



Potensi Biomassa Pohon dan Emisi Karbondioksida Untuk Menilai Keseimbangan Karbon di Lingkungan

^{1*}Endah Tri Wahyuningsih, ²Bhakti Karyadi, ³Rendy Wikrama Wardana, ⁴Euis Nursa'adah, ⁵Afrizal Mayub

^{1,2,3,4,5}Program Studi Pascasarjana Pendidikan IPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia.

*Corresponding Author e-mail: endahtw7@gmail.com

Received: October 2025; Revised: November 2025; Accepted: December 2025; Published: December 2025

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis emisi karbon dari kendaraan bermotor dan potensi penyerapan karbon oleh vegetasi di empat ruas jalan utama Kota Bengkulu, yaitu Padang Jati, Hibrida, Pagar Dewa, dan Sukarami. Pendekatan yang digunakan adalah kuantitatif-deskriptif, dengan pengumpulan data melalui survei lalu lintas dan pengukuran langsung parameter vegetasi selama periode pengamatan. Emisi dihitung menggunakan faktor emisi berbasis standar IPCC/KLHK sesuai jenis kendaraan, sedangkan biomassa pohon dianalisis melalui persamaan alometrik berdasarkan diameter batang, panjang lintasan dan jenis vegetasi. Analisis karbon di empat ruas jalan Kota Bengkulu menunjukkan ketimpangan signifikan antara emisi kendaraan dan penyerapan vegetasi. Sukarami mencatat emisi tertinggi (751.813 kg CO₂) dengan biomassa hanya 24.053 kg (serapan 40.607 kg), sehingga menjadi carbon source. Sebaliknya, Padang Jati memiliki biomassa terbesar (881.578 kg) dibanding emisi 431.889 kg CO₂, menjadikannya carbon sink dengan serapan 344 %. Hibrida dan Pagar Dewa menunjukkan kondisi menengah, dengan emisi 424.145–570.063 kg CO₂ dan serapan 544.349–947 kg, menandakan kapasitas serap yang belum seimbang. Hasil ini menegaskan perlunya peningkatan tutupan vegetasi dan pengelolaan ruang hijau sebagai strategi mitigasi perubahan iklim perkotaan.

Kata Kunci: Biomassa; emisi karbon; vegetasi tumbuhan; perubahan iklim

Abstract: This study aims to analyze carbon emissions from motor vehicles and the potential for carbon absorption by vegetation on four main roads in Bengkulu City: Padang Jati, Hibrida, Pagar Dewa, and Sukarami. The approach used is quantitative-descriptive, with data collected through traffic surveys and direct measurements of vegetation parameters during the observation period. Emissions are calculated using emission factors based on IPCC/KLHK standards according to vehicle type, while tree biomass is analyzed using allometric equations based on trunk diameter, track length, and vegetation type. Carbon analysis on four roads in Bengkulu City shows a significant imbalance between vehicle emissions and vegetation absorption. Sukarami recorded the highest emissions (751,813 kg CO₂) with a biomass of only 24,053 kg (absorption of 40,607 kg), making it a carbon source. Conversely, Padang Jati had the largest biomass (881,578 kg) compared to emissions of 431,889 kg CO₂, making it a carbon sink with absorption of 344%. Hibrida and Pagar Dewa showed intermediate conditions, with emissions of 424,145–570,063 kg CO₂ and absorption of 544,349–947 kg, indicating an unbalanced absorption capacity. These results emphasize the need to increase vegetation cover and manage green spaces as strategies for mitigating urban climate change.

Keywords: Biomass; carbon emissions; plant vegetation; climate

How to Cite: Wahyuningsih, E. T., Karyadi, B., Wardana, R. W., Nursa'adah, E., & Mayub, A. (2025). Potensi Biomassa Pohon dan Emisi Karbondioksida Untuk Menilai Keseimbangan Karbon di Lingkungan. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(4), 2764–2774. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i4.16620>



<https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i4.16620>

Copyright© 2025, Wahyuningsih et al

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



PENDAHULUAN

Perubahan iklim sebagai dampak dari pemanasan global kini menjadi isu yang semakin mendapat perhatian luas karena mengancam keberlangsungan hidup manusia. Pemanasan global merujuk pada peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi dan lautan jika dibandingkan dengan kondisi di masa lampau. Salah satu penyebab utamanya adalah meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca yang terperangkap di atmosfer. Beragam langkah dan strategi mitigasi dapat diterapkan sebagai bentuk respons terhadap ancaman pemanasan global ini, baik melalui pendekatan teknologi, kebijakan lingkungan, maupun partisipasi aktif masyarakat.

