E-ISSN: 3025-0994
Halaman 5183-5194
Volume 4 Nomor 4 Tahun 2026

Evaluasi Kecukupan Ruang Terbuka Hijau Terhadap Emisi CO_2 Berbasis SIG dan Analisis Ketidakpastian di Kota Bogor

Maizura Azizah Sekar Ayuningrum[1], Bima Rio Ramdhan[2], Faridh Faqih[3], Muhammad Rifky Anugrah[4], Widya Kartika Laksmawati[5]

[1]Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta
[2,3,4,5] Program Studi Agribisnis, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta
e-mail: widya.kartika@uinjkt.ac.id

Abstrak

Penilaian kecukupan ruang terbuka hijau sebagai penyerap karbon dioksida di Indonesia umumnya membandingkan emisi dengan daya serap vegetasi, tetapi jarang menguji kepekaan hasilnya terhadap koefisien serapan dan definisi ruang terbuka hijau. Penelitian ini bertujuan menyusun neraca emisi dan serapan karbon dioksida pada enam kecamatan di Kota Bogor serta menilai kekokohan status kecukupan ruang terbuka hijau. Emisi dari sektor transportasi, gas minyak cair rumah tangga, dan peternakan dihitung dengan pendekatan tingkat dasar IPCC, lalu diintegrasikan dengan tiga skenario luas ruang terbuka hijau, empat koefisien serapan dari literatur, dan simulasi Monte Carlo sebanyak 20.000 kali dalam Sistem Informasi Geografis. Total emisi ketiga sektor sebesar 341.885 ton setara karbon dioksida per tahun atau 0,30 ton per jiwa, dengan transportasi sebagai penyumbang terbesar (71,4%). Dengan koefisien berbasis ekologi, ruang terbuka hijau eksisting hanya menyerap 4,2–12,4% emisi tiap kecamatan, dan netralisasi penuh memerlukan ruang terbuka hijau seluas dua hingga empat kali luas kecamatan. Sebaliknya, koefisien serapan tinggi yang lazim dipakai dalam studi nasional membalik kesimpulan menjadi cukup di seluruh kecamatan. Koefisien serapan menjelaskan hampir seluruh variasi hasil, jauh melebihi pengaruh luas ruang terbuka hijau dan besaran emisi. Ruang terbuka hijau Kota Bogor karenanya perlu diposisikan sebagai pelengkap, bukan pengganti, mitigasi emisi di sektor transportasi dan energi rumah tangga.

Kata Kunci: Emisi Karbon Dioksida; Ruang Terbuka Hijau; Neraca Karbon; Analisis Ketidakpastian; Sistem Informasi Geografis

Abstract

Assessments of green open space adequacy as a carbon dioxide sink in Indonesia typically compare emissions with vegetation uptake, yet rarely test how sensitive the verdict is to the sequestration coefficient and the definition of green open space. This study aimed to

construct a carbon dioxide emission and sequestration balance for six districts of Bogor City and to evaluate the robustness of green open space adequacy. Emissions from road transport, household liquefied petroleum gas, and livestock were estimated with the IPCC Tier 1 approach and combined with three green open space scenarios, four literature-based sequestration coefficients, and 20,000 Monte Carlo simulations within a Geographic Information System. Emissions from the three sectors total 341,885 tonnes of carbon dioxide equivalent per year, or 0.30 tonnes per capita, with transport as the largest contributor (71.4%). Under ecologically grounded coefficients, existing green open space offsets only 4.2–12.4% of district emissions, and full neutralisation requires green space of two to four times each district area. Conversely, the high coefficient commonly used in national studies reverses the verdict to adequate in every district. The sequestration coefficient explains almost all variation in the results, far exceeding the influence of green space area and emissions. Green open space in Bogor should therefore complement, not replace, emission mitigation in the transport and household energy sectors.

Keywords: Carbon Dioxide Emissions; Green Open Space; Carbon Balance; Uncertainty Analysis; Geographic Information System

LATAR BELAKANG

Kawasan perkotaan menyumbang sebagian besar emisi CO_2 global dari energi, sehingga kota menjadi unit penting dalam mitigasi perubahan iklim (Seto et al., 2014; IPCC, 2023). Vegetasi perkotaan menyerap CO_2 melalui fotosintesis dan menyimpannya dalam biomassa, sehingga ruang terbuka hijau (RTH) sering diposisikan sebagai instrumen mitigasi (Nowak et al., 2013). Namun, kajian lintas kota menunjukkan bahwa serapan vegetasi perkotaan umumnya hanya mengimbangi sebagian kecil emisi antropogenik (Pataki et al., 2011; Velasco et al., 2013; Weissert et al., 2014). Keterbatasan ruang membuat pohon kota lebih menjanjikan untuk adaptasi daripada mitigasi (Pataki et al., 2021), meskipun penanaman di halaman permukiman tetap dapat menambah cadangan karbon secara berarti (Ariluoma et al., 2021).

