

E - ISSN 2656-5528



# Desa-Kota

JURNAL PERENCANAAN WILAYAH, KOTA, DAN PERMUKIMAN

**VOL. 7 NO. 1 TAHUN 2025**



PENERBIT :

**UNIVERSITAS  
SEBELAS MARET**





[Home](#) / [About the Journal](#) / [Editorial Team](#)

## Editorial Team

### Editor in Chief

» [Dr. Paramita Rahayu, M.T., M.Sc.](#), Urban and Regional Planning Program, Faculty of Engineering, Universitas Sebelas Maret (Scopus ID: 55928118300), Indonesia

### Editor

» [Chrisna Trie Hadi Permana](#), Urban and Regional Planning Study Programme, Universitas Sebelas Maret (Scopus ID: 57204948591), Indonesia

» [Mohamad Fadhli bin Rashid](#), Urban and Regional Planning Department, faculty of Built Environment and Surveying, Universiti Teknologi Malaysia [Scopus ID: 7003976710]

» [Fikri Zul Fahmi](#), School of Architecture, Planning, and Policy Development Institut Teknologi Bandung [Scopus ID: 55928123200]

» [Candraningratri Ekaputri Widodo](#), Urban and Regional Planning Program, Faculty of Engineering, Universitas Sebelas Maret (Scopus ID: 57217681007), Indonesia

» [Rama Permana Putra](#), Faculty of Spacial Science, University of Groningen, Netherlands

» [Hakimatul Mukaromah](#), Urban and Regional Planning Program, Faculty of Engineering, Universitas Sebelas Maret (Scopus ID: 57201348060), Indonesia

» [Rufia Andisetyana Putri](#), Urban and Regional Planning, Universitas Sebelas Maret [Scopus ID: 57195474403], Indonesia

### Assistant Editor

» [Anisatul Ayuzi Nurlasari](#), Urban and Regional Planning Program, Faculty of Engineering, Universitas Sebelas Maret

» [Annisa Dyan Septyana](#), Urban and Regional Planning Program, Faculty of Engineering, Universitas Sebelas Maret, Indonesia

### ISSN

2656-5528 (Online)

### Information for Author

- [Focus and Scope](#)
- [Submit Manuscript](#)
- [Author Guidelines](#)



### Indexing



### Collaboration



# Vol 7, No 1 (2025)

## Table of Contents

### Articles

<a href="#">Kajian Daya Serap Ruang Terbuka Hijau Koridor Jalan Tol Jagorawi dalam Menurunkan Emisi CO2 dari Kendaraan</a>	<a href="#">PDF</a>
Wisely Yahya, Anita Sitawati, Rini Fitri, Rezkia Dewi Andajani, Aji Nugra Siswanto	1-13
<a href="#">Faktor yang Memengaruhi Nilai Lahan KKOP Bandar Udara Internasional Kualanamu, Kabupaten Deli Serdang</a>	<a href="#">PDF</a>
Septian Chandra Dwi Nugraha, Chrisna Trie Hadi Permana, Candraningratri Ekaputri Widodo	14-28
<a href="#">Identifikasi Upaya Konservasi Sungai Berbasis Masyarakat di Kampung Iklim Gajah Putih, Karangasem, Laweyan, Surakarta</a>	<a href="#">PDF</a>
Afiya Salma Dzahabiyya, Paramita Rahayu, Kusumastuti Kusumastuti	29-43
<a href="#">Pola dan Pemodelan Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan di Kabupaten Sleman Sebagai Wilayah Peri-Urban</a>	<a href="#">PDF</a>
Mohammad Rizqi Safirul Kamal, Reyvaldi Aji Satria, Fabian Gusti Pasha, Basillia Way	44-58
<a href="#">Daya Hidup pada Solo City Walk Koridor Slamet Riyadi, Kota Surakarta</a>	<a href="#">PDF</a>
Mohamad Ashraf Irfanda, Soedwihajono Soedwihajono, Bambang S Pujantiyo	59-69
<a href="#">Identifikasi Karakteristik Kawasan Permukiman Pesisir dalam Menghadapi Bencana Banjir Rob di Pantai Utara Kota Pekalongan</a>	<a href="#">PDF</a>
Tsabita Aqila Husna, Winny Astuti, Isti Andini	70-88
<a href="#">Kriteria Permukiman berdasarkan Aspek Keberlanjutan di Kawasan Kumuh Kecamatan Pringsewu, Kabupaten Pringsewu</a>	<a href="#">PDF</a>
Marita Infia Fitriani, Bambang Utoyo, Citra Persada	89-103
<a href="#">Faktor Utama yang Memengaruhi Kinerja Jalan pada Koridor Perdagangan Jalan Dr. Radjiman, Kota Surakarta</a>	<a href="#">PDF</a>
Aldi Fauzan Mawardi, Lintang Suminar, Murtanti Jani Rahayu	104-115
<a href="#">Tingkat Kesiapan Mitigasi Bencana Tsunami di Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul</a>	<a href="#">PDF</a>
Dita Prihastwi, Galing Yudana, Nur Miladan	116-135
<a href="#">Aksesibilitas Ruang Publik bagi Penyandang Disabilitas di Kawasan Alun-Alun Demak</a>	<a href="#">PDF</a>
Adityas Purnama Sari, Nur Miladan, Bambang Slamet Pujantiyo	136-148
<a href="#">Dampak Industri PT. Semen Indonesia Pabrik Tuban terhadap Kondisi Permukiman di Sekitarnya</a>	
Rahma Novita Sari, Winny Astuti, Lintang Suminar	



# Kajian Daya Serap Ruang Terbuka Hijau Koridor Jalan Tol Jagorawi dalam Menurunkan Emisi CO<sub>2</sub> dari Kendaraan

## *Study of the Green Open Space Absorption Capacity on the Jagorawi Toll Road Corridor in Reducing CO<sub>2</sub> Emissions from Vehicles*

Wisely Yahya<sup>1\*</sup>, Anita Sitawati<sup>1</sup>, Rini Fitri<sup>2</sup>, Rezkia Dewi Andajani<sup>3</sup>, Aji Nugra Siswanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Arsitektur Lanskap dan Teknologi Lingkungan, Universitas Trisakti, Jakarta Barat, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Arsitektur Lanskap, Fakultas Arsitektur Lanskap dan Teknologi Lingkungan, Universitas Trisakti, Jakarta Barat, Indonesia

<sup>3</sup>Department of Systems Innovation, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

\*e-mail: wisely.yahya@trisakti.ac.id

(Received: October 1, 2024; Reviewed: November 9, 2025; Accepted: December 10, 2024)

