

Laporan Progres Analisis Spasial, Estimasi Stok Karbon dan Nilai Ekonomi Karbon pada Tegakan Mangrove di Pulau Dompak

Kepada : Assoc. Prof. Isa Alamsyahbana, S.E., M.Ak. – Koordinator
Dari : Muhammad Saifurrahman, M.Si.
Tanggal : 5 Agustus 2026
Perihal : Estimasi Stok Karbon pada Hutan Mangrove “Hampan A”, Pulau Dompak

Ringkasan Eksekutif

Berikut adalah hasil ekstraksi data spasial dan estimasi stok karbonnya:

Total area terdigitasi	: 58,38 Ha
Estimasi total biomassa	: 18.051,10 Ton
Estimasi total stok karbon biomassa	: 8.484,02 Ton C
Rata-rata stok karbon biomassa per hektar	: ~145,3 Ton C/Ha
Serapan CO ₂ total	: 31.151,03 Ton eq CO ₂ /Ha
Nilai ekonomi karbon total	: IDR 1,77 – 2,77 miliar

1. Metode Penelitian

1. Pengolahan data spasial dan delineasi mangrove

Pengolahan data spasial luasan mangrove dilakukan menggunakan Google Earth Engine (GEE). Pemanfaatan GEE telah menjadi standar yang direkomendasikan secara global untuk pemantauan mangrove, mengingat kemampuannya dalam mengatasi kendala berupa besarnya ukuran *file* dari data spasial dan tingginya intensitas tutupan awan pada ekosistem pesisir (Islam dkk., 2025). Data utama berupa citra satelit Sentinel-2 *Surface Reflectance Harmonized* (Level-2A) dengan periode perekaman citra diatur antara Januari hingga Juli 2026. Untuk mengoptimalkan kualitas citra, dilakukan penapisan citra dengan tutupan awan di bawah 20% dan koreksi cloud masking menggunakan band QA60 (bit 10 dan 11). Koleksi citra tersebut kemudian direduksi menjadi satu citra bebas awan menggunakan metode nilai tengah (*median reducer*).

Pemetaan mangrove dilakukan dengan interpretasi visual komposit warna semu (*False Color Composite*) menggunakan kombinasi band B8 (*Near-Infrared*), B11 (SWIR), dan B5 (*Red Edge*). Kombinasi *band* ini dipilih karena terbukti efektif memisahkan mangrove dari vegetasi darat dengan menyorot kelembapan substrat pasang surut (Chen dkk., 2023). Citra komposit dari GEE ini digunakan sebagai referensi untuk observasi lapangan. Pengamatan lapangan dilakukan untuk memvalidasi batas ekologis antara mangrove dan vegetasi terestrial. Berdasarkan hasil validasi lapangan tersebut, dilakukan pembuatan poligon dilakukan secara langsung di *platform* GEE melalui metode digitasi pada layar (*on-screen digitizing*). Data poligon hasil digitasi kemudian diekspor ke perangkat lunak QGIS untuk kalkulasi luasan geometri definitif, perhitungan biomassa, karbon, dan finalisasi peta.

2. Estimasi Stok Karbon dan Nilai Ekonomi Karbon

Pendugaan stok karbon dihitung menggunakan pendekatan standar *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) *Tier 2*, yang menggunakan pendekatan faktor emisi

negara/regional untuk pendugaan cadangan karbon. Nilai kerapatan biomassa total, yang mencakup biomassa atas permukaan (*aboveground*) dan bawah permukaan (*belowground*), merujuk pada ketetapan *Forest Reference Level* (FRL) Nasional Indonesia untuk tutupan Mangrove Primer, yaitu sebesar 309,20 Mg/ha (ton/ha) (Republic of Indonesia, 2022).