Di Indonesia, Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 dan Peraturan Menteri ATR/BPN Nomor 14 Tahun 2022 menetapkan RTH minimal 30% dari luas wilayah kota, terdiri atas 20% RTH publik dan 10% RTH privat. Kota Bogor belum memenuhi target tersebut: persentase RTH publik tahun 2023 tercatat 4,23% atau sekitar 470,83 ha (Pemerintah Kota Bogor, 2024). Sementara itu, jumlah penduduk mencapai 1.127.408 jiwa pada akhir 2023, dan aktivitas transportasi sebagai kawasan penyangga Jabodetabek terus meningkat. Kajian terbaru di pusat kota bahkan menunjukkan bahwa Alun-Alun Kota Bogor perlu diintensifkan vegetasinya untuk menjalankan fungsi penyerap emisi transportasi (Qanitah et al., 2026).

Sejumlah penelitian nasional menilai kecukupan RTH dengan membandingkan emisi CO_2 terhadap daya serap vegetasi berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) (Roshintha & Mangkoedihardjo, 2016; Miharja et al., 2018; Handayani et al., 2020; Rachmayanti & Mangkoedihardjo, 2020; Ramadhan et al., 2021; Malioy et al., 2022; Sarasidehe et al.,

2022). Untuk Kota Bogor, kajian sebelumnya melaporkan emisi kota 2,54 juta t CO_2 pada 2012 dengan serapan 113.893 t (Rasyidta Nur & Purnomo, 2015), sedangkan kajian lain memperkirakan daya serap RTH 1,61 juta t CO_2/tahun berdasarkan tutupan lahan (Risyani & Bahtiar, 2022). Perbedaan serapan lebih dari sepuluh kali lipat untuk kota yang sama mengisyaratkan bahwa pilihan koefisien serapan, bukan kondisi lapangan, dapat menentukan kesimpulan.

Literatur tersebut menyisakan tiga celah metodologis. Pertama, koefisien serapan pohon sebesar 569,07 t CO_2/ha/tahun (Prasetyo et al., 2002 dalam Risyani & Bahtiar, 2022) banyak digunakan tanpa diuji terhadap laju pertumbuhan biomassa yang dipublikasikan untuk IPCC, padahal laju pertumbuhan hutan tropis Asia berada pada orde beberapa ton bahan kering per hektare per tahun (Requena Suarez et al., 2019). Kedua, metode berbasis *box model* (Ramadhan et al., 2021) membandingkan laju massa CO_2 di udara dengan daya serap tahunan, yang secara dimensi bukan neraca massa. Ketiga, hampir tidak ada studi yang melaporkan ketidakpastian atau analisis sensitivitas, padahal ketidakpastian estimasi serapan karbon kota tergolong besar (Tigges & Lakes, 2017).

Penelitian ini mengisi celah tersebut melalui tiga kontribusi, yaitu neraca emisi dan serapan CO_2 per kecamatan dengan satuan dan definisi yang konsisten, perbandingan sistematis empat koefisien serapan dan tiga definisi RTH, serta kuantifikasi ketidakpastian dan sensitivitas global. Tujuan penelitian adalah menghitung emisi CO_2 sektor transportasi, LPG rumah tangga, dan peternakan per kecamatan; menghitung daya serap dan rasio serapan RTH pada berbagai skenario; menentukan kebutuhan RTH untuk netralisasi emisi; dan menilai kekokohan hasil terhadap ketidakpastian input.

METODE

Penelitian dilakukan di Kota Bogor (6°26′–6°41′ LS; 106°43′–106°51′ BT) yang terdiri atas enam kecamatan dengan luas total 11.138,42 ha menurut Peraturan Daerah Kota Bogor Nomor 7 Tahun 2023 (Pemerintah Kota Bogor, 2023). Angka ini konsisten dengan poligon batas kecamatan Kementerian Dalam Negeri (2020) yang dihitung ulang pada proyeksi UTM 48S (11.176 ha; selisih 0,3%). Kota ini beriklim tropis basah dengan curah hujan 3.500–4.000 mm/tahun dan suhu rata-rata sekitar 26 °C (Pemerintah Kota Bogor, 2025a). Data yang digunakan meliputi batas administrasi kecamatan (Kementerian Dalam Negeri, 2020), jumlah penduduk semester II 2023 dari Disdukcapil (Pemerintah Kota Bogor, 2024), serta data aktivitas berupa jumlah kendaraan, konsumsi LPG, dan populasi ternak dari BPS Kota Bogor. Luas RTH disusun dalam tiga skenario: S1 berupa taman dan jalur hijau terkelola (Pemerintah Kota Bogor, 2025b), S2 berupa RTH eksisting per kecamatan (Hidayat et al., 2025), dan S3 berupa tutupan vegetasi skala kota dari BIG dan Amrin et al. (2023).

