Journal of Digital Business and Technology Innovation (DBESTI)

https://journal.nurulfikri.ac.id/index.php/DBESTI
P-ISSN: 3047-1028 E-ISSN: 3032-775X

PEMANFAATAN GOOGLE EARTH ENGINE DAN GOOGLE COLAB UNTUK ESTIMASI KREDIT KARBON PERTANIAN PROVINSI BANTEN

Muhammad Faiz Kayyis[1], Maulana Fakih Latief[2]

[1,2] Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Teknologi Terpadu Nurul Fikri
Jakarta Selatan, DKI Jakarta, Indonesia 12640
muha21190ti@student.nurulfikri.ac.id, maulana.latief@nurulfikri.ac.id

Abstract

This study aims to estimate the carbon content and carbon credits (CO_2e) on agricultural land in Banten Province as part of carbon emission mitigation efforts in the agricultural sector. Sentinel-2 satellite imagery from 2023 was used as the primary data source, with spatial masking based on the 'Crops' land cover class from the Google Dynamic World dataset. Secondary data were obtained through the Google Earth Engine (GEE) platform, while statistical analysis and robust linear regression modeling were performed in Google Colab. Key variables analyzed included the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), estimated Soil Organic Carbon (SOC), and reference carbon data from NASA ORNL. The results showed a spatial carbon estimate of 1,708,022.75 tons of carbon and 6,272,454 tons of CO_2e across 92,954.25 hectares. Model evaluation yielded a Root Mean Square Error (RMSE) of 23.78 Mg/ha, with a strong correlation between NDVI and carbon (r = 0.862). These findings demonstrate the effectiveness of satellite-based methods in supporting agricultural carbon credit verification. Further research is recommended to integrate machine learning models and ground-truth data to enhance estimation accuracy.

Keywords: *Banten agriculture, carbon credit, Google Earth Engine, NDVI, Soil Organic Carbon.*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi kandungan karbon dan kredit karbon (CO_2e) pada lahan pertanian di Provinsi Banten sebagai bagian dari upaya mitigasi emisi karbon pada sektor pertanian. Citra satelit Sentinel-2 tahun 2023 digunakan sebagai sumber data utama, dengan teknik *masking* spasial berdasarkan kelas penutup lahan '*Crops*' dari *dataset* Google Dynamic World. Data sekunder diperoleh melalui *platform* Google Earth Engine (GEE), sementara analisis statistik dan pemodelan regresi linear *robust* dilakukan di Google Colab. Variabel utama yang dianalisis mencakup *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), estimasi *Soil Organic Carbon* (SOC), dan data referensi karbon dari NASA ORNL. Hasil menunjukkan estimasi karbon spasial sebesar 1.708.022,75 ton karbon dan 6.272.454 ton CO_2e pada lahan seluas 92.954,25 hektare. Evaluasi model menunjukkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 23,78 Mg/ha dengan korelasi yang kuat antara NDVI dan karbon (r = 0,862). Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis citra satelit efektif dalam mendukung verifikasi kredit karbon di sektor pertanian. Penelitian ini merekomendasikan pengintegrasian model berbasis *machine learning* dan data lapangan untuk meningkatkan akurasi estimasi pada studi selanjutnya.

Kata kunci: Google Earth Engine, kredit karbon, NDVI, pertanian Banten, *Soil Organic Carbon*.

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim global menjadi tantangan serius akibat peningkatan emisi karbon dari berbagai sektor. Sektor pertanian, meskipun berperan penting dalam penyediaan pangan, juga turut menyumbang emisi gas rumah kaca. Di sisi lain, lahan pertanian memiliki potensi besar sebagai penyerap karbon melalui kandungan bahan organik tanah (*Soil Organic Carbon*/SOC), yang berperan penting dalam mendukung upaya mitigasi iklim [1].

Seiring meningkatnya urgensi terhadap skema perdagangan karbon, kuantifikasi karbon dalam sektor pertanian menjadi sangat penting untuk mendukung sistem *Monitoring, Reporting, and Verification* (MRV) yang akurat [2]. Namun, pendekatan konvensional berbasis survei lapangan memiliki keterbatasan dari sisi biaya, waktu, dan jangkauan spasial.