### Abstrak

Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 29% pada tahun 2030. Ruang Terbuka Hijau (RTH) memiliki fungsi ekologis untuk menangkap karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) melalui penyerapan alami oleh vegetasi. Namun, perencanaan lanskap jalan tol di Indonesia masih menekankan aspek ekonomi terkait efisiensi biaya pembangunan dan pemeliharaan jalan tol. Aspek konservasi lingkungan dan ekosistem diperlukan dalam pengembangan RTH, diantaranya dalam hal menyerap emisi CO<sub>2</sub>. Tujuan penelitian ini adalah menilai kemampuan RTH dalam menyerap emisi karbon (CO<sub>2</sub>) dari kendaraan yang melintas pada Jalan Tol Jagorawi. Penelitian ini menggunakan data primer berupa observasi jenis dan jumlah vegetasi eksisting pada koridor Jalan Tol Jagorawi dan data rata-rata lalu lintas harian kendaraan yang melintas pada Jalan Tol Jagorawi. Data sekunder digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik fisik wilayah penelitian. Penelitian ini merupakan pendekatan kuantitatif dengan menggunakan perhitungan emisi dari kendaraan bermotor serta daya serap CO<sub>2</sub> dari berbagai jenis vegetasi. Pada wilayah penelitian saat ini terdapat 9.590 vegetasi dari 24 spesies, sehingga total CO<sub>2</sub> yang diserap oleh vegetasi pada wilayah penelitian mencapai 56.393,397 kg/hari. Total emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari 235.328 kendaraan yang melintasi wilayah penelitian mencapai 416.435 kg/hari. Dibandingkan dengan total emisi CO<sub>2</sub> kendaraan yang melintasi area penelitian, RTH pada koridor Jalan Tol Jagorawi saat ini hanya menyerap 13,54% dari total emisi kendaraan bermotor. Penelitian ini mengindikasikan belum optimalnya RTH eksisting pada Jalan Tol Jagorawi dalam menyerap emisi CO<sub>2</sub>. Penelitian ini menunjukkan pentingnya perencanaan RTH pada koridor jalan tol yang mengedepankan fungsi ekologis sebagai upaya mewujudkan penurunan GRK dari transportasi darat dan berkontribusi pada penurunan GRK nasional.

**Kata kunci:** daya serap; gas rumah kaca; jalan tol Jagorawi; karbon dioksida; ruang terbuka hijau

### Abstract

The Indonesian government is committed to reducing Greenhouse Gas emissions (GHG) by 29% by 2030. Green Open Spaces (GOS) serves an ecological function by capturing carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) through natural absorption by vegetation. However, toll road landscape planning in Indonesia still emphasizes economic aspects, particularly cost efficiency in toll road construction and maintenance. Aspects of environmental and ecosystem conservation also need to be considered in the development of GOS, including in terms of absorbing CO<sub>2</sub> emissions. This study aimed to assess the capacity of GOS to absorb carbon emissions (CO<sub>2</sub>) from vehicles passing through the Jagorawi Toll Road. The research utilized primary data, including observations of the type and number of existing vegetation along the Jagorawi Toll Road corridor and average daily traffic data for vehicles using the road. Secondary data are used to identify the physical characteristics of the research area. The research employed a quantitative approach by calculating emissions from motorized vehicles and the CO<sub>2</sub> absorption capacity of vegetation. The research area contained 9,590 vegetation from 24 species, resulting in a total CO<sub>2</sub> absorption of 56,393,397 kg/day. The total CO<sub>2</sub> emissions produced by 235,328 vehicles passing through the research area reached 416,435 kg/day. Compared to the total CO<sub>2</sub> emissions generated by vehicles, the GOS on the Jagorawi Toll Road corridor absorbed 13.54% of total emissions. The results indicate that the existing GOS along the Jagorawi Toll Road have not been fully optimized for absorbing CO<sub>2</sub>. This research highlights the importance of GOS planning along toll road corridors, emphasizing ecological functions as a strategy to reduce GHG emissions from the land transportation and contribute to the national target of GHG reduction.

**Keywords:** *absorption capacity; carbon dioxide; green house gases; green open space; Jagorawi toll road*

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia telah menunjukkan komitmen dalam menghadapi perubahan iklim dengan mengambil langkah nyata untuk mengurangi emisi karbon. Komitmen ini secara resmi diwujudkan melalui pengesahan Paris Agreement, yang dituangkan dalam Undang-Undang (UU) Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2016. Melalui UU ini, Indonesia menyatakan dukungannya terhadap Paris Agreement dalam kerangka Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Perubahan Iklim (United Nations Framework Convention on Climate Change/UNFCCC). Dalam perjanjian tersebut, pemerintah Indonesia diwajibkan untuk melakukan berbagai upaya guna menurunkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Target yang ditetapkan adalah pengurangan sebesar 29% atau sekitar 834 juta ton setara CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>e) pada tahun 2030, dibandingkan dengan skenario tanpa intervensi/*Business as Usual* (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020). Untuk mencapai target pengurangan emisi ini, berbagai langkah mitigasi telah diimplementasikan, khususnya di sektor energi. Selain itu, inventarisasi emisi GRK terus diperbarui untuk memantau perkembangan pencapaian target. Pada tahun 2019, sektor energi menyumbang emisi sebesar 638.452 Gg setara CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>e), dengan sektor transportasi menyumbang 24,64% dari total emisi, menjadikannya sumber emisi terbesar kedua setelah industri energi (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020). Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral juga telah merilis Buku Inventarisasi Emisi GRK Bidang Energi yang menyatakan bahwa emisi dari sektor transportasi diperkirakan akan terus meningkat di masa mendatang. Hal ini disebabkan oleh terus berlangsungnya produksi kendaraan berbahan bakar fosil yang mendominasi pasar.

Perencanaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) pada konteks penelitian Perencanaan Wilayah dan Kota semakin mendapat perhatian yang serius. Hal ini tidak terlepas dari pesatnya urbanisasi dan industrialisasi, yang sejalan dengan lonjakan pertumbuhan penduduk. Kondisi ini telah menyebabkan peningkatan pencemaran lingkungan serta penurunan daya dukung ekologis kota-kota (Ajrina & Kustiwan, 2019; Liu *et al.*, 2016). Berdasarkan UU Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2023, RTH didefinisikan sebagai area yang bisa berbentuk jalur memanjang atau mengelompok, yang bersifat terbuka dan digunakan untuk tumbuhnya vegetasi. Vegetasi ini dapat berupa tanaman yang tumbuh secara alami atau yang direncanakan untuk dibudidayakan dengan memperhatikan fungsi ekologis, resapan air, ekonomi, sosial, budaya, dan estetika. Dilihat dari fungsinya yang berhubungan dengan ekologi, RTH di kawasan perkotaan memiliki peran penting dalam mengurangi polusi suara, menyediakan habitat bagi keanekaragaman hayati, serta memitigasi dampak fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Selain itu, RTH juga membantu dalam mengatur iklim mikro di sekitarnya, menstabilkan tanah, memperbaiki cadangan air tanah, mencegah erosi, dan menyerap karbon dari atmosfer. Penyerapan karbon ini merupakan proses alami di mana karbon dikeluarkan dari atmosfer dan disimpan dalam biosfer. CO<sub>2</sub> di atmosfer akan diserap oleh vegetasi yang berfungsi sebagai penyerap karbon (Hardiansyah *et al.*, 2024). Pohon, sebagai elemen utama dalam RTH, mampu menyerap CO<sub>2</sub> melalui proses fotosintesis dan menyimpannya dalam bentuk biomassa. Semakin tinggi laju fotosintesis, semakin besar jumlah CO<sub>2</sub> yang dapat diserap dari atmosfer ke dalam biomassa. Pohon-pohon yang tumbuh di kawasan perkotaan menyimpan sejumlah besar karbon dalam jangka waktu tertentu tetapi karbon tersebut dapat dilepaskan kembali ke atmosfer setelah pohon mati. Di sisi lain, selama pohon-pohon ini terus tumbuh, mereka akan terus menyerap karbon. Sejumlah penelitian mengindikasikan bahwa salah satu cara untuk mengatasi masalah emisi GRK adalah dengan meningkatkan penyediaan RTH di perkotaan, yang secara signifikan berkontribusi dalam menyerap emisi CO<sub>2</sub> (Ajrina & Kustiwan, 2019; Rachmayanti & Mangkoedihardjo, 2021; Kusuma *et al.*, 2023).