Skenario S1 hanya mencakup taman dan jalur hijau yang dikelola pemerintah (51,17 ha), sebanding dengan indikator RTH publik terkelola Kota Bogor sebesar 47,96 ha pada 2023 (Pemerintah Kota Bogor, 2024). Skenario ini tidak mencakup Kebun Raya Bogor, hutan kota, pemakaman, dan RTH privat sehingga dipakai sebagai batas bawah. Skenario S2 (2.547,96 ha) dipakai sebagai skenario utama, sedangkan S3 menggunakan tutupan vegetasi berbasis citra (3.482–4.644 ha) yang hanya tersedia pada skala kota.

Emisi dihitung dengan pendekatan Tier 1 IPCC (2006), yaitu data aktivitas dikalikan faktor emisi, sebagaimana lazim dipakai dalam inventarisasi emisi transportasi kota di Indonesia (Rahmasari et al., 2023):

$$E_k = E_{\text{trans,k}} + E_{\text{LPG,k}} + E_{\text{ternak,k}} \quad (1)$$

$$E_{s,k} = \sum_i AD_{s,i,k} \times EF_{s,i} \quad (2)$$

E adalah emisi (t CO_2e/tahun) kecamatan k, AD data aktivitas, dan EF faktor emisi. Emisi transportasi dihitung dari konsumsi bahan bakar dengan faktor emisi 69.300 kg CO_2/TJ untuk bensin dan 74.100 kg CO_2/TJ untuk solar. Emisi LPG menggunakan nilai kalor 47,3 TJ/Gg dan faktor emisi 63.100 kg CO_2/TJ, setara 2,985 t CO_2 per ton LPG. Emisi peternakan dari fermentasi enterik dan pengelolaan kotoran dikonversi ke CO_2e dengan GWP_{100}. Densitas emisi (E/luas) dan emisi per kapita (E/penduduk) dihitung sebagai indikator pembanding.

Daya serap aktual (DSA) dihitung sebagai luas RTH dikalikan koefisien serapan k (persamaan 3). Empat nilai k dibandingkan (Tabel 1). Koefisien berbasis IPCC diturunkan dari laju pertumbuhan biomassa atas hutan sekunder muda tropis Asia, yaitu ΔAGB = 3,4 t bahan kering/ha/tahun (Requena Suarez et al., 2019), nisbah akar-tajuk R = 0,37, dan fraksi karbon CF = 0,47 (IPCC, 2006), sebagaimana persamaan 4.

$$DSA_k = A_{\text{RTH,k}} \times k \quad (3)$$

$$k_{\text{IPCC}} = \Delta\text{AGB} \times (1 + R) \times \text{CF} \times \frac{44}{12} = 8{,}03 \quad (4)$$

Tabel 1. Koefisien serapan CO_2 yang dibandingkan

Koefisien	k (t CO_2/ha/tahun)	Dasar	Peran dalam analisis
Hutan sekunder muda Asia	8,03	Requena Suarez et al. (2019); IPCC (2006)	Rezim ekologis
Pohon perkotaan	10,27	0,28 kg C/m^2 tajuk/tahun (Nowak et al., 2013)	Rezim ekologis, skenario utama
Rumus S metode acuan	276,8	$S = 0{,}2278 \cdot e^{0{,}0048 \cdot I}$, I = 1.000 (Ramadhan et al., 2021)	Pembanding
Pohon (Prasetyo et al., 2002)	569,07	Risyani & Bahtiar (2022)	Pembanding literatur nasional

Rasio serapan R dan kebutuhan RTH untuk netralisasi penuh (A*) dihitung dengan persamaan 5 dan 6. Nilai R ≥ 1 berarti RTH cukup menetralkan emisi. Nilai R kontinu dipakai sebagai pengganti klasifikasi Guttman tiga kelas karena kelas berinterval sama pada enam unit analisis sangat dipengaruhi nilai ekstrem.

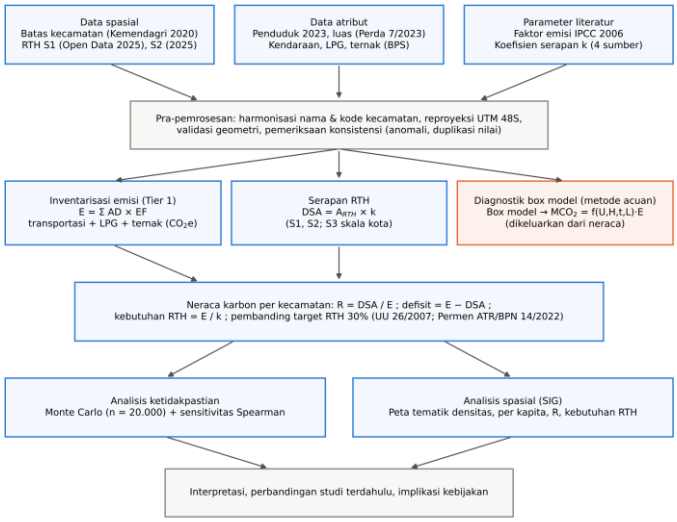
$$R_k = \frac{DSA_k}{E_k} \quad (5)$$

$$A^*_{\text{RTH,k}} = \frac{E_k}{k} \quad (6)$$

Pada metode acuan, emisi dikonversi menjadi laju massa CO_2 di udara (MCO_2) dengan *box model*. Substitusi persamaan konsentrasi, volume, dan massa menghasilkan persamaan 7, dengan U kecepatan angin, t waktu, dan A luas wilayah. MCO_2 dengan demikian hanya merupakan emisi yang dikalikan faktor meteorologis sehingga tidak dapat dibandingkan dengan serapan tahunan sebagai neraca massa. Oleh karena itu, *box model* hanya dilaporkan sebagai diagnostik.

