun 2019, 2021, dan 2023 dapat dilihat pada Gambar 1.

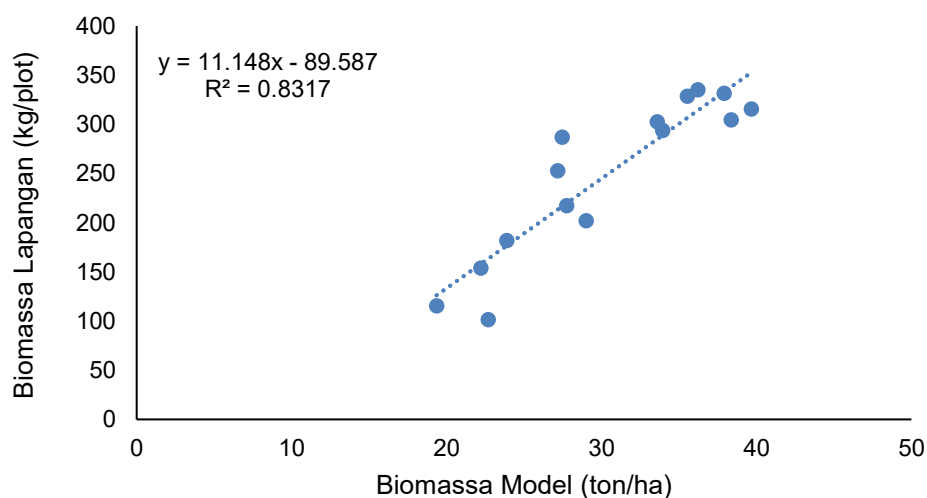


Gambar 1. Peta Sebaran Tutupan Mangrove: a) Peta Tahun 2019, b) Peta Tahun 2021, c) Peta Tahun 2023

Tekanan dari faktor alam dan faktor antropogenik diduga menyebabkan penurunan tutupan mangrove pada tahun 2021. Aktivitas manusia seperti penebangan liar untuk alih fungsi lahan berpengaruh pada penurunan luas tutupan mangrove. Fahriza *et al.* (2022) menyatakan alih fungsi lahan yang terjadi untuk pembuatan tambak mengakibatkan menurunnya luas tutupan mangrove di lokasi penelitian. Luas tutupan mangrove pada tahun 2023 meningkat menjadi 6.435,66 hektar. Adanya pengelolaan yang baik dari pemerintah bersama kelompok tani setempat diduga berdampak pada peningkatan tutupan mangrove. Pengelola saat ini masih aktif melakukan penanaman bibit mangrove. Menurut Fatimah *et al.* (2022), aktivitas pemanfaatan yang diperbolehkan untuk dilakukan di lokasi penelitian diantaranya pemanfaatan buah mangrove sebagai bahan makanan dan bahan baku pewarna tekstil, budidaya perikanan tanpa alih fungsi lahan, pengelolaan kawasan ekowisata, objek penelitian, dan pemanfaatan berkelanjutan lainnya yang tidak berdampak negatif bagi ekosistem hutan mangrove. Aktivitas pemanfaatan yang tidak berkelanjutan seperti penebangan pohon besar-besaran untuk dimanfaatkan kayunya sebagai bahan bangunan atau alih fungsi lahan untuk pembangunan tambak dilarang dilakukan, karena dapat berakibat pada degradasi kawasan hutan mangrove. Namun, banyaknya pihak yang terlibat dalam upaya pelestarian kawasan hutan mangrove di Segara Anakan menjadi tantangan tersendiri. Sulitnya koordinasi dan komunikasi antar pihak yang terlibat menjadi penghambat dalam upaya pelestarian ekosistem mangrove di lokasi penelitian.

Data biomassa model diujikan dan divalidasi dengan data biomassa di lapangan. Nilai R^2 yang didapatkan dari analisis regresi antara data biomassa lapangan sebagai variabel terikat dan data biomassa hasil pengamatan citra sebagai variabel bebas yaitu 0,832 (Gambar 2). Nilai tersebut menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara data biomassa hasil pengamatan citra dengan data biomassa di lapangan sebesar 83,2% dan sisanya adalah pengaruh dari faktor lainnya. Presisi dan akurasi titik divalidasi menggunakan metode rRMSE. Hasil analisis rRMSE menunjukkan persentase sebesar 25,71%, menunjukkan bahwa penentuan titik untuk pengujian model memiliki akurasi dan presisi yang cukup baik. Menurut Strullu *et al.* (2020) model mampu dengan akurat menggambarkan perubahan kondisi di lapangan dengan nilai rRMSE kurang dari 40%. Berdasarkan hasil pengujian dan validasi, model yang digunakan dapat diaplikasikan pada pengamatan perubahan kandungan biomassa dan stok karbon pada tahun 2019, 2021, dan 2023.