Emisi karbon dioksida (CO₂) merupakan salah satu gas rumah kaca yang berperan besar dalam memicu pemanasan global. Peningkatan CO₂ sangat berkaitan dengan intensitas aktivitas manusia. Semakin tinggi aktivitas manusia, semakin besar pula emisi yang dilepaskan ke atmosfer (Admaja *et al.*, 2018). Berbagai penggunaan energi seperti penerangan, peralatan rumah tangga, dan transportasi bermotor menjadi penyumbang dominan emisi karbon dioksida (Khairi, 2020). Kondisi ini menunjukkan adanya hubungan erat antara aktivitas manusia dan kualitas atmosfer. Karbon dioksida juga menjadi indikator utama dalam berbagai penelitian terkait perubahan iklim karena karakteristiknya yang stabil dan mudah diukur (Dhaka, 2010).

Pengundulan hutan mengakibatkan penurunan kemampuan lingkungan dalam menyerap karbon, sehingga memperburuk dampak pemanasan global. Kawasan perkotaan menjadi penyumbang utama emisi, dengan sekitar 60% emisi berasal dari aktivitas kendaraan bermotor (Saepudin *et al.*, 2005). Berkurangnya tutupan hutan mengacaukan keseimbangan siklus karbon alami (Hanna, *et al.*, 2020) sekaligus memicu hilangnya keragaman hayati dan peningkatan emisi gas rumah kaca (Novalia, 2017). Keberadaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) dapat membantu mengurangi emisi gas buang kendaraan bermotor maupun kegiatan industri, rumah tangga dan pembakaran sampah karena vegetasi dapat menyerap gas buang maupun debu yang ada di udara (Rumiati, 2005).

Kota Bengkulu sedang mengalami urbanisasi yang pesat, ditandai dengan peningkatan pembangunan infrastruktur dan penambahan populasi. Perubahan penggunaan lahan tersebut berpotensi menurunkan tutupan pohon, baik di sepanjang koridor jalan maupun ruang terbuka hijau. Padahal, pohon perkotaan memiliki peran penting dalam menyimpan karbon (biomassa), menekan polusi udara, serta menjaga keseimbangan iklim mikro dan keanekaragaman hayati. Vegetasi pada koridor jalan memiliki nilai ekologis yang tinggi karena berada langsung di dekat sumber emisi, terutama kendaraan bermotor, sehingga menjadi target strategis untuk pemulihan ekosistem mikro Kota.

Salah satu metode yang umum digunakan untuk mengestimasi biomassa pohon adalah pendekatan allometrik (Komiyama *et al.*, 2007). Prosedur ini dilakukan dengan mengukur diameter batang pohon pada ketinggian dada, yang dikenal sebagai diameter at breast height (DBH), pada setiap sampel penelitian. Nilai DBH kemudian diolah sebagai variabel bebas dalam persamaan allometrik untuk memperkirakan biomassa (Manafe *et al.*, 2016).

Di Indonesia, berbagai penelitian telah menggunakan analisis citra satelit untuk mengestimasi biomassa dan cadangan karbon vegetasi perkotaan. Kajian di Salatiga, misalnya, memanfaatkan indeks vegetasi NDVI, SAVI, dan MSARVI berbasis citra WorldView-2 untuk menghitung kapasitas penyerapan CO₂ oleh pohon perkotaan (Sensing *et al.*, 2025). Di Yogyakarta, penggunaan citra SPOT-7 yang dikombinasikan dengan survei lapangan menghasilkan estimasi cadangan karbon sebesar 643.764 ton dari total biomassa 1.399.487 ton (Rahmatika *et al.*, 2023).

Namun, hingga saat ini belum terdapat penelitian sistematis yang mengkaji biomassa dan cadangan karbon pohon perkotaan di Kota Bengkulu, baik melalui pendekatan penginderaan jauh maupun integrasi dengan data lapangan. Kekosongan tersebut menunjukkan perlunya kajian ilmiah yang mampu menyediakan informasi spasial yang akurat mengenai potensi biomassa vegetasi di kawasan perkotaan, khususnya pada koridor jalan yang berdekatan langsung dengan sumber emisi kendaraan bermotor.

Salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk memperkirakan biomassa pohon adalah metode allometrik (Komiyama *et al.*, 2007).. Estimasi biomassa

dilakukan dengan mengukur diameter batang pada ketinggian dada atau diameter at breast height (DBH), yang kemudian diolah menggunakan persamaan allometrik untuk memperoleh nilai biomassa di atas permukaan tanah (Manafe *et al.*, 2016). Metode ini sangat relevan diterapkan pada lingkungan perkotaan karena memberikan hasil yang relatif akurat dengan prosedur pengukuran yang sederhana.

