

## Analisis Estimasi Cadangan Karbon dari Perubahan Tutupan Lahan di Kota Bengkulu Berbasis Remote Sensing

Yurike <sup>a</sup>, Wiryono<sup>a</sup>, Essy Agnesta Asdami<sup>a</sup>, Yudha Saktian Syafruddin<sup>b</sup> & Person Pesona Renta<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam, Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu, Bengkulu 38371, Indonesia

<sup>b</sup>Rimbo Pangan Lestari, Nagari Sirukam Kabupaten Solok, Sumatera Barat 27387, Indonesia

<sup>c</sup>Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu, Bengkulu 38371, Indonesia

\*Corresponding author: [yurike@unib.ac.id](mailto:yurike@unib.ac.id)

Submitted: 2025-10-09. Revised: 2025-09-22. Accepted: 2025-10-31

### ABSTRACT

*Land cover changes in Bengkulu City have significant impacts on carbon stock dynamics, which play a vital role in climate change mitigation. This study aims to analyze carbon stock estimates resulting from land cover changes using remote sensing technology. Landsat and Sentinel-2 satellite imagery data were used to map land cover changes over a specific period, employing a supervised learning-based classification method. Further analysis was conducted to estimate carbon stocks using calculations from the ICLEI Calculator approach. The results of the study indicate a decrease in natural land areas, such as shrubland and mixed dryland agriculture, which declined by 4,236.5 hectares and 3,002.6 hectares, respectively. The conversion of these lands into settlements, plantations, and paddy fields led to a significant decrease in total carbon stocks from 340,095.55 tons in 2014 to 279,033.7 tons in 2024. Additionally, the spatial distribution of carbon stocks in the study area showed patterns correlating with anthropogenic pressures and urban spatial planning policies. The main factors influencing these changes include urbanization, plantation expansion, and land conversion for economic purposes. This study underscores the importance of sustainable land management to prevent ecosystem degradation and support carbon stock enhancement. Conservation efforts, ecosystem rehabilitation, and prudent land-use policies are strategic steps in maintaining carbon balance and mitigating the impacts of climate change.*

**Keywords:** Carbon stock, Bengkulu City, Climate mitigation, Remote sensing, Land cover change

### PENDAHULUAN

Perubahan tutupan lahan merupakan fenomena yang sulit dihindari dalam pembangunan perkotaan. Hal ini karena pembangunan perkotaan secara langsung mengubah fungsi alami lahan. Dengan adanya pembangunan perkotaan, terdapat tekanan untuk mengubah kawasan hutan menjadi perkotaan. Perubahan tutupan lahan menyebabkan peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer. Ketika wilayah perkotaan berubah dari wilayah pertanian dan peternakan sehingga N<sub>2</sub>O dan NH<sub>4</sub> cenderung menjadi meningkat. Hal ini akan berdampak langsung pada perubahan kondisi iklim di wilayah tersebut (Hermon, 2009).

Perubahan iklim merupakan salah satu isu global yang menjadi perhatian utama dalam beberapa dekade terakhir (Chesney *et al.*, 2013). Perubahan ini disebabkan oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer, yang sebagian besar diakibatkan oleh aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan perubahan penggunaan lahan. (Wardoyo, 2019). Di antara berbagai sumber emisi GRK, perubahan tutupan lahan memiliki kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O), dan metana (CH<sub>4</sub>) (Kim & Kirschbaum, 2015). Sumber-sumber emisi ini tidak hanya berdampak pada lingkungan, tetapi juga mempengaruhi kesehatan manusia dan keberlanjutan ekosistem di seluruh dunia.

Perubahan tutupan lahan, seperti deforestasi, urbanisasi, dan konversi lahan pertanian, memainkan peran penting dalam siklus karbon global dan emisi GRK (Song, 2015). Deforestasi, misalnya, melepaskan karbon yang tersimpan dalam biomassa hutan ke atmosfer sebagai CO<sub>2</sub>. Urbanisasi meningkatkan permukaan impervious yang mengurangi serapan karbon dan meningkatkan emisi dari kendaraan dan industri. Konversi lahan pertanian juga dapat meningkatkan emisi N<sub>2</sub>O dari penggunaan pupuk dan CH<sub>4</sub> dari padi dan ternak (Xu *et al.*, 2004). Kota Bengkulu, sebagai salah satu kota berkembang di Indonesia, mengalami perubahan tutupan lahan yang signifikan dalam beberapa dekade terakhir. Urbanisasi yang pesat dan perubahan penggunaan lahan pertanian menjadi tantangan dalam pengelolaan lingkungan dan emisi GRK. Studi mengenai dampak perubahan tutupan lahan terhadap konsentrasi GRK di wilayah ini masih terbatas.

