

**PEMANFAATAN CITRA SATELIT SENTINEL 2A UNTUK
MENGETAHUI DINAMIKA PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DAN
MENGESTIMASI STOK KARBON DI KECAMATAN GEROKGAK
KABUPATEN BULELENG**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Sebutan Sarjana Terapan di Bidang Pertanahan
pada Program Studi Diploma IV Pertanahan



Disusun Oleh:

INTAN SUARI SUARNINGRAT

NIT. 21303788

Dosen Pembimbing I : Arief Syaifullah, S.T., M.Si.

Dosen Pembimbing II : Rohmat Junarto, S.ST., M.Eng.

**KEMENTERIAN AGRARIA DAN TATA RUANG/
BADAN PERTANAHAN NASIONAL
SEKOLAH TINGGI PERTANAHAN NASIONAL
2025**

ABSTRACT

Coastal areas in Indonesia have strategic value both ecologically and economically. However, the intensification of investment and development in this area often triggers land cover conversion and carbon stock reduction, thus exacerbating the impacts of climate change. This study aims to analyze the dynamics of land cover and carbon stock changes in Gerokgak District, Buleleng Regency, Bali, which is a coastal area with rapid investment growth and high ecological pressure. The method used is spatial analysis based on Sentinel-2A satellite imagery with the Random Forest classification algorithm and data processing on the Google Earth Engine and ArcGIS 10.8 platforms. Land cover was analyzed for 2018, 2020, 2022, and 2024, and integrated with Above Ground Biomass (AGB) data to calculate carbon stock based on land cover categories sourced from the Ministry of Environment and Forestry.

The results of the accuracy test showed a high level of classification, with an overall accuracy value ranging from 88–91%. The analysis shows that there was a fluctuation in carbon stocks during the study period, with an increase in 2020, but a significant decrease in 2022 and 2024, especially in the Land Use Rights (HGU) area. This study emphasizes the importance of integration between agrarian policies, remote sensing-based monitoring, and ecosystem conservation in supporting sustainable and low-emission coastal development.

Keywords: *carbon stocks, coastal areas, land cover, Random Forest, Sentinel-2A.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRACT	ix
INTISARI	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Pembatasan Penelitian	7
D. Tujuan dan Kegunaan Penelitian	8
1. Tujuan Penelitian	8
2. Kegunaan Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
A. Penelitian Terdahulu	10
B. Kerangka Teoritis	13
1. Penggunaan Lahan dan Tutupan Lahan (Land Use and Land Cover/LULC)	13
2. Stok Karbon	14
3. Hak Guna Usaha	19
4. Penginderaan Jauh	22
5. Klasifikasi Citra	27
6. Matriks Kesalahan (<i>Confussion Matrix</i>)	30
7. Sistem Informasi Geografis (SIG)	32

D.	Kerangka Pemikiran	34
E.	Pertanyaan Penelitian	34
BAB III METODE PENELITIAN		35
A.	Format Penelitian.....	35
B.	Lokasi Penelitian	35
C.	Populasi dan sampel	37
1.	Teknik Sampling	37
D.	Variabel, Indikator dan Definisi Operasional.....	38
E.	Instrumen Penelitian	40
F.	Teknik Pengumpulan Data	41
G.	Analisis Data.....	42
1.	Analisis Spasial Perubahan Tutupan Lahan.....	43
2.	Analisis Kuantitatif Perubahan Stok Karbon Berbasis Tutupan Lahan.....	46
3.	Analisis Kuantitatif Perubahan Stok Karbon Berdasarkan Perubahan Tutupan Lahan Pada Kawasan Pengelolaan HGU.....	49
H.	Alur Penelitian.....	50
BAB IV GAMBARAN UMUM LOKASI PENELITIAN		51
A.	Kondisi Geografis, Batas Administrasi, dan Luas Kecamatan Gerokgak	51
B.	Topografi, Morfologi, dan Karakteristik Lahan	53
C.	Iklim, Curah Hujan, dan Kondisi Hidrometeorologi.....	54
D.	Kondisi Kependudukan, Sosial Ekonomi, dan Budaya.....	55
E.	Infrastruktur, Aksesibilitas, dan Perkembangan Wilayah	55
F.	Dinamika Perubahan Tutupan Lahan dan Stok Karbon	56
G.	Status Hak Guna Usaha (HGU) dan Implikasinya terhadap Tutupan Lahan dan Stok Karbon	57
BAB V DINAMIKA PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DAN ESTIMASI STOK KARBON DI KECAMATAN GEROKGAK KABUPATEN BULELENG.....		60
A.	Perubahan Luas Tutupan Lahan di Kecamatan Gerokgak, Kabupaten Buleleng dari tahun 2018 sampai tahun 2024	60
1.	Hasil Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan <i>Google Earth Engine</i> (GEE).....	60