Diterima 14 Juli 2025, Direvisi 24 November 2026, Diterima untuk publikasi 24 November 2026

Kemajuan teknologi penginderaan jauh berbasis *cloud* seperti Google Earth Engine (GEE) menghadirkan peluang untuk melakukan estimasi karbon secara spasial, cepat, dan efisien. Beberapa studi telah menunjukkan efektivitas *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan citra Sentinel-2 dalam memetakan stok karbon, khususnya pada ekosistem hutan dan mangrove [3], [4]. Namun demikian, kajian yang secara spesifik mengeksplorasi potensi karbon lahan pertanian di Indonesia melalui pendekatan spasial masih sangat terbatas [5].

Provinsi Banten merupakan wilayah dengan luasan lahan pertanian yang cukup signifikan, namun belum dimanfaatkan secara optimal dalam konteks mitigasi karbon. Ketiadaan data spasial karbon untuk sektor pertanian di wilayah ini menunjukkan adanya celah penelitian yang dapat diisi melalui pemanfaatan citra satelit dan analisis geospasial [6].

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi kandungan karbon dan potensi kredit karbon (CO_2e) pada lahan pertanian di Provinsi Banten menggunakan citra Sentinel-2 serta pendekatan NDVI–SOC berbasis Google Earth Engine. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem verifikasi karbon pertanian serta mendukung kebijakan lingkungan daerah [7].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif yang bertujuan untuk mengestimasi kandungan karbon dan kredit karbon (CO_2e) pada lahan pertanian di Provinsi Banten menggunakan citra satelit dan pemodelan statistik spasial. Seluruh data diperoleh secara sekunder dan dianalisis menggunakan *platform cloud* berbasis Google Earth Engine (GEE) dan Google Colab. Pendekatan ini memungkinkan pengolahan data spasial dalam skala luas secara efisien dan sistematis.

2.1 Rancangan Penelitian dan Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan studi deskriptif analitik dengan pendekatan kuantitatif. Seluruh data bersifat sekunder, diperoleh secara daring tanpa observasi lapangan. Rancangan penelitian mencakup estimasi spasial karbon dan CO_2e menggunakan indeks vegetasi (NDVI) dan estimasi *Soil Organic Carbon* (SOC) berdasarkan regresi linear. Evaluasi model dilakukan menggunakan metrik *Root Mean Square Error* (RMSE) dan analisis korelasi antarvariabel [8].

2.2 Metode Pengumpulan Data

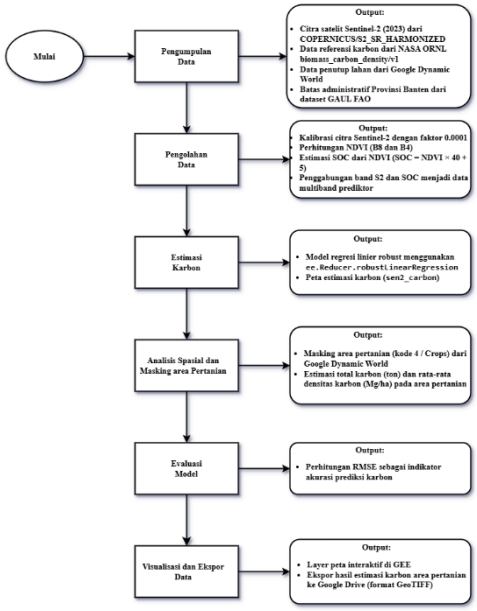
Data dikumpulkan menggunakan *platform* Google Earth Engine (GEE). *Dataset* utama yang digunakan antara lain:

A. Citra Sentinel-2 Surface Reflectance (COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED) untuk menghitung NDVI dan SOC pada periode Januari–Desember 2023 [9].
B. *Dataset* Google Dynamic World v1 sebagai basis klasifikasi penutup lahan untuk mengekstraksi area pertanian (‘*Crops*’) [10].
C. *Dataset* Biomass Carbon Density dari NASA ORNL sebagai referensi validasi estimasi karbon [11].

Seluruh data diperoleh melalui Google Earth Engine dan diproses tanpa observasi lapangan. Instrumen utama yang digunakan adalah kombinasi antara GEE untuk *preprocessing* data dan Google Colab untuk analisis statistik dan visualisasi.