Peningkatan emisi GRK berdampak langsung pada tren perubahan iklim lokal dan global. Di wilayah tropis seperti Kota Bengkulu, perubahan iklim dapat mengakibatkan peningkatan suhu, perubahan pola curah hujan, dan peningkatan frekuensi

kejadian cuaca ekstrem. Pemahaman yang mendalam mengenai hubungan antara perubahan tutupan lahan dan konsentrasi GRK diperlukan untuk merumuskan kebijakan mitigasi dan adaptasi yang efektif.

Penelitian ini penting untuk mengisi kesenjangan pengetahuan mengenai dampak perubahan tutupan lahan terhadap konsentrasi GRK di Kota Bengkulu. Dengan memahami dinamika ini, kita dapat mengidentifikasi faktor-faktor utama yang berkontribusi terhadap emisi GRK dan merumuskan strategi mitigasi yang tepat. Selain itu, hasil penelitian ini dapat memberikan dasar ilmiah bagi pengambilan kebijakan lingkungan di tingkat lokal dan nasional.

## MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di Kota Bengkulu. Penelitian dilakukan dari bulan Juli-Oktober 2024. Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode kualitatif kuantitatif kombinasi (*mixed methods*). Dengan menggunakan pendekatan analisis spasial dan metode survei lapangan. Pendekatan analisis spasial digunakan untuk melakukan analisa perubahan penggunaan lahan yang terjadi di Kota Bengkulu dalam kurun waktu tahun 2014 sampai dengan 2024 dengan memanfaatkan teknologi Sistem Informasi Geografis. Metode survei lapangan dilakukan untuk melakukan groundcheck di lapangan terhadap hasil interpretasi penggunaan lahan dari data citra satelit. Untuk mengetahui perubahan tutupan lahan, atau mengidentifikasi dinamika perubahan tutupan lahan menjadi kawasan maju dengan interpretasi Landsat 8 dengan menggunakan Arcgis sebagai alat analisis (Tabel 1). Selanjutnya menggunakan pendekatan perhitungan dari Kalkulastor ICLEI untuk menghitung estimasi stok karbon berdasarkan penggunaan lahan dengan cara mengalikan luas masing-masing penggunaan lahan dengan indeks stok karbon dari masing-masing penggunaan lahan tersebut (Kurniawati, 2021). Adapun rumusnya sebagai berikut

$$\text{Stok Karbon} = \text{Data Luas Lahan (Ha)} \times \text{konstanta stok karbon (ton C/Ha)}.$$