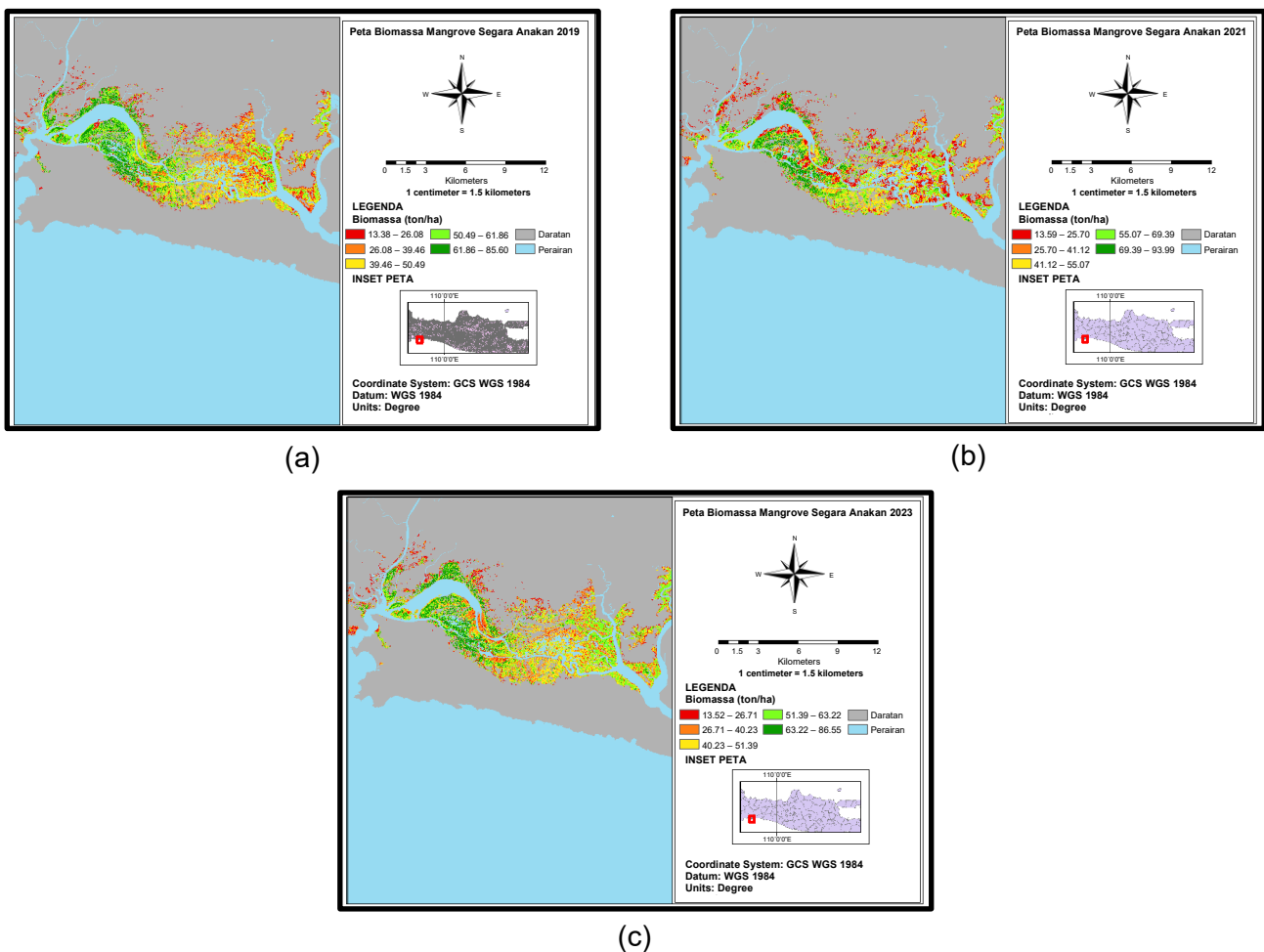
Kandungan biomassa di lokasi penelitian mengalami perubahan pada tahun 2019, 2021, dan 2023 (Gambar 3). Produktivitas biomassa pada ekosistem mangrove di lokasi ini tergolong tinggi. Hasil peneliti tersebut sesuai (Suprayogi *et al.*, 2022) bahwa mangrove memiliki produktivitas biomassa yang tinggi dengan kandungan biomassa mencapai 2 ton/ha. Hal tersebut menunjukkan bahwa kandungan biomassa pada ekosistem mangrove di lokasi penelitian tergolong tinggi, dengan