Penelitian mengenai potensi biomassa dan serapan karbon di tingkat lokal memiliki urgensi yang tinggi dalam rangka menjaga keseimbangan karbon di daerah perkotaan. Informasi tersebut diperlukan untuk menilai sejauh mana vegetasi mampu mengimbangi emisi karbon yang dihasilkan dari aktivitas masyarakat, khususnya transportasi. Dengan mengetahui sebaran biomassa, estimasi cadangan karbon, serta kontribusinya terhadap kualitas lingkungan, evaluasi terhadap kondisi ekosistem perkotaan dapat dilakukan secara lebih komprehensif.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memetakan biomassa pohon pada koridor jalan di Kota Bengkulu dan mengestimasi potensi cadangan karbonnya. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah bagi penyusunan kebijakan pengelolaan ruang terbuka hijau, penguatan fungsi ekologis koridor jalan, dan strategi mitigasi perubahan iklim yang relevan dengan kondisi lokal.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif yang digunakan untuk mengukur struktur vegetasi, estimasi biomassa, serapan karbon, serta menghitung emisi CO₂ dari kendaraan bermotor di kawasan perkotaan. Pendekatan kuantitatif dipilih untuk memberikan gambaran objektif mengenai potensi pohon dalam mitigasi emisi karbon berdasarkan parameter terukur di lapangan.

Penelitian dilaksanakan di Kota Bengkulu, tepatnya pada koridor Jalan Padang Jati, Jalan RE. Martadinata Kelurahan Pagar Dewa, Jalan Hibrida, dan Jalan Sukarami. Pengambilan data lapangan dilakukan selama tiga hari berturut-turut. Lokasi dipilih karena merupakan jalur lalu lintas utama dengan keberadaan vegetasi tepi jalan yang berpotensi berperan sebagai penyerap karbon.

Pada penelitian ini, pengumpulan data vegetasi dilakukan menggunakan metode plot berukuran 20 × 20 m untuk tingkat pohon. Di dalam setiap plot utama, juga dapat ditambahkan sub-plot berukuran lebih kecil misalnya 10 × 10 m untuk tingkat tiang, 5 × 5 m untuk tingkat pancang, dan 2 × 2 m untuk vegetasi bawah untuk memperoleh data yang lebih rinci mengenai struktur vegetasi pada setiap strata.

1. Data Vegetasi

Data vegetasi dikumpulkan menggunakan metode plot. Plot yang digunakan disesuaikan dengan tingkat pertumbuhan tumbuhan, yaitu: Plot pohon (DBH > 35 cm) : 20 × 20 m, dan Subplot dapat ditambahkan sesuai kebutuhan (opsional). Adapun parameter vegetasi yang diukur yaitu: Jumlah individu per spesies dan Diameter batang setinggi dada (DBH). Data DBH digunakan sebagai dasar perhitungan basal area, dominansi, biomassa, dan serapan karbon.

2. Data Emisi Kendaraan

Data jumlah kendaraan dikumpulkan melalui penghitungan langsung setiap 15 menit pada masing-masing ruas jalan. Jenis kendaraan yang dihitung dikelompokkan berdasarkan tipe bahan bakar. Data yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi jumlah kendaraan per jam dan estimasi emisi karbon kendaraan.

Analisis Data

1. Analisis Vegetasi

Analisis vegetasi dilakukan untuk menghitung struktur komunitas tumbuhan berdasarkan tiga parameter utama:

a. Kerapatan (*Density*)

Kerapatan dihitung dengan membandingkan jumlah pohon dengan luasan kawasan yang diteliti merujuk pada (Setyowati, 2008). Rumus mengukur kerapatan suatu spesies adalah jumlah individu suatu spesies dibagi dengan luas area sampling dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Kerapatan Spesies } x = \frac{\text{Jumlah individu Spesies } x}{\text{Luas area sampling}}$$

b. Dominansi (*Dominance/Coverage*)

Luas penutupan (coverage) adalah proporsi antara luas tempat yang ditutupi oleh spesies tumbuhan dengan luas total habitat (Indriyanto, 2017). Dengan persamaan sebagai berikut

$$\text{Dominasi Spesies } x = \frac{\text{Total basal area spesies } x}{\text{Luas area sampling}}$$

c. Frekuensi (*Frequency*)

Frekuensi dalam ekologi digunakan untuk menunjukkan proporsi jumlah sampel yang mengandung spesies tertentu dibandingkan dengan total sampel, serta mengukur intensitas keberadaan spesies tersebut dalam suatu komunitas atau ekosistem (Indriyanto, 2017). Rumus mengukur frekuensi (F) suatu spesies adalah jumlah plot ditemukannya suatu spesies dibagi dengan total plot.

$$\text{Frekuensi spesies } x = \frac{\text{Jumlah plot spesies } x}{\text{Total jumlah plot}}$$

d. Indeks Nilai Penting (INP)

Indeks Nilai Penting (INP) adalah parameter kuantitatif yang digunakan untuk menggambarkan tingkat dominansi atau penguasaan spesies dalam suatu komunitas tumbuhan. Indeks nilai penting dapat dihitung menggunakan persamaan

$$INP = KR + DR + FR$$

(KR = kerapatan relatif, DR = dominansi relatif, FR = frekuensi relatif)

e. Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener

Indeks keanekaragaman (Diversity Index), Indeks Keanekaragaman Shannon Wiener Keanekaragaman dihitung dengan indeks Shannon-Wiener (Odum, 1993):

$$H' = - \sum \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N}$$

H' : Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener

n_i : Jumlah individu ke-i

N : Jumlah seluruh individu

Kriteria indeks keanekaragaman Shannon-Wiener dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

