

Integrasi NDVI dan Konsentrasi Klorofil-A Padang Lamun untuk Estimasi Stok Blue Carbon dan Korelasinya dengan Tangkapan Ikan di Pulau Sembilan, Sinjai

Ayla Thufaila Ramadhina B.^{1*}, Raihanah Nuzul Rahimah¹, Quinny Elrania Fiqhly¹, Aura Musfirah HM Haris¹, Dedi Rimantho¹

¹MAN 2 Kota Makassar

Email: aylathufailaa@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keterkaitan antara nilai NDVI, konsentrasi klorofil-a, stok karbon biru, dan hasil tangkapan ikan di ekosistem pesisir Pulau Sembilan, Kabupaten Sinjai, Sulawesi Selatan. Pendekatan penginderaan jauh digunakan melalui pemanfaatan citra satelit Landsat-8 dan Sentinel-3 OLCI yang diolah menggunakan platform Google Earth Engine (GEE). Nilai NDVI dihitung dari kombinasi kanal merah dan near-infrared, sedangkan konsentrasi klorofil-a diperoleh melalui algoritma logaritmik berbasis reflektansi spektral. Hasil analisis menunjukkan tren peningkatan nilai NDVI dari 0,45 pada tahun 2019 menjadi 0,54 pada tahun 2023, yang mengindikasikan peningkatan kepadatan vegetasi lamun dan potensi stok karbon biru. Sementara itu, konsentrasi klorofil-a meningkat dari 3,4 mg/m³ menjadi 4,8 mg/m³ dalam periode yang sama, menandakan peningkatan produktivitas primer perairan. Korelasi positif ditemukan antara kesehatan ekosistem lamun (NDVI dan stok karbon biru) dengan produktivitas perikanan yang diwakili oleh hasil tangkapan ikan. Temuan ini menunjukkan bahwa keberlanjutan hasil tangkapan ikan di Pulau Sembilan sangat dipengaruhi oleh kondisi ekosistem pesisir yang sehat, terutama melalui kontribusi karbon biru dan tingkat produktivitas primer. Penelitian ini menegaskan pentingnya integrasi data penginderaan jauh dalam mendukung pengelolaan sumber daya pesisir berkelanjutan.

Kata kunci: Hasil tangkapan ikan, Karbon biru, Klorofil-a, NDVI, Pulau Sembilan

Abstract

This study aims to analyze the relationship between NDVI values, chlorophyll-a concentrations, blue carbon stocks, and fish catches in the coastal ecosystem of Sembilan Island, Sinjai Regency, South Sulawesi. A remote sensing approach was used through the utilization of Landsat-8 and Sentinel-3 OLCI satellite imagery processed using the Google Earth Engine (GEE) platform. NDVI values were calculated from a combination of red and near-infrared channels, while chlorophyll-a concentrations were obtained using a logarithmic algorithm based on spectral reflectance. The analysis results show an increasing trend in NDVI values from 0.45 in 2019 to 0.54 in 2023, indicating an increase in seagrass vegetation density and potential blue carbon stocks. Meanwhile, chlorophyll-a concentrations increased from 3.4 mg/m³ to 4.8 mg/m³ during the same period, indicating an increase in aquatic primary productivity. A positive correlation was found between seagrass ecosystem health (NDVI and blue carbon stocks) and fisheries productivity as represented by fish catches. These findings indicate that the sustainability of fish catches on Sembilan Island is significantly influenced by the health of the coastal ecosystem, particularly through the contribution of blue carbon and primary productivity levels. This research underscores the importance of integrating remote sensing data to support sustainable coastal resource management.

Keywords: Fish catch, Blue carbon, Chlorophyll-a, NDVI, Sembilan Island

PENDAHULUAN

Padang lamun merupakan salah satu ekosistem pesisir paling produktif di dunia yang berperan penting dalam menjaga keseimbangan iklim global serta mendukung ketahanan pangan laut. Meskipun sering kurang mendapat perhatian dibandingkan *mangrove* dan terumbu karang, lamun memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap dan menyimpan karbon biru (*blue carbon*), serta menjadi habitat penting bagi berbagai spesies ikan bernilai ekonomi tinggi (Lefcheck *et al.*, 2022; Alongi, 2020). Namun, berbagai penelitian terbaru menunjukkan bahwa padang lamun di seluruh dunia mengalami penurunan luas yang signifikan akibat tekanan antropogenik, *eutrofikasi*, dan perubahan iklim (Duffy *et al.*, 2023).