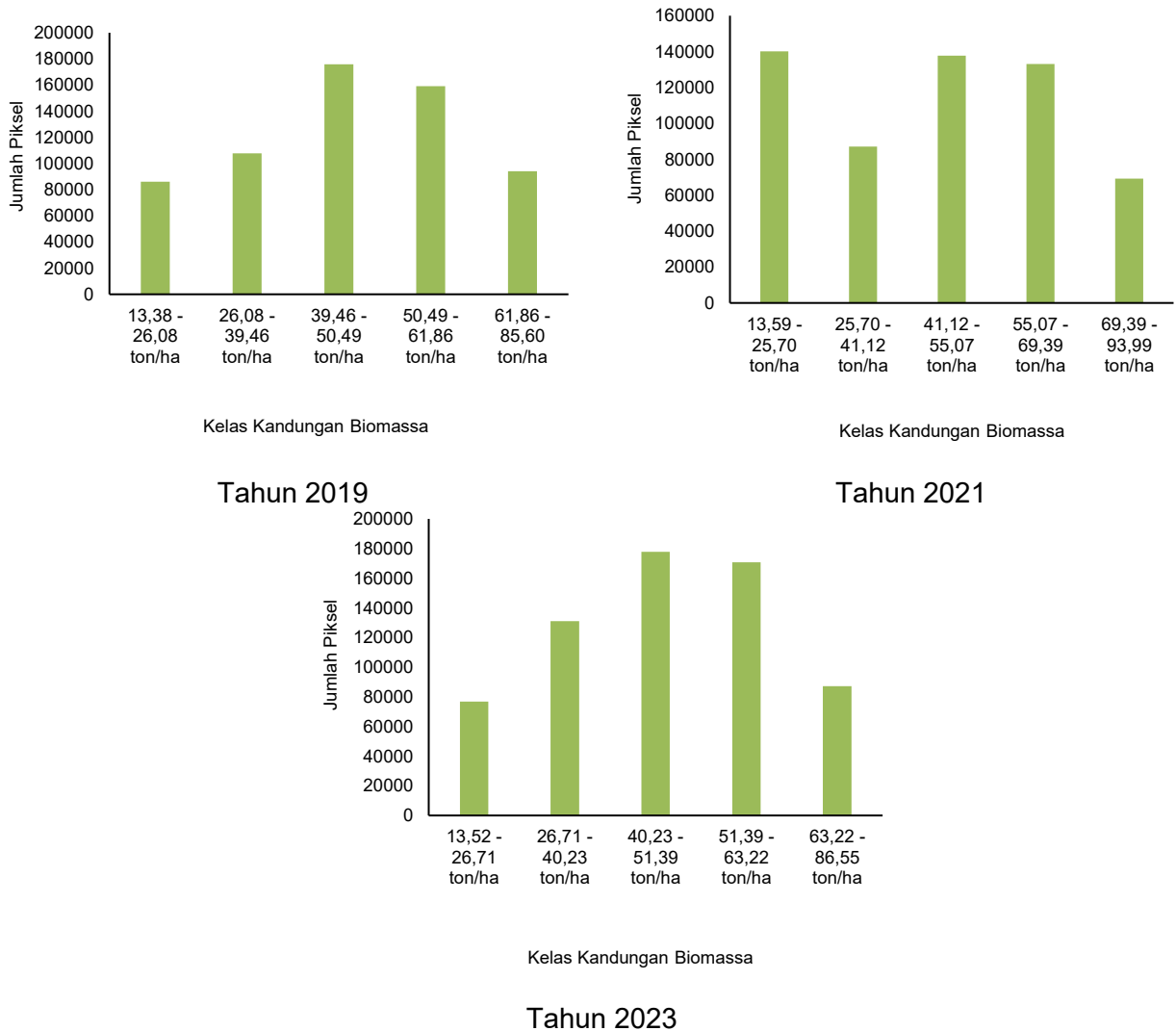
Gambar 2. Analisis Regresi Hubungan Data Model dengan Data Lapangan

