

# **ANALISIS SPASIAL UNTUK EVALUASI POTENSI *HIGH CARBON STOCK AREA (HCSA)* SEBAGAI STRATEGI *CARBON OFFSET* DI SEKTOR *UPSTREAM MIGAS***

**M. DZAKY FARRAS MAJID**



**DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



### *@Hak cipta milik IPB University*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul Analisis Spasial Untuk Evaluasi Potensi *High Carbon Stock Area* (HCSA) Sebagai Strategi *Carbon Offset* di Sektor *Upstream* Migas adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, April 2026

M.Dzaky Farras Majid  
NIM G2401221055

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



### *@Hak cipta milik IPB University*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## ABSTRAK

M. DZAKY FARRAS MAJID Analisis Spasial Untuk Evaluasi Potensi *High Carbon Stock Area* (HCSA) Sebagai Strategi *Carbon Offset* di Sektor *Upstream* Migas. Dibimbing oleh IDUNG RISDIYANTO.

Perubahan iklim yang dipicu oleh emisi gas rumah kaca menjadi tantangan signifikan bagi sektor minyak dan gas. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi area *High Carbon Stock* (HCS), mengestimasi stok karbon, serta mengevaluasi strategi *carbon offset* di PT Pertamina Hulu Rokan – Lapangan X menggunakan data tutupan lahan periode 2023–2025 dari citra satelit Sentinel-2A. Analisis dilakukan dengan pendekatan *High Carbon Stock Approach* (HCSA) dan metode Tier 1 dari pedoman *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), dengan estimasi stok dan sekuestrasi karbon menggunakan *stock difference method* yang dikonversi ke dalam satuan CO<sub>2</sub> ekuivalen untuk analisis neraca karbon.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tutupan lahan tahun 2025 didominasi oleh hutan rawa sekunder (5.316 ha), perkebunan (4.572 ha), dan pertambangan (2.957 ha), dengan total stok karbon sebesar 790.265 tC. Kelas Hutan Kerapatan Sedang (HK2) menjadi kontributor utama dengan nilai 631.179 tC. Analisis neraca karbon menunjukkan defisit yang signifikan, yaitu sebesar -1.038.634 tCO<sub>2</sub>e pada tahun 2023 dan -866.828 tCO<sub>2</sub>e pada tahun 2024, yang mengindikasikan bahwa kapasitas serapan vegetasi di dalam wilayah operasional belum mampu mengimbangi emisi operasional.

Analisis spasial menggunakan pendekatan *ring buffer analysis* radius 10–50 km menghasilkan tiga zona prioritas, yaitu Zona Prioritas 1 (89.752 ha) dengan strategi *avoided deforestation*, Zona Prioritas 2 (4.118 ha) dengan strategi *enrichment planting*, dan Zona Prioritas 3 (134.602 ha) dengan strategi *carbon sink acquisition*. Hasil analisis skenario menunjukkan bahwa skenario konservasi (S1) memiliki efisiensi lahan tertinggi dengan kebutuhan hanya 19.900 ha, sedangkan skenario *afforestation/reforestation* (S2) membutuhkan lahan yang jauh lebih luas, yaitu 86.683 ha. Oleh karena itu, strategi *carbon offset* perlu diimplementasikan hingga di luar wilayah operasional melalui pendekatan integrasi konservasi dan rehabilitasi, dengan prioritas pada perlindungan kawasan bernilai karbon tinggi guna mendukung pencapaian target *net zero emission* (NZE) tahun 2060.

Kata kunci: emisi nol bersih, neraca karbon, stok karbon, stok karbon tinggi, tutupan lahan

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



### @Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## ABSTRACT

M.DZAKY FARRAS MAJID. Spatial Analysis for Evaluating the Potential of High Carbon Stock Areas (HCSA) as a Carbon Offset Strategy in the Upstream Oil and Gas Sector . Supervised by IDUNG RISDIYANTO.

Climate change driven by greenhouse gas emissions poses a significant challenge to the oil and gas sector. This study aims to identify High Carbon Stock (HCS) areas, estimate carbon stock, and evaluate carbon offset strategies in PT Pertamina Hulu Rokan – Field X using land cover data from 2023–2025 derived from Sentinel-2A imagery. The analysis applies the High Carbon Stock Approach (HCSA) and the Tier 1 methodology of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines, with carbon stock and sequestration estimated using the stock difference method and converted into CO<sub>2</sub> equivalents to assess the carbon balance.