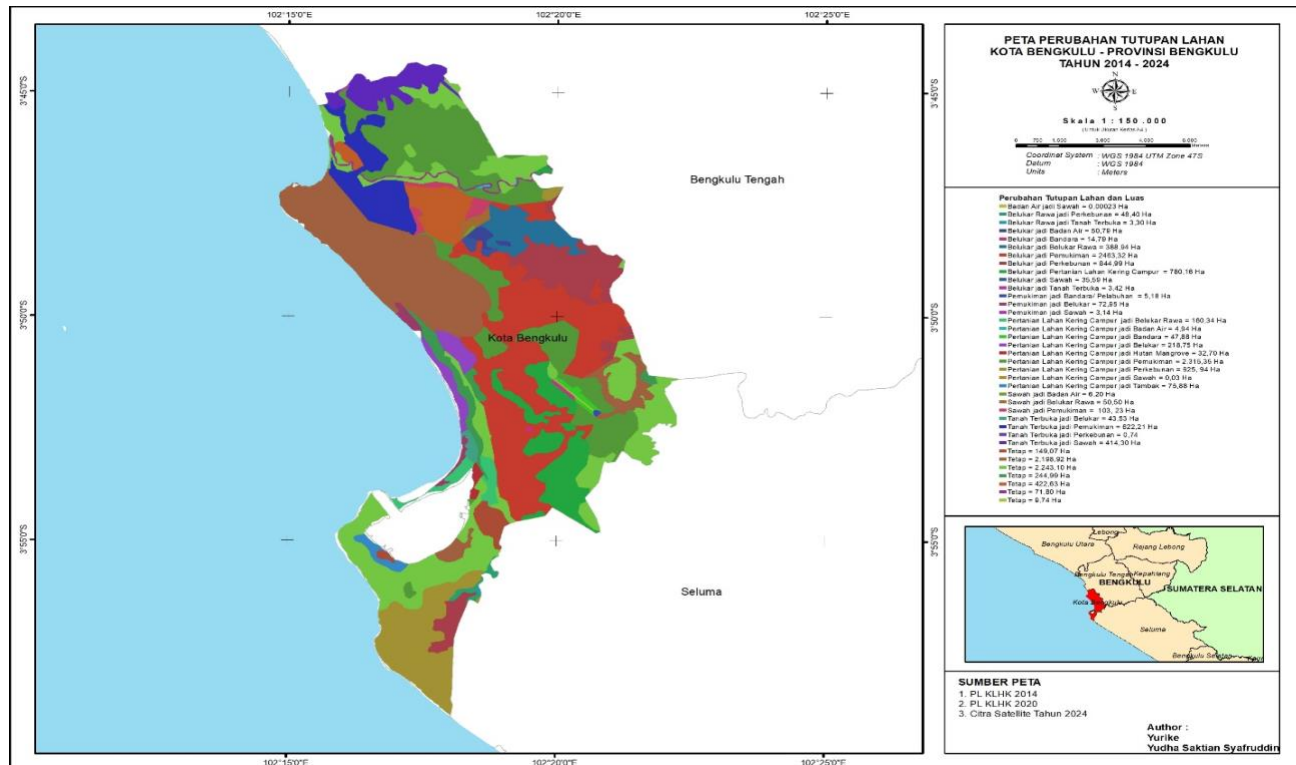
**Tabel 1.** Nilai Konstanta Stok Karbon Berdasarkan Jenis Penggunaan Lahan

Tutupan Lahan	Konstanta Stok Karbon (Ton C/Ha)
Badan Air	0
Bandara/Pelabuhan	0
Belukar	30
Belukar Rawa	30
Hutan Lahan Kering Sekunder	169,7
Hutan Mangrove Sekunder	120
Pemukiman	4,1
Perkebunan	63
Pertanian Lahan Kering Campuran	30
Sawah	2
Tambak	0
Tanah Terbuka	2,5

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perubahan Tutupan Lahan Kota Bengkulu Tahun 2014-2024

Proses perubahan tutupan lahan Kota Bengkulu antara tahun 2014 dan 2024 berdasarkan interpretasi spasial dapat di lihat pada Gambar 1 dan Tabel 2.



Gambar 1. Peta Proses Perubahan Tutupan Lahan tahun 2014-2024 di Kota Bengkulu

Tabel 2. Proses Perubahan Tutupan Lahan di Kota Bengkulu Tahun 2014-2024

No	Perubahan	Luas (Ha)	No	Perubahan	Luas (Ha)
1	Tetap	244,991	20	Pertanian Lahan Kering Campur jadi Hutan Mangrove	32,7032
2	Pemukiman jadi Belukar	72,9506	21	Belukar jadi Belukar Rawa	388,937
3	Tanah Terbuka jadi Belukar	43,5309	22	Pertanian Lahan Kering Campur jadi Belukar Rawa	160,34
4	Pertanian Lahan Kering Campur jadi Belukar	218,747	23	Sawah jadi Belukar Rawa	50,5047
5	Belukar jadi Perkebunan	844,992	24	Belukar jadi Pertanian Lahan Kering Campur	780,157
6	Tanah Terbuka jadi Perkebunan	0,736077	25	Tetap	2243,1
7	Belukar Rawa jadi Perkebunan	48,4045	26	Belukar jadi Sawah	35,587
8	Pertanian Lahan Kering Campur jadi Perkebunan	925,936	27	Pemukiman jadi Sawah	3,13752
9	Belukar jadi Pemukiman	2463,32	28	Tanah Terbuka jadi Sawah	414,301
10	Tetap	2198,92	29	Badan Air jadi Sawah	0,000225
11	Tanah Terbuka jadi Pemukiman	622,211	30	Pertanian Lahan Kering Campur jadi Sawah	0,034893
12	Pertanian Lahan Kering Campur jadi Pemukiman	2315,35	31	Tetap	422,632