2.3 Tahapan Penelitian dan Implementasi

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis untuk menghasilkan estimasi karbon spasial pada lahan pertanian di Provinsi Banten. Setiap langkah dijelaskan pada Gambar 1 yang mencakup lima tahap utama, yaitu:



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2.3.1 Pengumpulan Data

Pada tahap ini, data dikumpulkan secara sekunder melalui *platform* Google Earth Engine (GEE), meliputi:

A. Citra satelit Sentinel-2 tahun 2023 dari *COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED*,
B. Data referensi karbon dari NASA ORNL (*biomass_carbon_density/v1*),
C. Data penutup lahan dari Google Dynamic World (GDW),
D. Batas administratif Provinsi Banten dari *dataset* GAUL FAO.

2.3.2 Pengolahan Data

Data citra Sentinel-2 dikalibrasi dengan faktor koreksi (0,0001). Kemudian dihitung NDVI dengan rumus:

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$$

Nilai NDVI digunakan untuk menghitung estimasi *Soil Organic Carbon* (SOC) menggunakan persamaan linear:

$$SOC = 40 \times NDVI + 5$$

Seluruh data kemudian digabungkan menjadi *multiband raster* untuk keperluan pemodelan.

2.3.3 Estimasi Karbon

Model regresi linear *robust* dibangun menggunakan fungsi ee.Reducer.robustLinearRegression() pada GEE. Output dari tahap ini adalah peta estimasi karbon spasial (*layer*: *sen2_carbon*) dalam satuan Mg/ha [12].

2.3.4 Analisis Spasial dan Masking Area Pertanian

Estimasi karbon dipersempit pada wilayah pertanian saja dengan *masking* berdasarkan kelas '*Crops*' (kode 4) dari Google Dynamic World [10]. Hasil *masking* menghasilkan estimasi total karbon (ton) dan densitas karbon rata-rata (Mg/ha) yang hanya mencakup area pertanian valid.

2.3.5 Evaluasi Model dan Visualisasi

Evaluasi dilakukan dengan menghitung *Root Mean Square Error* (RMSE) antara nilai prediksi dan data referensi. Korelasi antarvariabel (NDVI, SOC, karbon) juga dianalisis menggunakan Pearson.

Visualisasi akhir berupa peta interaktif di GEE dan ekspor raster estimasi karbon ke Google Drive dalam format GeoTIFF.

2.4 Metode Analisis Data

Analisis dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

A. Perhitungan NDVI:
   Menggunakan rasio kanal B8 (NIR) dan B4 (Red) dari Sentinel-2.
$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$$
B. Estimasi SOC:
   Menggunakan rumus:
$$SOC = 40 \times NDVI + 5$$
C. Penyusunan *Multiband Raster*:
   Kombinasi variabel NDVI, SOC, dan band Sentinel-2 digunakan sebagai input model.
D. Pemodelan Regresi:
   Model regresi linear *robust* digunakan untuk memprediksi karbon spasial berdasarkan SOC dan band spektral [11].
E. Evaluasi Akurasi:
   RMSE digunakan untuk menilai akurasi estimasi. Korelasi Pearson digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antarvariabel.

2.5 Lingkungan Pengembangan

Seluruh proses dilakukan dalam ekosistem *cloud* berbasis GEE dan Colab:

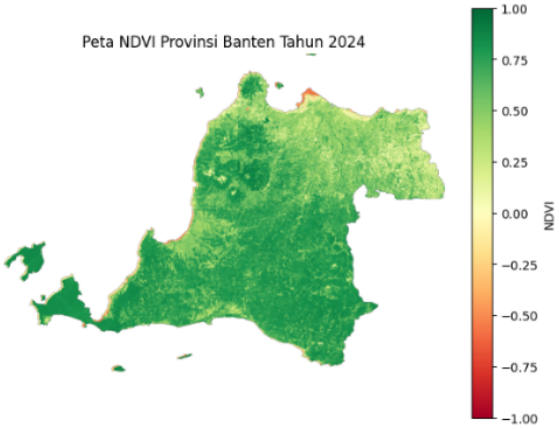
A. Google Earth Engine (GEE):
   Platform utama untuk pengolahan data geospasial, klasifikasi penutup lahan, NDVI, SOC, dan model regresi.
B. JavaScript (di GEE Code Editor):
   Digunakan untuk *scripting* dan visualisasi spasial berbasis web.
C. Google Colab (Python):
   Digunakan untuk analisis statistik lanjutan (RMSE dan korelasi), serta visualisasi numerik.
D. Google Drive:
   Menyimpan hasil peta estimasi karbon akhir dalam format raster GeoTIFF.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan estimasi kandungan karbon dan kredit karbon (CO_2e) pada lahan pertanian di Provinsi Banten dengan menggunakan citra satelit Sentinel-2 melalui *platform* Google Earth Engine (GEE), serta analisis regresi di Google Colab. Estimasi dilakukan dengan pendekatan spasial menggunakan NDVI dan *Soil Organic Carbon* (SOC) sebagai variabel prediktor kandungan karbon.