nilai terendahnya yaitu 13,38 ton/ha. Hasil analisis statistik kandungan biomassa pada pasangan tahun 2019 dan 2021 menunjukkan nilai signifikansi 0,536 dengan nilai Z hitung -0,619. Hal tersebut menunjukkan adanya peningkatan tidak signifikan pada kandungan biomassa mangrove pada tahun 2021. Peningkatan kandungan biomassa pada tahun 2021 diduga adanya pertumbuhan pada vegetasi mangrove dari tahun 2019. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya peningkatan nilai tertinggi dari 85,60 ton/ha pada tahun 2019 menjadi 93,99 ton/ha pada tahun 2021. Pertumbuhan diameter mangrove per tahun dapat mencapai lebih dari 1 cm. Ditambahkan (Xiong *et al.*, 2019) bahwa pertumbuhan diameter mangrove di Asia Tenggara mencapai 0,17 – 1,05 cm/tahun untuk wilayah yang tumbuh secara alami dan 0,08 – 1,57 cm/tahun untuk wilayah yang ditanami. Pertumbuhan diameter pohon berpengaruh pada peningkatan kandungan biomassa (Sugiana *et al.*, 2024). Selain itu, kandungan biomassa untuk kelas 13,59 – 25,70 ton/ha pada tahun 2021 memiliki 140.222 piksel, sedangkan kandungan biomassa untuk kelas 13,38 – 26,08 ton/ha pada tahun 2019 memiliki 86.048 piksel (Gambar 4). Hal ini menunjukkan mangrove muda yang muncul pada tahun 2021 lebih banyak dibanding tahun 2019. Kandungan biomassa pada kelas tersebut berasal dari nilai NDVI pada kategori semak atau anakan. Hal tersebut sesuai pernyataan Bouamrane *et al.* (2021) bahwa rentang nilai NDVI untuk semak dan anakan adalah 0,20579 – 0,37035.

Hasil analisis statistik kandungan biomassa pada pasangan tahun 2021 dan 2023 menunjukkan nilai signifikansi 0,018 dengan nilai Z hitung -2,359. Hal tersebut menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada kandungan biomassa mangrove pada tahun 2023. Pertumbuhan



Gambar 3. Peta Sebaran Kandungan Biomassa: a) Peta Tahun 2019, b) Peta Tahun 2021, c) Peta Tahun 2023