2.	Hasil Uji Akurasi Dengan <i>Confussion Matrix</i>	68
3.	Perhitungan Luas Perubahan Tutupan Lahan	81
B.	Perubahan Stok Karbon Berdasarkan Perubahan Luas Tutupan Lahan di Kecamatan Gerokgak Tahun 2018-2024.....	86
C.	Perubahan Stok Karbon Berdasarkan Perubahan Luas Tutupan Lahan pada Kawasan Pengelolaan HGU di Kecamatan Gerokgak Tahun 2018-2024.	93
1.	<i>Overlay</i> Peta Tutupan Lahan dengan Peta Sebaran HGU di Kecamatan Gerokgak.	93
2.	Perhitungan Stok Karbon pada Wilayah Pengelolaan HGU.....	108
BAB VI PENUTUP.....		114
A.	Kesimpulan.....	114
B.	Saran	115
DAFTAR PUSTAKA.....		118
LAMPIRAN		122

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

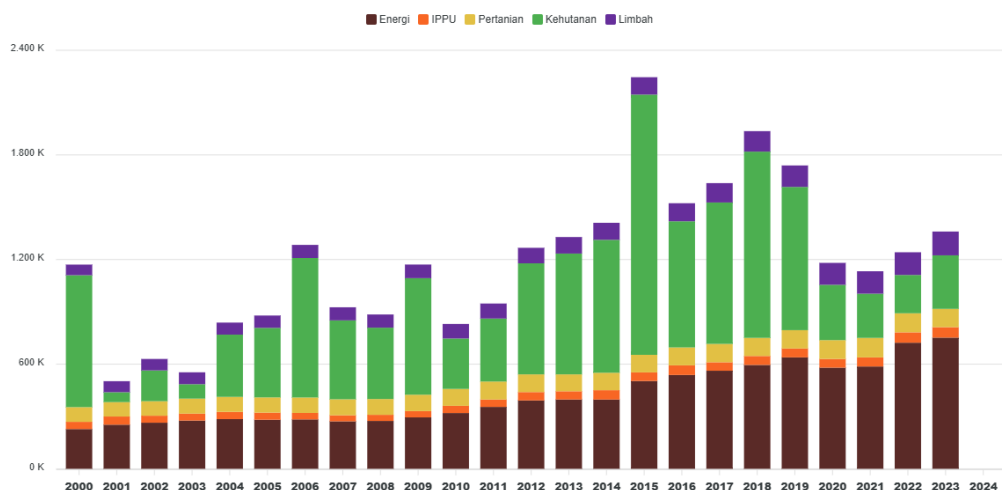
Potensi sumber daya laut serta kawasan pesisir yang melimpah dimiliki oleh Indonesia sebagai negara kepulauan dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia (Badan Pusat Statistik, 2024). Mengacu pada Keputusan Menteri Dalam Negeri Nomor 100.1.1-6117 Tahun 2022 Tentang Pemberian Dan Pemutakhiran Kode, Data Wilayah Administrasi Pemerintahan Dan Pulau, tercatat, Indonesia mempunyai 17.001 pulau dengan panjang garis pantai mencapai 108.000 km. Kawasan pesisir Indonesia mempunyai beragam ekosistem laut yang memiliki nilai ekologis dan ekonomis tinggi, seperti terumbu karang, hutan mangrove, dan padang lamun (Badan Pusat Statistik, 2024). Keberagaman dan keunikan ekosistem pesisir ini serta didukung dengan lokasi geografis yang strategis menjadikan kawasan pesisir Indonesia sasaran utama berbagai kegiatan ekonomi, seperti urbanisasi, pariwisata, dan eksploitasi sumber daya alam (Dewi dkk., 2024).

Sebagai sektor yang berkembang pesat, kawasan pesisir Indonesia menarik minat investasi yang signifikan dari investor lokal maupun internasional. Investasi ini berpotensi memberikan dampak positif seperti peningkatan kesejahteraan masyarakat, penciptaan lapangan kerja, dan pembangunan infrastruktur termasuk pelabuhan, jalan dan sistem transportasi di kawasan pesisir (Agustini & Adnyani, 2021). Meski demikian, pesatnya perkembangan berisiko menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan pesisir seperti degradasi ekosistem yang memperburuk perubahan iklim, pencemaran, dan kerusakan ekosistem yang berdampak pada ketahanan sumber daya alam (Vatria, 2010; Dewi dkk., 2024).

Saat ini, permasalahan perubahan iklim sebagai dampak degradasi lingkungan merupakan ancaman lainnya bagi ekosistem laut maupun masyarakat di kawasan pesisir (Badan Pusat Statistik, 2024). Merujuk riset (Bappenas, 2021), capaian rerata hilangnya nilai potensial ekonomi sepanjang 2020–2024 akibat perubahan iklim sektor pesisir maupun laut sejumlah Rp81,53 triliun yang membuat

sektor tersebut sangat terdampak akibat perubahan iklim. Penyebab utama dari perubahan iklim adalah terjadinya pemanasan global yang disebabkan atmosfer bumi mengalami peningkatan gas rumah kaca (GRK) (IPCC, 2006). Pemanasan global terjadi karena adanya peningkatan jumlah emisi GRK yang dilepas ke atmosfer yang bersumber dari sektor pertanian, kehutanan serta pemanfaatan lahan lainnya yang kerap disebut sektor AFOLU (*agriculture, forestry, and other land uses*) (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012).