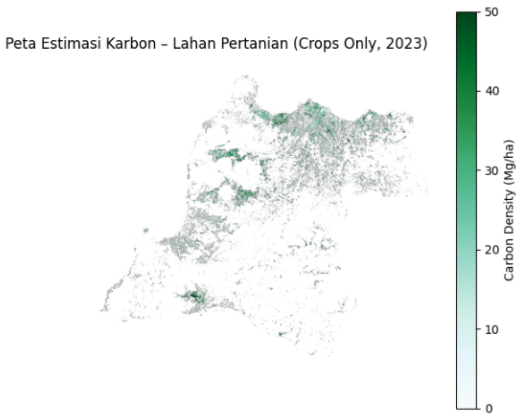
3.1 Hasil Estimasi Karbon dan Kredit Karbon

Gambar 2 menunjukkan visualisasi peta sebaran nilai NDVI tahun 2024 di wilayah Provinsi Banten. Terlihat bahwa area dengan vegetasi tinggi (ditandai dengan warna hijau tua, nilai NDVI > 0,6) tersebar dominan di bagian selatan dan barat provinsi, seperti di wilayah Kabupaten Pandeglang dan Lebak. Wilayah ini memiliki konsentrasi tutupan lahan pertanian yang relatif padat dan lebih stabil secara vegetatif.



Gambar 2. Peta NDVI Provinsi Banten 2024

Nilai NDVI kemudian dikonversi menjadi estimasi SOC dan digunakan sebagai prediktor dalam model regresi linear *robust*. Hasil prediksi karbon ditampilkan dalam peta *sen2_carbon*, yang menggambarkan kandungan karbon (Mg/ha) di seluruh wilayah pertanian, yang divisualisasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Estimasi Karbon Lahan Pertanian

Peta tersebut menunjukkan konsentrasi karbon tertinggi pada area pertanian yang padat dan memiliki nilai NDVI tinggi. Warna hijau gelap menandakan area dengan kandungan karbon mendekati 50 Mg/ha, sedangkan warna terang menunjukkan area dengan kandungan lebih rendah (<10 Mg/ha). Peta ini memberikan gambaran visual yang jelas tentang distribusi spasial karbon di wilayah pertanian Banten.

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh total estimasi karbon sebesar 1.708.022,75 ton pada lahan pertanian seluas 92.954,25 hektare, dengan rata-rata densitas karbon 18,37 Mg/ha. Konversi nilai tersebut ke satuan karbon dioksida ekuivalen (CO_2e) menghasilkan estimasi total 6.272.454 ton CO_2e (Tabel 1).

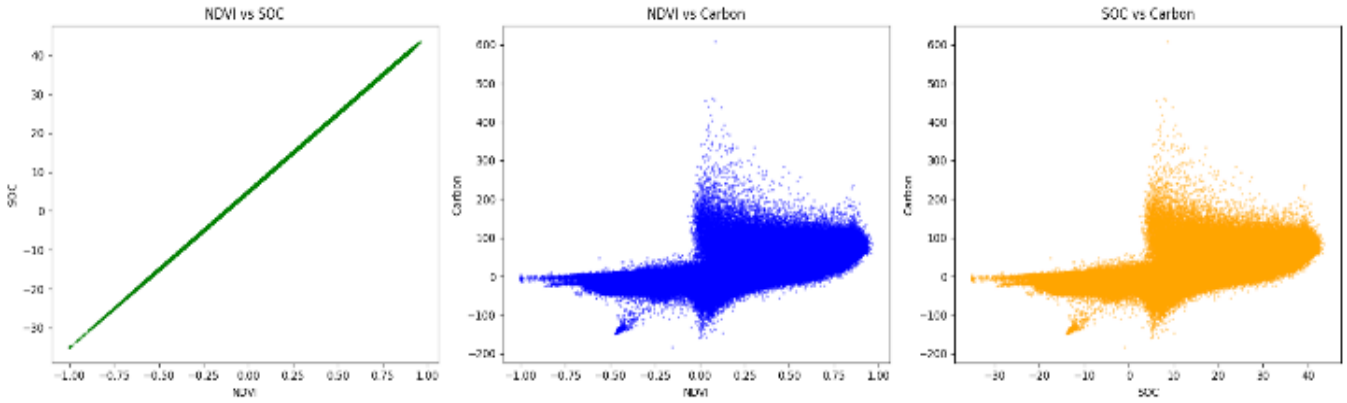
Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Estimasi Karbon dan Kredit Karbon CO_2e