13	Sawah jadi Pemukiman	103,228	32	Pertanian Lahan Kering Campur jadi Tambak	75,8764
14	Belukar jadi Tanah Terbuka	3,41562	33	Tetap	149,073
15	Belukar Rawa jadi Tanah Terbuka	3,29926	34	Belukar jadi Bandara	14,7907
16	Belukar jadi Badan Air	50,7943	35	Pemukiman jadi Bandara/ Pelabuhan	5,18073
17	Tetap	71,8001	36	Pertanian Lahan Kering Campur jadi Bandara	47,882
18	Pertanian Lahan Kering Campur jadi Badan Air	4,94331	37	Tetap	9,73643
19	Sawah jadi Badan Air	6,20457			

Gambar 1 menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah mengalami perubahan tutupan lahan, termasuk konversi dari belukar, pertanian lahan kering, atau lahan terbuka menjadi area lain seperti sawah, pemukiman, dan tanah terbuka. Wilayah sepanjang pantai menunjukkan aktivitas signifikan, kemungkinan karena pertumbuhan perkotaan dan pembangunan infrastruktur. Perubahan yang signifikan terjadi di sekitar pusat Kota Bengkulu, menunjukkan peningkatan area pemukiman dan lahan terbuka. Adanya program perumahan subsidi juga menyebabkan tingginya laju alih fungsi lahan (Yurike et al., 2023).

Lebih lanjut, lahan sawah berkembang ke wilayah yang sebelumnya merupakan pertanian lahan kering campuran. Sebagian kecil area tetap memiliki tutupan lahan yang sama, terutama di wilayah dengan hutan mangrove dan lahan rawa (Muryani, 2010). Transformasi ini mencerminkan dinamika sosial dan ekonomi yang mempengaruhi penggunaan lahan, serta tantangan dalam menjaga keberlanjutan lingkungan di tengah tekanan pembangunan.

Konversi signifikan dari belukar dan pertanian lahan kering menjadi sawah dan pemukiman mencerminkan dorongan pertanian intensif dan urbanisasi. Hal ini dapat berdampak pada pola aliran air dan ekosistem lokal. Terjadi penurunan area belukar dan hutan sekunder. Penurunan ini menunjukkan kemungkinan eksploitasi sumber daya alam atau alih fungsi lahan untuk mendukung kebutuhan ekonomi dan infrastruktur. Dampaknya mungkin mencakup penurunan cadangan karbon dan biodiversitas (Nurlu et al., 2013). Aktivitas di sepanjang pantai dapat dikaitkan dengan pembangunan pelabuhan, tambak, atau kawasan pariwisata. Alih fungsi lahan yang signifikan dapat memengaruhi siklus hidrologi, meningkatkan risiko banjir, dan mengurangi kualitas tanah.

Perubahan ini menuntut pendekatan yang lebih berkelanjutan dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya, dengan mempertimbangkan keseimbangan antara kebutuhan pembangunan dan pelestarian lingkungan. Kebijakan yang mendukung praktik pertanian ramah lingkungan dan konservasi lahan perlu diimplementasikan untuk memastikan bahwa pembangunan tidak mengorbankan keberlanjutan ekosistem. Penerapan teknologi ramah lingkungan dan metode pertanian berkelanjutan dapat membantu meminimalkan dampak negatif tersebut, sambil tetap memenuhi kebutuhan masyarakat akan pangan dan infrastruktur (Lee, 2005).