Pengelolaan lahan yang tidak tepat termasuk perubahan penggunaan lahan menyebabkan hilangnya stok karbon yang dapat meningkatkan emisi GRK. Konversi lahan vegetasi menjadi lahan non-vegetasi untuk keperluan tertentu, seperti pengembangan tambak atau pertanian, berpotensi mengurangi kapasitas lahan untuk menyerap karbon. Perubahan ini menyebabkan perubahan dalam cadangan karbon pada lahan tersebut (Permata & Rahayu, 2021). Grafik perubahan emisi karbon di Indonesia dapat ditinjau sebagaimana Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Grafik emisi karbon Indonesia tahun 2000 – 2023
Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2024

Dalam upaya mitigasi perubahan iklim dikarenakan pemanasan global, pada 24 Oktober 2016 Pemerintah Indonesia telah melaksanakan tindak lanjut terhadap Perjanjian Paris melalui ratifikasi perjanjian tersebut menjadi Undang-undang No. 16 Tahun 2016 mengenai Pengesahan *Paris Agreement* dalam kerangka Konvensi

Kerja Sama Perserikatan Bangsa-Bangsa terkait Perubahan Iklim (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2023). Pemerintah juga menetapkan target dalam *Forestry and Other Land Use Net Sink* (FOLU Net Sink 2030) yang dikenal sebagai Indonesia's FOLU Net Sink 2030. FOLU Net Sink 2030 ialah sebuah kondisi yang hendak diraih lewat aksi mitigasi penurunan GRK dari sektor kehutanan serta penggunaan lahan lainnya dengan kondisi di mana taraf serapan sudah lebih tinggi dibanding taraf emisi pada 2030 (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, n.d.). Salah satu langkah pemerintah untuk mencapai kondisi tersebut adalah dengan menerbitkan Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon Untuk Pencapaian Target Kontribusi Yang Ditetapkan Secara Nasional Dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Pembangunan Nasional.

Sebagai komitmen guna mendukung mitigasi perubahan iklim, pengembangan kawasan pesisir perlu memperhatikan keseimbangan antara kebijakan investasi serta upaya mitigasi tersebut. Perihal ini penting dilakukan guna memastikan bahwasanya pengembangan lahan untuk investasi tidak merusak kelestarian ekosistem dan fungsi lingkungan terutama dalam penyerapan karbon. Untuk mendukung kebijakan investasi, Pemerintah Indonesia telah menyederhanakan proses perizinan dalam memberikan kepastian hukum melalui mekanisme pemberian Hak Guna Usaha (HGU) yang diatur dalam Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Cipta Kerja. Mekanisme ini memungkinkan investor untuk memanfaatkan lahan secara sah dalam periode yang telah ditentukan (Sudiarta & Kasih, 2021). Seiring dengan hal tersebut, kebijakan ini juga selaras dengan arahan Presiden Jokowi kepada Menteri Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional guna sesegera mungkin menyelesaikan regulasi terkait penerbitan HGU dalam konteks perdagangan karbon (BPMI Setpres, 2024). Untuk itu, keterlibatan aktif Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional sangat menjadi sangat krusial guna merumuskan kebijakan penataan agraria secara tepat dapat serta mendukung pengaturan mekanisme perdagangan karbon sebagaimana telah dilakukan pemerintah lewat revisi PP Nomor 18 Tahun 2021 yang berkaitan dengan peran

HGU untuk jasa lingkungan yang mendukung perdagangan karbon. Dengan demikian, kebijakan investasi dan kebijakan mitigasi perubahan iklim dapat berjalan seiring dan saling memperkuat.

Berdasarkan peraturan yang sudah ditetapkan, pengelolaan HGU di kawasan pesisir perlu didukung dengan kegiatan monitoring dan evaluasi yang berkelanjutan. Langkah ini penting untuk mencegah konversi ekosistem pesisir yang tidak terkendali yang dapat merusak stok karbon yang ada dan memperburuk dampak perubahan iklim. Monitoring dan evaluasi yang dilakukan harus mencakup pemantauan secara berkala terhadap perubahan tutupan lahan, kondisi stok karbon, serta tingkat abrasi pantai (Sucofindo, 2024). Verifikasi terhadap kepatuhan pemangku kepentingan, termasuk investor, terhadap regulasi lingkungan dan kewajiban sosial juga sangat penting (Adrianto, 2015). Kegiatan ini dapat membantu menjaga kelestarian lingkungan sekaligus menyeimbangkan kebutuhan ekonomi dan sosial. Hal ini selaras dengan kebijakan *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya tujuan 13 mengenai penanganan perubahan iklim (*climate action*), tujuan 14 yang berfokus pada ekosistem lautan (*life below water*), serta tujuan 15 yang berkaitan dengan ekosistem daratan (*life on land*) (Bappenas, 2024).