Keterangan	Nilai
Total Estimasi Karbon	1.708.022,75 ton
Rata-rata Densitas Karbon	18,37 Mg/ha
Total Kredit Karbon (CO_2e)	6.272.454 ton CO_2e
Resolusi Raster	50 m (0,25 ha/piksel)
Jumlah Piksel Valid (*Crops Only*)	371.817 piksel
Total Area Pertanian	92.954,25 ha

3.2 Evaluasi Model dan Analisis Statistik

Evaluasi akurasi terhadap model estimasi karbon dilakukan dengan membandingkan hasil prediksi karbon yang diperoleh dari model regresi linear *robust* dengan data referensi karbon dari *dataset* NASA ORNL. Hasil pengukuran menunjukkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 23,78 Mg/ha, yang relatif tinggi dibandingkan nilai rata-rata karbon pertanian yang diprediksi yaitu 18,37 Mg/ha. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun model mampu menghasilkan estimasi secara spasial, terdapat kesalahan prediksi yang cukup besar secara numerik.

Selanjutnya, dilakukan analisis hubungan statistik antarvariabel utama yang digunakan dalam model, yaitu NDVI, *Soil Organic Carbon* (SOC), dan Karbon (Gambar 4). Analisis korelasi menggunakan koefisien Pearson disajikan pada Tabel 2.



Gambar 4. *Scatterplot* Korelasi Antarvariabel Estimasi *Carbon*
(a) NDVI terhadap SOC,
(b) NDVI terhadap Karbon,
(c) SOC terhadap Karbon

Tabel 2. Nilai Analisis Hubungan Antarvariabel

Pasangan Variabel	Koefisien Korelasi (r)
NDVI – SOC	1,000
NDVI – Karbon	0,862
SOC – Karbon	0,862

Nilai korelasi antara NDVI dan SOC sebesar 1,000 disebabkan variabel SOC dalam penelitian ini merupakan hasil transformasi linear langsung dari NDVI menggunakan rumus sederhana. Oleh karena itu, hubungan keduanya bersifat matematis sempurna.

Sementara itu, korelasi antara NDVI dan karbon sebesar 0,862 menunjukkan adanya hubungan linear yang sangat kuat, yang mengindikasikan bahwa NDVI merupakan indikator yang sangat relevan untuk memprediksi kandungan karbon. Hal serupa terjadi pada korelasi antara SOC dan karbon (r = 0,862), karena SOC digunakan sebagai salah satu input utama dalam model estimasi.

Grafik ini menunjukkan hubungan antarvariabel utama dalam model estimasi karbon. Hubungan NDVI–SOC bersifat linear sempurna karena SOC dihitung sebagai transformasi langsung dari NDVI. Sementara itu, hubungan

NDVI dan SOC terhadap karbon memiliki korelasi yang sangat kuat, yang menegaskan relevansi keduanya sebagai prediktor utama dalam estimasi spasial karbon pertanian.

3.3 Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan pengolahan citra satelit menggunakan *platform* Google Earth Engine (GEE) dan analisis statistik melalui Google Colab dapat digunakan secara efektif untuk mengestimasi kandungan karbon dan potensi kredit karbon (CO_2e) pada lahan pertanian di Provinsi Banten. Peta estimasi karbon spasial yang dihasilkan mampu menggambarkan distribusi kandungan karbon dalam satuan Mg/ha, dengan total estimasi sebesar 1.708.022,75 ton karbon dan setara dengan 6.272.454 ton CO_2e pada lahan seluas 92.954,25 hektare. Temuan ini memperkuat potensi wilayah Banten dalam kontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim berbasis sektor pertanian.

Korelasi statistik antara variabel NDVI dan karbon (r = 0,862), serta SOC dan karbon (r = 0,862), menunjukkan bahwa vegetasi menjadi indikator yang sangat kuat dalam memprediksi kandungan karbon. NDVI mencerminkan kesehatan dan kerapatan vegetasi, yang berkaitan erat dengan produktivitas biomassa dan kandungan karbon organik tanah. Estimasi SOC yang diturunkan dari NDVI juga memberikan hasil konsisten, menunjukkan hubungan matematis dan ekologis yang signifikan.

