

Analisis Pengembangan Alun-Alun Kota Bogor sebagai Fungsi Ruang Terbuka Hijau Penyerap Emisi Karbon Dioksida (CO₂)

Analysis Development of Bogor City Square as Green Open Space for Carbon Dioxide (CO₂) Emissions Absorption

Adilah Mutiara Qanitah^{1*}, Janthy Trilusianthy Hidayat¹, & Yusi Febriani¹

¹Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan, Jalan Pakuan, Tegallega. Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor. Jawa Barat, 16143, Indonesia; *Penulis korespondensi.

e-mail: adilahmutiaraaq10@gmail.com

(Diterima: 20 November 2025; Perbaikan: 19 Maret 2026; Disetujui: 18 April 2026)

ABSTRACT

The ecological function of green open spaces (GOS) in urban areas as CO₂ absorbers is very important. Motor vehicle transportation increases every year and is one of the largest contributors to CO₂ emissions in urban areas. The presence of urban green open spaces such as the Alun-alun Kota Bogor is vital for maintaining the balance between urban CO₂ emission concentrations and the carbon absorption capacity of vegetation within urban green open spaces. The objective of this study is to evaluate the role of Alun-Alun Kota Bogor as an urban green open space in functioning as a carbon sink by comparing CO₂ emissions generated from surrounding transportation activities with the carbon absorption capacity of existing vegetation. The analytical methods used include descriptive quantitative analysis, encompassing CO₂ emission quantification using the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) analysis method, CO₂ absorption capacity analysis of vegetation using the absorption capacity analysis method, and descriptive analysis to formulate evaluative recommendations based on vegetation recommendations from Ministry of Public Works Regulation No. 5 of 2008 and previous studies. The results indicate that existing vegetation has limited capacity to offset transportation-related CO₂ emissions, suggesting the need for vegetation intensification to enhance the ecological function of the square.

Keywords: carbon sequestration, CO₂ emissions, green open spaces, vegetation.

ABSTRAK

Fungsi ekologis dalam ruang terbuka hijau (RTH) di perkotaan sebagai fungsi penyerap emisi CO₂ sangat penting dimiliki RTH. Kegiatan transportasi dari kendaraan bermotor meningkat setiap tahun dan merupakan salah satu penyumbang terbesar emisi CO₂ di perkotaan. Keberadaan RTH taman kota seperti Alun-alun Kota Bogor sangat penting demi menjaga keseimbangan konsentrasi emisi CO₂ perkotaan dengan kemampuan penyerapan karbon oleh vegetasi di dalam RTH taman perkotaan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi peran Alun-Alun Kota Bogor sebagai RTH perkotaan dalam berfungsi sebagai penyerap karbon dengan membandingkan emisi CO₂ yang dihasilkan dari aktivitas transportasi di sekitarnya dengan kapasitas penyerapan karbon dari vegetasi yang ada. Metode analisis yang digunakan adalah analisis kuantitatif deskriptif, meliputi analisis jumlah emisi CO₂ menggunakan metode analisis Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), analisis kemampuan daya serap CO₂ vegetasi menggunakan metode analisis kemampuan daya serap, dan analisis deskriptif untuk menyusun rekomendasi evaluatif berdasarkan rekomendasi vegetasi Permen Pekerjaan Umum No. 5 Tahun 2008 dan penelitian terdahulu. Hasil penelitian

menunjukkan bahwa vegetasi yang ada memiliki kapasitas terbatas untuk mengimbangi emisi CO₂ yang terkait dengan transportasi, sehingga menunjukkan perlunya intensifikasi vegetasi untuk meningkatkan fungsi ekologis alun-alun tersebut.

Kata kunci: daya serap karbon, emisi CO₂, ruang terbuka hijau, vegetasi.

PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir, Indonesia mengalami peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang signifikan, khususnya gas karbon dioksida (CO₂) meningkat sebesar 10% atau sekitar 1,240 GT CO₂, yang disebabkan oleh proses urbanisasi, pertumbuhan ekonomi, pembangunan infrastruktur, dan peningkatan aktivitas transportasi (Crippa *et al.*, 2023). Transportasi menjadi salah satu sektor utama penyumbang emisi CO₂ di wilayah perkotaan (Pratiwi *et al.*, 2024). Peningkatan transportasi menyebabkan peningkatan emisi yang dilepaskan di udara, Kondisi ini berdampak pada penurunan kualitas udara, kesehatan, dan lingkungan (Akbar, 2023). Oleh karena itu, diperlukan strategi mitigasi emisi yang efektif, salah satunya melalui penyediaan RTH sebagai fungsi penyerap emisi CO₂.

Menurut Undang-undang Nomor 26 Tahun (2007), minimal 30% dari total luas wilayah perkotaan diperuntukkan sebagai RTH. Alun-alun merupakan RTH yang bukan hanya sebuah ruang terbuka dengan fungsi planologis yang mencakup aspek sosial, ekonomi, budaya, dan estetika saja. Adapun keberadaannya juga menjadi ruang yang berperan penting dalam menyaring polutan udara, mengatur iklim mikro, mengatur sirkulasi dan kualitas udara (Permen PU Nomor 5 Tahun 2008). Kedua fungsi tersebut harus seimbang. Namun saat ini implementasi pemanfaatan RTH di perkotaan dinilai belum berfungsi secara optimal terutama dalam mendukung keseimbangan ekologis dan keberlanjutan dan cenderung menitikberatkan pada fungsi estetika dan sosial dibanding ekologis (Hidayat & Ridwan, 2018). Akibatnya dapat menimbulkan berbagai masalah baik kesehatan maupun lingkungan serta berpotensi terjadinya penurunan kualitas udara RTH di perkotaan (Agustina *et al.*, 2024).

Area bervegetasi pada alun-alun, terutama pohon, memiliki kemampuan dalam menyerap CO₂ dari atmosfer dan akan mengubah kembali menjadi O₂ melalui proses fotosintesis sehingga berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim di wilayah perkotaan (Nowak & Greenfield, 2018; Wardhani *et al.*, 2018). Sebagai respons terhadap permasalahan lingkungan dan sejalan dengan upaya nasional, dalam Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021, Indonesia menargetkan penyerapan karbon sebesar 31.89% yang dicapai pada tahun 2030. Sehingga optimalisasi dan penguatan fungsi RTH penting dan diperlukan sebagai penyerap karbon, termasuk kawasan strategis perkotaan seperti Kota Bogor untuk mencapai target tersebut.

Kota Bogor, berdasarkan Laporan GRK Kota Bogor (2023), sebagai salah satu kota penyangga memiliki aktivitas transportasi yang tinggi, sehingga menyebabkan rawan kemacetan dan menyumbang 91.77% emisi CO₂ atau sebesar 2,634,695.51 ton CO₂ dari total emisi. Salah satu kawasan yang terdampak signifikan adalah kawasan Alun-alun Kota Bogor. Dalam konteks tata ruang, menurut Peraturan Daerah Kota Bogor Nomor 6 Tahun 2021 tentang RTRW Kota Bogor Tahun 2011-2031, kawasan ini ditetapkan sebagai bagian dari Pusat Pelayanan Kota (PPK), Kawasan Strategis Kota (KSK) sudut kepentingan ekonomi perdagangan dan jasa. Selain itu, kawasan ini dilalui oleh dua ruas jalan dengan tingkat pelayanan jalan yang rendah kategori D-E, sehingga menjadikan Alun-alun Kota Bogor sebagai salah satu titik potensial penyumbang emisi CO₂. Di sisi lain, sebagai RTH taman kota, kawasan ini memiliki potensi untuk berperan sebagai fungsi ekologis penyerap emisi CO₂, melalui optimalisasi vegetasi sesuai ketentuan tata ruang yang berlaku (Wardhani, *et al.*, 2018). Sesuai dengan ketentuan RDTR Kota Bogor dalam Peraturan Wali Kota Bogor Nomor 5 Tahun 2024, RTH

taman kota harus memenuhi luasan vegetasi atau area hijau setidaknya 80% sampai 90% dari luas tapak dengan Koefisien Dasar Hijau (KDH) minimal 10%.

Berdasarkan latar belakang tersebut, diketahui bahwa fungsi planologis RTH taman kota lebih dominan dibandingkan fungsi ekologisnya, karena peruntukkan utamanya sebagai tempat kegiatan sosial dan budaya masyarakat perkotaan (Permen PU Nomor 5 Tahun 2008). Namun, lokasi yang berada di pusat kota serta kawasan perdagangan dan jasa menyebabkan tingginya volume kendaraan dan emisi CO₂ di kawasan tersebut tinggi (Dishub Kota Bogor, 2023). Emisi CO₂ yang tinggi tanpa diimbangi dengan ketersediaan vegetasi yang cukup sebagai penyerapnya, dapat menimbulkan berbagai masalah kesehatan dan lingkungan (Irwan, 2019; Setyawati *et al.*, 2022). Komposisi vegetasi pada RTH mempunyai fungsi ekologi utama sebagai pereduksi emisi karbon, sehingga berperan penting juga dalam mempertahankan kualitas udara perkotaan (Sarasidehe *et al.*, 2022). Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan vegetasi sebagai elemen utama pembentuk RTH agar tercipta keseimbangan antara fungsi ekologis dan planologis serta meningkatkan kenyamanan masyarakat perkotaan (Direktorat Jenderal Penataan Ruang, 2006). Pengelolaan tersebut juga sejalan dengan pendekatan *nature-based solutions* dalam perencanaan kota yang berperan menjadi aset penting dalam mitigasi perubahan iklim serta peningkatan kualitas lingkungan perkotaan (Emilsson *et al.*, 2017).

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kemampuan Alun-Alun Kota Bogor sebagai RTH dalam menyerap emisi CO₂ yang dihasilkan oleh aktivitas transportasi serta merumuskan arahan peningkatan fungsi ekologisnya melalui pengelolaan vegetasi. Pada penelitian ini menggunakan analisis *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) untuk menghitung besaran emisi CO₂ berdasarkan volume kendaraan (Ni), panjang jalan (L), faktor emisi (Fei), dan konsumsi bahan bakar (Ki). Sedangkan untuk menganalisis kemampuan daya serap CO₂, menggunakan

metode analisis daya serap RTH dengan pendekatan jumlah vegetasi, nilai daya serap, dan luas tajuk vegetasi. Kedua metode analisis ini terpilih karena bersifat kuantitatif dan telah digunakan pada beberapa penelitian menggunakan metode yang sama pada lokasi yang berbeda, seperti pada penelitian Syafaati & Mangkoedihardjo (2020) di Zona Barat Kota Surabaya, penelitian Febriansyah *et al.* (2022) di Kelurahan Kemiling Permai, penelitian Karapang, *et. al.* (2023) di Desa Tumpaan, penelitian Ambarsari (2019) di Alun-alun Kota Batu, dan penelitian Dewi *et al.* (2024) di Universitas Pakuan.