RTH pada koridor jalan, mulai dari jalan lokal hingga jalan tol sering kali tidak dianggap sebagai ruang hijau atau ruang terbuka karena merupakan arteri lalu lintas utama (Byrne & Sipe, 2010). Perencanaan lanskap jalan tol di Indonesia pada umumnya masih menekankan aspek ekonomi yaitu terkait efisiensi biaya pembangunan dan pemeliharaan jalan tol padahal aspek konservasi lingkungan dan ekosistem juga diperlukan pada pengembangan RTH, diantaranya dalam hal menyerap emisi CO<sub>2</sub> (PT Jasa Marga, 2018). Berbagai penelitian telah membuktikan bahwa kontribusi RTH pada koridor jalan dalam meningkatkan kualitas udara secara khusus dalam menyerap emisi CO<sub>2</sub> (Fachrudin *et al.*, 2023; Kusuma *et al.*, 2023; Nursyahbandi *et al.*, 2020). Penyerapan karbon dapat dilakukan oleh jenis vegetasi tertentu. Vegetasi tersebut merupakan bagian dari komponen biotik yang hidup pada suatu habitat tertentu seperti hutan, padang rumput, semak belukar, dan lainnya (Sari *et al.*, 2018). Setiap jenis vegetasi memiliki kapasitas penyerapan karbon yang berbeda-beda. Kemampuan tumbuhan dalam menyerap CO<sub>2</sub> dipengaruhi oleh tingkat adaptasinya, luas dan ketebalan relatif daun, karakter serta jumlah stomata, usia tanaman, dan faktor lingkungan, termasuk intensitas cahaya yang diterima (Purnomo *et al.*, 2023; Sukmawati *et al.*, 2015). Vegetasi yang melakukan penyerapan karbon tinggi diantaranya Trembesi (*Samanea saman*) sebesar 28.448,39 kg/tahun (Dahlan, 2008).

Jalan Tol Jagorawi merupakan jalan bebas hambatan sepanjang 59 km yang menghubungkan Jakarta-Bogor-Ciawi. Jalan Tol Jagorawi termasuk jalan tol yang memiliki volume kendaraan melintas tergolong tinggi. Pada tahun 2020, jumlah kendaraan yang melintasi gerbang Tol Jagorawi dalam setahun tercatat mencapai 123.029.004 unit, menjadikannya jalan tol dengan volume kendaraan tertinggi ketiga setelah Tol Dalam Kota Jakarta dengan 152.193.067 kendaraan per tahun dan Jalan Tol Jakarta-Cikampek dengan 141.109.895 kendaraan per tahun (Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta, 2021). Transportasi darat merupakan salah satu subkategori sumber emisi dalam sektor energi, dan emisi dari sektor ini diperkirakan akan terus meningkat di masa depan, mengingat sebagian besar kendaraan bermotor di Indonesia masih bergantung pada bahan bakar fosil (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020). Kendaraan berbahan bakar bensin dan diesel menghasilkan emisi GRK tertinggi sepanjang siklus hidupnya dibandingkan dengan kendaraan yang menggunakan sumber energi alternatif, seperti kendaraan hibrida dan listrik (Buberger *et al.*, 2022).

Sejumlah penelitian menyoroti peran ekologis RTH dalam mengurangi emisi CO<sub>2</sub>, yang bergantung pada luas area RTH, jumlah pohon, serta kemampuan vegetasi dalam menyerap CO<sub>2</sub> (Dewi *et al.*, 2024; Purnomo *et al.*, 2023; Sukmawati *et al.*, 2015). Menurut penelitian Farida (2013), beberapa jenis vegetasi yang terdapat pada RTH di koridor Jalan Tol Jagorawi, khususnya di ruas Gerbang Tol Bogor–Terminal Baranangsiang, meliputi pohon akasia (*Acacia mangium*), sengon (*Paraserianthes falcataria*), mindi (*Melia azedarach*), angšana (*Pterocarpus indicus*), dadap merah (*Erythrina crista-galli*), kembang merak (*Caesalpinia pulcherrima*), bunga kupu-kupu (*Bauhinia purpurea*), dan palem raja (*Roystonea regia*). Meskipun vegetasi di RTH koridor Jalan Tol Jagorawi cukup beragam, beberapa jenis tanaman tersebut memiliki kapasitas rendah dalam menyerap emisi karbon. Sebagai contoh, pohon akasia hanya mampu menyerap CO<sub>2</sub> sebesar 0,042 kg per pohon per hari, pohon angšana 0,031 kg per pohon per hari, dan dadap merah dengan daya serap CO<sub>2</sub> paling rendah, yaitu 0,013 kg per pohon per hari (Dahlan, 2008). Selain itu, masih terdapat keterbatasan penelitian mengenai perhitungan maupun penilaian kemampuan RTH pada koridor Jalan Tol Jagorawi dalam menyerap CO<sub>2</sub>. Di sisi lain, terdapat komitmen Indonesia dalam mencapai target penurunan emisi gas rumah kaca nasional sebesar 29% (Global Green Growth Institute, 2015). Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menilai kemampuan RTH pada kondisi eksisting dalam menyerap emisi CO<sub>2</sub> dari kendaraan yang melintas pada Jalan Tol Jagorawi.

## 2. KAJIAN TEORI

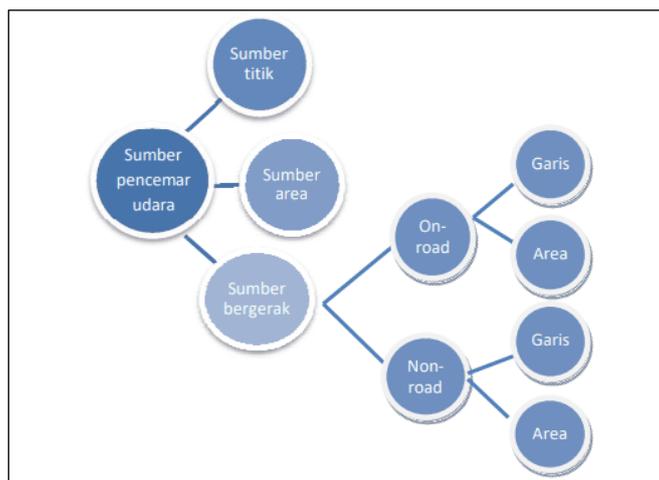
### 2.1. EMISI GAS RUMAH KACA

Gas Rumah Kaca (GRK) adalah sekumpulan gas yang memiliki kemampuan menyerap radiasi infra merah dari permukaan bumi dan memantulkannya kembali ke troposfer, yaitu bagian bawah atmosfer (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2013). Mekanisme ini mencegah pelepasan panas ke lapisan atmosfer yang lebih tinggi, sehingga menyebabkan panas tetap berada di dekat permukaan bumi dan proses tersebut dinamakan efek rumah kaca (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2013). Secara historis, revolusi industri mendorong peningkatan konsumsi bahan bakar fosil yang menghasilkan CO<sub>2</sub> secara signifikan dan mengganggu siklus karbon global sehingga menyebabkan pemanasan global yang memiliki serangkaian potensi dampak ekologi, fisik, dan kesehatan, termasuk kejadian cuaca ekstrem seperti banjir, kekeringan, badai, dan gelombang panas serta kenaikan permukaan laut (Ritchie *et al.*, 2017).