- H' < 1, keanekaragaman rendah
- 1 < H' < 3, keanekaragaman sedang
- H' > 3, keanekaragaman tinggi

2. Analisis Biomasa Pohon

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung di sepanjang Jalan Tanah Patah dan Jalan RE. Martadinata, Kota Bengkulu, dengan tujuan mengetahui potensi pohon sebagai penyerap karbon. Pengukuran biomassa menggunakan metode non-destruktif dengan pendekatan allometrik dari:

$$B = 0,11 \cdot p^*(D)^{2,62}$$

Keterangan:

B : Biomassa (kg/pohon)

D : Diameter setinggi dada (cm)

p : Massa jenis pohon (kg/m³)

Plot dibuat dengan ukuran berbeda berdasarkan tingkat pertumbuhan tumbuhan:
Pohon (DBH > 35 cm)

3. Perhitungan emisi karbon kendaraan

Data jumlah kendaraan bermotor yang didapatkan di lapangan merupakan hasil perhitungan jumlah kendaraan per 15 menit. Hasil perhitungan kendaraan selama tiga hari dirataratakan, kemudian dari setiap jenis kendaraan dihitung jumlah emisinya (g/jam). Perhitungan emisi menggunakan pendekatan IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). Perhitungan emisi kendaraan dihitung dengan menggunakan persamaan IV, dengan memperhitungkan tipe bahan bakar dan konsumsi bahan bakar.

$$Q = Ni \times FEi \times Ki \times L$$

Keterangan:

Q : Jumlah emisi CO (g/jam)

Ni : Jumlah kendaraan bermotor (kendaraan/jam)

FEi : Faktor Emisi CO kendaraan bermotor (g/liter)

Ki : Konsumsi bahan bakar kendaraan (liter/100km)

L : Panjang jalan (km)

(Sumber: IPCC, 2006)

Hasil yang didapatkan dari persamaan iv merupakan emisi CO/jam. Per hari, diasumsikan bahwa jam aktif berkendara adalah 18 jam, sehingga hasil dari persamaan iv harus dihitung lebih lanjut menggunakan rumus v seperti berikut.

$$MCO = \frac{Q \times 18 \times 365}{1000}$$

Keterangan:

MCO : Jumlah emisi CO (kg/tahun)

Q : Jumlah emisi CO (g/jam)

Jumlah karbon yang dapat ditambat oleh tumbuhan, menggunakan data CO yang dihasilkan kendaraan bermotor (persamaan v) yang terlebih dahulu dikonversi menggunakan persamaan:

$$MCO_2 = \left(\frac{MCO}{MrCO} \right) \times MrCO_2$$

Keterangan:

M : Beban Emisi (kg/tahun)

Mr : Massa relatif CO₂ = 44 CO = 28

(Mulyadin & Gusti, 2013)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis vegetasi dilakukan pada empat lokasi pengamatan dengan panjang lintasan masing-masing ±1 km. Data vegetasi dibatasi pada jenis-jenis pohon yang berada di tepi jalan dan berperan dalam penyerapan karbon. Pada Lokasi 1 (Padang Jati) ditemukan tiga jenis pohon dengan jumlah total 362 pohon. Jenis yang mendominasi adalah mahoni sebanyak 191 pohon, diikuti pucuk merah 120 pohon, dan ketapang 51 pohon. Mahoni memiliki dominansi tertinggi berdasarkan banyaknya

individu dan ukuran batang (DBH), sehingga berkontribusi besar terhadap nilai biomassa dan serapan karbon di lokasi ini. Pada Lokasi 2 (Sukarami) tercatat total 151 pohon. Jenis yang paling banyak ditemukan adalah pucuk merah sebanyak 80 pohon, diikuti glodogan tiang 44 pohon, mahoni 25 pohon, dan ketapang 2 pohon. Dominansi pucuk merah terlihat dari frekuensi kemunculannya yang tinggi di hampir seluruh titik sepanjang lintasan.

Pada Lokasi 3 (Hibrida) jumlah pohon mencapai 197 pohon. Jenis yang mendominasi adalah mahoni sebanyak 99 pohon, kemudian pucuk merah 92 pohon, dan ketapang 1 pohon. Struktur vegetasi di lokasi ini menunjukkan komposisi yang relatif seimbang antara mahoni dan pucuk merah, sehingga nilai kerapatan relatif antar spesies tidak terpaut jauh. Pada Lokasi 4 (Pagar Dewa) hanya terdapat dua jenis pohon, yaitu mahoni sebanyak 30 pohon dan ketapang 2 pohon, dengan total 32 pohon. Dibandingkan dengan lokasi lainnya, jumlah vegetasi di lokasi ini merupakan yang paling sedikit. Minimnya jumlah jenis dan individu menyebabkan nilai keanekaragaman Shannon-Wiener pada lokasi ini tergolong rendah sehingga kontribusi penyerapan karbon juga lebih kecil.