Beberapa studi sebelumnya telah meneliti emisi transportasi perkotaan dan kapasitas penyerapan karbon RTH secara terpisah. Namun, studi yang mengkaji keseimbangan antara keduanya masih terbatas, khususnya pada konteks alun-alun sebagai ruang publik perkotaan. Oleh karena itu, studi ini berupaya mengisi kesenjangan tersebut dengan mengintegrasikan analisis hubungan antara emisi CO₂ transportasi dan kapasitas penyerapan vegetasi di Alun-Alun Kota Bogor untuk memperkuat fungsi ekologis RTH perkotaan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi peran Alun-Alun Kota Bogor sebagai RTH perkotaan dalam berfungsi sebagai penyerap karbon dengan membandingkan emisi CO₂ yang dihasilkan dari aktivitas transportasi di sekitarnya dengan kapasitas penyerapan karbon dari vegetasi yang ada. Pada penelitian ini secara khusus memberikan rekomendasi pengelolaan dan pengembangan fungsi ekologi dengan penambahan vegetasi sesuai dengan kebijakan tata ruang yang belum banyak terdapat pada penelitian sebelumnya. Diharapkan penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca, akademisi, perencana, atau referensi bagi pemerintah dan pengelola kota dalam mengoptimalkan fungsi ekologis agar seimbang dengan planologis RTH.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk menganalisis keseimbangan antara emisi CO₂ dari kendaraan

bermotor dengan kemampuan vegetasi dalam menyerap karbon pada kawasan Alun-Alun Kota Bogor. Penelitian ini dilaksanakan selama 8 bulan, dengan tahapan yang terdiri dari (1) tahap persiapan (1 bulan); (2) tahap pelaksanaan dan survei (2 bulan); dan (3) tahap analisis dan pelaporan (5 bulan). Penelitian ini berlangsung dari Oktober 2024 hingga Mei 2025.

Ruang lingkup wilayah studi tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. Berlokasi di antara 6°35' 46"LS - 106°50'19" BT atau berada di lingkup kawasan Alun-alun Kota Bogor, Kelurahan Cibogor, Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor. Wilayah deliniasi penelitian ini memiliki luas 35,000 m² dengan luas Alun-alun Kota Bogor 17,053 m².

Delineasi atau batas wilayah penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Berada pada kawasan Alun-alun Kota Bogor meliputi empat zona yaitu Zona Botani, Zona Rekreasi dan Olahraga, Zona Plaza, dan Zona Religi, termasuk beberapa jalan terpilih sekitarnya dengan pertimbangan bahwa hanya beberapa jalan yang bersinggungan langsung dengan Alun-alun Kota Bogor, yaitu Jalan Kapten Muslihat, Jalan Dewi Sartika, Jalan Nyi Raja Permas, dan Jalan Masjid Agung Bogor.

Instrumen Penelitian

Instrumen atau alat yang membantu dan digunakan dalam penelitian diantaranya adalah *checklist* data, lembar observasi lapangan, dan alat pendukung observasi: aplikasi *Tally Counter* sebagai penghitung kendaraan pada survei *traffic counting*, aplikasi *PictureThis* untuk mengidentifikasi jenis vegetasi, aplikasi *Arboreal/Smart measure* untuk mengukur tinggi dan panjang tajuk tanaman, dan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) berupa ArcGIS 10.8.

Pengumpulan Data

a. Data Sekunder

Data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu diantaranya peta RTRW Kota Bogor skala 1:25,000 (Badan Pengembangan dan Perencanaan Daerah Kota Bogor, peta RDTR Kota Bogor skala 1:5,000 (Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang

Kota Bogor), dan peta DED Alun-alun Kota Bogor (Dinas Perumahan dan Permukiman Kota Bogor). Selain itu, dibutuhkan data dari studi literatur mengenai nilai faktor emisi kendaraan (Fei), konsumsi bahan bakar (Ki), dan nilai daya serap vegetasi dari beberapa literatur.

b. Data Primer

Pengumpulan data primer pada penelitian ini dilakukan dengan observasi lapangan berupa *traffic counting* untuk menghitung nilai emisi CO₂ dan observasi data vegetasi berupa data jenis, jumlah, dan diameter tajuk vegetasi dengan kategori pohon, perdu/semak, dan *groundcover* untuk menghitung nilai daya serap CO₂ di Alun-alun Kota Bogor.

Traffic counting dilakukan pada empat ruas jalan utama di sekitar Alun-Alun Kota Bogor, yaitu Jalan Kapten Muslihat, Jalan Dewi Sartika, Jalan Nyi Raja Permas, dan Jalan Masjid Agung Bogor atau dapat dilihat pada Tabel 1.

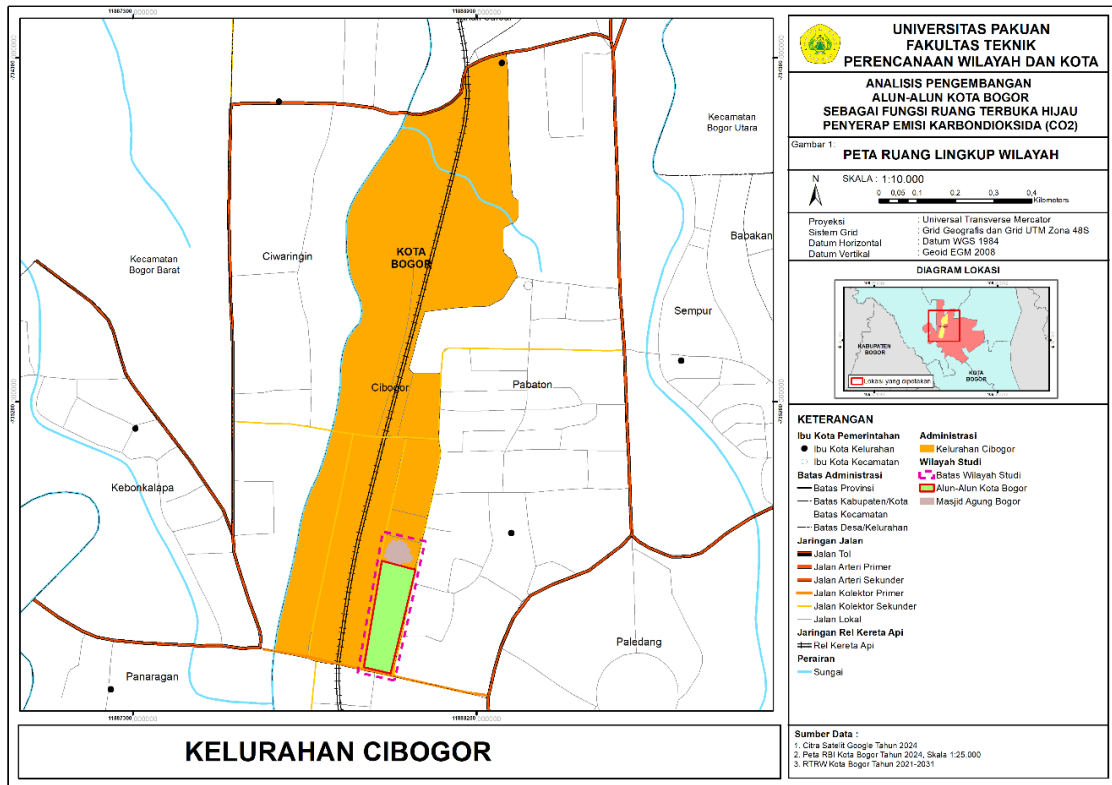
Tabel 1. Panjang Jalan Wilayah Studi

Jalan	Jenis	Panjang (km)
Kapten Muslihat	Arteri Sekunder	0.615
Dewi Sartika	Kolektor Sekunder	0.877
Nyi Raja Permas	Kolektor Sekunder	0.610
Masjid Agung Bogor	Lokal Sekunder	0.096

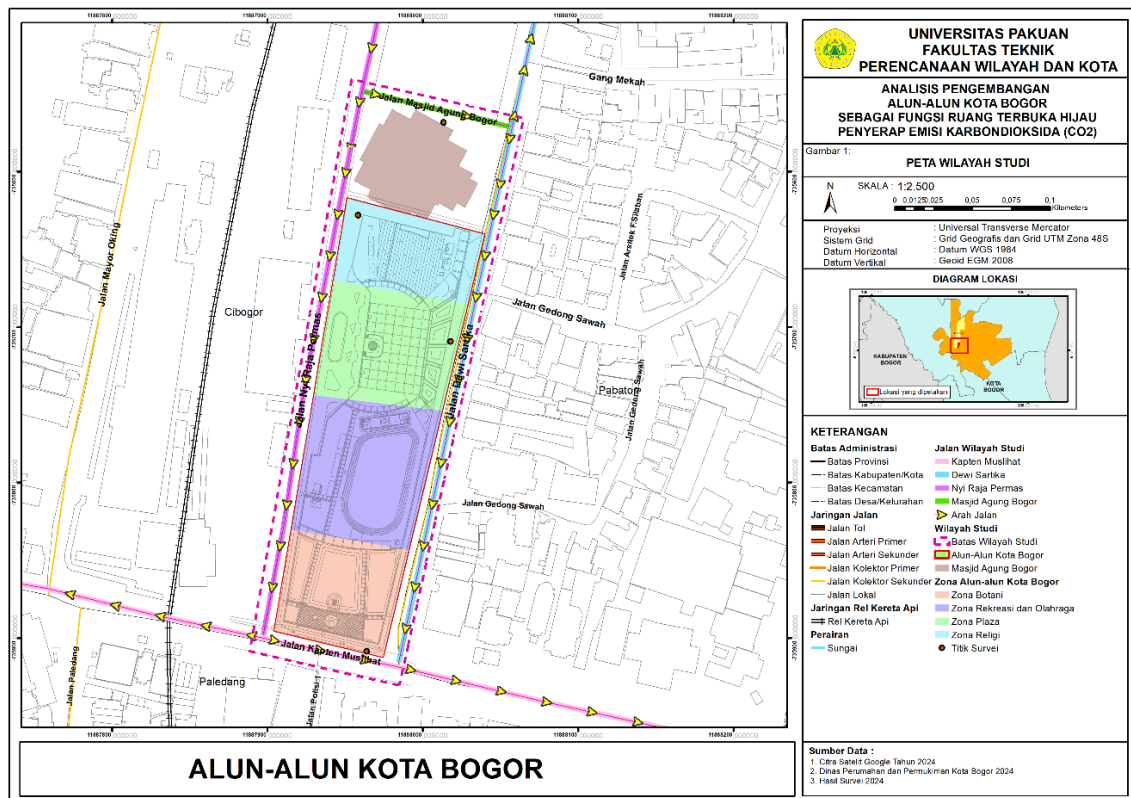
Sumber: Keputusan Walikota Bogor (2023)

Pengamatan dilakukan secara manual menggunakan aplikasi *tally counter* dengan pencatatan volume kendaraan berdasarkan jenis kendaraan dan arah pergerakan lalu lintas. Pencatatan dilakukan setiap interval 15 menit selama 2 periode pengamatan pada 4 jam puncak pagi, siang, sore, dan malam. Data kendaraan kemudian diakumulasi untuk memperoleh total volume kendaraan harian. Observasi lapangan untuk kendaraan bermotor dilakukan selama 7 hari pada periode pengamatan hari kerja (Senin-Jumat) dan hari libur (Sabtu-Minggu). Observasi lapangan ini dilakukan pada empat jam puncak yaitu dimulai dari pukul 07.00 –

- 21.00 WIB. Pengukuran tersebut dilakukan pada durasi dan jam-jam berikut:
1. Waktu puncak pagi (07.00 – 09.00);
 2. Waktu puncak siang (11.00 – 13.00);
 3. Waktu puncak sore (16.00 – 18.00); dan
 4. Waktu puncak malam (19.00 – 21.00).