Salah satu wilayah yang memiliki sejumlah lahan HGU yang mencakup area ekosistem pesisir penting adalah Kecamatan Gerokgak yang berada di Kabupaten Buleleng. Pengelolaan HGU di wilayah tersebut perlu mendapat perhatian serius agar tidak terjadi permasalahan dalam pengelolaannya, terutama dalam kaitannya untuk menjaga kelestarian ekosistem pesisir. Sebagai contoh konkret mengenai permasalahan pengelolaan yang terjadi dapat dilihat pada kasus pengelolaan lahan oleh PT. Tekad Andika Darma (PT. TAD) di kawasan pesisir Desa Pejarakan, Kecamatan Gerokgak, Kabupaten Buleleng. PT. TAD mengelola tambak udang dengan izin HGU No. 7 dan No. 8 di Desa Pejarakan sejak tahun 1990, dengan luas area masing-masing 300.000 m² dan 392.700 m² (Anwar, 2020). Wilayah pengelolaan HGU oleh PT. TAD mencakup area ekosistem mangrove yang memiliki fungsi penting dalam perlindungan wilayah pesisir. Area ekosistem mangrove merupakan kawasan lindung sesuai dengan Peraturan Daerah Kabupaten

Buleleng No. 09 Tahun 2013 mengenai Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Buleleng Tahun 2013-2033 dan Peraturan Daerah Kabupaten Buleleng 04 Tahun 2024 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Buleleng Tahun 2024-2044. Selain itu wilayah Kecamatan Gerokgak telah ditetapkan sebagai kawasan strategis ekonomi Provinsi Bali, dengan kawasan pariwisata Batuampar yang mencakup lima desa, yaitu Desa Penyabangan, Banyupoh, Pemutran, Sumberkima, dan Pejarakan (Pemerintah Kabupaten Buleleng, 2022). Namun, permasalahan lingkungan muncul akibat pengerukan pasir pantai yang dilakukan oleh PT. TAD di Pantai Pasir Putih, yang merusak kawasan mangrove dan mengurangi fungsinya dalam menyerap karbon serta melindungi garis pantai (Izarman, 2020). Pengalihan fungsi HGU oleh PT. TAD dari tambak udang menjadi tambak garam tanpa izin yang sah juga menambah konflik dengan masyarakat lokal serta merusak lingkungan (Anwar, 2020).

Kasus pengelolaan lahan oleh PT. TAD menunjukkan pentingnya kegiatan monitoring dan evaluasi yang efektif dalam pengelolaan lahan. Peran Badan Pertanahan Nasional sangat penting guna memastikan pemanfaatan lahan, terutama yang melibatkan ekosistem pesisir, berjalan sesuai prinsip keberlanjutan. BPN tidak hanya bertanggung jawab atas pemberian hak atas tanah melalui HGU, tetapi juga wajib melakukan pengawasan aktif untuk mencegah kerusakan lingkungan akibat alih fungsi lahan yang tidak terkendali. Pengawasan ketat dari BPN dapat mencegah dampak negatif seperti yang terjadi pada kasus PT. TAD dan memastikan bahwa perubahan fungsi lahan tetap memperhatikan kelestarian ekosistem pesisir. Kebijakan ini sesuai dengan Pasal 2 Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 1960 Tentang Peraturan Dasar Pokok-Pokok Agraria.

Untuk mendukung pengawasan ini, dapat memanfaatkan teknologi penginderaan jauh guna meninjau perubahan tutupan lahan dari masa ke masa, salah satunya ialah melalui citra satelit Sentinel-2A. Sentinel-2A merupakan bagian dari program Copernicus yang dikelola oleh Badan Antariksa Eropa (ESA). Citra ini dihasilkan oleh dua satelit, yaitu Sentinel-2A dan Sentinel-2B, yang dilengkapi dengan sensor *Multispectral Instrument* (MSI). Sensor ini mempunyai 13 band spektral yang meliputi cahaya tampak, inframerah dekat (NIR), serta gelombang

pendek inframerah (SWIR), dengan variasi resolusi spasial kisaaran 10 sampai 60 meter. Area sapuan dari satelit ini mencapai 290 km, sehingga sangat efektif untuk pemantauan luas dan dapat mencakup area yang lebih besar dalam satu kali pengamatan (The European Space Agency, n.d.). Dengan melakukan analisis data temporal dari Sentinel-2A, kita dapat memantau perubahan vegetasi pesisir dari tahun ke tahun, termasuk mangrove yang berfungsi sebagai penyerap karbon. Pemetaan stok karbon ini memungkinkan pemantauan kapasitas ekosistem dalam menyimpan karbon dan mengidentifikasi dampak alih fungsi lahan terhadap stok karbon secara *real-time*.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini hendak menganalisis perubahan tutupan lahan dan stok karbon di wilayah pesisir, dan kaitannya dalam pengelolaan HGU. Riset ini ditujukan guna menganalisis perubahan tutupan lahan serta stok karbon, dengan harapan dapat memberikan rekomendasi dalam mendukung kebijakan mitigasi perubahan iklim serta pengelolaan kawasan pesisir yang lebih baik dan berkelanjutan. Oleh sebab itu, penelitian ini mengambil judul “Pemanfaatan Citra Satelit Sentinel 2A Untuk Mengetahui Dinamika Perubahan Tutupan Lahan dan Mengestimasi Stok Karbon di Kecamatan Gerokgak Kabupaten Buleleng”.