$$MCO_2 = E \times \frac{L}{U\,t}\left(1 - \mathrm{e}^{-Ut/L}\right),\ L = \sqrt{A} \quad (7)$$

Ketidakpastian dikuantifikasi dengan simulasi Monte Carlo (n = 20.000). Pengali emisi diasumsikan log-normal dengan median 1 dan simpangan 0,20 (transportasi), 0,10 (LPG), dan 0,40 (peternakan), mengikuti rentang ketidakpastian Tier 1 IPCC (2006). Luas RTH S2 diberi pengali seragam 0,75–1,25. Koefisien rezim ekologis diasumsikan log-normal dengan median 9,0 (selang 95% ≈ 4,1–19,7), sedangkan rezim Prasetyo log-normal dengan median 569,07. Sensitivitas global dinilai dengan korelasi peringkat Spearman antara setiap input dan R kota (Saltelli et al., 2008). Seluruh analisis dijalankan dengan Python (pandas, GeoPandas, SciPy, Matplotlib) di Google Colab dan diverifikasi dengan QGIS. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

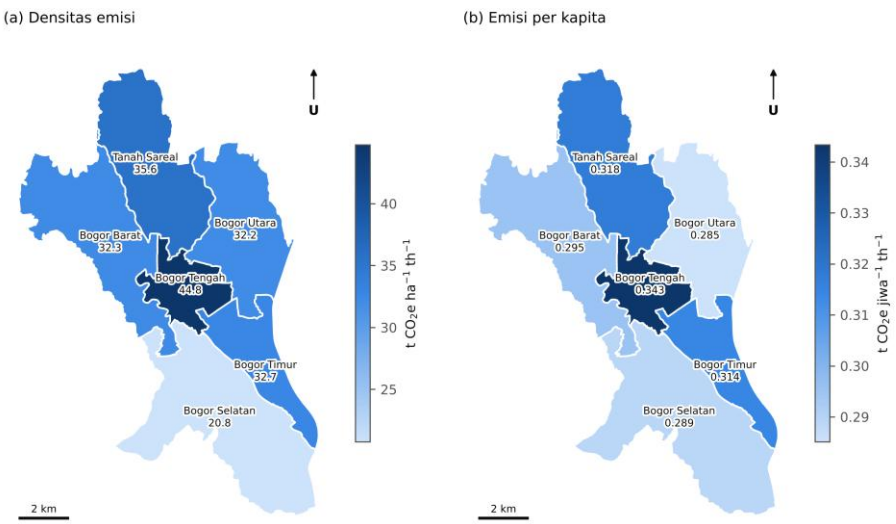
HASIL DAN PEMBAHASAN

Total emisi tiga sektor di Kota Bogor sebesar 341.885 t CO_2e/tahun atau 0,30 t per jiwa (Tabel 2). Transportasi menyumbang 244.267 t (71,4%), LPG rumah tangga 94.327 t (27,6%), dan peternakan 3.291 t (1,0%). Bogor Barat dan Tanah Sareal merupakan penyumbang absolut terbesar, sedangkan Bogor Tengah memiliki densitas emisi tertinggi (44,8 t/ha) dan emisi per kapita tertinggi (0,343 t/jiwa), sesuai perannya sebagai pusat kota dan simpul transportasi (Gambar 2). Emisi LPG setara konsumsi 27,0–29,9 kg LPG per jiwa

per tahun, konsisten dengan asumsi 109,8 kg per rumah tangga per tahun pada metode acuan.

Tabel 2. Emisi CO_2 per sektor dan indikator per kecamatan

Kecamatan	Luas (ha)	Penduduk (jiwa)	Transportasi (t)	LPG (t)	Ternak (t CO_2e)	Total (t CO_2e)	Per kapita (t/jiwa)	Densitas (t/ha)
Bogor Selatan	3.050,05	219.309	44.502	17.699	1.126	63.326	0,289	20,8
Bogor Timur	1.048,00	108.919	24.367	9.734	140	34.242	0,314	32,7
Bogor Utara	1.812,14	204.454	41.214	16.847	230	58.291	0,285	32,2
Bogor Tengah	836,67	109.057	28.106	9.308	32	37.447	0,343	44,8
Bogor Barat	2.331,55	254.629	54.097	20.812	302	75.211	0,295	32,3
Tanah Sareal	2.060,01	231.040	51.980	19.927	1.460	73.368	0,318	35,6
Kota Bogor	**11.138,42**	**1.127.408**	**244.267**	**94.327**	**3.291**	**341.885**	**0,303**	**30,7**