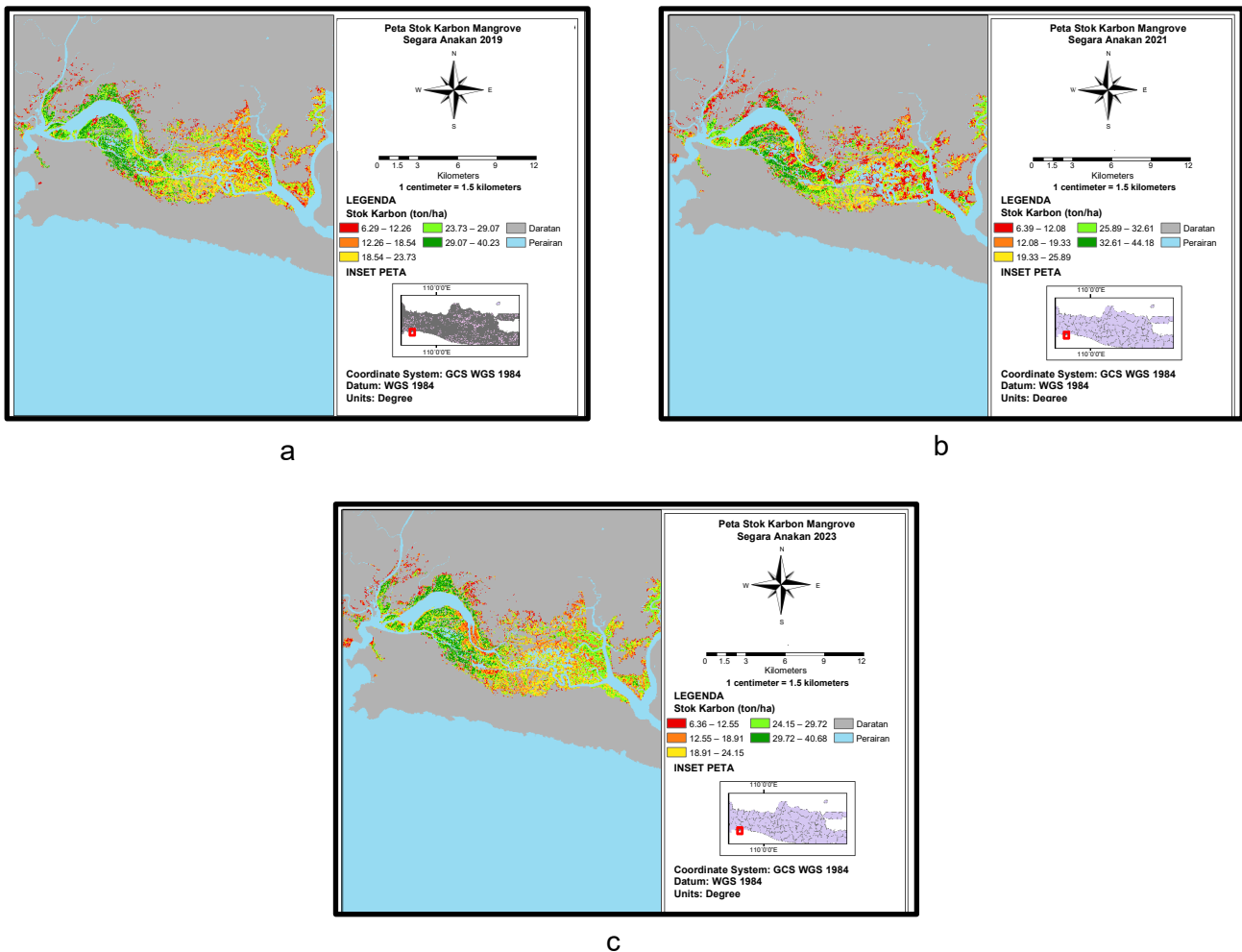
Gambar 4. Histogram Jumlah Pikel Tiap Kelas pada Peta Biomassa

individu mangrove dari tahun 2021 diduga berpengaruh terhadap peningkatan kandungan biomassa mangrove pada tahun 2023. Namun, nilai tertinggi kandungan biomassa pada tahun 2023 lebih rendah dibandingkan dengan nilai tertinggi kandungan biomassa pada tahun 2021. Hal ini menunjukkan pada tahun 2023 diduga terjadi degradasi mangrove. Degradasi mangrove ini dapat disebabkan oleh adanya faktor alami seperti sedimentasi dan faktor antropogenik. Hal tersebut sesuai Fahriza *et al.* (2022) bahwa kawasan hutan mangrove di Segara Anakan mengalami degradasi akibat adanya tekanan yang kuat baik secara alami dari tingkat sedimentasi yang tinggi, maupun dari aktivitas manusia seperti penebangan liar. Namun, degradasi yang terjadi pada tahun 2023 tidak berpengaruh terhadap penurunan kandungan biomassa dari tahun 2021.