B. Rumusan Masalah

Kawasan pesisir Indonesia yang kaya akan ekosistem alami yang memiliki peran krusial dalam menyerap karbon dan mengurangi dampak pemanasan global. Namun, pesatnya investasi di kawasan pesisir seperti pembangunan tambak, pariwisata, dan infrastruktur sering kali mengabaikan dampak ekologis jangka panjang termasuk alih fungsi lahan yang dapat merusak kapasitas ekosistem pesisir dalam menyimpan karbon. Investasi yang tidak mempertimbangkan aspek keberlanjutan ini berisiko memperburuk perubahan iklim dengan meningkatkan emisi GRK. Pengelolaan yang bijaksana terhadap stok karbon di kawasan pesisir menjadi sangat penting untuk memastikan bahwa kegiatan ekonomi yang tumbuh pesat tidak merusak lingkungan, serta mendukung upaya mitigasi perubahan iklim secara lebih efektif.

Perubahan tutupan lahan di kawasan pesisir merupakan salah satu indikator utama yang mencerminkan dampak dari pembangunan dan investasi di wilayah tersebut. Namun, perubahan ini sering kali tidak diikuti dengan evaluasi yang komprehensif terhadap dampak perubahan stok karbon untuk mengetahui kondisi ekosistem pesisir. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mampu menganalisis dinamika perubahan tutupan lahan, mengevaluasi kondisi ekosistem mendukung pengelolaan wilayah pesisir yang berkelanjutan.

Peran pemerintah menjadi sangat penting dalam pengelolaan lahan pesisir yang berkelanjutan. Salah satu instansi yang terkait dengan hal ini adalah Badan Pertanahan Nasional (BPN). BPN memiliki peran strategis dalam pengelolaan penggunaan lahan, khususnya dalam pemberian izin penggunaan lahan seperti HGU. BPN sebagai lembaga yang bertanggung jawab atas pengelolaan pertanahan di Indonesia, seharusnya BPN tidak hanya berfokus pada pemberian hak atas tanah, tetapi juga harus aktif melakukan pengawasan untuk memastikan bahwa penggunaan lahan terutama di kawasan pesisir agar tidak merusak ekosistem pesisir yang memiliki nilai ekologis tinggi. Salah satu wilayah yang memiliki sejumlah lahan HGU yang mencakup area ekosistem pesisir penting adalah Kecamatan Gerokgak yang berada di Kabupaten Buleleng. Pengelolaan HGU di wilayah tersebut perlu mendapat perhatian khusus supaya tak terdapat permasalahan dalam pengelolaannya, terutama dalam kaitannya untuk menjaga kelestarian ekosistem pesisir.

C. Pembatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki ruang lingkup yang terbatas pada beberapa aspek sebagai berikut:

1. Penelitian ini dibatasi pada wilayah administrasi Kecamatan Gerokgak, Kabupaten Buleleng.
2. Pemanfaatan citra Sentinel-2A dibatasi pada resolusi spasial 10 meter dan resolusi temporal dari tahun 2018-2024 serta pada analisis spasial memanfaatkan perangkat lunak sistem informasi geografis serta penginderaan jauh.

3. Analisis stok karbon dibatasi pada indikator yang dapat diestimasi melalui metode berbasis penginderaan jauh, tanpa melibatkan pengukuran langsung di lapangan.
4. Perhitungan perubahan tutupan lahan dan stok karbon dilakukan secara kuantitatif tanpa mempertimbangkan aspek sosial dan ekonomi, serta tanpa melakukan analisis lebih lanjut mengenai penyebab dan dampak perubahan yang terjadi.

D. Tujuan dan Kegunaan Penelitian

1. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui perubahan tutupan lahan di Kecamatan Gerokgak, Kabupaten Buleleng dari tahun 2018 sampai tahun 2024.
2. Mengetahui perubahan stok karbon berdasarkan perubahan tutupan lahan di Kecamatan Gerokgak, Kabupaten Buleleng dari tahun 2018 sampai tahun 2024.
3. Mengetahui perubahan tutupan lahan dan stok karbon pada kawasan pengelolaan HGU di Kecamatan Gerokgak, Kabupaten Buleleng dari tahun 2018 sampai tahun 2024.

2. Kegunaan Penelitian

Penelitian ini memberikan kegunaan sebagai berikut:

1. Kegunaan Akademis
 - a. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang penginderaan jauh, khususnya dalam aplikasinya di sektor pertanian dan lingkungan.
 - b. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan pengetahuan dalam memetakan perubahan tutupan lahan,

stok karbon dan penggunaannya dalam pengelolaan HGU di wilayah pesisir berbasis penginderaan jauh, khususnya dalam pemanfaatan citra Sentinel-2A.