Gambar 2. (a) Densitas emisi dan (b) emisi per kapita per kecamatan di Kota Bogor

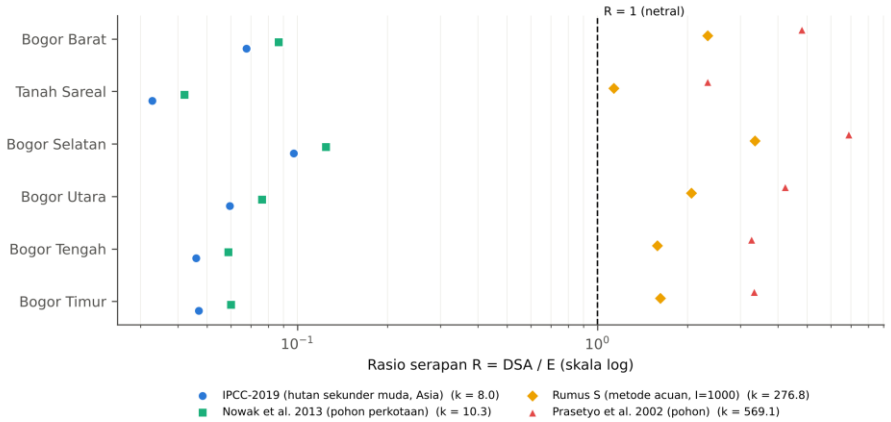
Jika *box model* metode acuan diterapkan dengan parameter seragam (luas 20 km^2, kecepatan angin 2 m/s, tinggi lapisan 500 m, dan waktu 3.600 s), MCO_2 bernilai tepat 0,497 kali emisi di semua kecamatan sehingga klasifikasinya identik dengan klasifikasi emisi. Dengan luas aktual, faktor tersebut berubah menjadi 0,37 (Bogor Tengah) sampai 0,56

(Bogor Selatan) dan mengubah peringkat kecamatan tanpa ada perubahan emisi. Temuan ini menegaskan bahwa MCO_2 merupakan artefak parameter dan tidak layak dipakai sebagai neraca.

Status kecukupan RTH ternyata ditentukan oleh koefisien serapan yang dipilih (Gambar 3). Dengan koefisien ekologis dan RTH eksisting (S2), rasio serapan berkisar 0,042 (Tanah Sareal) sampai 0,124 (Bogor Selatan), dengan rasio kota 0,077 (k = 10,27) atau 0,060 (k = 8,03). Dengan koefisien Prasetyo, rasio yang sama naik menjadi 2,33–6,89 sehingga seluruh kecamatan berstatus cukup. Pola yang sama terlihat pada skala kota untuk semua skenario luas RTH (Tabel 3).

Tabel 3. Rasio serapan R skala kota menurut skenario luas RTH dan koefisien k (t CO_2/ha/tahun)

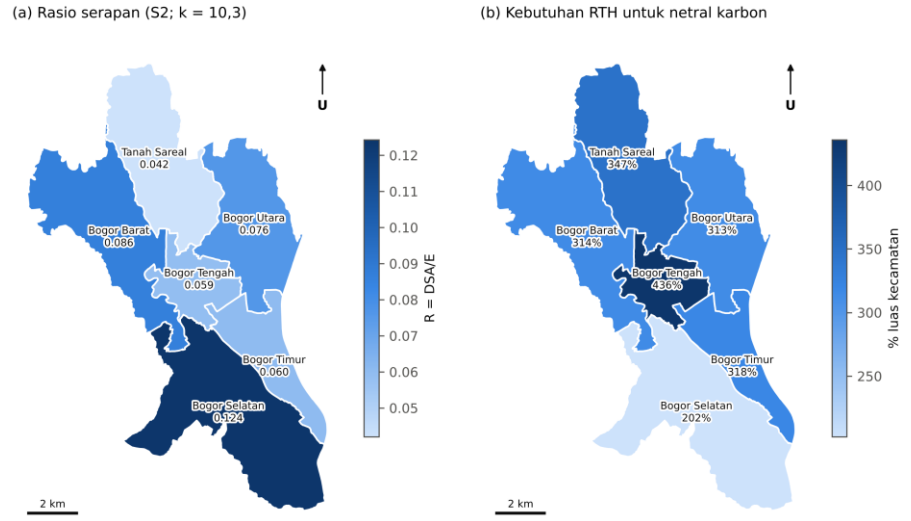
Skenario luas RTH	Luas (ha)	k = 8,03	k = 10,27	k = 276,8	k = 569,07
S1 Taman dan jalur hijau terkelola	51,17	0,001	0,002	0,041	0,085
S2 RTH eksisting	2.547,96	0,060	0,077	2,06	4,24
S3 Vegetasi, perkebunan, sawah (BIG 2019)	3.482	0,082	0,105	2,82	5,80
S3 RTH citra (Amrin et al., 2023)	4.644	0,109	0,140	3,76	7,73



Gambar 3. Rasio serapan R per kecamatan (skenario S2) menurut empat koefisien serapan; garis putus-putus menandai R = 1

Pada skenario S1, R kurang dari 0,1 untuk semua koefisien, sehingga definisi RTH yang sempit selalu menghasilkan status kurang. Dengan k = 10,27, netralisasi penuh memerlukan RTH 33.290 ha atau 3,0 kali luas kota. Per kecamatan, kebutuhan ini setara 202% (Bogor Selatan) sampai 436% (Bogor Tengah) dari luas wilayahnya (Gambar 4).