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) bukan satu-satunya GRK yang berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim. Selain CO<sub>2</sub>, terdapat metana (CH<sub>4</sub>) dan dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O) yang merupakan GRK utama karena jumlah emisinya yang tinggi. Ketiga gas tersebut biasanya menjadi fokus utama dalam inventarisasi emisi GRK (Ritchie *et al.*, 2017). Berdasarkan latar belakang tersebut, negara-negara di dunia berkomitmen dalam pengurangan emisi GRK sebagaimana tercantum pada Kyoto Protocol 1997 dan Paris Agreement. Regulasi terkait keberlanjutan lingkungan, termasuk pembatasan emisi dari aktivitas industri, telah diterapkan sejak diberlakukannya Kyoto Protocol (Sitawati *et al.*, 2022). Protokol ini bertujuan untuk menurunkan emisi dari enam jenis GRK, yaitu CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, hidrofluorokarbon (HFCs), perfluorokarbon (PFCs), dan sulfur heksafluorida (SF<sub>6</sub>) (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2013). Upaya pengurangan emisi karbon kemudian diperbarui melalui ratifikasi Paris Agreement. Indonesia menegaskan komitmennya terhadap perjanjian ini, sebagaimana diatur dalam UU Nomor 16 Tahun 2016, yang menetapkan target pengurangan emisi GRK sebesar 29% atau 834 juta ton CO<sub>2</sub>e pada tahun 2030 dibandingkan dengan skenario *Business as Usual* (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020). Perjanjian ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas negara dalam beradaptasi terhadap dampak perubahan iklim, membangun ketahanan iklim, dan mendorong pembangunan rendah emisi tanpa mengorbankan ketahanan pangan. Setiap negara memiliki kewajiban untuk menyampaikan kontribusi nasional mereka dalam upaya pengurangan emisi, yang harus ditingkatkan secara bertahap

pada setiap periode (Elliott *et al.*, 2023). Oleh karena itu, diperlukan tindakan mitigasi yang komprehensif di berbagai sektor untuk mengurangi emisi GRK.

Terdapat hubungan yang kuat antara konsentrasi gas CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> dengan peningkatan suhu bumi, baik dalam jangka panjang selama ribuan tahun maupun pada jangka waktu yang lebih singkat. Pemanasan global disebabkan oleh peningkatan GRK yang dipicu oleh berbagai aktivitas manusia yang dikategorikan pada beberapa sektor yaitu energi, transportasi, perumahan dan komersial, industri, persampahan, pertanian dan penggunaan lahan lainnya (Ritchie *et al.*, 2017). Selain itu, sumber polusi udara dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama, yaitu sumber bergerak dan tidak bergerak (Sitawati *et al.*, 2022; Sogut & Erdoğan, 2022). Sumber bergerak mencakup objek yang dapat berpindah dari satu lokasi ke lokasi lain, sedangkan sumber tidak bergerak tetap berada di satu tempat dengan sumber berupa titik dan area. Kendaraan yang beroperasi di jalan raya maupun di luar jalan raya termasuk sumber bergerak. Sumber bergerak di jalan raya meliputi kendaraan seperti mobil, truk, bus, dan sepeda motor, sedangkan sumber bergerak di luar jalan raya mencakup moda transportasi, seperti kereta api, pesawat terbang, dan kapal laut (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2013). Istilah "sumber bergerak garis" merujuk pada emisi yang dihasilkan oleh kendaraan yang secara individu atau dalam kelompok membentuk "garis" emisi sepanjang jalur transportasi di area yang sedang diinventarisasi (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2013). Untuk mengukur emisi dari sumber bergerak berupa garis, maka diperlukan data aktivitas transportasi seperti jumlah kendaraan yang melintas per hari. Jika data aktivitas kendaraan tidak tersedia, emisi dihitung secara keseluruhan di wilayah tertentu karena sumber bergerak dikategorikan sebagai sumber area (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2013). Dalam penelitian ini, emisi polusi udara yang dianalisis berasal dari sumber bergerak pada koridor jalan tol (*on-road*) berupa garis yang meliputi area sempadan dan median jalan tol. Kategori sumber pencemar udara dalam proses inventarisasi emisi ditampilkan pada Gambar 1.



**Gambar 1. Kategori Sumber Pencemar Udara dalam Inventarisasi Emisi (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2013)**

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah, terdapat beberapa ketentuan penting terkait inventarisasi sumber pencemar dari kendaraan bermotor, yang dibagi menjadi ketentuan umum dan ketentuan khusus. Beberapa hal yang harus diperhatikan meliputi faktor emisi yang merujuk pada jumlah emisi yang dilepaskan ke udara ambien dari aktivitas tertentu, dihitung per satuan bahan bakar yang digunakan atau intensitas kegiatan yang dilakukan. Selain itu, faktor emisi CO<sub>2</sub> dapat merujuk pada pedoman yang diberikan oleh IPCC (2006), yang menetapkan nilai faktor emisi CO<sub>2</sub> berdasarkan jenis bahan bakar. Salah satu contohnya adalah bensin, dengan faktor emisi CO<sub>2</sub> sebesar 69.300 kg/TJ, yang merupakan nilai *default* menurut IPCC. Istilah ekonomi bahan bakar (*fuel economy*) menunjukkan kuantitas bahan bakar yang digunakan oleh kendaraan bermotor dalam melakukan perjalanan pada jarak tertentu, sehingga memengaruhi jumlah emisi yang dihasilkan (Berezin *et al.*, 2023). Panjang perjalanan per satuan waktu mengacu pada jarak yang ditempuh kendaraan bermotor pada jangka waktu tertentu dan berpengaruh terhadap total emisi selama periode tersebut. Selain itu, volume lalu lintas mengukur jumlah kendaraan yang melintas pada suatu ruas jalan dalam jangka waktu tertentu, umumnya dalam rentang waktu 24 jam, sebagai indikator aktivitas lalu lintas yang memengaruhi tingkat pencemaran udara.

## 2.2. RUANG TERBUKA HIJAU PERKOTAAN

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2023, Ruang Terbuka Hijau (RTH) didefinisikan sebagai area yang memanjang atau mengelompok dengan penggunaan terbuka yang berfungsi sebagai tumbuhnya berbagai jenis tanaman yang tumbuh secara alami maupun yang ditanam secara sengaja dengan mempertimbangkan aspek-aspek ekologis, resapan air, ekonomi, sosial, budaya, dan estetika. Selain itu, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2008 mengenai Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan menyatakan bahwa RTH memiliki fungsi utama yang bersifat intrinsik, yaitu fungsi ekologis, yang meliputi kemampuannya dalam menyerap polusi udara. Selain fungsi utama tersebut, RTH juga memiliki fungsi tambahan yang bersifat ekstrinsik, mencakup aspek estetika, ekonomi, serta sosial dan budaya. Terdapat berbagai jenis RTH, termasuk pekarangan, taman, hutan, dan jalur hijau di sepanjang jalan serta RTH dengan fungsi yang spesifik. Dalam perencanaan kota, diatur bahwa proporsi minimum RTH di kawasan perkotaan perlu mencapai 30%, dengan rincian 20% dari total tersebut wajib berupa RTH publik yang dapat diakses oleh masyarakat dan 10% lainnya merupakan RTH privat, sesuai dengan ketentuan dalam Undang-Undang Republik Indonesia 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang.