2. Kegunaan Praktis

- a. Data dan temuan dari penelitian diharapkan dapat membantu pengambilan keputusan dalam merumuskan kebijakan, strategi, dan tindakan yang lebih efektif dan berdasarkan bukti dalam pengelolaan wilayah pesisir sebagai bagian dari pendekatan pembangunan berkelanjutan.
- b. Data yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi lahan, stok karbon, serta memberi pertimbangan dalam pengambilan keputusan terkait pengelolaan HGU agar pengelolaan lahan dapat sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

BAB VI

PENUTUP

A. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dinamika perubahan tutupan lahan dan mengestimasi stok karbon di Kecamatan Gerokgak, Kabupaten Buleleng, dengan memanfaatkan citra Sentinel-2A serta pengolahan data berbasis GEE. Merujuk pada analisis beserta pembahasan, diperoleh beberapa simpulan utama sebagaimana berikut:

1. Selama periode 2018 hingga 2024, Kecamatan Gerokgak mengalami perubahan signifikan dalam tutupan lahan. Kelas Hutan Lahan Tinggi menurun berturut-turut sebesar 10,49% (2020-2022) dan 9,59% (2022-2024), akibat konversi menjadi permukiman atau pertanian. Hutan mangrove yang sempat berkurang 14,62% (2018-2020) menunjukkan tren pemulihan dengan peningkatan sebesar 1,65% (2020-2022) dan 4,30% (2022-2024). Permukiman campuran terus meningkat masing-masing sebesar 22,69% (2018-2020), 26,50% (2020-2022), dan 2,68% (2022-2024), mencerminkan perluasan wilayah terbangun. Sabana mengalami fluktuasi drastis, dari penurunan 70,86% (2018-2020) menjadi peningkatan sebesar 147,62% (2020-2022) dan 63,05% (2022-2024). Tanaman semusim di lahan basah maupun kering menunjukkan pola perubahan yang tidak konsisten. Secara umum, perubahan ini mencerminkan pergeseran dominan dari kawasan vegetasi alami menuju lahan terbangun dan intensif.
2. Perubahan stok karbon di Kecamatan Gerokgak selama 2018–2024 menunjukkan dinamika kompleks. Tutupan seperti Perairan Laut, Danau dan Telaga Alami, serta Kolam Air Asin Payau Tambak tidak mengalami perubahan stok karbon (0). Kenaikan tertinggi tercatat pada Bangunan Permukiman Campuran sebesar 26,50% per tahun (2020–2022), diikuti Permukaan Diperkeras Bukan Gedung sebesar 9,84% (2020-2022). Sebaliknya, Hutan Lahan Tinggi mengalami penurunan 10,48% (2020-2022). Sabana sangat fluktuatif, dari penurunan 70,85% (2018-2020)

menjadi kenaikan 147,61% per tahun 2020-2022. Hutan Mangrove yang awalnya menurun 14,61% (2018-2020), kemudian meningkat 4,30% (2022-2024). Secara umum, terjadi pergeseran kapasitas simpan karbon akibat transformasi lahan dan dinamika ekosistem.

3. Perubahan stok karbon dan tutupan lahan di wilayah HGU PT. TAD dan PT. Menjangan Mas selama 2018–2024 menunjukkan dinamika spesifik. Tutupan seperti Perairan Laut, Kolam Air Asin Payau Tambak, dan Bangunan Permukiman Campuran tidak mengalami perubahan stok karbon. Di PT. TAD, Lahan Terbuka Alami Lain mengalami penurunan 23,65% per tahun (2018–2020), lalu meningkat 57,72% (2022–2024). Luas dan stok karbon pada tutupan lahan Hutan Mangrove juga berfluktuasi, dari penurunan 11,10% (2018-2020) menjadi peningkatan 8,32% (2022-2024). Sementara itu, di PT. Menjangan Mas, Lahan Terbuka Alami Lain menurun konsisten hingga 6,12% per tahun.

B. Saran

1. Salah satunya tujuan dari riset ini adalah mengkaji perubahan tutupan lahan dan estimasi stok karbon di kawasan pengelolaan HGU. Untuk memperoleh gambaran yang lebih menyeluruh, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan analisis hingga ke wilayah di luar batas HGU, agar dapat mengidentifikasi dampak spasial dan ekologis secara lebih luas, termasuk keterkaitan antara aktivitas dalam kawasan HGU dengan perubahan tutupan lahan dan stok karbon di sekitarnya. Pendekatan ini penting untuk menilai pengaruh kawasan HGU terhadap ekosistem sekitar secara integratif.
2. Algoritma klasifikasi yang dipakai pada riset ini berupa *Random Forest*. Riset selanjutnya disarankan melakukan komparasi metode klasifikasi, seperti membandingkan *Random Forest* dengan metode lain seperti *Maximum Likelihood*, *Support Vector Machine (SVM)*, atau algoritma berbasis *deep learning*, untuk mengevaluasi keunggulan dan kelemahan masing-masing metode dalam konteks wilayah kajian.