Bahkan jika target RTH 30% terpenuhi, serapannya hanya menetralkan 6,9–14,8% emisi kecamatan.



Gambar 4. (a) Rasio serapan R pada skenario S2 dengan k = 10,27; (b) kebutuhan RTH untuk netralisasi penuh sebagai persentase luas kecamatan

Simulasi Monte Carlo menguatkan bahwa kesimpulan bergantung pada rezim koefisien, bukan pada ketidakpastian emisi atau luas RTH (Tabel 4). Pada rezim ekologis, batas atas selang 95% tertinggi hanya 0,26, sehingga tidak ada satu simulasi pun yang menghasilkan RTH cukup. Analisis sensitivitas global menunjukkan koefisien serapan mendominasi variasi R (ρ = 0,99), diikuti luas RTH (ρ = 0,11) dan emisi transportasi (ρ = −0,10), sedangkan emisi LPG dan peternakan hampir tidak berpengaruh ($|\rho| \leq 0{,}02$).

Tabel 4. Ringkasan simulasi Monte Carlo (n = 20.000) untuk skenario S2

Kecamatan	R median (ekologis)	Selang 95%	P(R ≥ 1)	R median (Prasetyo)	Selang 95%	P(R ≥ 1)
Bogor Selatan	0,107	0,044–0,257	0,000	6,75	3,32–13,94	1,000
Bogor Barat	0,074	0,031–0,180	0,000	4,70	2,30–9,71	1,000
Bogor Utara	0,066	0,027–0,158	0,000	4,14	2,03–8,54	1,000
Bogor Timur	0,052	0,022–0,125	0,000	3,27	1,60–6,73	0,9995
Bogor Tengah	0,051	0,021–0,123	0,000	3,20	1,56–6,65	0,9994
Tanah Sareal	0,036	0,015–0,087	0,000	2,28	1,12–4,71	0,989

Koefisien 569,07 t CO_2/ha/tahun setara 155 t C/ha/tahun. Angka ini sekitar 30 kali laju pertumbuhan biomassa tertinggi hutan sekunder muda tropis yang dirangkum Requena

Suarez et al. (2019), yaitu 7,6 t bahan kering/ha/tahun di Afrika atau sekitar 18 t CO_2/ha/tahun termasuk akar, dan sekitar 55 kali laju serapan pohon perkotaan menurut Nowak et al. (2013). Kesimpulan cukup yang diperoleh dengan koefisien tersebut, atau dengan rumus S yang satuan intensitas cahayanya tidak terdefinisi, karena itu perlu ditafsirkan sangat hati-hati.

Hasil rezim ekologis konsisten dengan bukti independen untuk Kota Bogor. Rasyidta Nur & Purnomo (2015) melaporkan serapan 113.893 t terhadap emisi 2,54 juta t pada 2012, atau rasio sekitar 0,045, yang berada dalam selang Monte Carlo penelitian ini (0,015–0,257). Sebaliknya, estimasi serapan 1,61 juta t/tahun oleh Risyani & Bahtiar (2022) bergantung pada koefisien Prasetyo dan menghasilkan surplus serapan untuk seluruh kota. Pola ini sejalan dengan literatur internasional: Velasco et al. (2013) menemukan bahwa vegetasi di kawasan permukiman tropis Singapura hanya mengimbangi sebagian kecil emisi lokal, dan Weissert et al. (2014) menyimpulkan bahwa kontribusi hutan kota terhadap pengurangan CO_2 perkotaan umumnya kecil dibanding emisinya. Klaim kecukupan RTH dalam sebagian studi nasional (Ramadhan et al., 2021; Risyani & Bahtiar, 2022) dengan demikian kemungkinan dipengaruhi pilihan koefisien.

Secara spasial, Tanah Sareal memiliki rasio serapan terendah (0,042) dengan emisi absolut tertinggi kedua sehingga menjadi prioritas pertama penambahan RTH dan pengendalian emisi transportasi. Bogor Tengah memiliki densitas emisi tertinggi dan kebutuhan RTH 4,4 kali luas wilayahnya; ruang terbangun yang padat membuat intervensi di kecamatan ini lebih efektif dilakukan pada sumber emisi. Bogor Selatan memiliki rasio tertinggi karena masih memiliki RTH eksisting terluas (766,75 ha), sehingga konservasi RTH di kecamatan ini lebih bernilai daripada penambahan baru, mengingat kehilangan cadangan karbon akibat alih fungsi lahan jauh melebihi serapan tahunan.