Namun demikian, nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 23,78 Mg/ha menunjukkan bahwa model regresi linear *robust* memiliki keterbatasan dari sisi presisi numerik, meskipun cukup stabil dalam distribusi spasial. Hal ini disebabkan oleh sifat regresi linear yang tidak mampu menangkap hubungan nonlinear atau variasi lokal kompleks dari faktor lingkungan seperti tekstur tanah, kelembapan, dan jenis tanaman. Kondisi heterogen pada lahan pertanian di Banten membuat model sederhana cenderung *over*- atau *under*-estimasi pada area tertentu. Jika dibandingkan dengan studi sebelumnya, seperti penelitian oleh Rizaldi *et al.* (2022) [3] yang mengaplikasikan Google Earth Engine untuk pemetaan biomassa karbon di sistem agroforestri, hasil penelitian ini menunjukkan pendekatan serupa juga efektif diterapkan di lahan pertanian. Selain itu, Rahmawati dan Asy'ari (2022) [4] juga membuktikan bahwa citra Sentinel-2 akurat dalam mendeteksi sebaran vegetasi mangrove di Jakarta, yang menunjukkan relevansi *platform* GEE dalam ekosistem vegetatif lainnya.

Dari sisi kebijakan, potensi kredit karbon sebesar lebih dari enam juta ton CO_2e dapat dimanfaatkan untuk pengembangan skema insentif pertanian rendah emisi. Pemerintah daerah dapat memanfaatkan peta spasial ini untuk mengarahkan program intensifikasi berkelanjutan, sekaligus menjadi dasar pengajuan proyek karbon ke dalam registri nasional atau pasar karbon sukarela. Dengan integrasi data spasial ini, sistem *Monitoring, Reporting, and Verification* (MRV) dapat dikembangkan dengan biaya rendah dan cakupan luas, yang selama ini menjadi tantangan dalam pengelolaan karbon pertanian.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan metode estimasi kandungan karbon dan kredit karbon berbasis citra satelit Sentinel-2 menggunakan *platform* Google Earth Engine dan analisis statistik di Google Colab. Dengan fokus pada lahan pertanian di Provinsi Banten, diperoleh estimasi total karbon sebesar 1.708.022,75 ton, dan estimasi kredit karbon setara sebesar 6.272.454 ton CO_2e.

Model regresi linear *robust* yang digunakan menunjukkan korelasi kuat antara variabel NDVI, SOC, dan kandungan karbon, dengan nilai korelasi tertinggi mencapai 0,862. Hal ini menegaskan bahwa indeks vegetasi seperti NDVI dapat menjadi indikator yang relevan dalam prediksi spasial kandungan karbon pertanian. Namun, nilai RMSE sebesar 23,78 Mg/ha menunjukkan bahwa akurasi numerik model masih dapat ditingkatkan.

Secara umum, tujuan penelitian untuk mengestimasi karbon spasial di lahan pertanian menggunakan pendekatan berbasis penginderaan jauh telah tercapai. Penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan sistem *monitoring* karbon yang lebih luas dan otomatis, serta dapat menjadi landasan awal dalam mendukung verifikasi kredit karbon berbasis sektor pertanian.

Disarankan agar penelitian selanjutnya mengintegrasikan data lapangan, klasifikasi jenis tanaman, dan metode pembelajaran mesin guna meningkatkan akurasi dan ketahanan model terhadap variasi spasial dan temporal.

5. SARAN

Berdasarkan temuan dalam penelitian ini, beberapa saran untuk pengembangan dan kelanjutan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan data multitemporal sangat disarankan agar hasil estimasi karbon dapat mencerminkan variasi musiman dan tren tahunan secara lebih akurat.
2. Pengembangan model prediksi sebaiknya mempertimbangkan pendekatan berbasis *machine learning* seperti Random Forest, SVR, atau model *deep learning*, yang lebih adaptif terhadap pola data nonlinear dan kompleksitas spasial.
3. Penambahan variabel penentu karbon seperti indeks vegetasi lain (EVI, SAVI), kelembapan tanah, serta data iklim akan memperkaya model dan meningkatkan akurasi prediksi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Maulana Fakih Latief, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing atas bimbingan, arahan, dan dukungan selama proses penelitian ini berlangsung.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Dr. Lukman Rosyidi, M.T., M.M. selaku dosen penguji yang

telah memberikan masukan konstruktif dan evaluasi yang sangat berarti dalam penyempurnaan karya ilmiah ini.