Total biomassa hamparan diperoleh dengan mengalikan luas area delineasi dengan kerapatan biomassa tegakan. Selanjutnya, total stok karbon dari pool biomassa (*Biomass Carbon Stock*) diestimasi melalui konversi total biomassa menggunakan konstanta fraksi karbon organik dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Total cadangan karbon} = \text{Total Biomassa} \times \%C \text{ organik}$$

Sesuai dengan pedoman Standar Nasional Indonesia (SNI) dan IPCC, nilai fraksi karbon yang digunakan adalah 0,47 yang merepresentasikan proporsi massa karbon murni di dalam jaringan biomassa mangrove (Badan Standarisasi Nasional, 2019), sehingga didapatkan cadangan karbon total yang berasal dari biomassa. Untuk menghitung total karbon CO₂ yang terserap pada vegetasi tersebut digunakan standar yang disarankan oleh IPCC dalam Suardana (2022), dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Total CO}_2 \text{ terserap} = 3,67 \times \text{Total cadangan karbon}$$

Total CO₂ terserap (sekuestrasi) menggambarkan jumlah karbon setara CO₂ yang diserap oleh vegetasi tersebut untuk menghasilkan cadangan karbon murni yang tersedia saat ini.

Setelah nilai sekuestrasi setara CO₂ didapatkan, tahap selanjutnya adalah menghitung nilai ekonomi karbon. Terdapat beberapa harga acuan yang dapat digunakan dalam hal ini, seperti harga IDX Carbon (IDR 57.000/Ton CO₂e), harga sosial karbon (\$50/Ton CO₂e), dan harga pasar karbon sukarela atau *Voluntary Carbon Market* (VCM) antara \$5-50/Ton CO₂e (Manan dkk., 2025 dan Basyuni dkk., 2026). Pada penelitian ini, harga yang digunakan adalah harga IDX Carbon dan harga dasar VCM. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai ekonomi karbon adalah sebagai berikut:

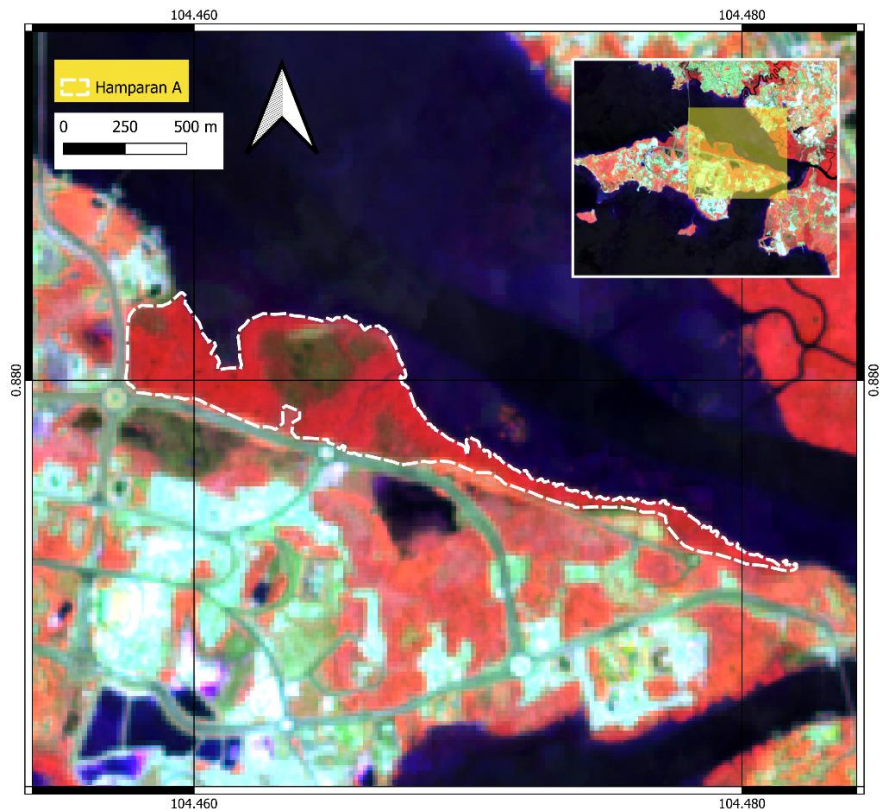
$$\text{Nilai Ekonomi Karbon} = \text{Total CO}_2 \text{ terserap} \times \text{harga karbon per Ton CO}_2\text{e}$$