Pulau Sembilan, yang terletak di Kabupaten Sinjai, Sulawesi Selatan, merupakan salah satu wilayah dengan tutupan padang lamun yang masih luas dan masyarakatnya bergantung pada sektor perikanan tradisional. Oleh karena itu, penilaian terhadap kondisi dan produktivitas padang lamun di kawasan ini menjadi penting untuk memahami keterkaitannya dengan hasil tangkapan ikan dan potensi penyimpanan karbon biru. Pendekatan *remote sensing* atau penginderaan jauh menjadi metode yang efektif untuk memantau dinamika ekosistem laut dangkal. *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) digunakan untuk menunjukkan kepadatan vegetasi dan biomassa lamun (Hu *et al.*, 2021), sedangkan konsentrasi klorofil-a berfungsi sebagai indikator aktivitas fotosintesis dan produktivitas primer perairan (Groom *et al.*, 2019). Integrasi kedua parameter tersebut memungkinkan analisis spasial yang lebih komprehensif terhadap kesehatan ekosistem lamun dan potensi stok karbon biru.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara nilai NDVI, konsentrasi klorofil-a, stok karbon biru, dan hasil tangkapan ikan pada ekosistem padang lamun di Pulau Sembilan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah bagi pengelolaan pesisir yang berkelanjutan serta memperkuat kontribusi Indonesia dalam upaya mitigasi perubahan iklim global melalui konservasi ekosistem lamun (Lefcheck *et al.*, 2022; Alongi, 2020).

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis spasial berbasis *remote sensing* dengan pemanfaatan *platform Google Earth Engine* (GEE). Sumber data utama berupa citra multispektral Landsat-8, yang memiliki resolusi spasial 30 meter pada kanal tampak (*visible*) dan *near-infrared* yang sesuai untuk analisis vegetasi. Data citra tahun 2024 dipilih

dengan mempertimbangkan tingkat tutupan awan yang minimal guna memperoleh visualisasi vegetasi yang optimal. Pra-pengolahan citra satelit dilakukan dengan mengakses citra Landsat-8 melalui GEE, dilanjutkan dengan *masking* awan menggunakan *band* QA60 dan fungsi *s2cloudless* untuk menghilangkan piksel yang tertutup awan.

Deteksi lamun dan perhitungan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dilakukan menggunakan panjang gelombang merah (Band 4) dan *near-infrared* (Band 8) dengan rumus: $NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$ Nilai ambang NDVI > 0,4 menunjukkan vegetasi padang lamun yang sehat dan padat. Nilai NDVI rata-rata digunakan untuk mengestimasi biomassa di atas permukaan (*Above Ground Biomass* atau AGB) dengan rumus: $AGB = 305,9 \times NDVI^{4,864}$ Nilai AGB kemudian diubah menjadi stok karbon (AGC) menggunakan faktor konversi biomassa-ke-karbon sebesar 0,46 sesuai standar IPCC: $AGC = AGB \times 0,46$ Estimasi konsentrasi klorofil-a dilakukan menggunakan data Sentinel-3 OLCI pada *platform Google Earth Engine*. Setelah koreksi atmosferik, perhitungan *reflectance kuasi-inherent* (Rrs) dilakukan, dilanjutkan dengan perhitungan konsentrasi klorofil-a menggunakan persamaan logaritmik. Data hasil tangkapan ikan selama lima tahun terakhir diperoleh melalui situs resmi Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP). Rangkaian metodologi ini memastikan penilaian komprehensif terhadap estimasi karbon biru dan klorofil-a di wilayah perairan serta memungkinkan analisis hubungan keduanya terhadap hasil tangkapan ikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi NDVI dan Estimasi Stok Karbon Biru

Distribusi spasial vegetasi padang lamun di Pulau Sembilan berhasil dipetakan menggunakan citra Landsat-8 yang dikombinasikan dengan teknik ambang batas Indeks Vegetasi Perbedaan Ternormalisasi (NDVI). Hasil pengolahan data NDVI selama lima tahun terakhir menunjukkan tren peningkatan yang stabil, seperti disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kumpulan Data NDVI di Pulau Sembilan pada 5 Tahun Terakhir