Penulis juga menghargai kontribusi semua pihak yang telah membantu, baik dalam bentuk data, saran teknis, maupun dukungan moral selama pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] N. A. Samasta, "Pengaruh Perdagangan Karbon terhadap Kondisi Ekologi di Indonesia," *JPB: Jurnal Pendidikan Biologi*, vol. 1, no. 1, 2023, doi: 10.47134/biology.v1i1.189.

[2] F. Setiawan, M. L. Zainuddin F, and M. D. Christina, "Perdagangan Karbon Dalam Upaya Kebijakan Mengatasi Dampak Perubahan Iklim dan Mendukung Pembangunan Ekonomi Berkelanjutan di Kota Palangka Raya," 2024.

[3] A. Rizaldi, A. Darmawan, H. Kaskoyo, and A. Setiawan, "Pemanfaatan Google Earth Engine untuk Pemantauan Lahan Agroforestri dalam Skema Perhutanan Sosial," *Majalah Geografi Indonesia*, vol. 37, no. 1, p. 12, Sep. 2022, doi: 10.22146/mgi.73923.

[4] A. D. Rahmawati and R. Asy'ari, "Google Earth Engine: Utilization of Cloud Computing-Based Mapping Platform in Detecting Mangrove Distribution with Sentinel-2 Images in Jakarta City," 2022. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/359426627

[5] T. Mulyaqin, K. Kardiyono, I. Hidayah, F. Ramadhani, and M. Yusron, "Deteksi Alih Fungsi Lahan Padi Sawah Menggunakan Sentinel-2 dan Google Earth Engine di Kota Serang, Provinsi Banten," *J. Ilmu Pertanian Indonesia*, vol. 27, no. 2, pp. 226–236, Apr. 2022, doi: 10.18343/jipi.27.2.226.

[6] K. Munibah and I. Firmansyah, "Spatial Pattern of Land Use/Land Cover Change Using Google Earth Engine: Majalengka Regency 2011–2021," 2023, doi: 10.17605/OSF.IO/F69NU.

[7] A. Vincentius et al., "Estimasi Stok Biomassa Karbon Mangrove Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2A di Teluk Maumere Bagian Barat," 2024. [Online]. Available: http://ejournal.uncen.ac.id/index.php/ACR

[8] J. Jamaludin, E. Gusmayanti, and G. Z. Anshari, "Emisi Karbon Dioksida (CO_2) dari Pertanian Skala Kecil di Lahan Gambut," *J. Ilmu Lingkungan*, vol. 18, no. 3, pp. 582–588, Nov. 2020, doi: 10.14710/jil.18.3.582-588.

[9] M. Kurniawan, N. Kurniadin, H. Hasanudin, and S. I. Suryalfihra, "Pemanfaatan Citra Sentinel-2 untuk Analisis Perubahan Kerapatan Vegetasi di Kecamatan Palaran Tahun 2019–2021," *J. Geomatics Engineering, Technology, and Science*, vol. 2, no. 2, pp. 60–64, Jun. 2024, doi: 10.51967/gets.v2i2.38.

[10] J. Teknologi Pertanian et al., "Pemanfaatan Google Earth Engine dalam Mengidentifikasi Nilai Indeks Kerapatan Vegetasi (NDVI) Kabupaten Jember Menggunakan Citra Sentinel-2," 2024, doi: 10.25047/nacia.v2i1.252.

[11] E. Hertianti, D. Arifin, and R. Wumu, "Pemanfaatan Google Earth Engine dalam Pemetaan Potensi Karbon Provinsi Kalimantan Timur," *Buletin Poltanesa*, vol. 22, no. 2, Nov. 2021, doi: 10.51967/tanesa.v22i2.886.

[12] A. Firmansyah, H. Hamzah, and E. Achmad, "Pemodelan Penginderaan Jauh Estimasi Simpanan Karbon di Blok 1 PT Alam Bukit Tigapuluh," *J. Science and Applicative Technology*, vol. 6, no. 2, p. 99, Dec. 2022, doi: 10.35472/jsat.v6i2.964.