The results indicate that land cover in 2025 is dominated by secondary peat swamp forest (5.316 ha), plantations (4.572 ha), and mining areas (2.957 ha), with a total carbon stock of 790.265 tC. Medium Density Forest (HK2) is the main contributor, accounting for 631.179 tC. Carbon balance analysis shows significant deficits of -1.038.634 tCO<sub>2</sub>e (2023) and -866.828 tCO<sub>2</sub>e (2024), indicating that vegetation sequestration capacity within the operational area is insufficient to offset operational emissions.

Spatial analysis using a 10–50 km ring buffer identified three priority zones: Priority Zone 1 (89.752 ha) for avoided deforestation, Priority Zone 2 (4.118 ha) for enrichment planting, and Priority Zone 3 (134.602 ha) for carbon sink acquisition. Scenario analysis shows that the conservation scenario (S1) is the most land-efficient, requiring only 19.900 ha, while the afforestation/reforestation scenario (S2) requires significantly larger areas (86.683 ha). Therefore, carbon offset strategies must be implemented beyond the operational boundary through an integrated approach combining conservation and rehabilitation, with priority on protecting high-carbon areas to support the achievement of net zero emission (NZE) by 2060.

**Keywords:** carbon balance, carbon stock, high carbon stock, land cover, net zero emission.



### *@Hak cipta milik IPB University*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026  
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

*Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.*

*Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.*



### *@Hak cipta milik IPB University*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



# **ANALISIS SPASIAL UNTUK EVALUASI POTENSI *HIGH CARBON STOCK AREA (HCSA)* SEBAGAI STRATEGI *CARBON OFFSET* DI SEKTOR *UPSTREAM* MIGAS**

**M.DZAKY FARRAS MAJID**

Skripsi  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana pada  
Program Studi Meteorologi Terapan

**DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



**@Hak cipta milik IPB University**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

**Tim Penguji pada Ujian Skripsi:**

- 1 Dr. Drs. Bambang Dwi Dasanto, M.Si
- 2 Givo Alsepan, Ph.D

Judul Skripsi : Analisis Spasial Untuk Evaluasi Potensi *High Carbon Stock Area* (HCSA) Sebagai Strategi *Carbon Offset* di Sektor *Upstream Migas*

Nama : M.Dzaky Farras Majid

NIM : G2401221055

Disetujui oleh

Pembimbing:

Dr. Idung Risdiyanto, S.Si., M.Sc.

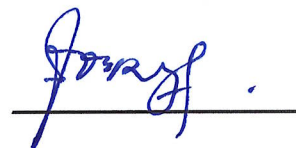


Diketahui oleh

Ketua Departemen Geofisika dan Meteorologi:

Dr. Ana Turyanti, S.Si., M.T.

NIP. 19710707 199803 2 002



Tanggal Ujian:  
24 April 2026

Tanggal Lulus:



### @Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Agustus 2025 sampai bulan April 2026 ini ialah “Analisis Spasial Untuk Evaluasi Potensi *High Carbon Stock Area* (HCSA) Sebagai Strategi *Carbon Offset* di Sektor *Upstream Migas*”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Dr. Idung Risdiyanto, S.Si., M.Sc., yang telah membimbing dan banyak memberikan saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing akademik, moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada :

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Krispio Natali dan Ibu Febtryzona, yang senantiasa memberikan dukungan, doa, kasih sayang, dan motivasi terbesar bagi penulis untuk terus berjuang menyelesaikan seluruh proses pendidikan, sejak awal perkuliahan hingga akhir perjalanan sebagai mahasiswa sarjana.
2. Bapak Erick Setiawan, Bapak Harry Kurnia, Mas Fikri, serta seluruh staf HSSE Duri – PT Pertamina Hulu Rokan, yang telah mengajarkan, membantu, membimbing, dan mendukung penulis selama masa penelitian hingga saat ini.
3. Sahabat penulis, Abdurrahman Harits Abqary, Athifa Hanami Sahila, Natasya Novariza M., Annisa Myprincessa Ramadhanti, dan Aufa Ikram Ramadika, yang telah menemani dan memberikan dukungan moral kepada penulis selama masa perkuliahan.
4. Najwaa Fauziyyah Firmansyah, seseorang yang spesial karena telah menjadi pendengar yang baik dan memberikan dukungan emosional kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan lancar.
5. Teman-teman seperjuangan, Keluarga Penguasa Kampus, BPH Survey, Met30, Paguyuban Orang Gila, 3 Makhluk, Para Pencari Berkah, GFM Boyz, Anak Riau Bogor, IPB Cabang Duri, TNCD, dan Circle Pendaki, yang telah menemani serta berbagi tawa maupun keluh kesah selama masa perkuliahan berlangsung.
6. Keluarga Besar GFM 59, yang telah kebersamai penulis dalam melewati seluruh dinamika proses perkuliahan.
7. Hindia, .Feast, dan Perunggu, yang karya seninya berupa musik serta liriknya telah menemani penulis, membangun semangat, kesehatan mental, serta membentuk pribadi penulis menjadi lebih baik.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, April 2026