Secara keseluruhan, Padang Jati merupakan lokasi dengan jumlah pohon terbanyak (362 pohon), sedangkan Pagar Dewa memiliki vegetasi paling sedikit (32 pohon). Kerapatan pohon tertinggi juga terdapat pada Padang Jati, yang mengindikasikan kapasitas serapan karbon yang lebih besar dibandingkan lokasi lainnya. Sebaliknya, rendahnya jumlah vegetasi di Pagar Dewa dapat berdampak pada terbatasnya kemampuan kawasan tersebut dalam menurunkan emisi karbon di udara sekitarnya. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai komposisi tiap spesies pada setiap lokasi pengamatan, disajikan sebuah tabel yang merangkum jumlah masing-masing jenis pohon di empat lokasi tersebut. Data ini menjadi dasar dalam menganalisis potensi penyerapan karbon oleh vegetasi pada wilayah penelitian.

Tabel 1. Jenis-jenis tumbuhan yang terdapat di lokasi pengamatan

No	Lokasi Pengamatan	Jenis Pohon					Jumlah
		Mahoni	Pucuk Merah	Ketapang	Glodogan Tiang	Bouge nville	
1	Padang Jati	191	51	120	-	-	362
2	Sukarami	25	80	2	44	-	151
3	Hibrida	99	92	1	-	5	197
4	Pagar Dewa	30	-	2	-	-	32

Perhitungan Indeks Nilai Penting (INP) dilakukan untuk menentukan jenis pohon yang memiliki peran dominan dalam struktur vegetasi di setiap lokasi pengamatan. Nilai INP diperoleh dari penjumlahan kerapatan relatif, frekuensi relatif, dan dominansi relatif pada masing-masing jenis pohon. Hasil analisis menunjukkan bahwa Lokasi Padang Jati memiliki nilai INP sebesar 0,98, yang termasuk dalam kategori keanekaragaman rendah. Hal ini mencerminkan bahwa komunitas vegetasi di lokasi ini didominasi oleh satu atau dua jenis pohon saja, sehingga struktur vegetasi cenderung homogen meskipun jumlah pohon total cukup tinggi.

Pada Lokasi Sukarami, nilai INP sebesar 1,05 menempatkan lokasi ini dalam kategori keanekaragaman sedang. Nilai ini menunjukkan bahwa sebaran dan keberadaan jenis pohon relatif lebih merata dibandingkan lokasi lainnya. Komposisi spesies lebih bervariasi, sehingga tidak ada satu jenis yang mendominasi secara ekstrem. Sementara itu, Lokasi Hibrida memiliki nilai INP sebesar 0,82 yang termasuk kategori keanekaragaman rendah. Meskipun jumlah pohon di lokasi ini cukup banyak,

struktur vegetasi masih didominasi oleh beberapa jenis utama, sehingga tingkat pemerataan antarspesies masih rendah. Lokasi Pagar Dewa menunjukkan nilai INP paling rendah, yaitu 0,23, yang juga berada dalam kategori keanekaragaman rendah. Rendahnya nilai ini disebabkan oleh jenis pohon yang sangat terbatas dan jumlah individu yang relatif sedikit. Kondisi tersebut membuat struktur vegetasi pada lokasi ini kurang stabil dan berpotensi memberikan kontribusi serapan karbon yang lebih kecil dibandingkan lokasi lainnya.

Secara keseluruhan, analisis INP menunjukkan bahwa hanya lokasi Sukarami yang mencapai kategori keanekaragaman sedang, sedangkan tiga lokasi lainnya masih berada pada tingkat keanekaragaman rendah. Perbedaan nilai INP ini memberikan gambaran mengenai variasi dan dominansi spesies pada masing-masing kawasan, sekaligus menjadi dasar untuk menilai potensi penyerapan karbon dan keberlanjutan vegetasi di sepanjang jalur pengamatan. Tabel berikut menampilkan hasil perhitungan INP rata-rata dari setiap lokasi pengamatan.