2. Hasil

Berdasarkan digitasi yang dilakukan, teridentifikasi satu hamparan blok mangrove utama di pesisir timur laut Pulau Dompak ‘Hamparan A’ dengan luasan sebesar 58,38 hektar. Secara visual melalui citra yang tersedia, hamparan ini mengindikasikan tutupan tajuk yang sangat rapat dan berkesinambungan, yang merepresentasikan karakteristik tegakan mangrove primer. Citra Hamparan A yang telah di digitasi berdasarkan pengolahan dengan filtrasi awan dan kombinasi band 8, 11, dan 5 terdapat pada Gambar 1.

Hasil kalkulasi berdasarkan luasan (Tabel 1) menunjukkan bahwa hamparan mangrove seluas 58,38 hektar tersebut menyimpan estimasi total biomassa sebesar 18.051,10 ton. Melalui perhitungan konversi fraksi organik (0,47), estimasi total cadangan karbon yang tersimpan pada blok vegetasi tersebut mencapai 8.484,02 Ton C. Secara agregat, hamparan ini memiliki rata-rata kerapatan stok karbon sekitar 145,3 Ton C/ha. Hasil perhitungan

menunjukkan bahwa total serapan CO₂ pada hamparan tersebut adalah sebesar 31.151,03 Ton atau 533,59 Ton/ha.



Gambar 1 Peta deliniasi batas area kajian (Hamparan A) menggunakan citra satelit false-color. Rona berwarna merah gelap merepresentasikan tingkat kepadatan vegetasi yang terpengaruh oleh air laut, mengindikasikan sebaran ekosistem mangrove di kawasan pesisir (Peneliti, 2026).

Tabel 1. Hasil perhitungan biomassa, karbon, dan serapan CO₂ pada Hamparan A sebagai blok mangrove utama di Pulau Dompak

Luas (Ha)	Biomassa (Ton/Ha)	Total Biomassa (Ton)	Total Karbon (Ton)	Serapan CO ₂ e (Ton)
58,38	309,20	18.051,10	8.488,02	31.151,03

Berdasarkan nilai serapan CO₂e yang didapat, maka dapat dihitung nilai ekonomi karbon dari tegakan mangrove pada Hamparan A Pulau Dompak. Dengan menggunakan harga IDX Carbon 57.000 per Ton CO₂e (harga Januari 2025), maka didapatkan nilai ekonomi sebesar IDR 1.775.608.710,- atau USD 99.770. Sementara dengan harga dasar VCM \$5 per Ton CO₂e didapatkan nilai ekonomi sebesar IDR 2.771.971.735,- atau USD 155.755. Nilai ekonomi karbon tersebut menggambarkan potensi aset finansial atau estimasi kerugian lingkungan jika area tersebut dirusak.

3. Pembahasan dan Keterbatasan Penelitian

Pendekatan digitasi menggunakan komposit multispektral (NIR, SWIR, Red-Edge) efektif untuk delineasi hamparan mangrove pada skala area kajian. Keberadaan saluran B11

(SWIR) memegang peranan krusial dalam mengeliminasi misklasifikasi dengan vegetasi daratan berkat sensitivitasnya terhadap genangan air dari area pasang surut yang terdapat khas pada vegetasi mangrove, hal ini sejalan dengan yang ditunjukkan dalam penelitian Chen dkk., (2023). Hasil estimasi kerapatan karbon sebesar 145,3 Ton C/ha konsisten dengan *range* cadangan karbon pada vegetasi mangrove di Pulau Bintan, yaitu antara 61,87 Ton C/ha sampai 369,36 Ton C/ha (IDEAS Consultancy Services, 2013). Meskipun demikian, hasil ini lebih tinggi dari rata-rata nasional yang berada di angka 130,3 Ton C/ha (Mudiyarso dkk., 2023).