3. Interpretasi tutupan lahan menggunakan metode *Random Forest* memiliki kelemahan dalam menangani perubahan multi-musim, karena algoritma ini tidak secara langsung mempertimbangkan variasi temporal musiman. Oleh karena itu, disarankan agar penelitian berikutnya mempertimbangkan pendekatan lain yang lebih sensitif terhadap data musiman, atau mengintegrasikan analisis temporal agar hasil interpretasi lebih akurat dalam konteks dinamika antar musim.
4. Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar pemerintah daerah Kabupaten Buleleng dan pemangku kepentingan memperkuat pengawasan serta pengendalian perubahan tutupan lahan, terutama di kawasan pesisir dan lahan HGU. Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh seperti citra Sentinel-2A perlu terus dioptimalkan untuk mendukung sistem monitoring yang efektif dan efisien. Mngadi dkk. (2021), dalam penelitiannya yang berjudul “*The Utility of Sentinel-2 Spectral Data in Quantifying Above-Ground Carbon Stock in an Urban Reforested Landscape*” tujuan untuk mengkaji prospek penggunaan data spektral Sentinel-2 dalam mengkuantifikasi cadangan karbon pada lanskap urban hasil reforestasi melalui pendekatan *ensemble Random Forest*. Hasil analisis menunjukkan bahwa data spektral Sentinel-2 mampu mengestimasi cadangan karbon pada hutan hasil reforestasi dengan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) berkisar antara 0,378 hingga 0,466 t·ha⁻¹ serta koefisien determinasi (R²) sebesar 79,82% dan 77,96% pada dataset kalibrasi dan validasi. Temuan ini mengindikasikan potensi dan manfaat data spektral Sentinel-2 dalam memprediksi cadangan karbon pada lanskap urban hasil reforestasi. Upaya restorasi vegetasi, khususnya mangrove, harus menjadi prioritas dalam rangka meningkatkan kembali stok karbon dan menjaga fungsi ekologis kawasan pesisir. Selain itu, kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta sangat diperlukan untuk menjaga kelestarian ekosistem pesisir melalui pengelolaan lahan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam perumusan kebijakan pengelolaan kawasan pesisir dan upaya mitigasi perubahan iklim

di Kecamatan Gerokgak, Kabupaten Buleleng, serta mendorong penelitian lanjutan dengan cakupan wilayah dan periode secara lebih meluas guna mendapat gambaran secara lebih komprehensif terkait dinamika tutupan lahan dan stok karbon di wilayah pesisir.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrianto, L. (2015). *Laporan Analisis Dan Evaluasi Hukum Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir Dan Pulau-Pulau Kecil*.
- Agustini, D. A. E., & Adnyani, N. K. S. (2021). Pembangunan Agrowisata Berbasis Pemberdayaan Masyarakat Di Kabupaten Buleleng. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Media Ganesha FHIS*, 2(1), 1–10.
- Anwar, K. (2020). *Rusak Pantai, PT TAD Terancam Dilaporkan ke KPK*. Balitribune.Co.Id.
- Ardiawan, K. N., Fadilla, Z., Hasda, S., Jannah, M., Karimuddin, A., Masita, Meilida, E. S., & Taqwin. (2022). Metodologi Penelitian Kuantitatif. In *Yayasan Penerbit Muhammad Zaini*.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Statistik Sumber Daya Laut dan Pesisir 2024*.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Buleleng. (2024a). KABUPATEN BULELENG DALAM ANGKA. *Badan Pusat Statistik*, 11(1), 1–14.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Buleleng. (2024b). *Kecamatan Gerokgak Dalam Angka 2024* (Vol. 50).
- Badan Standardisasi Nasional. (2014). SNI 7645-1:2014 Klasifikasi penutup lahan - Bagian 1 : Skala kecil dan menengah. *Bsn*, 7645–1(Konfirmasi), 1–51.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon- Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Berbasis Lahan (land-based carbon accounting). In *Badan Standarisasi Nasional: Vol. SNI 7724:2*.
- Bappenas. (2021). *Kebijakan Pembangunan Ketahanan Iklim (Climate Resilience Development Policy) 2020-2045*.
- Bappenas. (2024). *SDGs Knowledge Hub Agenda 2030 untuk Pembangunan Berkelanjutan*. Sdgs.Bappenas.Go.Id.
- BPMI Setpres. (2024). *Arahan Presiden Jokowi Usai Lantik Menko Polhukam dan Menteri ATR/BPN*. Presidenri.Go.Id.
- Danarto, S. A., & Yulistyarini, T. (2019). Seleksi tumbuhan dataran rendah kering yang berpotensi tinggi dalam sekuestrasi karbon untuk rehabilitasi kawasan terdegradasi. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon*, 5(1), 33–37. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m050107>
- Dewi, B. A., Guwinda, K., Rista, N. A., Octaviani, O., & Putri, R. F. A. (2024). Pembangunan Berkelanjutan di Tengah Degradasi Lingkungan: Studi Kasus Laman Boenda Tanjungpinang. *Civil Officium: Journal of Empirical Studies on Social Science*, 3(2), 27–37. <https://doi.org/10.53754/civilofficium.v3i2.685>