Tabel 2. Hasil perhitungan Indeks Nilai Penting (INP)

No	Lokasi Pengamatan	Indeks Nilai Penting (INP)	Interpretasi
1	Padang Jati	0,98	Keanekaragaman Rendah
2	Sukarami	1,05	Keanekaragaman Sedang
3	Hibrida	0,82	Keanekaragaman Rendah
4	Pagar Dewa	0,23	Keanekaragaman Rendah

Berdasarkan persamaan alometrik yang digunakan maka di dapat biomassa tegakan sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil pengamatan biomassa pohon

Jenis Tanamam	Biomasa (Kg)			
	Padang Jati	Hibrida	Pagar Dewa	Sukarami
Mahoni	805.997,73	267.724,31	-	19.359,31
Glodokan Tiang	-	-	-	3.131,28
Ketapang	14.879,41	1.092,64	303,01	779,26
Pucuk merah	200,27	1.710,40	248,15	783,56
Bugenvile	-	116,44	-	-
Jumlah	821.077,41	270.643,80	551,15	24.053,41
				1.116.325,77

Data pada Tabel 3 menampilkan data biomasa (dalam kilogram) dari berbagai jenis tumbuhan yang terdapat di empat lokasi pengamatan, yaitu Padang Jati, Hibrida, Pagar Dewa, dan Sukarami. Jenis tumbuhan mahoni memiliki biomasa paling tinggi secara keseluruhan, terutama di lokasi Padang Jati sebesar 805.997,73 kg, diikuti oleh lokasi Hibrida sebesar 267.724,31 kg, sedangkan di lokasi Sukarami hanya 19.359,31 kg, dan tidak ditemukan di Pagar Dewa. Tumbuhan pucuk merah juga menyumbang biomasa yang cukup besar, khususnya di Hibrida (1.710,40 kg), dan tersebar di semua lokasi. Ketapang memiliki kontribusi terbesar di Padang Jati, yaitu 14.879,41 kg, sedangkan jenis glodokan tiang hanya ditemukan di Sukarami dengan biomasa sebesar 3.131,28 kg. Bougenville hanya ditemukan di Hibrida dengan biomasa 116,44 kg.

Total biomasa tertinggi tercatat di Padang Jati sebesar 821.077,41 kg, diikuti oleh Hibrida (270.643,80 kg), Sukarami (24.053,41 kg), dan Pagar Dewa (551,15 kg).

Secara keseluruhan, jumlah total biomassa dari keempat lokasi adalah 1.116.325,77 kg, yang menunjukkan bahwa Padang Jati merupakan lokasi dengan cadangan biomassa terbesar dan potensi penyerapan karbon tertinggi di antara keempat lokasi pengamatan.

Perbedaan biomassa pada setiap lokasi dipengaruhi oleh beberapa faktor utama. Pertama, komposisi jenis tumbuhan pada suatu tapak sangat beragam sehingga menghasilkan variasi biomassa. Misalnya, kawasan Padang Jati yang didominasi pohon mahoni berdiameter besar akan menghasilkan biomassa dan cadangan karbon yang lebih tinggi. Keberadaan pohon berdiameter lebih dari 30 cm di suatu lokasi berkontribusi signifikan terhadap total cadangan karbon vegetasi. Semakin banyak pohon berdiameter besar yang terdapat dalam suatu area, semakin besar pula biomassa dan karbon yang tersimpan (IPCC, 2019).

Biomassa juga dipengaruhi oleh diameter dan tinggi pohon, kerapatan tegakan, umur individu, serta tingkat kesuburan tanah. Jumlah individu tumbuhan pada suatu lokasi menentukan besarnya total biomassa; semakin tinggi kerapatan pohon, maka akumulasi biomassa juga meningkat (FAO, 2020). Selain itu, luas dan kondisi lahan memengaruhi pertumbuhan vegetasi, di mana kawasan yang memiliki ruang tumbuh optimal akan menghasilkan diameter pohon lebih besar dan biomassa lebih tinggi. Pengelolaan lingkungan seperti pemeliharaan vegetasi, pembatasan penebangan, dan pengendalian gangguan juga berperan dalam mempertahankan tingkat biomassa (IPCC, 2021).

Menurut kajian terkini, variabel diameter batang (DBH) merupakan faktor paling berpengaruh terhadap akurasi estimasi biomassa dan karbon pada ekosistem hutan tropis. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan persamaan alometrik yang telah banyak digunakan pada studi-studi modern di Indonesia untuk memperkirakan biomassa secara lebih akurat (Krisnawati *et al.*, 2020).

Tabel 4. Hasil perhitungan perkiraan emisi karbon pada kendaraan

Nama Jalan	Sedan (Bensin)	Angkot (Bensin)	Pickup/Carry (Bensin)	Truk Roda 4 (Diesel)	Truk Roda 6 (Diesel)	Truk Roda 10 (Diesel)	Sepeda Motor (Bensin)	Total CO	Total CO ₂
Padang Jati	244.875,63	12.661,86	4.721,43	324,19	450,67	276,26	11.528,17	274.838,23	431.888,64
Hibrida	237.469,64	16.524,13	4.721,43	336,47	400,33	536,79	320,41	9.601,19	424.144,90
Pagar Dewa	324.669,25	18.913,16	7.659,21	28,04	278,75	615,47	640,82	9.462,61	570.062,94
Sukarami	448.659,94	5.614,22	13.639,70	776,09	185,43	556,03	151,99	8.342,76	751.812,52
Total	1.255.674,47	53.713,37	30.741,78	1.964,79	1.315,18	1.984,56	1.113,22	39.434,73	2.177.909,00