#### Perubahan Luas Lahan dan Cadangan Karbon Berdasarkan Jenis Tutupan Lahan

Perubahan luas area dan cadangan karbon berdasarkan jenis tutupan dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Perubahan Luas Lahan dan Cadangan Karbon Berdasarkan Jenis Tutupan Lahan

No	Jenis Tutupan Lahan	Luas Area Tahun 2014 (Ha)	Estimasi Cadangan Karbon (ton/ha) 2014	Luas Area Tahun 2024 (Ha)	Estimasi Cadangan Karbon (ton/ha) 2024
1	Badan Air	71,8	0	135,16	0
2	Bandara/Pelabuhan	9,74	0	76,93	0
3	Belukar	4826,98	144809,4	590,48	17714,4
4	Belukar Rawa	51,7	1551	624,767	18743,01
5	Pemukiman	2280,19	9120,76	7658,19	31398,58
6	Pertanian Lahan Kering Campuran	6024,91	180747,3	3022,35	90670,5
7	Sawah	582,57	1165,14	868,29	1736,58
8	Tambak	149,07	0	231,62	0
9	Tanah Terbuka	1080,78	2701,95	6,66	16,65

10	Hutan Lahan Kering Sekunder	0	0	0,83	140,851
11	Hutan Mangrove Sekunder	0	0	32,47	3896,4
12	Perkebunan	0	0	1820,9	114716,7

Tabel 3 menunjukkan perubahan luas area dan estimasi cadangan karbon untuk berbagai jenis tutupan lahan antara tahun 2014 dan 2024. Total cadangan karbon menurun secara signifikan dari 340.095,55 ton pada tahun 2014 menjadi 279.033,7 ton pada tahun 2024.

Perubahan tutupan lahan di Kota Bengkulu menunjukkan adanya pola konversi lahan yang signifikan, terutama pada kategori vegetasi alami seperti belukar dan pertanian lahan kering campuran, yang digantikan oleh pemukiman dan area buatan lainnya. Tren ini memberikan dampak besar pada estimasi cadangan karbon sebagai berikut:

- Belukar mengalami penurunan luas area dari 4.826,98 ha (2014) menjadi 590,48 ha (2024), sehingga estimasi cadangan karbon turun drastis dari 144.809,4 ton/ha menjadi 17.714,4 ton/ha. Kehilangan belukar, yang biasanya memiliki biomassa tinggi, menunjukkan degradasi tutupan vegetasi alami.
- Sawah meningkat dari 582,57 ha (2014) menjadi 868,29 ha (2024). Perluasan area sawah menunjukkan peningkatan kontribusi kecil terhadap cadangan karbon dari 1.165,14 ton/ha menjadi 1.736,58 ton/ha.
- Estimasi Cadangan Karbon pada Kawasan pemukiman naik dari 9.120,76 ton menjadi 31.398,54 ton. Meskipun luas pemukiman bertambah, cadangan karbon bertambah, yang mungkin disebabkan oleh penghijauan dalam kawasan pemukiman.
- Estimasi Cadangan Karbon pada pertanian lahan kering campuran mengalami penurunan dari 180.747,3 ton menjadi 90.670,5 ton. Penurunan ini mengindikasikan perubahan fungsi lahan dari pertanian campuran menjadi lahan buatan atau lainnya, yang mengurangi kapasitas penyimpanan karbon.
- Mangrove sekunder baru muncul pada tahun 2024 dengan luas 32,47 ha dan cadangan karbon 3.896,4 ton.
- Hutan lahan kering sekunder juga muncul dengan luas kecil 0,883 ha, tetapi menyimpan karbon hingga 140,851 ton.

Penurunan total cadangan karbon dari tahun 2014 ke 2024 61.061,85 ton dapat diatribusikan pada bertambahnya sawah, pemukiman dan munculnya lahan baru seperti hutan mangrove sekunder dan perkebunan. Transformasi lahan belukar menjadi sawah atau penggunaan lainnya dapat menyebabkan degradasi lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Belukar memiliki cadangan karbon yang tinggi, dan konversi ini berpotensi meningkatkan emisi karbon jika dilakukan tanpa mekanisme pelestarian (Mills & Cowling, 2010). Oleh karena itu, penting untuk menerapkan praktik pengelolaan yang berkelanjutan dan mempertimbangkan dampak jangka panjang dari perubahan penggunaan lahan agar dapat menjaga keseimbangan ekosistem dan memastikan keberlanjutan sumber daya alam.

Kehadiran hutan mangrove sekunder menunjukkan inisiatif rehabilitasi ekosistem pesisir yang berpotensi menyerap karbon. Ini merupakan langkah positif untuk mitigasi perubahan iklim. Penting untuk melibatkan masyarakat lokal dalam proses pengambilan keputusan, agar mereka dapat berkontribusi pada solusi yang efektif dan berkelanjutan. (Chirenje et al., 2013). Keterlibatan masyarakat lokal tidak hanya meningkatkan keberhasilan proyek rehabilitasi, tetapi juga memastikan bahwa praktik yang diterapkan sesuai dengan kebutuhan dan pengetahuan tradisional mereka. (Lysack, 1995).