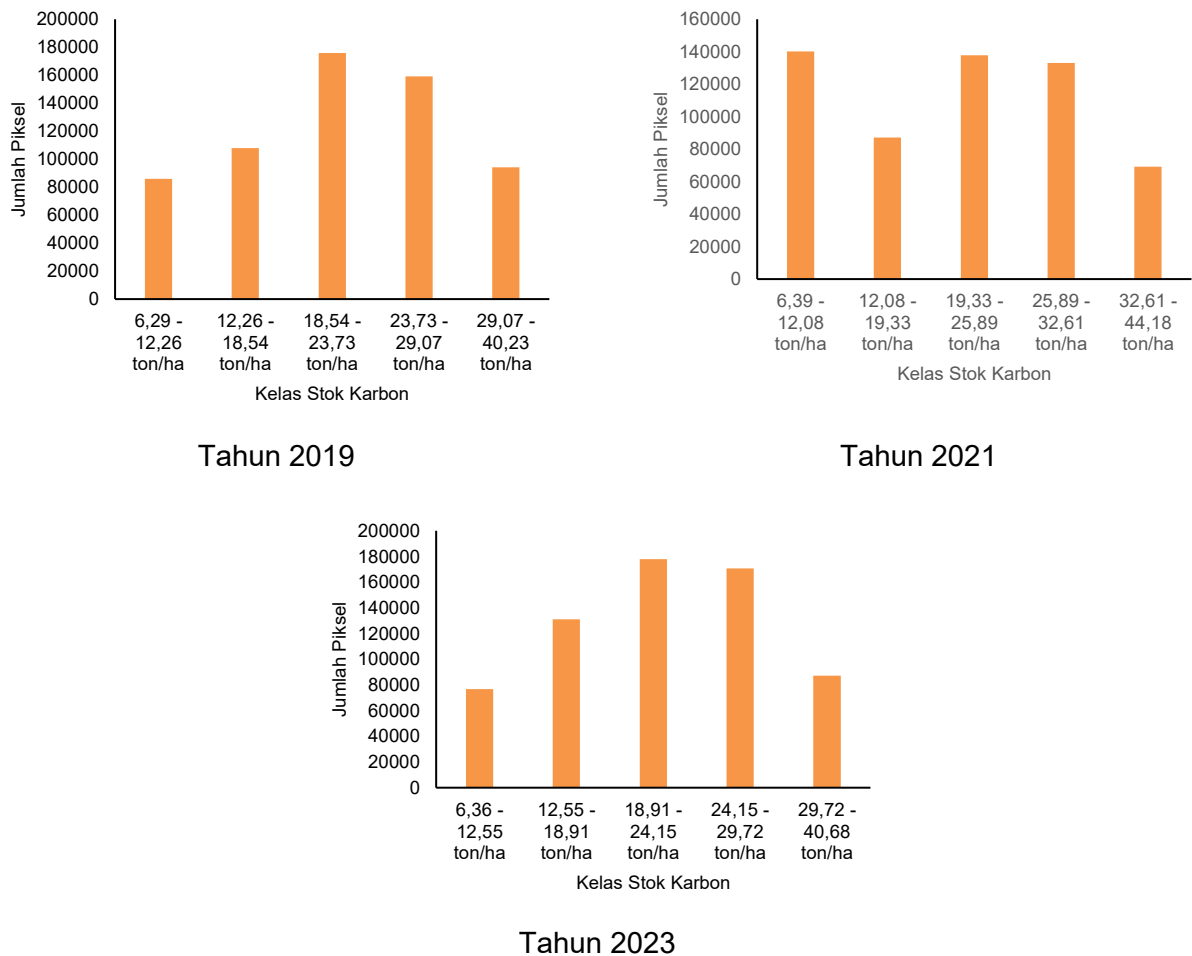
Stok karbon pada ekosistem hutan mangrove di lokasi penelitian pada tahun 2019, 2021, dan 2023 mengalami perubahan (Gambar 5). Sebagian besar stok karbon mangrove di lokasi penelitian lebih tinggi dari rata-rata kapasitas stok karbon mangrove. Hal tersebut didukung (Ningtyas *et al.*, 2023) bahwa mangrove mampu menyimpan karbon rata-rata 6–8 ton/ha, lebih tinggi dari setiap hutan tropis di darat. Stok karbon mangrove pada tahun 2019 memiliki total 623.133 piksel (Gambar 6). Sebagian besar piksel stok karbon pada tahun 2019 memiliki kapasitas stok karbon dari 12,26 – 40,23 ton/ha. Hal ini menunjukkan sebagian besar kapasitas stok karbon mangrove pada tahun 2019 lebih tinggi dari rata-rata kapasitas stok karbon mangrove. Stok karbon pada tahun 2021

memiliki total 567.339 piksel. Sebagian besar piksel stok karbon pada tahun 2021 memiliki kapasitas stok karbon dari 12,08–44,18 ton/ha. Hal tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar kapasitas stok karbon mangrove pada tahun 2021 lebih tinggi dari rata-rata kapasitas stok karbon mangrove. Stok karbon mangrove pada tahun 2023 memiliki total 643.566 piksel. Sebagian besar piksel stok karbon pada tahun 2023 memiliki kapasitas stok karbon dari 12,55–40,68 ton/ha. Hal tersebut menunjukkan sebagian besar kapasitas stok karbon mangrove pada tahun 2023 lebih tinggi dari rata-rata kapasitas stok karbon mangrove.