Kawasan hijau yang terbentuk di sepanjang koridor jalan tol adalah bagian dari RTH perkotaan, yang berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Jalur hijau di sepanjang jalan memiliki fungsi ekologis dalam menyerap CO<sub>2</sub> dari hasil pembakaran mesin knalpot kendaraan (PT Jasa Marga, 2018). Unsur hijau seperti pohon, rerumputan, semak-semak, dan vegetasi lainnya di RTH berkontribusi pada produksi oksigen melalui fotosintesis, yang secara tidak langsung membantu menjaga kualitas udara (Ajrina & Kustiwan, 2019). Namun, manfaat ini sering kali diabaikan dalam konteks pembangunan infrastruktur perkotaan di Indonesia, khususnya terkait pembangunan jalan tol. Sebagian besar perencanaan lanskap jalan tol di Indonesia masih berfokus pada aspek ekonomi, terutama efisiensi biaya pembangunan padahal aspek lain seperti kualitas visual, rekayasa berkelanjutan, serta konservasi lingkungan dan ekosistem juga perlu mendapat perhatian (PT Jasa Marga, 2018). Seiring berkembangnya waktu, para ahli perencanaan dan praktisi kini mulai mengadopsi konsep pembangunan jalan tol berkelanjutan (*green toll road*). Pengembangan infrastruktur hijau menjadi sangat penting dalam penataan lanskap jalan tol. Penataan ini sangat dipengaruhi oleh karakter lanskap setempat yang secara umum perlu mempertimbangkan aspek konservasi lingkungan dan ekosistem (PT Jasa Marga, 2018), yang meliputi karakteristik lanskap, seperti geologi, hidrologi, klimatologi, dan ekosistem yang menjadi dasar perancangan Habitat satwa liar di sepanjang koridor tol yang perlu dilindungi, terutama jika pembangunan tol memutus jalur migrasi atau pencarian makanan satwa. Kondisi tanah mempengaruhi pemilihan jenis vegetasi yang tepat (Nurika *et al.*, 2019). Selain itu, kualitas dan ketersediaan air untuk mendukung penyiraman tanaman. Vegetasi eksisting dapat digunakan sebagai elemen lanskap, terutama jenis vegetasi asli atau endemik. Penggunaan lahan di sekitar koridor juga dimanfaatkan untuk menentukan penempatan vegetasi sebagai penutup (*buffer*) atau bukaan pandangan (*moving vista*).

## 2.3. DAYA SERAP CO<sub>2</sub> BERDASARKAN JENIS VEGETASI

Salah satu contoh praktik terbaik dalam perencanaan dan perancangan RTH perkotaan dapat ditemukan di Silesia Park, taman kota terbesar di Eropa, yang mempertahankan vegetasi asli seperti pohon hornbeam dan beech, yang terbukti paling efisien dalam mengurangi polusi udara perkotaan (Grzędzicka, 2019). Kepadatan pepohonan yang ada tetap dipertahankan agar RTH berfungsi sebagai pengatur iklim mikro, membantu menurunkan suhu udara, serta mengurangi polusi udara perkotaan (Grzędzicka, 2019). Sejalan dengan itu, penelitian da Silva *et al.* (2010) merekomendasikan penggunaan vegetasi asli, seperti *Pinus sp.* dan *Eucalyptus sp.* pada kawasan hijau sepanjang koridor jalan di São Paulo, Brasil karena berpotensi menyerap karbon dan berkontribusi terhadap pengurangan pemanasan global. Selain itu, *Peltophorum ferrugineum*, yang umum ditemukan di India, juga disarankan untuk tetap dipertahankan di jalur hijau sepanjang jalan raya nasional di Guwahati, India, karena memiliki potensi terbesar dalam menyerap dan menyimpan karbon (Bhattacharya *et al.*, 2020). Berdasarkan berbagai praktik terbaik tersebut, vegetasi asli atau endemik dengan daya serap CO<sub>2</sub> tinggi telah menjadi elemen penting dalam lanskap RTH perkotaan dan terus dipertahankan karena efektivitasnya sebagai pengatur iklim mikro (Catalano *et al.*, 2021; Saputra *et al.*, 2017). Namun, penelitian Dahlan (2008) di Kota Bogor menunjukkan bahwa sebagian besar tanaman di Kebun Raya Bogor dan Hutan Penelitian Dramaga masih didominasi oleh vegetasi dengan daya serap CO<sub>2</sub> rendah hingga sedang (29 dari 43 jenis yang diinventarisasi). Pelajaran yang dapat diambil dari berbagai praktik baik ini adalah pentingnya mempertimbangkan jenis vegetasi dengan daya serap CO<sub>2</sub> tinggi dalam perencanaan dan perancangan RTH perkotaan agar dapat berfungsi secara ekologis, terutama dalam menyerap polusi udara dan mengatur iklim mikro.

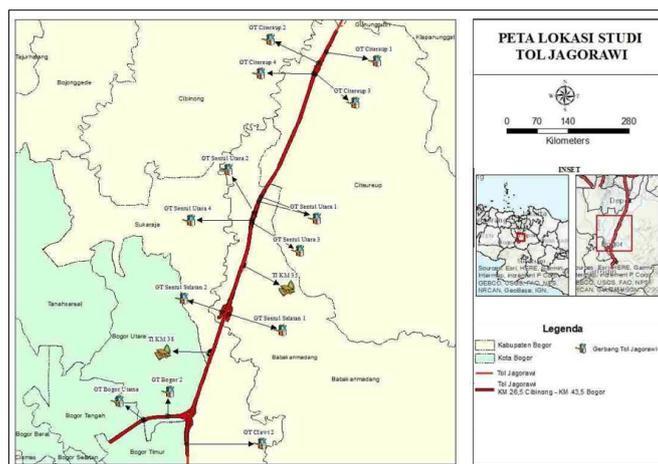
Vegetasi yang paling sering ditemui di wilayah tropis seperti Indonesia dan memiliki daya serap CO<sub>2</sub> tinggi diantaranya adalah pohon trembesi (*Samanea saman*) karena bertajuk besar dan memiliki daun pohon kecil, sehingga jumlah daunnya banyak dan dapat menyerap karbon secara maksimal. Lamtoro (*Leucaena leucocephala*) dan bunga kupu-kupu (*Bauhinia purpurea*) juga memiliki daya serap CO<sub>2</sub> yang tergolong tinggi. Daya serap CO<sub>2</sub> berdasarkan berbagai tinjauan literatur diseragamkan dengan satuan kg/pohon/tahun (Aindo *et al.*, 2023; Roshintha & Mangkoedihardjo, 2016; Wikansari & Nurjani, 2018). Pada penelitian ini, daya serap CO<sub>2</sub> dikonversi dengan satuan kg/pohon/hari, dimana daya serap RTH dalam kg/pohon/tahun dibagi dengan 360 hari. Konversi tersebut ditujukan untuk memudahkan pengambilan simpulan, mengingat total emisi CO<sub>2</sub> menggunakan satuan kg/hari. Adapun daya serap CO<sub>2</sub> pada setiap jenis pohon yang diperoleh berdasarkan tinjauan literatur ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Daya Serap CO<sub>2</sub> Setiap Jenis Pohon