Data pada Tabel 4 menunjukkan total emisi karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan oleh berbagai jenis kendaraan bermotor pada empat ruas jalan di Kota Bengkulu, yaitu Padang Jati, Hibrida, Pagar Dewa, dan Sukarami. Secara umum, Padang Jati menghasilkan emisi CO tertinggi, yakni sebesar 478.426,15 gram, dengan total CO₂ mencapai 751.812,52 gram. Sebaliknya, Hibrida memiliki jumlah emisi paling rendah dibandingkan lokasi lainnya. Sumber emisi terbesar berasal dari kendaraan pribadi, khususnya sedan bensin dan sepeda motor, yang konsisten memberikan kontribusi tinggi pada setiap lokasi. Total keseluruhan emisi dari empat ruas jalan mencapai 1.385.942,09 gram untuk CO dan 2.177.909,00 gram untuk CO₂, menunjukkan bahwa sektor transportasi memberi dampak signifikan terhadap pencemaran udara di wilayah tersebut.

Padang Jati memiliki emisi tertinggi pada hampir semua jenis kendaraan. Tingginya emisi di lokasi ini dipengaruhi oleh volume lalu lintas yang padat, durasi kemacetan yang lebih lama, serta dominasi kendaraan pribadi, terutama mobil bensin dan sepeda motor. Sebaliknya, Hibrida memiliki emisi lebih rendah karena arus lalu

lintasnya lebih lancar, kepadatan kendaraan relatif rendah, dan persentase kendaraan pribadi yang lebih sedikit. Sementara itu, emisi di Pagar Dewa dan Sukarami berada pada kategori sedang, dipengaruhi oleh perpaduan kendaraan pribadi, kendaraan barang, serta aktivitas lalu lintas yang tidak sepadat Padang Jati namun lebih tinggi dibanding Hibrida.

Hasil penelitian ini menegaskan bahwa sektor transportasi merupakan salah satu penyumbang utama gas rumah kaca di atmosfer. Kendaraan bermotor melepaskan CO dan CO₂ dari proses pembakaran bahan bakar fosil. Emisi CO₂ memiliki dampak signifikan karena termasuk gas rumah kaca berumur panjang yang berkontribusi langsung terhadap pemanasan global. Kendaraan seperti sepeda motor, meskipun berukuran kecil, tetap dapat menghasilkan emisi tinggi karena jumlahnya yang banyak dan penggunaan yang intensif. Temuan ini sejalan dengan penelitian-penelitian urban modern yang mengungkap bahwa peningkatan jumlah kendaraan di kota-kota besar secara langsung meningkatkan emisi CO dan CO₂.

Temuan dari data lapangan ini konsisten dengan literatur global, yang menjelaskan bahwa kendaraan berbahan bakar bensin cenderung menghasilkan CO lebih banyak, sedangkan kendaraan diesel lebih dominan menghasilkan NO_x dan partikulat, namun tetap memiliki kontribusi terhadap emisi CO₂. Dengan demikian, pola emisi di empat ruas jalan di Kota Bengkulu mencerminkan karakteristik umum wilayah perkotaan di Indonesia yang mengalami peningkatan kepadatan kendaraan dan pertumbuhan konsumsi bahan bakar fosil.

Berdasarkan perbedaan tingkat emisi pada setiap lokasi, beberapa langkah pengelolaan dapat diterapkan untuk menekan emisi karbon, antara lain: (1) manajemen lalu lintas berkelanjutan seperti pengaturan lampu lalu lintas dan rekayasa jalan untuk mengurangi kemacetan; (2) mendorong penggunaan kendaraan ramah lingkungan seperti kendaraan listrik dan hybrid; (3) memperluas ruang terbuka hijau terutama pada lokasi dengan emisi tertinggi seperti Padang Jati; serta (4) meningkatkan penggunaan transportasi umum untuk menekan dominasi kendaraan pribadi. Pendekatan ini dapat membantu menurunkan emisi gas rumah kaca sekaligus meningkatkan kualitas udara di wilayah penelitian.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan adanya ketidakseimbangan antara besarnya emisi karbon dari kendaraan bermotor dan kapasitas penyerapan karbon oleh vegetasi pada setiap lokasi pengamatan. Total emisi CO dan CO₂ pada ruas jalan Padang Jati, Hibrida, Pagar Dewa, dan Sukarami mencapai 1.385.942,09 gram CO dan 2.177.909,00 gram CO₂, dengan Sukarami tercatat sebagai kawasan dengan emisi tertinggi, terutama berasal dari kendaraan berbahan bakar bensin. Sementara itu, kapasitas serapan karbon tertinggi terdapat pada vegetasi di Padang Jati dengan cadangan biomassa terbesar, sedangkan lokasi lain menunjukkan kemampuan serapan yang lebih rendah akibat dominasi vegetasi berukuran kecil. Secara keseluruhan, biomassa vegetasi belum mampu mengimbangi tingginya emisi karbon yang dihasilkan kendaraan, sehingga kelebihan karbon tetap terlepas ke atmosfer. Temuan ini menegaskan perlunya upaya mitigasi, antara lain melalui peningkatan penanaman pohon berdiameter besar, pengurangan penggunaan kendaraan berbahan bakar fosil, pengembangan transportasi ramah lingkungan, serta penataan ruang kota yang mendukung keberlanjutan lingkungan.