### Penyebab Perubahan Cadangan Karbon

Perubahan total cadangan karbon ini disebabkan oleh perubahan tutupan lahan sebagai berikut:

- Area yang menyumbang penurunan cadangan karbon  
Belukar: Pada tahun 2014 cadangan karbon sebesar 144.809,4 ton karbon lalu menurun pada tahun 2024 sebesar 17.714,4 ton karbon. Hal ini menyebabkan terjadi penurunan sebesar : -127.095 ton karbon (-87,8%). Penurunan ini signifikan karena konversi belukar menjadi sawah, pemukiman, dan tanah terbuka.
- Urbanisasi dan Perubahan Tata Guna Lahan  
Konversi lahan belukar, pertanian, atau tanah terbuka menjadi area pemukiman sering terjadi karena urbanisasi untuk memenuhi kebutuhan perumahan dan infrastruktur. Oleh karena itu, pemukiman meningkat bertambah lebih dari tiga kali lipat Hal ini menyebabkan hilangnya vegetasi alami yang merupakan penyimpan karbon utama.
- Eksansi Area Tambak dan Infrastruktur Perairan  
Tambak meningkat dari 149,07 ha menjadi 231,62 ha. Perubahan ini biasanya terjadi di wilayah pesisir, yang sering menggantikan ekosistem mangrove atau lahan rawa. Selain itu juga, penambahan badan air menjadi 135,16 ha. Pengembangan waduk atau danau buatan sering menggantikan area vegetasi. Area tambak dan badan air tidak menyimpan karbon dalam jumlah signifikan. Hilangnya vegetasi pesisir (seperti mangrove atau rawa) akibat konversi ini secara langsung mengurangi kapasitas penyimpanan karbon.
- Ketidakseimbangan Konversi dan Restorasi Lahan

Hilangnya karbon dari belukar sebesar 127.094,6 ton tidak dapat diimbangi oleh total karbon baru dari mangrove dan hutan sekunder (4.037,251 ton). Ketidakseimbangan ini menunjukkan perlunya upaya restorasi yang lebih masif dan pengendalian konversi lahan

#### **Dampak terhadap Ekosistem Karbon**

a. Penurunan kapasitas penyerapan karbon

Belukar dan belukar rawa merupakan ekosistem penyerap karbon yang sangat besar (Morris & de Barse, 2013). Konversinya menjadi sawah atau pemukiman mengurangi kemampuan lahan untuk menyimpan karbon jangka panjang. Area belukar rawa yang hilang sepenuhnya dapat mengurangi stabilitas ekosistem dan cadangan karbon lokal (Wallenius *et al.*, 2010). Selain itu, perubahan penggunaan lahan ini dapat menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca, yang berkontribusi pada perubahan iklim global dan mengancam keberlanjutan lingkungan di sekitar kita.

b. Peningkatan emisi gas rumah kaca

Konversi lahan alami menjadi pemukiman, tambak, atau perkebunan dapat melepaskan karbon yang tersimpan dalam vegetasi dan tanah ke atmosfer. Konversi lahan seperti belukar ke tambak atau sawah dapat meningkatkan emisi metana (CH<sub>4</sub>), terutama di lahan basah atau tambak. Hilangnya cadangan karbon yang signifikan dari ekosistem alami mempercepat akumulasi gas rumah kacayang pada gilirannya memperburuk dampak perubahan iklim, mengancam keanekaragaman hayati dan kesehatan ekosistem secara keseluruhan. Peningkatan emisi ini tidak hanya berdampak pada iklim global, tetapi juga mempengaruhi pola cuaca lokal dan dapat menyebabkan bencana alam yang lebih sering terjadi (Gonzalez, 2023)

c. Dampak terhadap ekosistem mangrove

Peningkatan luas hutan mangrove sekunder (32,47 ha pada 2024) sedikit meningkatkan cadangan karbon, namun luasnya masih kecil. Mangrove yang dipulihkan berperan dalam menyimpan karbon dalam jumlah besar, terutama dalam tanahnya yang kaya karbon organik (DelVecchia *et al.*, 2014).