Karena RTH 30% pun hanya menetralkan 6,9–14,8% emisi kecamatan, RTH sebaiknya tidak dijadikan indikator utama netral karbon. Fungsi RTH tetap penting untuk iklim mikro, resapan air, kualitas udara, dan kesehatan, tetapi mitigasi CO_2 perlu bertumpu pada sektor transportasi melalui peningkatan angkutan umum dan pengalihan moda, serta pada sektor LPG melalui efisiensi dan diversifikasi energi rumah tangga. Bagi perencana, kebutuhan RTH lebih tepat dinyatakan sebagai rasio serapan beserta selang ketidakpastiannya daripada klasifikasi biner.

Keterbatasan penelitian ini adalah inventarisasi yang hanya mencakup tiga sektor sehingga R yang dilaporkan merupakan batas atas, skenario S2 yang tidak merinci jenis RTH, serta alokasi emisi transportasi menurut domisili kendaraan. Peta tutupan vegetasi berbasis citra resolusi tinggi, seperti ESA WorldCover 10 m (Zanaga et al., 2022), dianjurkan untuk penelitian lanjutan.

SIMPULAN

RTH eksisting Kota Bogor belum mampu menetralkan emisi CO_2 sektor transportasi, LPG, dan peternakan di kecamatan mana pun; dengan koefisien berbasis ekologi, RTH hanya menyerap 4,2–12,4% emisi. Kesimpulan ini kokoh terhadap ketidakpastian emisi dan luas RTH, tetapi berbalik bila digunakan koefisien 569 t CO_2/ha/tahun. Pemerintah Kota Bogor disarankan memprioritaskan mitigasi transportasi dan energi rumah tangga,

mempertahankan RTH di Bogor Selatan, serta menambah RTH di Tanah Sareal. Peneliti selanjutnya disarankan menggunakan koefisien serapan lokal dan peta vegetasi berbasis citra.

DAFTAR PUSTAKA

Amrin, F., Sitorus, S.R.P. & Zafrullah, R.M. 2023. Analisis Spasial Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau untuk Mendukung Program Green City Kota Bogor. *Jurnal Teknik*, 24(1): 11–17.

Ariluoma, M., Ottelin, J., Hautamäki, R., Tuhkanen, E.M. & Mänttäri, M. 2021. Carbon Sequestration and Storage Potential of Urban Green in Residential Yards: A Case Study from Helsinki. *Urban Forestry & Urban Greening*, 57: 126939. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126939

Handayani, C.N., Sukmono, A. & Firdaus, H.S. 2020. Analisis Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau terhadap Emisi CO_2 oleh Gas Buang Kendaraan Bermotor di Kelurahan Tembalang dan Sumurboto. *Jurnal Geodesi Undip*, 9(2): 198–207.

Hidayat, J.T., Febriani, Y. & Karmadi, F.K.D. 2025. Pemenuhan Kualitas Ruang Terbuka Hijau Publik di Kota Bogor. *COMSERVA: Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, 5(2): 730–742.

IPCC. 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Vol. 2 (Energy) dan Vol. 4 (Agriculture, Forestry and Other Land Use). Hayama: IGES.

IPCC. 2023. *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Kementerian Dalam Negeri. 2020. *Batas Administrasi Kecamatan Indonesia* [Data set]. Jakarta: Kementerian Dalam Negeri.

Malioy, V.I.T., Boreel, A. & Loppies, R. 2022. Analisis Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau dalam Menyerap Emisi Karbon Dioksida di Kota Ambon. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*, 6(1): 109–118.

Miharja, F.J., Husamah & Muttaqin, T. 2018. Analisis Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau sebagai Penyerap Emisi Gas Karbon di Kota dan Kawasan Penyangga Kota Malang. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan*, 2(3): 165–174.

Nowak, D.J., Greenfield, E.J., Hoehn, R.E. & Lapoint, E. 2013. Carbon Storage and Sequestration by Trees in Urban and Community Areas of the United States. *Environmental Pollution*, 178: 229–236. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.019

Pataki, D.E., Carreiro, M.M., Cherrier, J., Grulke, N.E., Jennings, V., Pincetl, S., Pouyat, R.V., Whitlow, T.H. & Zipperer, W.C. 2011. Coupling Biogeochemical Cycles in Urban Environments: Ecosystem Services, Green Solutions, and Misconceptions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(1): 27–36. https://doi.org/10.1890/090220

Pataki, D.E., Alberti, M., Cadenasso, M.L., Felson, A.J., McDonnell, M.J., Pincetl, S., Pouyat, R.V., Setälä, H. & Whitlow, T.H. 2021. The Benefits and Limits of Urban Tree Planting for Environmental and Human Health. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9: 603757. https://doi.org/10.3389/fevo.2021.603757

Pemerintah Kota Bogor. 2023. *Peraturan Daerah Kota Bogor Nomor 7 Tahun 2023 tentang Rencana Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Tahun 2023–2053*. Bogor: Pemerintah Kota Bogor.