REKOMENDASI

Berdasarkan temuan penelitian ini, disarankan agar dilakukan penelitian lanjutan yang lebih mendalam terkait hubungan antara tingkat emisi karbon dan variasi struktur vegetasi di wilayah perkotaan, khususnya dalam konteks pengelolaan ruang terbuka hijau yang adaptif terhadap perubahan iklim. Pemantauan jangka panjang terhadap fluktuasi emisi dan perubahan tutupan vegetasi juga diperlukan untuk memperoleh gambaran yang lebih akurat mengenai keseimbangan karbon. Selain itu, penting untuk mengembangkan model perhitungan karbon yang mempertimbangkan faktor-faktor lokal seperti jenis kendaraan dominan, pola lalu lintas harian, serta pertumbuhan dan kesehatan vegetasi dari waktu ke waktu. Hambatan yang mungkin dihadapi dalam pengembangan penelitian ini meliputi keterbatasan data lapangan yang akurat dan konsisten, perubahan kebijakan tata ruang yang dinamis, serta keterbatasan partisipasi masyarakat dalam pelestarian lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan kerja samanya dalam pelaksanaan penelitian ini, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Admaja, W. K., Nasirudin, & Sriwinarno, H. (2018). Identifikasi dan analisis jejak karbon (carbon footprint) dari penggunaan listrik di Institut Teknologi Yogyakarta. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 18(2).
- Andita, A., & Hidayati, N. I. (2025). Assessing CO₂ absorption of urban trees using NDVI, SAVI, and MSARVI in Salatiga, Indonesia. *International Journal of Geoinformatics*, 21(4), 18–34.
- Rumiati, A. (2005). *Harapan masyarakat terhadap perkembangan sosok pemimpin dan masa depan Kota Surabaya*. Surabaya: ITS Press.
- Dhakal, S. (2010). GHG emissions from urbanization and opportunities for urban carbon mitigation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2, 277–283.
- Hanafi, N., & Bernardianto, R. B. (2012). Pendugaan cadangan karbon pada sistem penggunaan lahan di areal PT Sikatan Wana Raya. *Media Sains*, 4(2).
- Hanna, D. E., Raudsepp-Hearne, C., & Bennett, E. M. (2020). Effects of land use, cover, and protection on stream and riparian ecosystem services and biodiversity. *Conservation Biology*, 34(1), 244–255.
- Indriyanto. (2017). *Ekologi hutan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- IPCC. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Khairi, A. G. (2020). *Estimasi reduksi jejak karbon* (Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Universitas Batanghari, Jambi).
- Komiyama, A., Ong, J. E., & Pongpan, S. (2008). Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89, 128–137.
- Manafe, G., Kaho, M. R., Risamasu, F., & Adisucipto, J. (2016). Estimasi biomassa permukaan dan stok karbon pada tegakan *Avicennia marina* dan *Rhizophora mucronata* di perairan pesisir Oebelo Kabupaten Kupang. *Jurnal Bumi Lestari*, 16(2), 163–173.
- Mejupan, E. (2001). *Pengukuran biomassa dan kandungan hara kalsium (Ca) di atas permukaan tanah pada hutan rawa gambut* (Studi kasus di HPH PT Diamond Raya Timber, Riau). Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.

- Nugrahayu, Q., Nurjannah, N., Khumaira, & Hakim, L. (2017). Estimasi emisi CO₂ dari sektor permukiman di Kota Yogyakarta menggunakan IPCC Guidelines. Yogyakarta.
- Novalia, T. (2017). Neraca Lahan Indonesia: Penyusunan neraca lahan Indonesia untuk mendukung implementasi Sustainable Development Goals. *Jurnal ...*, 245–254.
- Rahmatika, I., Hidayati, I. N., Suharyadi, R., & Nurjani, E. (2023). Carbon stock estimation from vegetation biomass using SPOT-7 imagery. *The Indonesian Journal of Geography*, 55(3), 385–396.
- Saepudin, A., & Admono, T. (2005). Kajian pencemaran udara akibat emisi kendaraan bermotor di DKI Jakarta. *Teknologi Indonesia*, 8(1), 29–39.
- Setyowati, D. (2008). *Dasar-dasar ekologi tumbuhan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.