Gambar 1. Peta Ruang Lingkup Wilayah Studi



Gambar 2. Peta Delineasi Wilayah Studi

Metode Analisis

Pada penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif yang meliputi analisis jumlah emisi CO₂ IPCC, analisis kemampuan daya serap vegetasi, dan analisis deskriptif evaluatif RTH.

a. Analisis Perhitungan Emisi CO₂

Jumlah emisi CO₂ dapat dihitung dengan analisis IPCC (2008), karena merupakan pendekatan standar internasional yang banyak digunakan dalam inventarisasi emisi GRK, termasuk sektor transportasi, hasil emisi CO₂ kendaraan bermotor diperoleh dalam satuan g/jam (Rambaradellangga, 2017). Nilai emisi didapat dengan menggunakan persamaan jumlah volume kendaraan (Ni) dengan faktor emisi (Fei) dapat dilihat pada Tabel 2, konsumsi bahan bakar kendaraan (Ki) dapat dilihat pada Tabel 3, dan panjang jalan (L) dapat dilihat pada Tabel 1, untuk mendapatkan nilai rata-rata per jam, hasil akumulasi 8 jam puncak dibagi 80 (hari kerja) dan 32 (hari libur) menjadi rata-rata per g/jam. Nilai 80 diperoleh dari total jam pengamatan pada hari kerja (5 hari × 2 periode pengamatan × 8 jam efektif), sedangkan nilai 32 berasal dari total jam pengamatan pada akhir pekan (2 hari × 2 periode pengamatan × 8 jam efektif). Emisi CO₂ dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q = Ni \times Fei \times \frac{Ki}{100} \times L$$

Keterangan:

- Q = Jumlah emisi CO₂ (g/jam)
- Ni = Volume kendaraan bermotor (unit)
- Fei = Faktor emisi CO₂ kendaraan (g/liter)
- Ki = Konsumsi bahan bakar (liter/100km)
- L = Panjang jalan (km)

Sumber: IPCC (2008)

Tabel 2. Nilai Faktor Emisi Bahan Bakar Kendaraan Bermotor (Fei)

Tipe /Bahan Bakar Kendaraan	Faktor Emisi CO ₂ (g/liter)	
	Bensin/ Gasoline	Diesel/ Solar
Kendaraan penumpang	2,597.86	2,924.90
Kendaraan niaga kecil	2,597.86	2,924.90
Kendaraan niaga besar	2,597.86	2,924.90
Sepeda motor	2,597.86	2,924.90

Sumber: IPCC (2008)

Tabel 3. Konsumsi Energi Spesifik Kendaraan Bermotor (Ki) tiap 100 km/liter

No	Jenis Kendaraan	Konsumsi Energi Spesifik (liter/100km)
1	Mobil penumpang	
	a. Bensin	11.79
	b. Diesel/Solar	11.36
2	Bus Besar	
	a. Bensin	23.15
	b. Diesel/Solar	16.89
3	Bus Sedang	13.04
4	Bus Mini	
	a. Bensin	11.35
	b. Diesel/Solar	11.36
5	Bemo/Bajaj	10.99
6	Taksi	
	a. Bensin	10.88
	b. Diesel/Solar	6.25
7	Truk Besar	15.82
8	Truk Sedang	15.15
9	Truk Kecil	
	a. Bensin	8.11
	b. Diesel/Solar	10.64
10	Sepeda Motor	2.66

Sumber: IPCC (2008)

b. Analisis Perhitungan Daya Serap CO₂

Kemampuan daya serap vegetasi terhadap CO₂ dapat diketahui dengan analisis daya serap CO₂. Analisis tersebut dihasilkan dengan mencari jumlah dan jenis vegetasi untuk menganalisis kemampuan daya serap CO₂ dari vegetasi (Ambarsari, 2018).

Perhitungan kemampuan daya serap vegetasi dihitung menurut kategorinya yaitu pohon, perdu/semak, dan *groundcover* (rumput), serta dibagi berdasarkan tipe vegetasi yaitu vegetasi Tipe I, Tipe II, dan *Groundcover*.

1. Daya Serap Vegetasi Tipe I

Daya serap vegetasi tipe I merupakan daya serap pohon dan perdu pada Alun-Alun Kota Bogor yang nilai daya serapnya telah diketahui berdasarkan daftar vegetasi pada penelitian terdahulu, dengan persamaan berikut:

$$\Sigma DS_{vg1} = \Sigma vg \text{ I} \times DS_{vg1}$$

Keterangan:

ΣDS_{vg1} = Kemampuan daya serap Tipe I (g/jam)

Σvg = Jumlah vegetasi Tipe I (vegetasi)

DS_{vg1} = Nilai daya serap Tipe I (g/jam)

Sumber: Ambarsari (2019)

Perhitungan kemampuan daya serap vegetasi baik pohon dan semak/perdu tipe I dihitung dengan mengalikan antara jumlah vegetasi dengan kemampuan daya serap tiap jenis vegetasi yang telah diketahui dengan satuan kilogram per tahun (kg/tahun) lalu dikonversi dengan membagi dengan 365/24 menjadi satuan g/jam (Ambarsari, 2018).

Jenis pohon dan perdu/semak tipe I dapat diidentifikasi dengan observasi lapangan berupa mendata jumlah dan mengidentifikasi jenis pohon yang terdapat di Alun-Alun Kota Bogor. Nilai daya serap pohon/perdu tipe I di Alun-alun Kota Bogor menurut jenisnya lebih jelasnya dapat dilihat pada daftar vegetasi pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Daya Serap CO₂ Vegetasi Tipe I Alun-alun Kota Bogor

No	Nama Lokal	Nama Ilmiah	Daya Serap Vegetasi		Jenis
			kg/tahun	g/jam	
1	Angsana ¹⁾	<i>Pterocarpus indicus</i>	11.12	1.27	Pohon I
2	Bambu Drasena ⁵⁾	<i>Dracaena surculosa</i>	0.39	0.04	Perdu I
3	Beringin ¹⁰⁾	<i>Ficus benjamina</i>	5,448.72	622.00	Pohon I
4	Beringin Kebo ⁹⁾	<i>Ficus elastica</i>	4,380	500.00	Pohon I
5	Beringin Korea ⁹⁾	<i>Ficus correana</i>	192.72	22.00	Pohon I
6	Bunga kertas ⁵⁾	<i>Bougainvillea spectabilis</i>	0.25	0.03	Perdu I
7	Bungkur/Bungur ¹⁰⁾	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	696.24	79.48	Pohon I
8	Brokoli Kuning ⁵⁾	<i>Euodia Ridleyi</i>	0.73	0.08	Perdu I
9	Cabai ⁵⁾	<i>Capsium frutescens</i>	0.18	0.02	Perdu I
10	Flamboyan ¹⁾	<i>Delonix regia</i>	42.20	4.82	Pohon I
11	Glodokan Tiang ⁹⁾	<i>Polyalthia longifolia</i>	6,304.92	719.74	Pohon I
12	Jambu biji ¹⁾	<i>Psidium guajava</i>	250.00	28.54	Pohon I
13	Kamboja Merah ¹³⁾	<i>Plumeria rubra</i>	586.66	66.987	Perdu I
14	Kamboja Kuning ³⁾	<i>Plumeria acuminata</i>	220.00	25.11	Perdu I
15	Ketapang Kencana ⁸⁾	<i>Terminalia mantaly</i>	689.60	78.72	Perdu I
16	Ketapang ²⁾	<i>Terminalia catappa</i>	105.87	12.09	Pohon I
17	Khaya senegal ¹⁾	<i>Khaya senegalensis</i>	83.86	9.57	Pohon I
18	Ki acret/Sepatu Dea ²⁾	<i>Spathodea campanulate</i>	211.64	24.16	Pohon I
19	Mahoni Daun Kecil ¹⁾	<i>Swietenia mahagoni</i>	1,285.81	146.78	Pohon I
20	Mahkota Duri ⁵⁾	<i>Euphorbia milii</i>	0.76	0.09	Perdu I
21	Palem Botol ⁹⁾	<i>Hyophorbe lagenicaulis</i>	17.08	1.95	Pohon I
22	Palem Putri ⁷⁾	<i>Velicia merilii</i>	285.58	32.60	Pohon I
23	Palem Kuning ¹²⁾	<i>Dypsis lutescens</i>	351.71	40.15	Pohon I
24	Sri gading/Pondan ⁵⁾	<i>Dracaena</i>	1.78	0.20	Perdu I
25	Pucuk Merah ⁵⁾	<i>Syzygium myrtifolium</i>	123.87	14.14	Perdu I
26	Pulai ¹²⁾	<i>Alstonia scholaris</i>	11,557.50	1,319.35	Pohon I
27	Sambang Dara ⁵⁾	<i>Excoecaria cochinchinensis</i>	1.14	0.13	Perdu I
28	Sikat Botol ⁴⁾	<i>Calistemon speciosus</i>	101.22	11.55	Perdu I
29	Tabebuia kuning ⁶⁾	<i>Tabebuia aurea</i>	135.27	24.20	Pohon I
30	Trembesi ¹⁾	<i>Samanea saman</i>	28,488.39	3,252.10	Pohon I
31	Waru ¹¹⁾	<i>Hibiscus tiliaceus</i>	1,608.195	183.58	Perdu I

Sumber : 1-Dahlan (2008); 2-Purwaningsih (2007); 3-Suryaningsih et.al. (2015); 4-Rambadellangga (2018); 5-Febriansyah et al. (2022); 6-Suryani & Damayanti (2014); 7-Roshintha & Mangkoedihardjo, (2016); 8-Darlina et al.(2023); 9-Marisha (2018); 10- Maksum (2016);11-Trisandy (2018); dan 12- Pramessari (2022).

2. Vegetasi Tipe II

Daya serap pohon dan perdu/semak tipe II merupakan daya serap pohon/perdu pada Alun-Alun Kota Bogor yang tidak diketahui tetapan daya serap pohonnya, sehingga menggunakan tetapan sama pada Tabel 5, dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Sigma DS_{Vg2} = \Sigma \text{vegetasi II} \times DS_{Vg2} \times L_{\text{tajak}}$$

Keterangan:

ΣDS_{Vg2} = Daya Serap Tipe II (g/jam)

$\Sigma \text{vegetasi II}$ = Jumlah vegetasi Tipe II (vegetasi)

$DS_{Vg2} \times$ = Nilai daya serap Tipe II (g/jam)

L_{tajak} = Luas tajuk vegetasi (ha)

Sumber: Ambarsari (2018)

Tabel 5. Daya Serap CO₂ Vegetasi Tipe II dan Penutup Vegetasi

	Daya Serap CO ₂ (/ha)		
	kg/jam	kg/hari	ton/tahun
Pohon II	129.92	1,559.10	569.07
Perdu/Semak II	12.56	150.68	55.00
Groundcover	2.74	32.88	12.00

Sumber: Ambarsari (2019); Naufal, et.al (2023)

Perhitungan daya serap vegetasi tipe II dapat dihitung dengan mengkalikan jumlah vegetasi dengan daya serap tetapan yang sama Tabel 5 tetapan yang sama untuk pohon sebesar 129.92 kg/ha/jam dan untuk perdu/semak sebesar 12.56 kg/ha/jam lalu dikalikan diameter luas tajuk. Kemampuan daya serap tersebut lalu dikonversi dari satuan kg/jam dengan mengalikan 1,000 menjadi satuan g/jam (Laksono & Damayanti, 2014 dalam Ambarsari, 2019).