No.	Species	Daya Serap CO <sub>2</sub> (kg/pohon/tahun)	Daya Serap CO <sub>2</sub> (kg/pohon/hari)	No.	Species	Daya Serap CO <sub>2</sub> (kg/pohon/tahun)	Daya Serap CO <sub>2</sub> (kg/pohon/hari)
1	<i>Acacia mangium</i>	15,19	[a]	13	<i>Bauhinia purpurea</i>	1.280,68	[e]
2	<i>Pterocarpus indicus</i>	11,12	[a]	14	<i>Leucaena leucocephala</i>	1.425,60	[g]
3	<i>Dracaena</i>	0,39	[b]	15	<i>Swietenia mahagoni</i>	295,73	[a]
4	<i>Cerbera odollam</i>	27,91	[c]	16	<i>Pometia pinnata</i>	329,76	[a]
5	<i>Casuarina equisetifolia</i>	45,00	[b]	17	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	30,95	[a]
6	<i>Erythrina crista-galli</i>	4,55	[a]	18	<i>Maniltoa grandiflora</i>	8,26	[a]
7	<i>Tectona grandis</i>	135,27	[a]	19	<i>Duranta erecta</i>	-	
8	<i>Leucosyke capitellata</i>	1,03	[d]	20	<i>Spathodea campanulat</i>	211,64	[f]
9	<i>Plumeria</i>	44,00	[b]	21	<i>Tabebuia chrysantha</i>	209,09	[g]
10	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	30,95	[a]	22	<i>Tabebuia rosea</i>	209,09	[g]
11	<i>Tiliparitiliaceum</i>	580,09	[e]	23	<i>Cordyline fruticosa</i>	-	
12	<i>Terminalia mantaly</i>	23,48	[b]	24	<i>Samanea saman</i>	28.448,39	[a]

### 3. METODE PENELITIAN

Wilayah penelitian adalah Jalan Tol Jagorawi, pada ruas jalan tol Cibinong-Bogor. Ruas tersebut memiliki panjang total 17 km. Pembagian segmen untuk perhitungan pada penelitian ini berdasarkan *exit* gerbang tol, dimulai dari Segmen Tiga yaitu G.Putri-Citeureup (km 23+800 s.d km 27+100), Segmen Empat yaitu Citeureup-Sentul (km 27+100 s.d km 32+800), Segmen Lima yaitu Sentul-Sentul Selatan (km 32+800 s.d km 36+700) dan Segmen Enam yaitu Sentul Selatan-Ciawi Gadog/Bogor (km 36+700 s.d km 44+500). Untuk mempermudah visualisasi, karakteristik fisik wilayah penelitian akan dipetakan mulai dari km 26,5 Cibinong hingga km 43,5 Bogor. Peta lokasi studi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Lokasi Studi

#### 3.1. METODE PENGUMPULAN DATA

Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder. Pengumpulan data primer dilaksanakan pada Juni-Agustus 2024. Data primer diperoleh dari pengamatan kondisi terkini mengenai jenis dan jumlah vegetasi yang berada pada RTH sepanjang koridor Jalan Tol Jagorawi serta data lalu lintas harian kendaraan yang melintasi wilayah penelitian. Pengumpulan data sekunder berupa data topografi, jenis tanah, iklim dan penggunaan lahan. Data-data tersebut diperoleh

dari Peta Rupa Bumi Indonesia, data *online* BMKG tahun 2023-2024 dan Tanah Air Indonesia tahun 2024. Data sekunder bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik fisik pada wilayah penelitian.

### 3.2. METODE ANALISIS DATA

Metode analisis yang digunakan adalah melalui perhitungan daya serap tanaman dalam menyerap CO<sub>2</sub> sebagaimana yang tertulis pada persamaan (1) dengan *V* adalah jumlah tanaman dan *C* adalah daya serap pohon terhadap CO<sub>2</sub> dan perhitungan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh kendaraan yang melintas pada wilayah penelitian sebagaimana yang dituliskan pada persamaan (2) (Febriansyah *et al.*, 2022).

$$\sum_i^n = V_i \times CAC_i \dots\dots\dots (1)$$

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006) mengelompokkan perhitungan jumlah emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor pada beberapa tingkatan. Penelitian ini menggunakan pendekatan Tingkat 1 (*Tier 1*) yang merupakan metode perhitungan yang memerlukan beberapa data. Terdapat metode perhitungan Tingkat 2 dan Tingkat 3 yang memerlukan data dan sumber daya yang lebih rinci (waktu, keahlian dan data spesifik) untuk menghasilkan perkiraan emisi. Adapun rumus emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh kendaraan yang melintasi wilayah penelitian terdapat pada persamaan (2) (IPCC, 2006). *Emission* adalah emisi CO<sub>2</sub> (kg), *Fuel<sub>a</sub>* adalah bahan bakar yang digunakan oleh kendaraan (TJ), dan *EF<sub>a</sub>* adalah faktor emisi (kg/TJ)