Menurut Bai *et.al.*, (2021), kapasitas produksi biomassa dan cadangan karbon pada ekosistem mangrove sangat dipengaruhi oleh keanekaragaman spesies, karakteristik tegakan, dan faktor lingkungan. Keanekaragaman spesies mangrove memberikan dampak positif terhadap produksi biomassa tanaman sekaligus memperbesar simpanan karbon di dalam tanah. Dari sisi karakteristik tegakan, tegakan yang terdiri dari pohon-pohon yang memiliki diameter batang yang lebih lebar akan memiliki biomassa yang lebih tinggi dibandingkan area dengan kepadatan yang tinggi. Stok karbon dan biomassa juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan, dimana kawasan mangrove yang memiliki rata-rata curah hujan yang tinggi, retensi air yang baik, serta tingkat kesuburan tanah yang memadai akan mengakumulasi biomassa dengan lebih optimal.

Estimasi nilai ekonomi sebesar ID 1,77 miliar dari 31.151,03 ton CO₂e pada penelitian ini menunjukkan valuasi jasa lingkungan ekosistem mangrove dengan menggunakan harga acuan IDX Carbon sebagai pendekatan harga bayangan, bukan sebagai nilai transaksi komoditas tersebut. Data ini dapat digunakan sebagai data dasar atas aset ekologis kawasan. Apabila hamparan seluas 58,38 ha ini direstorasi atau dilindungi secara permanen dari ancaman alih fungsi lahan, volume simpanan karbon tersebut dapat dikuantifikasi lebih lanjut secara mendalam dan kemudian diterbitkan legalitasnya dalam Sertifikat Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca (SPE-GRK) yang kemudian sah diperdagangkan di bursa.

Estimasi nilai ekonomi dengan harga dasar VCM mencerminkan tingkat kesediaan membayar (WTP) dari entitas internasional terhadap proyek berbasis alam. Di pasar ini, harga karbon dapat sangat bervariasi. Harga karbon menjadi lebih tinggi apabila proyeknya berhubungan dengan pelestarian alam atau program sosial, serta memiliki sertifikat dari lembaga bergengsi, dan dibeli oleh perusahaan besar atau bank dari negara kaya. Pembeli kredit karbon akan lebih rela membayar harga premium untuk proyek yang memiliki dampak sosial dan lingkungan tinggi (Berg dkk., 2025).

Meskipun pendekatan delineasi yang digunakan telah efektif, estimasi dalam laporan ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Keterbatasan pertama terletak pada penggunaan faktor emisi tunggal yang diaplikasikan secara seragam untuk seluruh luasan poligon. Pendekatan ini memiliki kelemahan karena tingkat kerapatan tegakan mangrove di dalam satu poligon hamparan yang sama sangat mungkin bervariasi secara spasial. Selain itu,

kalkulasi saat ini baru mencakup stok karbon dari biomassa dan belum memperhitungkan cadangan karbon tanah. Hal ini menjadi catatan penting mengingat simpanan karbon tertinggi pada ekosistem mangrove pada umumnya justru terdapat pada substrat tanahnya, terutama pada kedalaman yang mencapai lebih dari satu meter, seperti yang ditunjukkan pada penelitian Mudiyarso dkk., (2023).

4. Simpulan

Hasil analisis spasial pada pesisir timur laut Pulau Dompok mengidentifikasi hamparan mangrove primer (Hamparan A) seluas 58,38 hektar yang memiliki kerapatan stok karbon rata-rata sekitar 145,3 Ton C/ha. Kawasan ini diestimasi menyimpan total cadangan karbon biomassa sebesar 8.484,02 Ton C dengan total kapasitas serapan mencapai 31.151,03 Ton CO₂e. Berdasarkan angka tersebut, potensi nilai ekonomi aset ekologis ini berkisar antara Rp1,77 miliar hingga Rp2,77 miliar yang merujuk pada standar harga acuan IDX Carbon dan pasar karbon sukarela (VCM).