Tahun	mean NDVI
2019	0,45
2020	0,47
2021	0,5
2022	0,52
2023	0,54

Analisis stok karbon biru pada ekosistem padang lamun di lokasi penelitian menunjukkan potensi penyimpanan karbon yang signifikan. Peningkatan nilai NDVI berkorelasi positif dengan peningkatan *Above Ground Biomass* (AGB) dan total stok karbon biru (*Above Ground Carbon* atau AGC), yang mencerminkan kesehatan dan fungsi ekologis kawasan tersebut. Data stok karbon biru disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Data Stok Karbon Biru pada Pulau Sembilan 5 Tahun Terakhir

Tahun	AGB	AGC (ton C/ha)
2019	10,21	4,70
2020	12,28	5,65
2021	16,03	7,73
2022	19,10	8,79
2023	22,76	10,47

Hasil ini menegaskan peran padang lamun di wilayah ini sebagai penyerap karbon jangka panjang (*carbon sink*), dan dapat menjadi data dasar penting untuk inisiatif konservasi dan kebijakan mitigasi perubahan iklim. Analisis konsentrasi Klorofil-*a* menunjukkan status kesuburan perairan di wilayah studi, dengan data hasil estimasi menunjukkan peningkatan rata-rata konsentrasi klorofil-*a* setiap tahun, seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Klorofil-*a* 5 Tahun Terakhir di Pulau Sembilan

Tahun	Klorofil-A (mg/m ³)
2019	3,4
2020	3,8
2021	4,2
2022	4,5
2023	4,8

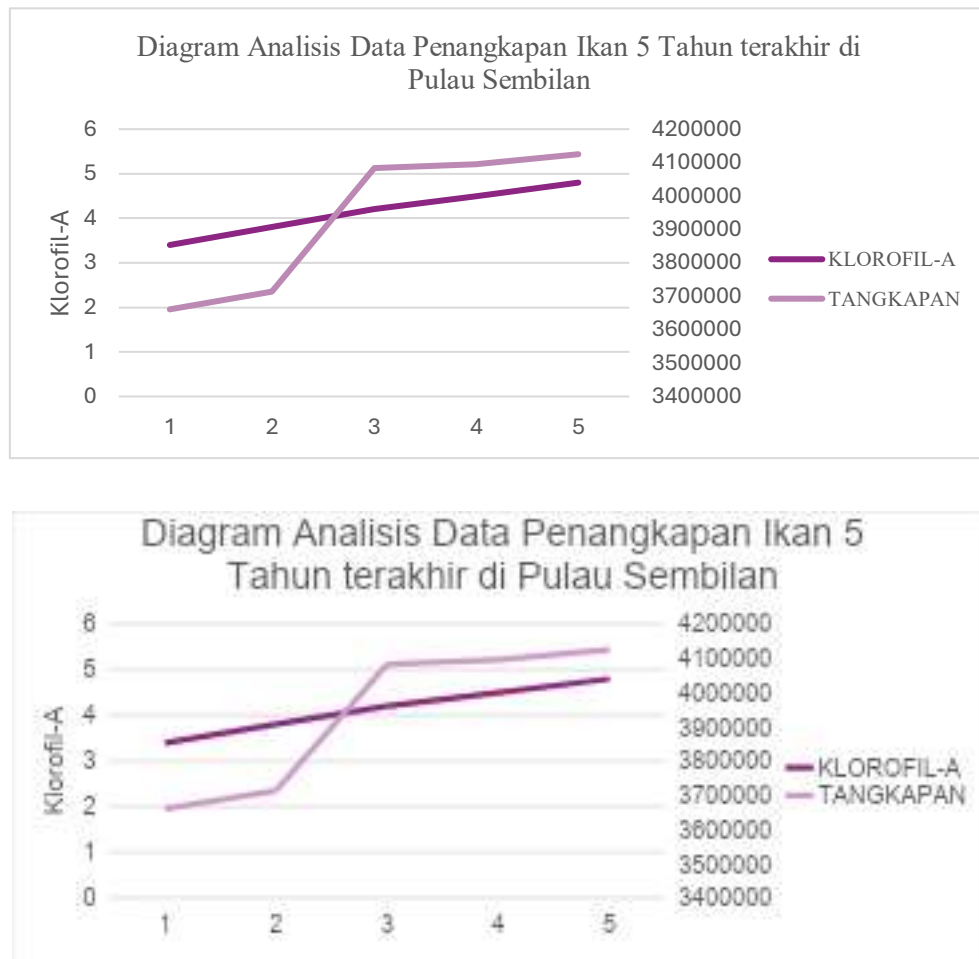
Analisis Korelasi NDVI, Stok Karbon Biru, dan Klorofil-A Terhadap Hasil Tangkapan Ikan di Pulau Sembilan