$$Emission = \sum_a [Fuel_a \times EF_a] \dots\dots\dots (2)$$

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

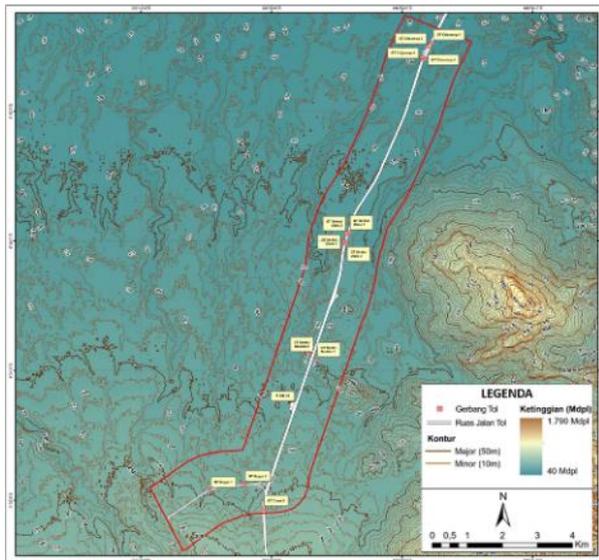
### 4.1. KONDISI UMUM DAN INVENTARISASI

#### 4.1.1. Karakteristik Fisik Wilayah Penelitian Berkaitan dengan Ruang Terbuka Hijau

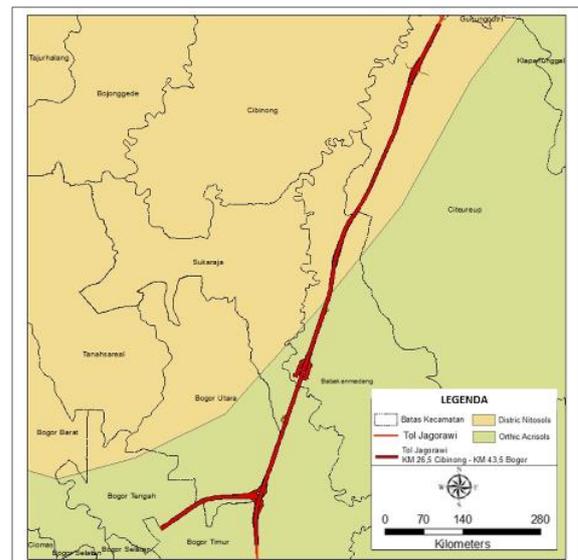
Karakteristik fisik ditinjau berdasarkan topografi, jenis tanah, iklim dan penggunaan lahan pada koridor Jalan Tol Jagorawi dan wilayah sekitarnya. Peta topografi pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa wilayah penelitian memiliki ketinggian permukaan tanah dari permukaan laut antara 110 hingga 250 meter di atas permukaan laut (mdpl). Peta jenis tanah pada Gambar 4 menunjukkan bahwa Jalan Tol Jagorawi dari km 26,5 Cibinong – km 43,5 Bogor dibangun pada dua jenis tanah, yaitu *acrisol* dan *nitosol*. Kedua jenis tanah tersebut terbentuk akibat suhu tinggi dan kelembaban di wilayah tropis dan subtropis. Tanah *acrisol*, yang juga dikenal sebagai tanah *podsolik merah kuning*, memiliki tingkat keasaman tinggi dan secara alami kurang subur. Namun, dengan pengelolaan yang tepat, tanah ini masih dapat dimanfaatkan untuk RTH. Sementara itu, tanah *nitosol* secara alami lebih subur dan lebih sesuai untuk berbagai jenis vegetasi (Gunawan *et al.*, 2020).

Berdasarkan peta iklim yang ditampilkan pada Gambar 5, wilayah penelitian memiliki curah hujan rata-rata 3.500 mm per tahun, yang tergolong sangat tinggi (Hasrini & Rasul, 2024; Farida, 2013). Tanaman yang sesuai untuk kondisi tersebut umumnya adalah jenis yang tahan terhadap kelembaban tinggi dan tidak mudah terserang hama atau penyakit akibat kelembaban berlebih. Gambar 6 menunjukkan bahwa penggunaan lahan eksisting di area sempadan jalan tol didominasi oleh semak belukar dan RTH, yang mengindikasikan minimnya gangguan yang dapat memengaruhi kualitas visual sepanjang koridor jalan tol. Untuk meningkatkan kualitas visual, perencanaan lanskap perlu memperhatikan *internal view*, yakni pemandangan sepanjang jalan tol terutama di median dan sisi jalan, serta *external view*, yaitu tinjauan terhadap penggunaan lahan di luar ruang pengawasan jalan guna menciptakan kenyamanan visual bagi pengguna jalan tol (PT Jasa Marga, 2018).

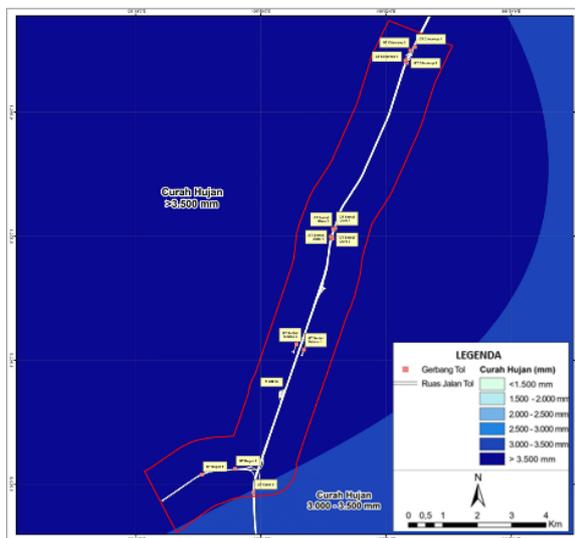
Berdasarkan karakteristik fisik wilayah penelitian, jalur hijau pada koridor Jalan Tol Jagorawi memiliki potensi untuk dioptimalkan dengan mempertimbangkan penggunaan vegetasi khas wilayah tropis yang dapat bertahan di lingkungan dengan kelembaban tinggi serta memiliki daya serap CO<sub>2</sub> yang tinggi. Dengan demikian, RTH di koridor Jalan Tol Jagorawi dapat berfungsi secara ekologis dalam upaya menurunkan emisi CO<sub>2</sub>. Karakteristik fisik wilayah penelitian selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 6.



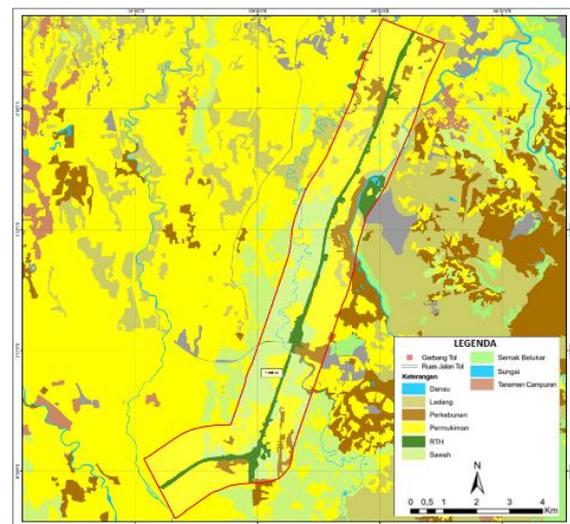
Gambar 3. Peta Topografi



Gambar 4. Peta Jenis Tanah



Gambar 5. Peta Iklim Curah Hujan



Gambar 6. Peta Penggunaan Lahan

#### 4.1.2. Jenis dan Kuantitas Vegetasi pada Kondisi Eksisting Tahun 2024

Pada segmen 3 hingga 6, terdapat 9.588 pohon yang terdiri dari 24 spesies tanaman. Hal tersebut telah dikonfirmasi oleh PT. Jasa Marga bahwa salah satu pertimbangan bahwa hampir seluruh perencanaan lanskap jalan tol di Indonesia, termasuk pada Jalan Tol Jagorawi, masih menekankan pada aspek ekonomi, diantaranya adalah pertimbangan mengenai efisiensi biaya dan kemudahan pemeliharaan pada saat memilih jenis vegetasi (PT Jasa Marga, 2018). Berdasarkan kuantitasnya, vegetasi eksisting terbanyak adalah *Terminalia mantaly* (Ketapang Kencana), *Tabebuia rosea* (Tabebuia Pink), *Cerbera odollam* (Bintaro), *Tabebuia aurea* (Tabebuia Kuning) dan *Samanea saman* (Trembesi). Informasi mengenai jenis vegetasi serta kuantitasnya ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Jenis dan Kuantitas Vegetasi pada Kondisi Eksisting Tahun 2024**

No.	Species	Jumlah Pohon	No.	Species	Jumlah Pohon
1	<i>Acacia mangium</i>	150	13	<i>Bauhinia purpurea</i>	558
2	<i>Pterocarpus indicus</i>	28	14	<i>Leucaena leucocephala</i>	37
3	<i>Dracaena</i>	446	15	<i>Swietenia mahagoni</i>	374
4	<i>Cerbera odollam</i>	646	16	<i>Pometia pinnata</i>	50
5	<i>Casuarina equisetifolia</i>	33	17	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	400
6	<i>Erythrina crista-galli</i>	263	18	<i>Maniltoa grandiflora</i>	58
7	<i>Tectona grandis</i>	67	19	<i>Duranta erecta</i>	17
8	<i>Leucosyke capitellata</i>	17	20	<i>Spathodea campanulata</i>	116
9	<i>Plumeria</i>	75	21	<i>Tabebuia chrysantha</i>	643
10	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	129	22	<i>Tabebuia rosea</i>	1.377
11	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	33	23	<i>Cordyline fruticosa</i>	300
12	<i>Terminalia mantaly</i>	3.130	24	<i>Samanea saman</i>	643
<b>Total</b>					<b>9.590</b>