Stok karbon pada ekosistem hutan mangrove di lokasi penelitian pada tahun 2019, 2021, dan 2023 cenderung mengalami peningkatan. Hasil analisis statistik pada pasangan tahun 2019 dan 2021 menunjukkan nilai signifikansi 0,536 dengan nilai Z hitung -0,619. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan tidak signifikan pada stok karbon mangrove pada tahun 2021. Hasil analisis statistik pada tahun 2021 dan 2023 menunjukkan nilai signifikansi 0,018 dengan nilai Z hitung -2,359. Hal tersebut menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada stok karbon mangrove pada tahun 2023. Peningkatan ini diduga terjadi peningkatan yang terjadi pada kandungan biomassa. Hal tersebut sesuai (Racelis *et al.*, 2019) bahwa stok karbon akan meningkat seiring dengan peningkatan kandungan biomassa.



Gambar 5. Peta Sebaran Stok Karbon: a) Peta Tahun 2019, b) Peta Tahun 2021, c) Peta Tahun 2023



Gambar 6. Histogram Jumlah Pixel Tiap Kategori pada Peta Stok Karbon

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis melalui citra satelit Sentinel-2A, tutupan vegetasi mangrove di Segara Anakan menurun dari tahun 2019 ke tahun 2021. Tutupan vegetasi mangrove meningkat pada tahun 2021 ke tahun 2023. Terjadi peningkatan yang tidak signifikan pada kandungan biomassa dan stok karbon dari tahun 2019 ke tahun 2021. Kandungan biomassa dan stok karbon meningkat signifikan pada tahun 2021 ke tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Aulia, Z.S., Hidayat, R.R. & Amron, A., 2022. Carbon Sink Estimation of Mangrove Vegetation Using Remote Sensing in Segara Anakan, Cilacap. *Jurnal Ilmu Perikanan dan Kelautan*, 14(1):130-141. DOI: 10.20473/jipk.v14i1.31789.
- Bouamrane, A., Bouamrane, A. & Abida, H., 2021. Water Erosion Hazard Distribution Under a Semi-arid Climate Condition: Case of Mellah Watershed, North-eastern Algeria. *Geoderma*, 403:1-15. DOI: 10.1016/j.geoderma.2021.115381.
- Fahriza, S.P., Hasibuan, P.I., Syawal, R.R., Ahmad, T.E. & Lestari, D.A., 2022. Penggunaan Data Citra Satelit Multitemporal dalam Menganalisis Perubahan Luas dan Kerapatan Mangrove (Studi Kasus: Segara Anakan, Cilacap, Jawa Tengah). *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 5(2):648-655. DOI: 10.33387/jikk.v5i2.5597.