Luas tajuk pohon didapat dari perhitungan diameter tajuk. Diameter tajuk didapatkan dari perhitungan rata-rata diameter. Menghitung luas tajuk pohon dapat dihitung dengan persamaan luas lingkaran dan dikonversikan menjadi luasan hektar (ha). Perhitungan luas tajuk pohon dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$L_{\text{tajuk}} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi d^2}{10,000}$$

Keterangan:

L_{tajuk} = Luas tajuk vegetasi (ha)

π = Nilai konstanta (3.14)

d = Diameter tajuk vegetasi (m)

Sumber: Ambarsari (2019)

3. Vegetasi Groundcover

Perhitungan daya serap tutupan lahan dapat dihitung dengan mengalikan jumlah luasan tutupan lahan hijau dengan daya serap rumput per hektarnya yaitu 2.74 kg/ha/jam. Perhitungan tersebut dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Sigma DS_{gc} = \Sigma L_{gc} \times DS_{gc}$$

Keterangan:

ΣDS_{gc} = Total daya serap groundcover (g/jam)

ΣL_{gc} = Total luas groundcover (ha)

DS_{gc} = kemampuan daya serap (g/ha/jam)

Sumber: Sarihasede et al. (2022)

c. Analisis Rekomendasi Pengembangan Fungsi Penyerap Emisi CO₂

Efektivitas kemampuan daya serap tiap vegetasi dapat diketahui konsentrasinya dengan mengetahui seberapa besar CO₂ yang mampu diserap oleh vegetasi, sehingga dapat diketahui sisa emisi yang masih tersisa dari penyerapan tersebut. Sisa emisi tersebut kemudian dapat menentukan tingkat optimalisasi penyerapan emisi Alun-Alun sebagai RTH reduktor polutan berupa rekomendasi tambahan jumlah vegetasi.

1. Sisa Emisi

Sisa emisi CO₂ jika nilainya lebih besar daripada nilai total daya serap vegetasi Alun-Alun Kota Bogor, maka Alun-Alun Kota Bogor sebagai fungsi reduktor belum optimal begitu pula sebaliknya. Sisa emisi CO₂ dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Sigma W'CO_2 = \Sigma CO_2 - \Sigma DS$$

Keterangan:

ΣW'CO₂ = Jumlah Sisa Emisi CO₂ (g/jam)

ΣCO₂ = Total Emisi CO₂ (g/jam)

ΣDS = Total Daya Serap CO₂ (g/jam)

Sumber: Rawung (2015) dalam Ambarsari (2019)

2. Persentase Kemampuan Daya Serap

Sesuai dengan Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Mencapai Target Kontribusi Nasional (*Nationally Determined Contribution/ NDC*), Indonesia memiliki target penyerapan karbon sebesar 29% sampai 31.89% pada tahun 2022 sampai 2030 (Santoso, 2024). Persentase kemampuan daya serap Alun-alun Kota Bogor dapat dikatakan optimal yaitu jika persentase penyerapan RTH ≥ 31.89%. Persentase daya serap tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\% \Sigma DS = \frac{\Sigma DS}{\Sigma CO_2} \times 100\%$$

Keterangan:

Σ%DS = Persentase Daya Serap Vegetasi (%)

ΣDS = Total Daya Serap Vegetasi (g/jam)

ΣCO₂ = Total Emisi CO₂ (g/jam)

Sumber: Maksum (2016)

3. Kebutuhan Lahan RTH

Luas kebutuhan RTH dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$L_{RTH} = \frac{\Sigma W'CO_2}{\Sigma DS}$$

Keterangan:

L_{RTH} = Kebutuhan lahan tambahan (ha)

$\Sigma W'CO_2$ = Jumlah sisa emisi CO_2 (g/jam)

ΣDS = Total daya serap vegetasi (g/jam)

Sumber: Syafaati & Mangkoedihardjo (2020)

4. Kebutuhan Jumlah Vegetasi

Intensifikasi vegetasi merupakan penambahan daya serap RTH dengan mengganti atau menambahkan jenis vegetasi pada RTH dengan jenis vegetasi berdaya serap tinggi (Syafaati & Mangkoedihardjo, 2020). Jumlah vegetasi dihitung dengan persamaan berikut:

$$KP = \frac{W'CO_2}{DS_{TP}}$$

Keterangan:

KP = Kebutuhan Pohon/Perdu (unit)

$\Sigma W'CO_2$ = Jumlah Sisa Emisi CO_2 (g/jam)

DS_{TP} = Daya Serap Pohon/Perdu (g/jam)

Sumber: Rawung (2015) Naufal, et.al, (2023)

5. Jenis Vegetasi Rekomendasi

Rekomendasi penambahan jumlah vegetasi dipilih berdasarkan daftar rekomendasi Peraturan Menteri PU Nomor 05 Tahun 2008 dan tinjauan pustaka penelitian terdahulu ada pada Tabel 6. berdasarkan beberapa kriteria seperti daya serap CO_2 tertinggi (g/jam), ukuran tajuk sesuai lahan, sistem perakaran bagus, dan mudah dirawat.

Tabel 6. Daftar Vegetasi Berdaya Serap Tinggi

Rekomendasi Vegetasi	Serapan
Trembesi (<i>Samanea saman</i>)	3,252.10
Kupu-kupu (<i>Bauhinia purpurea</i>)	1,331.38
Pulai (<i>Alstonia scholaris</i>)	1,319.35
Glodokan (<i>Polyalthia longifolia</i>)	719.74
Beringin (<i>Ficus benjamina</i>)	622.00
Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i>)	183.58
Ravenia (<i>Ravenia spectabilis</i>)	143.31
Kenanga (<i>Canarium odoratum</i>)	86.37
Ketapang kencana (<i>Terminalia mantaly</i>)	78.72
Kamboja Merah (<i>Plumeria rubra</i>)	66.97

Sumber: Permen PU Nomor 5 (2008)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Jumlah Emisi Karbon Dioksida (CO_2) di Alun-Alun Kota Bogor

Total emisi CO_2 yang dihasilkan dari aktivitas lalu lintas di sekitar Alun-Alun Kota Bogor pada Tabel 7 mencapai 674,205.07 g/jam. Distribusi emisi tersebut berasal dari empat ruas jalan di sekitar kawasan penelitian. Jalan Kapten Muslihat merupakan ruas jalan dengan kontribusi emisi terbesar yaitu 464,622.12 g/jam, sedangkan kontribusi emisi paling rendah terdapat pada Jalan Masjid Agung Bogor sebesar 2,232.89 g/jam. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh klasifikasi dan fungsi jalan. Jalan Kapten Muslihat merupakan jalan arteri sekunder tipe 4/2 D dengan volume lalu lintas tinggi, sementara Jalan Masjid Agung Bogor merupakan jalan lokal sekunder tipe 2/1 UD dengan aktivitas lalu lintas yang relatif lebih rendah.

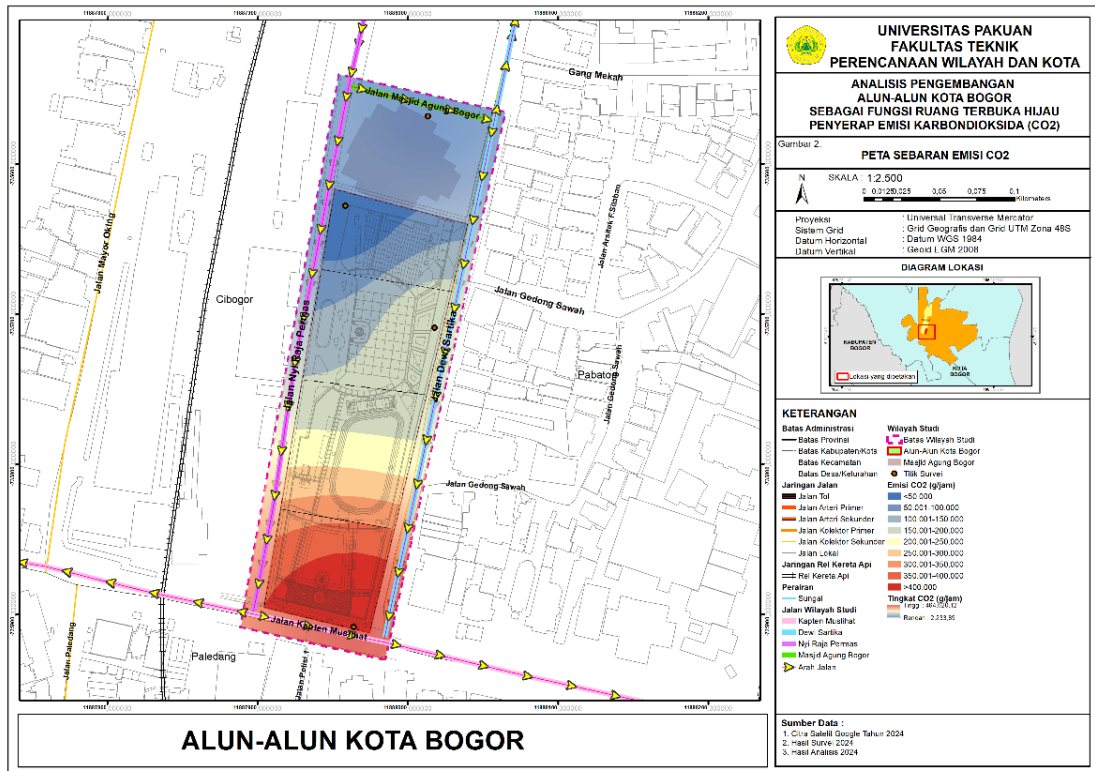
Jenis kendaraan yang paling banyak menyumbang emisi CO_2 adalah sepeda motor dengan jumlah emisi sebanyak 221,772.92 g/jam, sedangkan kontribusi emisi paling kecil berasal dari bus besar yaitu 364.58 g/jam. Hal itu terjadi karena sepeda motor cenderung lebih efisien di kemacetan dan harga bahan bakarnya lebih murah dibandingkan kendaraan roda empat (Rahmasari *et al.*, 2023). Dengan demikian, besar dan kecilnya emisi CO_2 yang dihasilkan bergantung pada jumlah volume kendaraan dan komposisi kendaraan yang melintasi ruas jalan (Octradha *et al.*, 2017).