#### **Rekomendasi untuk Peningkatan Penyimpanan Karbon**

1. Restorasi Belukar dan Rawa: Melakukan reforestasi atau penghijauan area belukar yang sudah dikonversi menjadi tanah terbuka untuk meningkatkan cadangan karbon. Dengan menerapkan langkah-langkah tersebut, kita dapat berkontribusi pada pengurangan emisi karbon secara keseluruhan dan mendukung keberlanjutan lingkungan untuk generasi mendatang (Kar *et al.*, 2009).
2. Pengelolaan Urbanisasi Berkelanjutan: Memastikan bahwa pembangunan pemukiman disertai penanaman vegetasi urban untuk membantu penyimpanan karbon.
3. Pertanian Berkelanjutan: Meningkatkan karbon tanah melalui pengelolaan sawah yang ramah lingkungan, seperti penggunaan pupuk organik dan metode konservasi tanah.
4. Perlindungan Hutan Sekunder: Mempertahankan dan, jika memungkinkan, memperluas area hutan sekunder karena merupakan penyerap karbon yang signifikan meskipun luasnya kecil.
5. Optimalisasi Penggunaan Lahan  
Menerapkan solusi berbasis alam seperti hutan perkotaan dan atap hijau, dapat secara signifikan meningkatkan penyerapan karbon. Pohon perkotaan memainkan peran penting dalam penyerapan karbon, dengan penelitian menunjukkan penangkapan karbon tahunan yang signifikan di kota-kota seperti Teheran (Rasoolzadeh *et al.*, 2024). Memilih spesies pohon penyerap karbon tinggi, seperti Populus dan *P. acerifolia*, dapat meningkatkan pengelolaan ruang hijau perkotaan (Cai *et al.*, 2024). Efektivitasnya tergantung pada kondisi lokal dan praktik pengelolaan (Pereira *et al.*, 2024).

### **KESIMPULAN**

Perubahan tutupan lahan di Kota Bengkulu menyebabkan pergeseran penyimpanan karbon dari ekosistem alami seperti belukar dan rawa ke sawah dan pemukiman. Perubahan tutupan lahan di Kota Bengkulu antara tahun 2014 dan 2024 berdampak signifikan terhadap cadangan karbon. Konversi besar-besaran belukar dan pertanian lahan kering campuran menjadi pemukiman, perkebunan, sawah, dan tambak telah menyebabkan penurunan total cadangan karbon sebesar 61.061,85 ton. Hilangnya vegetasi alami mengurangi kapasitas wilayah dalam menyerap karbon, meningkatkan emisi gas rumah kaca, dan mengganggu keseimbangan ekosistem karbon. Namun, upaya restorasi seperti peningkatan hutan mangrove sekunder dan hutan lahan kering sekunder memberikan kontribusi positif meskipun dalam skala kecil. Untuk mempertahankan keseimbangan karbon dan mendukung mitigasi perubahan iklim, diperlukan perencanaan tata guna lahan yang lebih berkelanjutan, rehabilitasi ekosistem alami, dan pengendalian konversi lahan.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis berterimakasih kepada LPPM Universitas Bengkulu dan Program Pascasarjana Pengelolaan Sumber Daya Alam Universitas Bengkulu atas dukungan dana untuk penelitian ini melalui Dana PNBP Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu Tahun Anggaran 2024 dengan nomor kontrak 4222/UN30.11/PT/2024)