- Ekadinata, A., Dewi, S., Hadi, D. P., Nugroho, D. K., & Johana, F. (2008). Sistem Informasi Geografis Untuk Pengelolaan Bentang Lahan Berbasis Sumber Daya Alam. In *World Agroforestry Centre, Bogor, Indonesia* (Vol. 53, Issue 9).
- ESA. (2025). *SentiWiki Home Page*. Copernicus.Eu.
- Gamaliel, O., Fathurrohman, S., & Pramana, A. Y. E. (2023). *Analisis Neraca Penggunaan Lahan di Kawasan Rawan Bencana Gunung Merapi*. 4(1), 12–19.
- Handayani, D., & Setiyadi, A. (2003). Remote Sensing penginderaan Jauh. *Edisi Mei*, 7(2), 113–120.
- ICLEI. (2019). *U.S. Community Protocol for Accounting and Reporting of Greenhouse Gas Emissions*. July, 1–67.
- IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Ippc-Nggip.Iges.or.Jp.
- IPCC. (2025). *The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Ippc.Ch.
- Irma, M. F., Gusmira, E., Teknologi, S., Sultan, U. I. N., & Saifuddin, T. (2024). *Peningkatan Emisi Gas Rumah Kaca Di Indonesia High Temperature Rise Due To Increased Greenhouse Gas*. II, 26–32.
- Izarman. (2020). *Rusak Pantai Desa Pejarakan, PT TAD Terancam Dilaporkan ke KPK*. Patrolipost.Com.
- Kementerian ESDM. (2013). *Kajian Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Energi. Pusat Data Dan Teknologi Informasi Energi Dan Sumber Daya Mineral Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral*, 1–118.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2012). *Metodologi penghitungan tingkat emisi dan penyerapan gas rumah kaca. Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional*.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (n.d.). *Indonesia's FOLU Net Sink 2030*. Menlhk.Go.Id.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2023). *FOLU Net Sink: Indonesia's Climate Actions Towards 2030*.
- Keputusan Menteri Dalam Negeri Nomor 100.1.1-6117 Tahun 2022 Tentang Pemberian Dan Pemutakhiran Kode, Data Wilayah Administrasi Pemerintahan Dan Pulau, Pub. L. No. 100 (2022).
- Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan UGM. (2017). *Sentinel-2. Bentangalam-Hutantropis*. Fkt.Ugm.Ac.Id.

- Mngadi, M., Odindi, J., & Mutanga, O. (2021). The utility of sentinel-2 spectral data in quantifying above-ground carbon stock in an urban reforested landscape. *Remote Sensing*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/rs13214281>
- Muhsoni, F. F. (2015). *Penginderaan Jauh (Remote Sensing)*. UTM PRESS.
- Pemerintah Kabupaten Buleleng. (2022). *Kecamatan Gerokgak*. Bulelengkab.Go.Id.
- Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang (Perpu) Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Cipta Kerja, Pub. L. No. 2 (2022).
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2021 Tentang Hak Pengelolaan, Hak Atas Tanah, Satuan Rumah Susun, Dan Pendaftaran Tanah, Pub. L. No. 18, 1 (2021).
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 1996 Tentang Hak Guna Usaha, Hak Guna Bangunan Dan Hak Atas Tanah, Pub. L. No. 40, 1 (1996).
- Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 98 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon Untuk Pencapaian Target Kontribusi Yang Ditetapkan Secara Nasional Dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Pembangunan Nasional, Pub. L. No. 98 (2021).
- Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon Untuk Pencapaian Target Kontribusi Yang Ditetapkan Secara Nasional Dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Pembangunan Nasional (2021).
- Permata, I., & Rahayu, S. (2021). Estimasi Cadangan Karbon Akibat Perubahan Tutupan Lahan di Kabupaten Kendal. *Teknik PWK (Perencanaan Wilayah Kota)*, 10(3), 220–230. <https://doi.org/10.14710/tpwk.2021.31879>
- Sucofindo. (2024). *Monitoring Lingkungan untuk Keberlanjutan Perikanan: Mempertahankan Keseimbangan Ekosistem Laut*. Sucofindo.Co.Id.
- Sudiarta, P., & Kasih, P. D. D. (2021). Perpanjangan Hak Guna Usaha Bagi Investor. *Jurnal Kertha Semaya*, 9(2), 278–289.
- Sutanto. (1987). Penginderaan Jauh. In *Jilid I. Gadjah Mada University Peress. Yogyakarta* (Issue November).
- The European Space Agency. (n.d.). *Sentinel-2 Colour vision for Copernicus*.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang (2007).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 1960 Tentang Peraturan Dasar Pokok-Pokok Agraria, Pub. L. No. 5 (1960).

- Vatria, B. (2010). Berbagai Kegiatan Manusia yang Dapat Menyebabkan Terjadinya Degradasi Ekosistem Pantai serta Dampak yang Ditimbulkannya. *Jurnal Belian*, 9(1), 47–54.
- Sudiarta, I Wayan. (2018). *Kajian Perubahan Tutupan Lahan dan Arah Pengembangan Wilayah Pesisir di Kecamatan Gerokgak*.