Sebaran spasial emisi CO_2 di sekitar kawasan Alun-Alun Kota Bogor ditunjukkan pada Gambar 3, yang mengklasifikasikan tingkat emisi menjadi tiga kategori yaitu tinggi, sedang, dan rendah. Emisi tersebut terdistribusi ke dalam zona-zona ruang terbuka di kawasan alun-alun berdasarkan proporsi luas masing-masing zona. Hasil perhitungan pada Tabel 8 menunjukkan bahwa Zona Botani menerima distribusi emisi terbesar yaitu 353,595.30 g/jam, diikuti oleh Zona Rekreasi dan Olahraga sebesar 231,529.15 g/jam, Zona Plaza sebesar 47,748.63 g/jam, serta Zona Religi sebesar 41,331.99 g/jam

Tabel 7. Jumlah Emisi CO₂ dan Volume Kendaraan Berdasarkan Jalan di sekitar Alun-alun Kota Bogor

Kendaraan/ Emisi CO₂	Kapten Muslihat	Dewi Sartika	Nyi Raja Permas	Masjid Agung Bogor	Jumlah
Volume Kendaraan (unit)					
Motor	205,207	50,149	20,560	12,453	288,369
Mobil Bensin	41,470	7,543	564	450	50,027
Mobil Solar	17,435	4,395	187	131	22,148
Jeep	215	111	15	14	355
Van	2,496	1,017	169	133	3,815
ST Wagon	1,341	821	58	0	2,220
Bus	75	0	0	0	75
Bus Sedang	1,149	12	0	0	1,161
Minibus	298	122	0	0	420
Truk Besar	916	138	104	89	1,247
Truk Sedang	881	189	143	130	1,343
Pickup Solar	1,504	229	133	142	2,008
Pickup Bensin	1,102	137	92	83	1,414
Taksi	225	111	0	0	336
Angkot	22,129	11,267	123	120	33,639
Total Kendaraan	296,443	76,241	22,148	13,745	408,577
Emisi CO₂ (g/jam)					
Motor					221,772.9
	149,766.72	55,140.38	15,358.13	1,507.67	0
Mobil Bensin					182,603.7
	142,404.22	37,983.74	1,979.29	236.51	6
Mobil Solar	61,603.70	22,893.08	663.79	73.17	85,233.74
Jeep	718.15	533.87	45.55	6.80	1,304.37
Van	8,054.76	4,581.89	514.86	66.16	13,217.67
ST Wagon	4,812.33	4,126.95	215.35	0.00	9,154.63
Bus	364.58	0.00	0.00	0.00	364.58
Bus Sedang	4,749.95	62.72	0.00	0.00	4,812.67
Minibus	1,025.56	608.30	0.00	0.00	1,633.86
Truk Besar	4,373.52	981.54	531.00	69.41	5,955.47
Truk Sedang	3,920.89	1,297.01	696.03	99.44	6,013.37
Pickup Solar	4,969.06	1,062.72	475.78	76.00	6,583.56
Pickup Bensin	2,564.72	444.61	220.09	30.46	3,259.88
Taksi	687.71	460.13	0.00	0.00	1,147.84
Angkot					131,146.7
	74,606.26	56,017.84	455.41	67.26	7
Total Emisi CO₂	464,622.13	186,194.78	21,155.28	2,232.88	674,205.0
					7

Sumber: Hasil Analisis (2024)



Gambar 3. Peta Sebaran Emisi CO₂ di Alun-alun Kota Bogor

Tabel 8. Nilai dan Sebaran Emisi CO₂ pada Zona Alun-alun Kota Bogor

No	Jalan	CO ₂	% Luas	Zona Botani	Zona R&O	Zona Plaza	Zona Religi
1	Kapten Muslihat	464,622.12	0.24	304,535.79	160,086.34	0.00	0.00
2	Dewi Sartika	186,194.77	0.34	44,054.12	64,153.72	42,876.99	35,109.94
3	Nyi Raja Permas	21,155.28	0.23	5,005.39	7,289.09	4,871.64	3,989.16
4	Masjid Agung	2,232.89	0.19	0.00	0.00	0.00	2,232.89
Total		674,205.07	100	353,595.30	231,529.15	47,748.63	41,331.99

Sumber: Hasil Analisis (2024).

Analisis Kemampuan Daya Serap CO₂ oleh Vegetasi di Alun-Alun Kota Bogor

Kemampuan daya serap CO₂ vegetasi pada kawasan Alun-Alun Kota Bogor dianalisis berdasarkan pembagian zona vegetasi yang meliputi Zona Botani, Zona Rekreasi dan Olahraga, Zona Plaza, dan Zona Religi. Pembagian zona ini dilakukan untuk mengetahui kontribusi masing-masing area terhadap kemampuan penyerapan karbon di kawasan Alun-Alun Kota Bogor.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa setiap zona memiliki kemampuan daya serap CO₂ yang berbeda tergantung pada jumlah vegetasi serta jenis vegetasi yang terdapat pada masing-masing zona. Secara umum, zona yang didominasi oleh pohon berukuran besar memiliki kemampuan penyerapan karbon yang lebih tinggi dibandingkan zona yang didominasi oleh vegetasi perdu atau tanaman hias. Perhitungan kemampuan daya serap Alun-alun Bogor dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Kemampuan Daya Serap CO₂ berdasarkan Vegetasi di Alun-alun Kota Bogor

No	Vegetasi	Nama Ilmiah	Luas (ha)	Jumlah Vegetasi	Daya Serap (g/jam)	Total Serapan (g/jam)
1	Angsana	<i>Pterocarpus indicus</i>	-	1	1.27	1.27
2	Beringin	<i>Ficus benjamina</i>	-	13	622.00	8,086.00
3	Beringin kebo	<i>Ficus elastica</i>	-	5	500.00	2,500.00
4	Beringin korea	<i>Ficus coreana</i>	-	7	22.00	154.00
5	Bungur	<i>Lagerstromiea</i>	-	1	79.48	79.48
6	Flamboyan	<i>Delonix regia</i>	-	1	4.82	4.82
7	Glodogan tiang	<i>Polyalthia longifolia</i>	-	57	719.74	41,025.18
8	Jambu biji	<i>Psidium guajava</i>	-	1	28.54	28.54
9	Ketapang	<i>Terminallia catappa</i>	-	3	12.09	36.27
10	Khaya	<i>Khaya anthoteca</i>	-	3	9.57	28.71
11	Kiacret	<i>Spathodea campanulate</i>	-	2	24.16	48.32
12	Mahoni	<i>Swietenia mahagoni</i>	-	4	146.78	587.12
13	Palem botol	<i>Hyphorbe lagenicalis</i>	-	1	1.95	1.95
14	Palem kuning	<i>Chrysalidocarpus lutescens</i>	-	7	40.15	281.05
15	Palem putri	<i>Veitchia merillii</i>	-	6	32.60	195.60
16	Pulai	<i>Alstonia scholaris</i>	-	4	1,319.35	5,277.40
17	Tabbebuya kuning	<i>Tabebuia aurea</i>	-	5	24.20	121.00
18	Trembesi	<i>Samanea saman</i>	-	4	3,252.10	13,008.40
19	Bambu drasena	<i>Dracaena surculosa</i>	-	13	0.04	0.52
20	Brokoli kuning	<i>Euodia ridleyi</i>	-	827	0.08	66.16
21	Bunga kertas	<i>Bougainvillea</i>	-	32	0.03	0.96
22	Cabai	<i>Capsicum annum</i>	-	1	0.02	0.02
23	Kamboja kuning	<i>Plumeria alba</i>	-	26	25.11	652.86
24	Kamboja merah	<i>Plumeria rubra</i>	-	7	66.97	468.79
25	Ketapang kencana	<i>Terminalia mantaly</i>	-	78	78.72	6,140.16
26	Mahkota duri	<i>Euphorbia milii</i>	-	105	0.09	945
27	Pucuk merah	<i>Syzygium myrtifolium</i>	-	53	14.14	749.42
28	Sambang darah	<i>Excoecaria cochinchinensis</i>	-	417	0.13	54.21
29	Sikat botol	<i>Callistemon citrinus</i>	-	51	11.55	589.05
30	Sri gading	<i>Dracaena fragrans</i>	-	3	0.20	0.60
31	Waru	<i>Talipariti tiliaceum</i>	-	1	183.58	183.58
32	Awar-awar	<i>Ficus septica</i>	0.000913	3	129.92	355.78
33	Cemara kipas	<i>Thuja occidentalis</i>	0.000283	3	129.92	110.19
34	Jakaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	0.000066	12	129.92	103.59
35	Pakis haji	<i>Cycas Cirnialis</i>	0.000762	1	129.92	98.96
36	Palasa/ploso	<i>Butea monospeamae</i>	0.001249	5	129.92	811.63
37	Tangkira jepang	<i>Acer palmatum</i>	0.000209	5	129.92	135.48
38	Bakung amarilis	<i>Hippeastrum reginae</i>	0.000013	1,172	12.56	184.89
39	Bayam merah	<i>Althernathera Brasiliana</i>	0.000004	457	12.56	24.25
40	Bira	<i>Alocasia macrorrhizos</i>	0.000197	3	12.56	7.43
41	Bromelia besar	<i>Alcantarea imperialis</i>	0.000015	4	12.56	0.76
42	Bromelia merah	<i>Neoregelia carolinae</i>	0.000007	30	12.56	2.81
43	Bunga cendrawasih	<i>Heliconia psittacorum</i>	0.000010	106	12.56	13.45
44	Bunga kana merah	<i>Canna coccinea Mill</i>	0.000013	612	12.56	96.55
45	Bunga tasbih	<i>Canna x Generalis</i>	0.000013	1,602	12.56	252.72
46	Hanjuang	<i>Cordyline fruticose</i>	0.000077	6	12.56	5.80
47	Kaki laba-laba	<i>Osmyxylon liniare</i>	0.005157	1,622	12.56	323.84
48	Kembang ratna	<i>Zinnia elegans</i>	0.000249	10	12.56	31.24
49	Kembang sepatu	<i>Hibiscus rosa-sinensis L.</i>	0.000829	3	12.56	31.24
50	Kencana ungu	<i>Ruellia simplex</i>	0.000004	2,566	12.56	121.25

No	Vegetasi	Nama Ilmiah	Luas (ha)	Jumlah Vegetasi	Daya Serap (g/jam)	Total Serapan (g/jam)
51	Kututan kuning	<i>Ligustrum x vicaryi</i>	0.000010	536	12.56	68.49
52	Lidah naga	<i>Agave americana variegata</i>	0.000017	3	12.56	0.63
53	Lili air mancur	<i>Hymenocallis littoralis</i>	0.000029	576	12.56	209.45
54	Lili paris	<i>Chlorophytum comosum</i>	0.000000	300	12.56	0.74
55	Melati jepang	<i>Pseuderanthemum carruthersii</i>	0.000015	15	12.56	2.86
56	Meranti pisang	<i>Calathea lutea</i>	0.000359	51	12.56	230.28
57	Puring	<i>Codiaeum variegatum</i>	0.000013	12	12.56	1.94
58	Rumput kucai mini	<i>Carex Morrowii</i>	0.000000	300	12.56	0.74
59	Soka	<i>Ixora coccinea</i>	0.000005	40	12.56	2.46
60	Taiwan beauty	<i>Cuphea hyssopifolia</i>	0.000005	3,083	12.56	189.98
61	Teh-tehan	<i>Acalypha siamensis</i>	0.000095	4	12.56	4.77
62	Tricolor	<i>Dracaena tricolor</i>	0.000011	8	12.56	1.14
63	Kacang hias	<i>Arachis pintoi</i>	0.055487	-	2.74	152.03
64	Rumput	<i>Zoysia japonica</i>	0.981083	-	2.74	2,688.17
Jumlah			10,365.70	14,888		86,645.49

Sumber: Hasil Analisis (2024).