Klorofil-*a* (indikator produktivitas primer). Klorofil-*a* merupakan pigmen utama pada *fitoplankton* yang berfungsi dalam proses fotosintesis dan mencerminkan tingkat produktivitas primer di perairan. Parameter ini menjadi salah satu indikator paling erat kaitannya dengan hasil tangkapan ikan, terutama jenis ikan *pelagis*. Peningkatan nilai klorofil-*a* menunjukkan ketersediaan *fitoplankton* yang lebih tinggi, sehingga mendukung rantai makanan laut. *Fitoplankton* menjadi pakan utama bagi *zooplankton* dan larva ikan, yang selanjutnya dimanfaatkan oleh ikan-ikan kecil seperti teri, kembung, dan layang. Daerah dengan nilai klorofil-*a* yang tinggi umumnya menjadi lokasi penangkapan ikan potensial (*fishing ground*). Pola kenaikan klorofil-*a* dari tahun 2019 hingga 2023 di Pulau

Sembilan mengindikasikan meningkatnya produktivitas primer yang sejalan dengan kecenderungan peningkatan hasil tangkapan ikan di wilayah.

NDVI (kesehatan padang lamun dan potensi karbon biru). Nilai NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) digunakan untuk menilai kerapatan dan kesehatan vegetasi padang lamun, dimana semakin tinggi nilai NDVI, semakin lebat dan sehat padang lamun di suatu area. Lamun berperan penting sebagai habitat asuhan (*nursery ground*) bagi berbagai jenis ikan dan biota laut, terutama ikan *demersal* serta *juvenil pelagis*. Padang lamun yang rapat juga meningkatkan kemampuan ekosistem dalam menyimpan karbon biru dan menyediakan perlindungan alami bagi larva ikan. Korelasi positif antara nilai NDVI dan hasil tangkapan ikan di Pulau Sembilan menunjukkan bahwa padang lamun yang lebih sehat memberikan kontribusi signifikan terhadap ketersediaan stok ikan. Peningkatan NDVI dari 0,45 pada tahun 2019 menjadi 0,54 pada tahun 2023 mengindikasikan pemulihan vegetasi lamun, yang berdampak pada peningkatan produktivitas perikanan lokal.

Stok karbon biru (fungsi ekosistem jangka panjang). Stok karbon biru menggambarkan total kandungan karbon yang tersimpan dalam biomassa dan sedimen padang lamun. Meskipun tidak berhubungan secara langsung dengan fluktuasi hasil tangkapan harian, parameter ini mencerminkan kestabilan dan fungsi ekologis jangka panjang dari ekosistem pesisir. Padang lamun dengan stok karbon biru tinggi menandakan sistem yang produktif dan berkelanjutan. Selain berperan sebagai penyerap karbon jangka panjang (*carbon sink*), padang lamun juga menjaga kualitas air melalui penyaringan sedimen dan *nutrien* berlebih. Kondisi perairan yang lebih jernih dan stabil sangat mendukung kehidupan larva dan benih ikan di habitat pesisir. Oleh karena itu, peningkatan stok karbon biru berkontribusi terhadap kelestarian habitat ikan dan menjamin keberlanjutan hasil tangkapan pada skala waktu yang lebih panjang.



Gambar 1. Analisis data klorofil-a dan tangkapan ikan

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis, kesuksesan hasil tangkapan ikan di perairan Pulau Sembilan sangat bergantung pada kesehatan ekosistem pesisir yang dimediasi oleh tiga faktor kunci. Klorofil-a berperan sebagai indikator utama produktivitas primer yang berhubungan langsung dengan ketersediaan pakan bagi ikan *pelagis* dan menentukan potensi lokasi penangkapan (*fishing ground*). Sementara itu, tingginya nilai NDVI (kerapatan lamun) dan stok karbon biru mencerminkan fungsi ekologis jangka panjang, di mana padang lamun yang sehat berfungsi sebagai area asuhan (*nursery ground*) dan menjaga kualitas air. Hal ini didukung oleh data stok karbon biru yang menunjukkan peningkatan stabil dari 4,70 ton C/ha di tahun 2019 menjadi 10,47 ton C/ha di tahun 2023 seiring dengan peningkatan nilai NDVI. Dengan demikian, terdapat keterkaitan yang sinergis antara faktor produktivitas perairan (klorofil-a) dan kondisi habitat (NDVI serta stok karbon biru), yang mendukung keberlanjutan sumber daya ikan di wilayah pesisir