M.Dzaky Farras Majid



### *@Hak cipta milik IPB University*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Perubahan Iklim dan Emisi Karbon dioksida (CO <sub>2</sub> )	5
2.2 Peran Industri Migas di Indonesia dan Komitmen NZE	5
2.3 <i>Carbon offset</i> Berbasis <i>Nature-Based Solutions</i>	6
2.4 <i>High Carbon Stock Approach</i> (HCSA)	7
III METODE	9
3.1 Waktu dan Tempat	9
3.2 Alat dan Bahan	10
3.3 Prosedur Kerja	11
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Gambaran Umum Wilayah Kajian	21
4.2 Interpretasi Tutupan Lahan	23
4.3 Estimasi Stok Karbon	28
4.4 Identifikasi Area <i>High Carbon Stock</i>	29
4.5 Analisis Sekuestrasi dan Neraca Karbon	35
4.6 Analisis Lokasi Prioritas dan Skenario <i>Carbon offset</i>	37
V SIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Simpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	51
RIWAYAT HIDUP	66



## DAFTAR TABEL

1	Data yang digunakan dalam penelitian	10
2	Total biomassa ekosistem dan stok karbon	16
3	Klasifikasi <i>high carbon stock</i>	17
4	Luasan kelas tutupan lahan pada area kajian 2023-2025	23
5	Tabel <i>confussion matrix</i> (2023)	26
6	Tabel <i>confussion matrix</i> (2024)	27
7	Tabel <i>confussion matrix</i> (2025)	27
8	Estimasi stok karbon per kelas tutupan lahan	28
9	Klasifikasi kelas HCS berdasarkan hasil estimasi stok karbon	29
10	Data emisi operasional perusahaan tahun 2023-2024	35
11	Total stok karbon berdasarkan kelas HCS di wilayah kajian	35
12	Perhitungan sekuestrasi karbon wilayah kajian	36
13	Neraca karbon	36
14	Overlay peta dan strategi prioritas <i>carbon offset</i> berdasarkan kelas HCS, radius, dan fungsi kawasan	38
15	Perhitungan skenario konservasi (S1)	40
16	Perhitungan skenario <i>afforestation/reforestation</i> (S2)	40

## DAFTAR GAMBAR

1	Batas administrasi wilayah kajian	9
2	Diagram alir penelitian	11
3	Proses <i>on-screen digitizing</i> wilayah kajian	13
4	Hasil <i>on-screen digitizing</i> wilayah kajian	13
5	<i>confusion matrix</i> (Congalton dan Green 2009)	14
6	Klasifikasi stok karbon dan implikasinya (Raison <i>et al.</i> 2015)	17
7	Ilustrasi skema <i>ring buffer analysis</i>	19
8	Wilayah kajian	22
9	Pola curah hujan dan suhu udara bulanan rata-rata wilayah kajian pada tahun 2010-2024	23
10	Tutupan lahan wilayah kajian tahun 2023	24
11	Tutupan lahan wilayah kajian tahun 2024	25
12	Tutupan lahan wilayah kajian tahun 2025	25
13	Distribusi titik sampel uji validasi	26
14	Distribusi zonasi <i>high carbon stock area</i> wilayah kajian	30
15	Peta persebaran kategori rekomendasi prioritas strategi <i>carbon offset</i> dalam radius 10 – 50 km.	38



## DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Kriteria interpretasi visual citra <i>false color</i>	52
2	Lampiran 2 Klasifikasi dan definisi tutupan lahan standar KLHK	53
3	Lampiran 3 <i>Groundcheck</i> hasil observasi drone	56
4	Lampiran 4 Kesatuan hidrologis gambut	59
5	Lampiran 5 Kawasan hutan	60
6	Lampiran 6 Klasifikasi fungsi kawasan hutan	61
7	Lampiran 7 Daftar istilah	62

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.