Tabel 10. Kemampuan Daya Serap CO₂ Total Alun-alun Kota Bogor

Vegetasi/ Zona	Botani	Rekreasi	Plaza	Religi	Daya Serap (g/jam)
Pohon I	4,787.07	36,322.37	18,405.74	11,949.93	71,465.11
Perdu/Semak I	3,481.73	1,949.12	1,219.08	2,265.77	8,915.78
Pohon II	587.51	758.94	269.18	0.00	1,615.63
Perdu/Semak II	900.92	120.92	647.82	139.11	1,808.76
Groundcover	836.17	1,096.58	618.21	289.24	2,840.20
TOTAL	10,593.49	40,247.93	21,160.03	14,644.05	86,645.49

Sumber: Hasil Analisis (2024)

Berdasarkan Tabel 9 dan Tabel 10, Kemampuan daya serap CO₂ pada vegetasi kawasan Alun-Alun Kota Bogor dianalisis berdasarkan empat zona vegetasi, yaitu Zona Botani, Zona Rekreasi dan Olahraga, Zona Plaza, dan Zona Religi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total kemampuan daya serap vegetasi di kawasan Alun-Alun Kota Bogor mencapai 86,645.49 g/jam. Zona dengan kemampuan daya serap tertinggi adalah Zona Rekreasi dan Olahraga sebesar 40,247.93 g/jam, diikuti oleh Zona Plaza sebesar 21,160.03 g/jam, Zona Religi sebesar 14,644.05 g/jam, dan Zona Botani sebesar 10,593.49 g/jam. Perbedaan kemampuan penyerapan karbon antar zona dipengaruhi oleh komposisi dan jumlah vegetasi yang terdapat pada masing-masing zona.

Tingginya kemampuan daya serap sebarannya dapat diketahui bahwa kemampuan penyerapan karbon pada kawasan tersebut sangat dipengaruhi oleh komposisi dan struktur

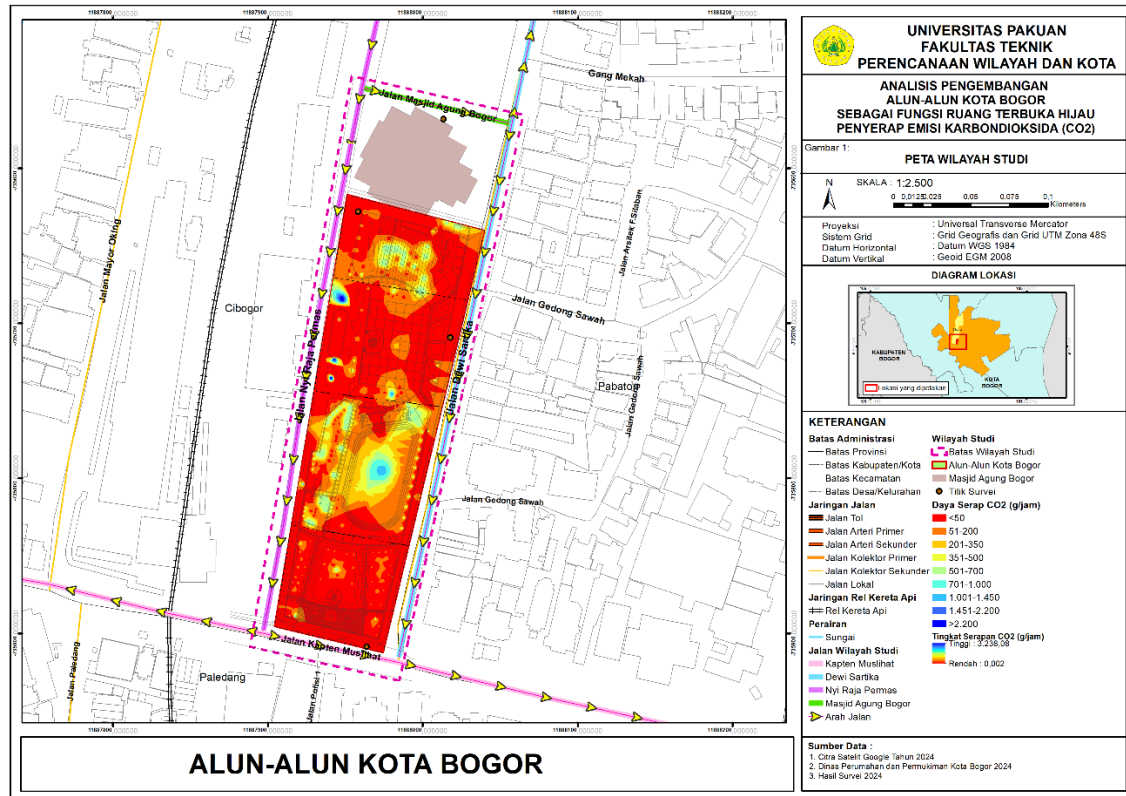
vegetasi yang ada pada masing-masing zona. Sebaran daya serap tiap zona dapat dilihat pada Gambar 4, zona yang memiliki dominasi pohon berukuran besar dengan tajuk luas menunjukkan kapasitas penyerapan karbon yang lebih tinggi dibandingkan zona yang didominasi oleh vegetasi perdu atau tanaman hias.

Pada Zona Rekreasi dan Olahraga dipengaruhi oleh keberadaan pohon besar dengan daya serap besar, seperti glodokan tiang (*Polyalthia longifolia*) yang memberikan kontribusi penyerapan karbon paling besar pada zona tersebut. Sebaliknya, Zona Botani memiliki nilai serapan paling rendah karena didominasi oleh vegetasi perdu dan tanaman hias yang memiliki kemampuan penyerapan karbon lebih kecil dibandingkan vegetasi pohon. Temuan ini menunjukkan bahwa struktur dan komposisi vegetasi, khususnya keberadaan pohon berkanopi besar, memiliki peran penting

dalam meningkatkan kapasitas penyerapan karbon pada RTH di kawasan perkotaan.

Temuan ini menunjukkan bahwa keberadaan pohon peneduh dengan ukuran tajuk yang besar memiliki peran penting dalam meningkatkan fungsi ekologis dan kapasitas

serapan CO₂ pada RTH kawasan perkotaan. Oleh karena itu, penguatan vegetasi pohon dengan kemampuan penyerapan karbon yang tinggi perlu menjadi pertimbangan dalam pengelolaan dan pengembangan RTH di kawasan Alun-Alun Kota Bogor.



Gambar 4. Peta Kemampuan Daya Serap CO₂ Alun-alun Kota Bogor

Analisis Pengembangan Alun-Alun Kota Bogor Sebagai RTH Penyerap Emisi CO₂

a. Perbandingan Emisi CO₂ dan Kemampuan Daya Serap Vegetasi

Emisi CO₂ yang dihasilkan dari aktivitas kendaraan bermotor pada ruas jalan di sekitar kawasan Alun-Alun Kota Bogor dihitung menggunakan metode inventarisasi emisi transportasi berdasarkan pendekatan IPCC. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total emisi CO₂ yang dihasilkan dari kendaraan bermotor pada ruas jalan di sekitar kawasan penelitian mencapai 674,205.07 CO₂/g/jam.

Jika dibandingkan dengan kemampuan daya serap vegetasi di kawasan Alun-Alun Kota Bogor yang sebesar 86,645.49 g/jam, maka kapasitas vegetasi yang ada saat ini belum

mampu sepenuhnya menyeimbangkan emisi karbon yang dihasilkan dari aktivitas transportasi di sekitarnya.

Emisi CO₂ yang dapat diserap oleh seluruh vegetasi eksisting di Alun-Alun Kota Bogor adalah 12.85%, lihat Tabel 11. Hasil analisis tersebut menjelaskan bahwa penyerapan karbon Alun-Alun Kota Bogor kurang efektif dengan nilai target penyerapan karbon nasional, sebesar 31.89%. Untuk mencapai target tersebut masih membutuhkan penyerapan setidaknya 19.04% lagi atau 128,358.51 g/jam dari total emisi CO₂. Luas RTH tambahan butuh seluas 6.78 ha untuk menunjang penyerapan total sisa emisi CO₂ yang masih belum diserap oleh vegetasi yaitu sebesar 587,559.58 CO₂/g/jam.

Tabel 11. Fungsi Serapan dan Sisa Emisi CO₂ Alun-Alun Kota Bogor

Emisi & Sekuestrasi	Jumlah (g/jam)
Emisi CO ₂	674,205.07
Daya Serap Vegetasi	86,645.49
Sisa Emisi CO ₂	587,559.58
Persentase Efektivitas	12.85%
Kebutuhan Luas RTH	6.78 ha

Sumber: Hasil Analisis (2024)

Perbandingan antara jumlah emisi CO₂ dan kemampuan daya serap vegetasi tersebut menunjukkan bahwa dalam konteks perencanaan kota, pengelolaan RTH pada kawasan Alun-Alun Kota Bogor tidak hanya berfungsi sebagai ruang publik sosial, tetapi juga memiliki peran penting sebagai infrastruktur ekologis perkotaan yang berkontribusi dalam mitigasi emisi karbon, sayangnya kapasitas tersebut masih terbatas.

Kondisi ini menunjukkan bahwa keberadaan RTH pada kawasan perkotaan perlu didukung oleh komposisi vegetasi yang lebih optimal, khususnya melalui penambahan vegetasi pohon berkanopi besar yang memiliki kemampuan penyerapan karbon lebih tinggi (Dollah *et al.*, 2018). Oleh karena itu, pengembangan RTH di kawasan perkotaan perlu memerhatikan keseimbangan antara fungsi sosial dan fungsi ekologis, khususnya dalam mendukung upaya pengurangan emisi CO₂ dengan cara mengelola komposisi vegetasi dalam RTH.

b. Rekomendasi Intensifikasi Vegetasi

Analisis intensifikasi vegetasi merupakan perhitungan kebutuhan tambahan vegetasi dalam menyerap sisa emisi CO₂ di kawasan Alun-Alun Kota Bogor. Perhitungan dilakukan dengan membagi jumlah sisa emisi CO₂ dengan kemampuan daya serap masing-masing jenis vegetasi yang direkomendasikan (Ambarsari, 2019). Berdasarkan Permen PU No. 5 Tahun 2008 dan kajian literatur terkait vegetasi penyerap karbon, dipilih lima jenis pohon dan lima jenis perdu/semak dengan kemampuan penyerapan CO₂ tertinggi sebagai alternatif vegetasi intensifikasi.

Penambahan vegetasi dengan daya serap karbon tinggi berpotensi menyerap seluruh sisa emisi CO₂ hasil aktivitas lalu lintas di sekitar alun-alun. Namun, keterbatasan luas lahan tanam menjadi faktor pembatas utama dalam penerapan strategi tersebut. Oleh karena itu, rekomendasi intensifikasi vegetasi difokuskan pada optimalisasi pemanfaatan sisa lahan yang tersedia di Alun-Alun Kota Bogor.