Pulau Sembilan. Sebagai saran, integrasi data klorofil-a dari citra satelit perlu disosialisasikan kepada kelompok nelayan setempat sebagai acuan utama untuk menentukan Daerah Penangkapan Ikan Potensial (DPI). Selain itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengorelasikan secara spesifik perubahan musiman (Musim Barat dan Musim Timur) dengan fluktuasi klorofil-a dan data hasil tangkapan per jenis ikan guna mendukung kebijakan penangkapan ikan yang berkelanjutan (*closed season*). Terakhir, diperlukan kegiatan edukatif bagi masyarakat pesisir dan nelayan mengenai pentingnya klorofil-a dalam rantai makanan laut untuk meningkatkan kesadaran konservasi dan membatasi pencemaran hara berlebihan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian berjudul “Integrasi NDVI dan Konsentrasi Klorofil-a Padang Lamun untuk Estimasi Stok *Blue Carbon* dan Korelasinya dengan Hasil Tangkapan Ikan di Pulau Sembilan” dapat terselesaikan dengan baik. Penulis ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang tulus kepada Bapak Drs. Dedi Rimantho, M.Si., selaku guru pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta motivasi; Madrasah Aliyah Negeri 2 Kota Makassar, yang telah memberikan kesempatan dan dukungan; dan kedua orang tua penulis, atas doa, dukungan moral, serta semangat yang tiada henti. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Alongi, D. M. (2020). Carbon Cycling And Storage In Mangrove Forests And Seagrass Meadows. *Annual Review of Marine Science*, 12, 303–327. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010419-010908>
- Duffy, J. E., Lefcheck, J. S., Sorte, C. J. B., Acker, C., Archambault, P., Beca-Carretero, P., Brind’Amour, A., Bruno, J. F., Cimon, S., Dixon, D. L., Eger, A. M., Grorud-Colvert, K., Hori, M., Jean, F., Jurgens, L. J., O’Brien, E. K., Olsen, Y. S., Oreska, M., Reiss, K. L., & Reynolds, L. K. (2023). Global Status Of Seagrass Ecosystems And Their Contribution To People. *Science*, 380(6643), eadf2727. <https://doi.org/10.1126/science.adf2727>
- Elsherif, A., Htiti, M., El-Sayed, S. M., El-Sheikha, A. M., El-Kholy, Y. A., & Rida, R. S. (2024). Deriving Vegetation Indices For 3D Canopy Chlorophyll Monitoring. *Forests*, 15(11), 1878. <https://doi.org/10.3390/f15111878>

- Groom, S. B., Sathyendranath, S., & Jackson, T. (2019). Satellite Remote Sensing Of Chlorophyll-A: Advances And Applications. *Progress in Oceanography*, 176, 102126. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.102126>
- Hu, C., Li, J., Zhang, M., & Li, L. (2021). Remote Sensing Of Seagrass Dynamics And Health Assessment: Advances, Challenges, And Future Directions. *Remote Sensing of Environment*, 258, 112396. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112396>
- Kizilgeci, F., Yildirim, M., Islam, M. S., Ratnasekera, D., Iqbal, M. A., & Sabagh, A. E. (2021). Normalized Difference Vegetation Index and Chlorophyll Content for Precision Nitrogen Management in Durum Wheat Cultivars under Semi-Arid Conditions. *Sustainability*, 13(7), 3725. <https://doi.org/10.3390/su13073725>
- Lu, S., Lu, F., You, W., Wang, Z., Liu, Y., & Omasa, K. (2018). A Robust Vegetation Index For Remotely Assessing Chlorophyll Content Of Dorsiventral Leaves Across Several Species In Different Seasons. *Plant Methods*, 14, Article 15. <https://doi.org/10.1186/s13007-018-0281-z>
- Muneer, Z. M., & Khan, M. F. (2024). Leveraging Landsat And Google Earth Engine For Long-Term Chlorophyll-A Monitoring: A Case Study Of Lake Balaton's Water Quality. *ResearchGate*
- Shigi, R., & Mfilinge, P. L. (2025). The Influence Of Chlorophyll-A And Sea Surface Temperature On Anchovy Catch Trends (2011-2024) in Kilwa, Tanzania. *Tanzania Journal of Science*, 51(3), 513-527.