- Fatemi, M. & Narangifard, M., 2019. Monitoring LULC Changes and Its Impact on the LST and NDVI in District 1 of Shiraz City. *Arabian Journal of Geoscience*, 12(4):1-12. DOI: 10.1007/s12517-019-4259-6.
- Fatimah, A.N., Hadi, S.P. & Kismartini, K., 2022. Implementasi Kebijakan Konservasi Hutan Mangrove di Wilayah Pesisir Kabupaten Cilacap. *Kebijakan: Jurnal Ilmu Administrasi*, 13(2):129-135. DOI: 10.23969/kebijakan.v13i2.5279.
- Ningtyas, S.R.A., Mu'ali, A.Y.F., Putri, D.N.A.R., Silaningtyas, N.W., Tsabita, F.A., Aprianto, M.K., Sari, S.P., Fauziyyah, M.D., Nugraheni, R.S., Juniati, S.D., Isa, M.N., Nofitasari, H., Sutarno, S., Sugiyarto, S., Indrawan, M., Yap, C.C.K., Budiharta, S. & Setyawan, A.D., 2023. Estimation of Aboveground Carbon Stock Based on Mangrove Zones in Ijo River Estuary, Ayah Village, Kebumen, Indonesia. *Indo Pacific Journal of Ocean Life*. 7(2):148-155. DOI: 10.13057/oceanlife/o070204.
- Nse, O.U., Okolie, C.J. & Nse, V.O., 2020. Dynamics of Land Cover, Land Surface Temperature and NDVI in Uyo City, Nigeria. *Scientific African*, 10:1-23. DOI: 10.1016/j.sciaf.2020.e00599.
- Poudel, A., Shrestha, H.L., Mahat, N., Sharma, G., Aryal, S., Kalakheti, R. & Lamsal, B., 2023. Modeling and Mapping of Aboveground Biomass and Carbon Stock Using Sentinel-2 Imagery in Chure Region, Nepal. *International Journal of Forestry Research*, 2023(1):1-12. DOI: 10.1155/2023/5553957.
- Putri, K.A., Ulumuddin, Y.I., Maslukah, L. & Wulandari, S.Y., 2024. Stok Karbon Organik Sedimen Mangrove di Laguna Segara Anakan. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(2):279-290. DOI: 10.14710/buloma.v13i2.62719.
- Racelis, E.L., Racelis, D.A. & Luna, A.C., 2019. Carbon Sequestration by Large Leaf Mahogany (*Swietenia macrophylla* King.) Plantation in Mount Makiling Forest Reserve, Philippines: A Decade After. *Journal of Environment Science and Management*, 22(1):67-76. DOI: 10.47125/jesam/2019_1/08.
- Ruan, Z., Kuang, Y., He, Y., Zhen W. & Ding, S., 2020. Detecting Vegetation Change in the Pearl River Delta Region Based on Time Series Segmentation and Residual Trend Analysis (TSS-RESTREND) and MODIS NDVI. *Remote Sensing*, 12(24):1-25. DOI: 10.3390/rs12244049.
- Saputra, V.A. & Santosa, P.B., 2020. Analisis Geospasial Perubahan Penggunaan Lahan dan Kesesuaiannya Terhadap RTRW Kabupaten Purworejo Tahun 2011-2031. *Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 3(2):152-169. DOI: 10.22146/jgise.60931.
- Sasmito, S.D., Taillardat, P., Clendenning, J.N., Cameron, C., Friess, D.A., Murdiyarso, D. & Hutley, L.B., 2019. Effect of Land-use and Land-cover Change on Mangrove Blue Carbon: A Systematic Review. *Global Change Biology*, 25(12):4291-4302. DOI: 10.1111/gcb.14774.
- Strullu, L., Beaudoin, N., Thiébeau, P., Julier, B., Mary, B., Ruget, F., Ripoche, D., Rakotovololona, L. & Louarn, G., 2020. Simulation Using the STICS Model of C&N Dynamics in Alfalfa from Showing to Crop Destruction. *European Journal of Agronomy*, 112:1-14. DOI: 10.1016/j.eja.2019.125948.
- Sugiana, I.P., Prartono, T., Rastina, R. & Koropitan, A.F., 2024. Ecosystem Carbon Stock and Annual Sequestration Rate From Three Genera-Dominated Mangrove Zones in Benoa Bay, Bali, Indonesia. *Biodiversitas*, 25(1):287-299. DOI: 10.13057/biodiv/d250133.
- Suprayogi, B., Purbopuspito, J., Harefa, M.S., Panjaitan, G.Y. & Nasution, Z., 2022. The Aboveground Biomass Allometry and Carbon Stocks of Serial Age Planted *Rhizophora apiculata* in Northern Sumatra, Indonesia. *Universal Journal of Agricultural Research*, 10(4):305-330. DOI: 10.13189/ujar.2022.100401.
- Tavares, P.A., Beltrão, N.E.S., Guimarães, U.S. & Teodoro, C., 2019. Integration of Sentinel-1 and Sentinel-2 for Classification and LULC Mapping in the Urban Area of Belém, Eastern Brazilian Amazon. *Sensors*, 19(5):1-20. DOI: 10.3390/s19051140.
- Wai, P., Su, H. & Li, M., 2022. Estimating Aboveground Biomass of Two Different Forest Types in Myanmar from Sentinel-2 Data with Machine Learning and Geostatistical Algorithms. *Remote Sensing*, 14(9):1-27. DOI: 10.3390/rs14092146.

- Xiong, Y., Cakir, R., Phan, S.M., Ola, A., Krauss, K.W. & Lovelock, C.E., 2019. Global Patterns of Tree Stem Growth and Stand Aboveground Wood Production in Mangrove Forests. *Forest Ecology and Management*, 444:382-392. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.04.045.
- Yanuar, F., Samadi, S. & Muzani, M., 2023. Penyerapan Blue Carbon di Ekosistem Mangrove Kepulauan Seribu, DKI Jakarta Berbasis Environment Equity. *JlIP-Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 6(12):10430-10437. DOI: 10.54371/jiip.v6i12.2884.
- Yaqin, N., Rizkiyah, M., Putra, E.A., Suryanti, S. & Febrianto, S., 2022. Estimasi Serapan Karbon pada Kawasan Mangrove Tapak di Desa Tugurejo Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(1):19-29. DOI: 10.14710/buloma.v11i1.38256.