Luas kawasan Alun-Alun Kota Bogor berdasarkan Profil Alun-Alun Kota Bogor (2023) adalah 17,053 m², yang terdiri atas elemen landscape sebesar 60.78%, badan air 0.07%, serta elemen hardscape sebesar 39.15%, yang meliputi jalur pedestrian, paving block, dan bangunan pendukung. Rincian komposisi penggunaan lahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Luasan Elemen Alun-Alun Kota Bogor

Elemen	Jumlah (g/jam)
Landscape (RTH)	8,554.43
Landscape (Jogging Track)	1,811.27
Hardscape (RTNH)	6,675.62
Badan Air (RTB)	11.68
Total	17,053.00

Sumber: Hasil Analisis (2024)

Dari total area landscape sebesar 8,554.43 m², sebagian telah ditempati oleh vegetasi eksisting seluas 6,754.51 m², sehingga tersisa 1,799.92 m² lahan yang berpotensi dapat dimanfaatkan untuk penambahan vegetasi. Rincian luas lahan terpakai dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Luas Lahan di Alun-Alun Kota Bogor Peruntukan Vegetasi

Elemen	Jumlah (g/jam)
Pohon	845.62
Perdu/Semak	5,908.89
Luas Lahan Terpakai	6,754.51

Sumber: Hasil Analisis (2024)

Berdasarkan hasil analisis perbandingan antara emisi CO₂ dan kemampuan daya serap vegetasi eksisting, masih terdapat sisa emisi sebesar 128,358.51 CO₂ g/jam yang perlu diserap untuk mencapai target penyerapan karbon nasional sebesar 31.89%. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan kebutuhan vegetasi

tambahan yang disesuaikan dengan luas lahan yang tersedia pada setiap zona di kawasan alun-alun. Sehingga sisa emisi tersebut direncanakan untuk diserap melalui penambahan vegetasi

pada lahan tersisa seluas 1,799.92 m². Rincian luasan zona terpakai dan tersisa dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Luasan Zona Terpakai dan Tersisa Berdasarkan Jumlah Emisi

No	Zona	Luas	Lahan Hijau	Luas Terpakai	Luas Sisa	Sisa Emisi (19,04%)
1	Botani	4,034.78	3,051.72	2,889.44	162.28	67,319.23
2	Rekreasi & Olahraga	5,875.64	4,002.11	717.78	1,473.06	44,079.67
3	Plaza	3,926.97	2,256.25	2,210.56	45.69	9,090.62
4	Religi	3,215.61	1,055.62	936.73	118.89	7,868.99
Jumlah		17,053.00	10,365.70	6,754.51	1,799.92	128,358.51

Sumber: Hasil Analisis (2024)

Hasil analisis menunjukkan bahwa intensifikasi vegetasi yang direkomendasikan adalah penambahan 485 tanaman, yang terdiri atas 57 pohon dan 397 perdu/semak. Rincian jumlah penambahan dan jenis vegetasi dapat dilihat pada Tabel 15. Jenis vegetasi yang direkomendasikan meliputi pohon pulai, bunga

kupu-kupu, dan glodokan tiang, serta tanaman perdu seperti waru, ravenia, ketapang kencana, dan kamboja merah. Dengan penambahan vegetasi tersebut, kemampuan penyerapan karbon tambahan diperkirakan mencapai 19,04% atau 128,388.74 CO₂ g/jam.

Tabel 15. Rekomendasi Intensifikasi berdasarkan jenis Vegetasi di Alun-Alun Kota Bogor

Jenis Pohon	Jarak (m ²)	Sisa Emisi (g/jam)	Daya Serap (g/jam)	Jumlah Vegetasi	Total Daya Serap (g/jam)	Sisa Emisi Setelah Ditambah (g/jam)	% Serap
Pulai	12	587,559.58	1,331.38	17	22,428.95	564,926.12	3.33
Kupu-kupu	6	587,559.58	1,319.35	24	31,953.12	555,895.18	4.74
Glodokan	4.5	587,559.58	719.74	16	11,515.84	576,043.74	1.71
Waru	1.5	587,559.58	183.58	172	31,575.76	555,983.82	4.68
Ravenia	1.5	587,559.58	143.31	175	25,079.25	562,480.33	3.72
Ketapang kencana	1.5	587,559.58	78.72	35	2,755.20	584,804.38	0.41
Kamboja merah	1.5	587,559.58	66.97	15	3,080.62	584,144.11	0.46
Total Intensifikasi (i)				485	128,388.74	459,170.84	19.04
Total Eksisting (ii)				14,888	86,645.49	587,559.58	12.85
Total Daya Serap Vegetasi (i+ii)				15,373	214,950.02	459,170.84	31.89

Sumber: Hasil Analisis (2024)

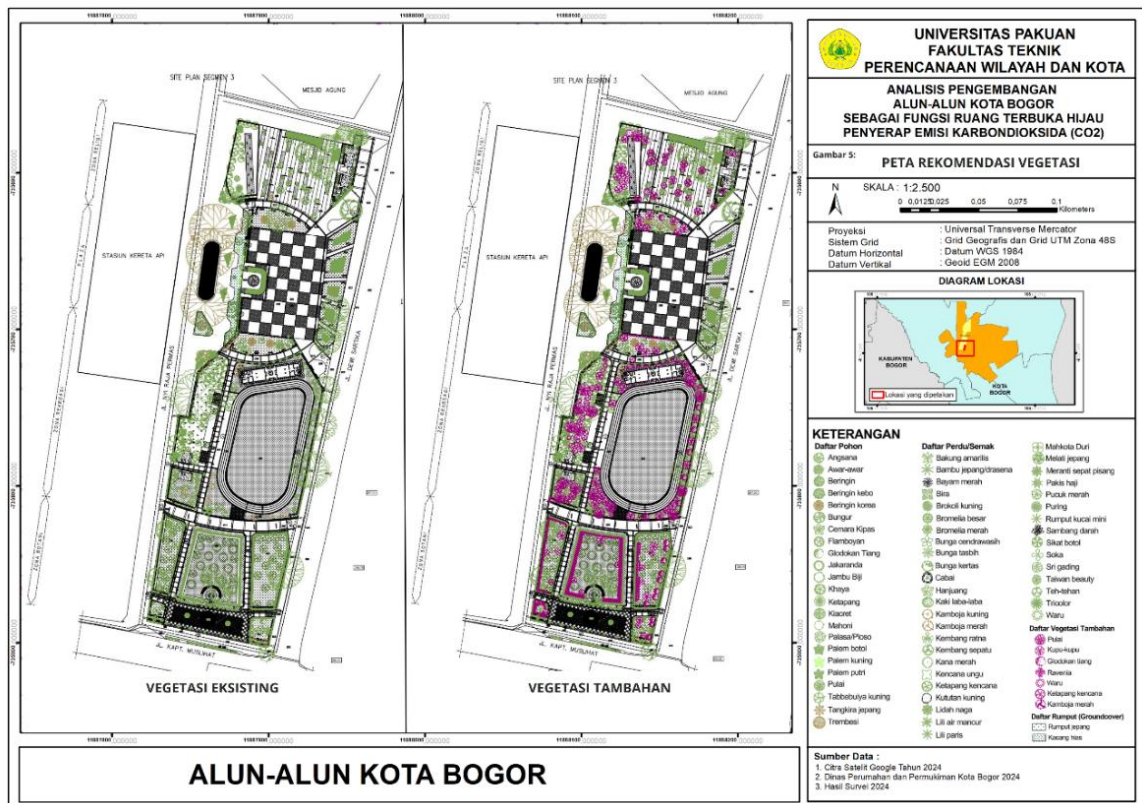
Distribusi vegetasi tambahan disesuaikan dengan ketersediaan ruang pada setiap zona di kawasan alun-alun. Rincian distribusi spasial penanaman ditunjukkan pada Gambar 5 dan Tabel 16. Berdasarkan hasil perhitungan Tabel 16, penambahan vegetasi

dengan total sebesar 485, jumlah terbesar berada pada Zona Botani sebanyak 337 tanaman, diikuti Zona Rekreasi dan Olahraga sebanyak 101 tanaman, Zona Religi sebanyak 35 tanaman, dan Zona Plaza sebanyak 12 tanaman.

Tabel 16. Vegetasi Rekomendasi Tiap Zona Penyerap Emisi CO₂ Alun-alun Kota Bogor

No	Vegetasi/Zona	Botani	Rekreasi dan Olahraga	Plaza	Religi	Jumlah
1	Pulai (<i>Alstonia scholaris</i>)	0	15	0	2	17
2	Kupu-kupu (<i>Bauhinia purpurea</i>)	6	10	6	2	24
3	Glodokan (<i>Polyalthia longifolia</i>)	10	5	1	0	16
4	Waru (<i>Talipariti tiliaceum</i>)	158	11	0	3	172
5	Ravenia (<i>Ravenia spectabilis</i>)	160	15	0	0	175
6	Ketapang kencana (<i>Terminalia mantaly</i>)	0	17	5	13	35
7	Kamboja merah (<i>Plumeria rubra</i>)	3	28	0	15	46
Vegetasi Rekomendasi		337	101	12	35	485

Sumber: Hasil Analisis (2024)



Gambar 5. Peta Rekomendasi Penambahan Vegetasi

Setelah dilakukan intensifikasi vegetasi, kemampuan penyerapan karbon di kawasan Alun-Alun Kota Bogor meningkat sebesar 128,388.74 g CO₂/jam atau 19.04%. Jika digabungkan dengan kemampuan daya serap vegetasi eksisting sebesar 86,645.49 g CO₂/jam, maka total kemampuan penyerapan karbon mencapai 214,950.02 g CO₂/jam atau 31.89% dari total emisi CO₂ yang dihasilkan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa strategi intensifikasi vegetasi mampu meningkatkan kontribusi RTH dalam mengurangi emisi karbon di kawasan perkotaan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas vegetasi eksisting di Alun-Alun Kota Bogor masih relatif rendah dalam menyerap emisi CO₂ yang dihasilkan dari aktivitas transportasi di sekitarnya. Kondisi ini menunjukkan adanya ketidakseimbangan antara produksi emisi dan kemampuan penyerapan karbon pada RTH di pusat kota. Oleh karena itu, optimalisasi komposisi vegetasi melalui strategi intensifikasi menjadi penting untuk meningkatkan fungsi ekologis RTH sebagai penyerap karbon di kawasan perkotaan.

Meskipun luas lahan yang tersedia relatif terbatas, hasil penelitian menunjukkan

bahwa pemilihan jenis vegetasi dengan kapasitas serapan karbon yang tinggi dapat secara signifikan meningkatkan kemampuan penyerapan karbon kawasan. Temuan ini sejalan dengan kajian mengenai *urban green open space carbon sequestration* yang menekankan bahwa ukuran, struktur, kuantitas, dan jenis vegetasi memiliki peran penting dalam menentukan kapasitas penyerapan karbon di RTH perkotaan (Liu *et al.*, 2024; Tao *et al.*, 2023)

Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, terutama terkait variasi lalu lintas harian dan musiman yang belum sepenuhnya terakomodasi dalam periode pengamatan. Selain itu, faktor emisi kendaraan yang digunakan masih mengacu pada standar IPCC, sehingga kemungkinan terdapat perbedaan dengan kondisi konsumsi bahan bakar kendaraan pada tingkat lokal. Meskipun demikian, pendekatan analisis yang digunakan dalam penelitian ini dapat menjadi dasar dalam pengintegrasian analisis emisi transportasi dengan perencanaan vegetasi pada RTH perkotaan sebagai bagian dari upaya mitigasi perubahan iklim di tingkat lokal.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa total emisi CO₂ yang dihasilkan dari aktivitas kendaraan bermotor pada empat ruas jalan di sekitar Alun-Alun Kota Bogor mencapai 674,205.07 g CO₂/jam. Sementara itu, kemampuan daya serap vegetasi eksisting di kawasan tersebut hanya sebesar 86,645.49 g CO₂/jam atau sekitar 12.85% dari total emisi yang dihasilkan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kapasitas vegetasi yang ada saat ini masih belum optimal dalam menyerap emisi karbon yang berasal dari aktivitas transportasi di sekitar kawasan alun-alun.