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2024. Kota Bengkulu Dalam Angka 2024. Badan Pusat Statistik: Kota Bengkulu.
- Cai, J., H. Chi, N. Lü, J. Bian, H. Chen, J. Yu, & S. G. Yang, S. G. 2024. Analysis of Spatiotemporal Predictions and Drivers of Carbon Storage in the Pearl River Delta Urban Agglomeration via the PLUS-InVEST-GeoDetector Model. <https://doi.org/10.3390/en17205093>
- Chesney, M., J. Gheysens, A. C. Pana & L. Taschini. 2013. The Issue of Climate Change. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-36623-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-36623-9_2)
- Chirenje, L. I., R. A. Giliba, & E. B. Musamba. 2013. Local communities' participation in decision-making processes through planning and budgeting in African countries. Chinese Journal of Population, Resources and Environment. <https://doi.org/10.1080/10042857.2013.777198>
- DelVecchia, A. G., J. F. Bruno, L. K. Benninger, M. J. Alperin, O. Banerjee, & J. D. D. Morales. 2014. Organic carbon inventories in natural and restored Ecuadorian mangrove forests. PeerJ 2:e388 <https://doi.org/10.7717/PEERJ.388>
- Gonzalez, P. 2023. Natural Carbon Solutions Contribute to Halting Climate Change. Parks Stewardship Forum. <https://doi.org/10.5070/p539260953>
- Hermón, D. 2009. Settlement dynamics and land use planning policies in landslide prone areas in Padang City (in bahasa), P.Hd. Dissertation, IPB, Bogor.
- Kar, R., P. A. Bonnefoy, R. J. Hansman & S. Sgouridis .2009. Dynamics of Implementation of Mitigating Measures to Reduce Commercial Aviation's Environmental Impacts. <https://doi.org/10.2514/6.2009-6935>
- Kim, D.-G., & M. U. F. Kirschbaum. 2015.. The effect of land-use change on the net exchange rates of greenhouse gases: A compilation of estimates. Agriculture, Ecosystems & Environment. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2015.04.026>
- Lee, D. R. .2005. Agricultural Sustainability and Technology Adoption: Issues and Policies for Developing Countries. American Journal of Agricultural Economics. <https://doi.org/10.1111/J.1467-8276.2005.00826.X>
- Lysack, C. 1995. Community participation and community-based rehabilitation: An Indonesian case study. Occupational Therapy International. <https://doi.org/10.1002/OTI.6150020303>
- Mills, A., & R. M. Cowling. 2010. Below-ground carbon stocks in intact and transformed subtropical thicket landscapes in semi-arid South Africa. Journal of Arid Environments. <https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2009.07.002>
- Morris, E. C., & M. de Barse. 2013. Carbon, fire and seed addition favour native over exotic species in a grassy woodland. Austral Ecology. <https://doi.org/10.1111/J.1442-9993.2012.02426.X>
- Muryani, C. 2010. Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan SIG serta Dampaknya terhadap Kehidupan Masyarakat di Sekitar Muara Sungai Rejoso Kabupaten Pasuruan. <https://doi.org/10.23917/FORGE.V24I2.5024>
- Nurlu, E., U. Erdem, H. Doygun, H. Oguz, B. Kesgin, N. Doygun, I. Barut, & E. Malkoc. 2013. The Effects of Land Cover Change on Natural Ecosystems: The Case of İzmir, Turkey. Journal of Selçuk University Natural and Applied Science.
- Pereira, P., F. Wang, M. Inacio, M. Kalinauskas, K. Bogdzevic, L. Bogunovic, W. Zhao, D. Barcelo. 2024. Nature-based solutions for carbon sequestration in urban environments. Current Opinion in Environmental Science & Health, 37: 100536. doi: 10.1016/j.coesh.2024.100536
- Rasoolzadeh, R., D. N. Mobarghaee, H. Esmaeilzadeh, Y. Rashidi, M. V. Marcu, & S. M. M. Sadeghi. 2024. Carbon Sequestration and Storage of Urban Trees in a Polluted Semiarid City. Forests, 15(9), 1488. <https://doi.org/10.3390/f15091488>
- Song, X. 2015. Improved quantification of forest cover change and implications for the carbon cycle. <https://doi.org/10.13016/M25P9H>
- Wallenius, T., L. Niskanen, T. Virtanen, J. Hottola, G. Brumelis, A. Angervuori, J. Julkunen, & M. Pihlstrom. 2010. Loss of habitats, naturalness and species diversity in Eurasian forest landscapes. Ecological Indicators, 10, 1093-1101. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.03.006>
- Wardoyo, W. 2019. Perubahan iklim dan perdagangan karbon dari penurunan emisi gas rumah kaca (grk). <https://doi.org/10.31000/JMB.V5I1.1993>
- Yurike, Sugara., Putri, A. D. 2023. Analisis sebaran konversi lahan pertanian di Kecamatan Muara Bangkahulu Kota Bengkulu. Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian, 16(2): 205-214. DOI: 10.19184/jsep.v16i2.38498