Pemerintah Kota Bogor. 2024. *Laporan Penyelenggaraan Pemerintahan Daerah Kota Bogor Tahun 2023*. Bogor: Pemerintah Kota Bogor.

Pemerintah Kota Bogor. 2025a. *Peraturan Wali Kota Bogor Nomor 39 Tahun 2025 tentang Kajian Risiko Bencana Daerah Kota Bogor Tahun 2025–2027*. Bogor: Pemerintah Kota Bogor.

Pemerintah Kota Bogor. 2025b. *Data Luas Ruang Terbuka Hijau per Kecamatan* [Data set]. Bogor: Open Data Kota Bogor.

Qanitah, A.M., Hidayat, J.T. & Febriani, Y. 2026. Analisis Pengembangan Alun-Alun Kota Bogor sebagai Fungsi Ruang Terbuka Hijau Penyerap Emisi Karbon Dioksida (CO_2). *Jurnal Perencanaan Pembangunan Wilayah dan Perdesaan*, 10(1): 1–20.

Rachmayanti, L. & Mangkoedihardjo, S. 2020. Evaluasi dan Perencanaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) Berbasis Serapan Emisi Karbon Dioksida (CO_2) di Zona Tenggara Kota Surabaya (Studi Literatur dan Kasus). *Jurnal Teknik ITS*, 9(2). https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.54854

Rahmasari, R.N., Jati, D.R. & Jumiati, J. 2023. Inventarisasi Emisi dari Sektor Transportasi Darat di Kota Pontianak. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(3): 627–635. https://doi.org/10.14710/jil.21.3.627-635

Ramadhan, R.A., Vitianingsih, A.V., Susilo, Y., Maukar, A.L. & Puspitarini, E.W. 2021. Analisa Spasial Menggunakan Sistem Informasi Geografis untuk Identifikasi Penyerapan Ruang Terbuka Hijau terhadap Emisi Karbondioksida. *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika: JANAPATI*, 10(2): 91–99. https://doi.org/10.23887/janapati.v10i2.30007

Rasyidta Nur, R.P. & Purnomo, H. 2015. Model Simulasi Emisi dan Penyerapan CO_2 di Kota Bogor. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 20(1): 47–52.

Republik Indonesia. 2007. *Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang*. Jakarta: Sekretariat Negara.

Republik Indonesia. 2022. *Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang/Kepala Badan Pertanahan Nasional Nomor 14 Tahun 2022 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau*. Berita Negara Tahun 2022 Nomor 679. Jakarta.

Requena Suarez, D., Rozendaal, D.M.A., De Sy, V., Phillips, O.L., Alvarez-Dávila, E., Anderson-Teixeira, K., et al. 2019. Estimating Aboveground Net Biomass Change for Tropical and Subtropical Forests: Refinement of IPCC Default Rates Using Forest Plot Data. *Global Change Biology*, 25(11): 3609–3624. https://doi.org/10.1111/gcb.14767

Risyani, I. & Bahtiar, R. 2022. Estimasi Nilai Pajak Emisi Kendaraan Angkutan Kota di Kota Bogor. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan*, 9(3): 161–176.

Roshintha, R.R. & Mangkoedihardjo, S. 2016. Analisis Kecukupan Ruang Terbuka Hijau sebagai Penyerap Emisi Gas Karbon Dioksida (CO_2) pada Kawasan Kampus ITS Sukolilo, Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.17510

Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., Saisana, M. & Tarantola, S. 2008. *Global Sensitivity Analysis: The Primer*. Chichester: John Wiley & Sons.

Sarasidehe, P.G., Jati, D.R. & Jumiati, J. 2022. Analisis Kemampuan Vegetasi pada Ruang Terbuka Hijau dalam Menyerap Emisi CO_2 Kendaraan Bermotor di Area Kantor Gubernur Kalimantan Barat. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 6(3): 219–228. https://doi.org/10.26760/jrh.v6i3.219-228

Seto, K.C., Dhakal, S., Bigio, A., Blanco, H., Delgado, G.C., Dewar, D., et al. 2014. Human Settlements, Infrastructure and Spatial Planning. Dalam: Edenhofer, O., et al. (Eds.). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. hlm. 923–1000.

Tigges, J. & Lakes, T. 2017. High Resolution Remote Sensing for Reducing Uncertainties in Urban Forest Carbon Offset Life Cycle Assessments. *Carbon Balance and Management*, 12: 17. https://doi.org/10.1186/s13021-017-0085-x

Velasco, E., Roth, M., Tan, S.H., Quak, M., Nabarro, S.D.A. & Norford, L. 2013. The Role of Vegetation in the CO_2 Flux from a Tropical Urban Neighbourhood. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(20): 10185–10202. https://doi.org/10.5194/acp-13-10185-2013

Weissert, L.F., Salmond, J.A. & Schwendenmann, L. 2014. A Review of the Current Progress in Quantifying the Potential of Urban Forests to Mitigate Urban CO_2 Emissions. *Urban Climate*, 8: 100–125. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.01.002

Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., et al. 2022. *ESA WorldCover 10 m 2021 v200* [Data set]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.7254221