Melalui analisis evaluatif intensifikasi vegetasi, diperoleh skenario penambahan 485 vegetasi pada lahan tersisa seluas 1,799.92 m², yang mampu meningkatkan kemampuan penyerapan karbon sebesar 128,388.74 g CO₂/jam atau 19.04%. Jika digabungkan dengan

daya serap vegetasi eksisting, total kemampuan penyerapan karbon di kawasan Alun-Alun Kota Bogor dapat mencapai 214,950.02 g CO₂/jam atau sekitar 31.89% dari total emisi CO₂ yang dihasilkan. Hasil ini menunjukkan bahwa strategi intensifikasi vegetasi berpotensi meningkatkan fungsi ekologis ruang terbuka hijau perkotaan sebagai penyerap karbon sekaligus mendukung upaya mitigasi perubahan iklim di tingkat lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, Y., Yusuf, R., & Purnomo, D. (2024). Redesain Ruang Terbuka Publik di Tolitoli (Studi Kasus Taman Kota Gaukan Muhammad Bantilan). *ANALOGI: Arsitektur, Lingkungan Binaan & Planologi*, 2(1), 37–44. <https://doi.org/10.56630/analogi.v2i1.489>
- Akbar, R. Z. (2023). Analisis Tingkat Pencemaran Udara Kendaraan Bermotor di Area Parkir Selatan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 8(1), 25–33. <https://doi.org/10.33084/mitl.v8i1.4680>
- Ambarsari, D. N. (2018). *Evaluasi Fungsi Reduksi Alun-alun Kota Batu sebagai Daya Serap Emisi CO₂* [Skripsi Sarjana Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Brawijaya]. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/9540>
- Ambarsari, D. N., Sari, K. E., & Maulidi, C. (2019). Emisi CO₂ Kendaraan Bermotor Kawasan Alun-Alun Kota Batu. *Planning for Urban Region and Environment (PURE)*, 8(1). <https://purejournal.ub.ac.id/index.php/pure/article/view/385>
- BAPPEDA Kota Bogor. (2023). *Laporan Akhir Penyusunan Rencana Aksi Daerah Gas Rumah Kaca Kota Bogor*.
- Crippa, M., Guizzardi, D., Pagani, F., Banja, M., Muentan, M., Schaaf, E., Becker, W., Monforti-Ferrario, F., Quadrelli, R., Martin, R., De Melo, B., Taghavi-Moharamli, P., Köykkä, J., Grassi, G., Rossi, S., Brandao De Melo, J., Oom, D., Branco, A., San-Miguel, J., & Vignati, E. (2023). GHG Emissions of All World Countries. In *Publications Office of the European Union*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/235266>
- Darlina, I., Wilujeng, S., & Nurmajid, F. (2023). Estimasi Cadangan Karbon Dan Serapan Karbon Di Taman Maluku Kota Bandung. *Paspalum: Jurnal Ilmiah Pertanian*, 11(1), 163. <https://doi.org/10.35138/paspalum.v11i1.556>

- Dewi, I. K., Febriani, Y., & Wicaksono, A. (2024). Carbon Dioxide (CO₂) Sequestration by Trees and Green Open Space (GOS) at the Campus of Pakuan University. *Indonesian Journal of Applied Environmental Studies*, 5(1), 29–34. <https://doi.org/10.33751/injast.v5i1.9653>
- Dinas Perhubungan Kota Bogor. (2023). *Evaluasi Kinerja Jaringan Jalan dan Simpang di Kota Bogor*.
- Dinas Perumahan dan Permukiman Kota Bogor. (2023). *Profil Alun-alun Kota Bogor*. Bidang Pengelolaan Keanekaragaman Hayati.
- Direktorat Jenderal Penataan Ruang. (2006). *Ruang Terbuka Hijau Sebagai Unsur Utama Tata Ruang Kota*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Dollah, A. S., Rasmawarni, & M, A. T. (2018). Analisis Ruang Terbuka Hijau (RTH) dari Aspek Keterlaksanaan Fungsi Sosial di Kota Makassar. *Linears : Jurnal Arsitektur*, 1(2), 62–71. <https://doi.org/https://doi.org/10.26618/j-linears.v1i2.1810>
- Emilsson, T., Sang, Å. O., Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., & Bonn, A. (2017). *Nature-based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Impacts of Climate Change on Urban Areas and Nature-Based Solutions for Adaptation*. 15–27. <http://www.springer.com/series/13408>
- Febriansyah, A. R., Ergantara, R. I., & Nasoetion, P. (2022). Daya Serap CO₂ Tanaman Pengisi Ruang Terbuka Hijau Privat Rumah Besar Perumahan Springhill dan Citra Mas di Kelurahan Kemiling Permai. *Jurnal Rekayasa, Teknologi, Dan Sains*, 6(1), 20–31. <https://ejournalmalahayati.ac.id/index.php/teknologi/article/view/5862/pdf>
- Hidayat, J. T., & Ridwan, M. (2018). Assessment of the Quality of Public Green Open Space (GOS) in the Urban Fringes in Response to Urban Sprawl Phenomenon (Case Study District of Tanah Sareal, Bogor City). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 179(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/179/1/012027>
- IPCC. (2008). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. In The Core Writing Team, R. K. Pachauri, & A. Reisinger (Eds.), *A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (1st ed.). The Intergovernmental Panel on Climate Change: Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report. <https://doi.org/10.1201/b11064-39>
- Irwan, Z. D. (2019). *Lanskap Hutan Kota: Berbasis Kearifan Lokal*. Bumi Aksara.
- Karapang, A. Ch., Mangangka, I. R., & Riogilang, H. (2023). Penanganan Emisi CO₂ dari berbagai Jenis Kendaraan Bermotor di Desa Tumpaan. *TEKNO*, 21(85), 1136–1154. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/teknologi>
- Liu, Y., Fan, C., & Xue, D. (2024). A Review of the Effects of Urban and Green Space Forms on the Carbon Budget Using a Landscape Sustainability Framework. *Sustainability*, 16(5), 1870. <https://doi.org/10.3390/su16051870>
- Maksum, Y. H. (2016). Potensi Penyusutan Emisi CO₂ oleh Vegetasi Berdasarkan Jejak Transportasi. *Planning for Urban Region and Environmet*, 5(1), 1–10.
- Marisha, S. (2018). *Analisis Kemampuan Pohon dalam Menyerap CO₂ dan Menyimpan Karbon pada Jalur Hijau Jalan di Subwilayah Kota Tegalega, Kota Bandung* [Skripsi Program Studi Rekayasa Kehutanan]. Institut Teknologi Bandung.
- Naufal, M. Z., Sari, K. E., & Meidiana, C. (2023). Daya Serap Vegetasi Taman Singha Merjosari Terhadap Emisi CO₂ Kendaraan Bermotor. *Planning for Urban Region and Environment (PURE)*, 12(3), 1–12.
- Nowak, D. J., & Greenfield, E. J. (2018). US Urban Forest Statistics, Values, and Projections. *Journal of Forestry*, 116(2), 164–177. <https://doi.org/10.1093/jofore/fvx004>
- Octradha, K. A., Huboyo, H. S., & Samadikun, B. P. (2017). Estimasi Emisi Berdasarkan Kecepatan Kendaraan di Beberapa Ruas Jalan Kota Semarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(2), 1–14.
- Pemerintah Daerah Kota Bogor. (2021). *Peraturan Daerah Kota Bogor Nomor 6 Tahun 2021 tentang Perubahan atas Peraturan Daerah Nomor 8 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Bogor Tahun 2011-2031*. Pemerintah Daerah Kota Bogor.
- Pemerintah Kota Bogor. (2023). *Keputusan Wali Kota Bogor Nomor 500.11.3/Kep.271-DPUPR/2023 Tentang Salinan Penetapan Ruas-ruas Jalan di Kota Bogor Menurut Statusnya sebagai Jalan Kota*. Wali Kota Bogor.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2007). *Undang-Undang No 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang*. Pemerintah Republik Indonesia.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2008). *Peraturan Menteri No. 5 Tahun 2008 tentang Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan*. Pemerintah Republik Indonesia.
- Pramessari, V. (2022). *Kajian Kecukupan Ruang Terbuka Hijau Publik Untuk Mereduksi Konsentrasi Karbon Dioksida (CO₂) Dari Kendaraan Bermotor Di Jalan Tunjungan Dan Jalan Basuki Rahmat, Surabaya* [Skripsi Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Surabaya]. <https://repository.its.ac.id/115888/>

- Pratiwi, A., Lestari, C., Harina Roza, Z., Rizki, A., & Nasir, M. (2024). Literatur Review : Analisis Tingkat Pencemaran Udara Akibat Lalu Lintas Kendaraan di Indonesia. *KENANGA : Journal of Biological Sciences and Applied Biology*, 4(1), 28–37. <https://journal.ar-raniry.ac.id/index.php/kenanga>
- Presiden Republik Indonesia. (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*. Presiden Republik Indonesia.
- 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>
- Rambaradellangga, A. (2017). *Analisis Kemampuan RTH dalam Mereduksi CO2 dan Suhu Udara Serta Pengaruhnya terhadap Tingkat Kenyamanan Kampus Universitas Brawijaya* [Skripsi Program Studi Agroteknologi]. Universitas Brawijaya.
- Roshintha, R. R., & Mangkoedihardjo, S. (2016). Analisis Kecukupan Ruang Terbuka Hijau Sebagai Penyerap Emisi Gas Karbon Dioksida (CO2) pada Kawasan Kampus ITS Sukolilo, Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.17510>
- Sarasidehe, P. G., Jati, D. R., & Jumiati, J. (2022). Analisis Kemampuan Vegetasi pada Ruang Terbuka Hijau dalam Menyerap Emisi CO2 Kendaraan Bermotor di Area Kantor Gubernur Kalimantan Barat. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 6(3), 219–228. <https://doi.org/10.26760/jrh.v6i3.219-228>
- Setyawati, K. C., Ghifari, M. K., & Aribahwanto, M. A. (2022). Pengaruh Pengaruh Urban Sprawl Terhadap Tata Kota Surabaya. *Journal of Economics Development Issues*, 5(2), 78–85. <https://doi.org/10.33005/jedi.v5i2.122>
- Syafaati, S. N., & Mangkoedihardjo, S. (2020). Evaluasi dan Perencanaan Ruang Terbuka Hijau berbasis Serapan Emisi Karbon Dioksida (CO2) di Zona Barat Kota Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), F222–F229.
- Tao, P., Lin, Y., Wang, X., Li, J., Ma, C., Wang, Z., Dong, X., Yao, P., & Shao, M. (2023). Optimization of Green Spaces in Plain Urban Areas to Enhance Carbon Sequestration. *Land*, 12(6), 1218. <https://doi.org/10.3390/land12061218>
- Trisandy, A. Y. (2018). *Analisis Perhitungan Ruang Terbuka Hijau Penyerap Gas CO2 di Koridor Ahmad Yani Surabaya* [Skripsi Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. <https://repository.its.ac.id/56609/>
- Wali Kota Bogor. (2024). *Peraturan Wali Kota Bogor Nomor 5 Tahun 2024 Tentang Rencana Detail Tata Ruang Wilayah Perencanaan A Samida dan Wilayah Perencanaan D Purwa Tahun 2024-2044*. Pemerintah Daerah Kota Bogor.
- Wardhani, A. K., Budianto, B., & Sugiarto, Y. (2018). The Role of Vegetation in Reducing Anthropogenic CO2 in Bogor City. *Agromet*, 32(1), 42. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.32.1.42-50>