Pada penelitian selanjutnya, perhitungan nilai karbon perlu memasukkan cadangan karbon yang terdapat pada tanah dan mempertimbangkan variasi spasial kerapatan tegakan agar hasilnya lebih akurat dan komprehensif. Kawasan seluas 58,38 hektar ini juga disarankan untuk dilindungi secara permanen agar simpanan karbonnya dapat dikuantifikasi lebih lanjut menjadi Sertifikat Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca (SPE-GRK) yang sah diperdagangkan. Terakhir, pengembangan proyek lanjutan perlu mengintegrasikan program pelestarian yang berdampak terhadap sosial, ekonomi, dan lingkungan agar mampu menarik harga premium dari pasar karbon internasional.

Daftar Pustaka

- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon – Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon berbasis lahan (land-based carbon accounting)* (SNI 7724:2019).
- Bai, J., Meng, Y., Gou, R., Lyu, J., Dai, Z., Diao, X., Zhang, H., Luo, Y., Zhu, X., & Lin, G. (2021). Mangrove diversity enhances plant biomass production and carbon storage in Hainan island, China. *Functional Ecology*, 35, 774–786. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13753>.
- Basyuni, M., Tanjung, I. L., Slamet, B., Ritonga, F. N., Al Mustaniroh, S. S., Larekeng, S. H., Arifanti, V. B., Iryanthony, S. B., Sumarga, E., Baba, S., Salmo, S. G., III, Ginting, E., Kusumawardani, N., & Omoto, R. (2026). UAV-based mangrove biomass estimation and carbon potential valuation in North Sumatra, Indonesia. *Carbon Balance and Management*, 21, Article 71. <https://doi.org/10.1186/s13021-026-00440-6>.
- Berg, F., Ceccarelli, M., Heeb, F., Ivashchenko, A., Rigobon, R., & Zwinkels, R. C. J. (2025). *The market for voluntary carbon offsets* (SAFE Working Paper No. 462). Leibniz Institute for Financial Research SAFE. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5822702>.
- Chen, Z., Zhang, M., Zhang, H., & Liu, Y. (2023). Mapping mangrove using a red-edge mangrove index (REMI) based on Sentinel-2 multispectral images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61, Article 4409511. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2023.3323741>.
- IDEAS Consultancy Services. (2013). *Preparation of baseline data mangrove ecosystem management in Bintan Island*. IDEAS Consultancy Services.

- Islam, K. M. A., Murillo-Sandoval, P., Bullock, E., & Kennedy, R. (2025). Accelerated adoption of Google Earth Engine for mangrove monitoring: A global review. *Remote Sensing*, 17, Article 2290. <https://doi.org/10.3390/rs17132290>.
- Manan, A., Sudia, L. B., Hasani, U. O., Kete, S. C. R., Gandri, L., Yasin, A., Agusriana, & Isabela. (2025). Diversity, carbon stock and economic value of the mangrove ecosystem in Wakatobi Biosphere Reserve, Indonesia. *Biodiversitas*, 26(3), 1095–1104. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d260308>
- Murdiyarso, D., Krisnawati, H., Adinugroho, W. C., & Sasmito, S. D. (2023). Deriving emission factors for mangrove blue carbon ecosystem in Indonesia. *Carbon Balance and Management*, 18(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s13021-023-00233-1>.
- Republic of Indonesia. (2022). *National forest reference level for deforestation, forest degradation and enhancement of forest carbon stock: In the context of decision 12/CP.17 para 12 UNFCCC*. Directorate General of Climate Change.
- Suardana, A. A. M. A. P., Anggraini, N., Aziz, K., Nandika, M. R., Ulfa, A., Wijaya, A. D., As-syakur, A. R., Winarso, G., Prasetyo, W., & Dewanti, R. (2022). Biomass estimation model and carbon dioxide sequestration for mangrove forest using Sentinel-2 in Benoa Bay, Bali. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 19(1), 91–100.