4.1.3. Jumlah Kendaraan yang Melintas pada Koridor Jalan Tol Jagorawi

Gambar 7a dan Gambar 7b menunjukkan kondisi lalu lintas pada koridor Jalan Tol Jagorawi, bahwa kendaraan yang melintas di Jalan Tol Jagorawi didominasi oleh kendaraan golongan I, yang mencakup mobil jeep, sedan, minicab, minibus, dan sejenisnya. Kendaraan dalam kategori ini umumnya menggunakan bahan bakar bensin dan diesel, yang merupakan bahan bakar fosil dengan tingkat emisi GRK yang tinggi. Menurut Buberger *et al.* (2022), kendaraan berbahan bakar fosil seperti bensin dan diesel menghasilkan jumlah emisi GRK tertinggi sepanjang siklus hidupnya dibandingkan dengan kendaraan yang menggunakan sumber energi lain, seperti kendaraan listrik atau berbahan bakar hidrogen. Oleh karena itu, optimalisasi RTH pada koridor Jalan Tol Jagorawi dapat menjadi salah satu strategi dalam mengurangi dampak negatif emisi karbon dengan meningkatkan serapan CO<sub>2</sub> dari vegetasi yang ditanam.



**Gambar 7. Lalu Lintas pada Jalan Tol Jagorawi pada km 36 (a) dan km 40 (b)**

Pada wilayah penelitian, tercatat terdapat 235.329 rata-rata lalu lintas harian pada bulan Juni 2024. Segmen 6 (Sentul Selatan-Ciawi Gadog/Bogor) merupakan segmen yang paling banyak dilintasi oleh kendaraan pada bulan Juni 2024. Informasi rinci lalu lintas harian di wilayah penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3. Lalu Lintas Harian di Wilayah Studi pada Juni 2024**

No.	Segmen	Panjang Kilometer	Kendaraan Jalur A	Kendaraan Jalur B	Total Kendaraan
1	Segmen 3: G.Putri-Citeureup (km 23+800 s.d. km 27+100)	3.300	11.122	11.334	22.456
2	Segmen 4: Citeureup -Sentul (km 27+100 s.d. km 32+800)	5.700	13.958	13.161	27.119
3	Segmen 5: Sentul-Sentul Selatan (km 32+800 s.d. km 36+700)	3.900	28.521	28.093	56.614
4	Segmen 6: Sentul Selatan-Ciawi Gadog/Bogor (km 36+700 s.d. km 44+500)	7.800	69.274	59.866	129.140
<b>Total</b>		<b>20.700</b>	<b>122.875</b>	<b>112.454</b>	<b>235.329</b>

#### 4.2. PERHITUNGAN EMISI KARBON (CO<sub>2</sub>) DARI KENDARAAN YANG MELINTAS PADA KORIDOR JALAN TOL JAGORAWI

Sumber polusi udara terbagi menjadi dua kategori yaitu sumber bergerak dan sumber tidak bergerak. Sumber bergerak merujuk pada objek yang dapat berpindah dari satu lokasi ke lokasi lain, sementara sumber tidak bergerak tetap berada di satu tempat secara permanen. Dalam proses inventarisasi emisi, sumber polusi biasanya dikelompokkan ke dalam tiga kategori: sumber titik, sumber area, dan sumber bergerak. Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), dan dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O) adalah sumber Gas Rumah Kaca (GRK) yang paling dominan karena volume emisinya yang besar. Gas-gas tersebut biasanya menjadi fokus utama dalam inventarisasi emisi GRK (Kementerian Lingkungan Hidup, 2013). Penelitian ini secara khusus difokuskan pada perhitungan emisi CO<sub>2</sub>, yang dapat diestimasi dari konsumsi bahan bakar kendaraan atau jarak yang telah ditempuh. Besarnya emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh kendaraan yang melintasi wilayah penelitian diperoleh dengan mengalikan bahan bakar dengan faktor emisi seperti terlihat pada persamaan (1). Berdasarkan perhitungan, besarnya emisi CO<sub>2</sub> yang dikeluarkan oleh kendaraan yang melintasi wilayah penelitian sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4. Total emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh 235.328 kendaraan yang melewati wilayah penelitian setiap harinya mencapai 416.435 kg/hari. Jumlah kendaraan yang melintas pada Jalan Tol Jagorawi teridentifikasi paling banyak melewati Segmen 6 (Sentul Selatan-Ciawi Gadog/Bogor).

**Tabel 4. Perhitungan Emisi Karbon (CO<sub>2</sub>) dari Kendaraan pada Tol Jagorawi**

Segmen	Jumlah Kendaraan (Unit)	Panjang Jalan (km)	Konsumsi Bahan Bakar (L)	Konversi Energi (TJ)	Faktor Emisi CO <sub>2</sub> untuk Bensin (kg/TJ)	Total Emisi CO <sub>2</sub> (lg/hari)
Segmen 3: G.Putri-Citeureup (km 23+800 s.d. km 27+100)	22.456	3,30	9.263,25	0,30	69.300	21.184
Segmen 4: Citeureup -Sentul (km 27+100 s.d. km 32+800)	27.119	5,70	19.322,55	0,64	69.300	44.189
Segmen 5: Sentul-Sentul Selatan (km 32+800 s.d km 36+700)	56.614	3,90	27.599,15	0,91	69.300	63.116
Segmen 6: Sentul Selatan-Ciawi Gadog/Bogor (km 36+700 s.d km 44+500)	129.139	7,80	125.910,88	4,15	69.300	287.946
<b>Total</b>	<b>235.328</b>	<b>20,70</b>	<b>182.095,83</b>	<b>6,00</b>		<b>416.435</b>

Perhitungan CO<sub>2</sub> dari kendaraan menggunakan beberapa asumsi/pendekatan perhitungan emisi CO<sub>2</sub>. Pertama, rata-rata kendaraan yang melewati lokasi penelitian adalah kendaraan golongan I yaitu kendaraan bermotor berupa sedan, *jeep*, *minicab*, minibus dan sejenisnya (berdasarkan hasil observasi). Kedua, rata-rata kendaraan yang melintas pada wilayah penelitian merupakan jenis sedan, *jeep*, *minicab*, minibus dan sejenisnya yang menggunakan bensin sebagai bahan bakarnya. Hal ini selaras dengan kategori kendaraan bermotor berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 dan Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2013). Ketiga, konsumsi bahan bakar untuk kategori minibus adalah 8 km/liter sesuai tabel ekonomi bahan bakar kendaraan bermotor di kota metropolitan dan kota besar di Indonesia pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 dan Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2013).

#### 4.3. PERHITUNGAN DAYA SERAP RUANG TERBUKA HIJAU KORIDOR JALAN TOL JAGORAWI DALAM MENYERAP EMISI KARBON (CO<sub>2</sub>)

Perhitungan daya serap diperoleh dari data jumlah vegetasi eksisting dan daya serap CO<sub>2</sub> berdasarkan jenis vegetasi yang diperoleh dari berbagai tinjauan penelitian terdahulu. Berdasarkan hasil perhitungan, total daya serap CO<sub>2</sub> pohon eksisting adalah sebesar 56.393,397 kg/hari. Tabel 5 menunjukkan total daya serap CO<sub>2</sub> setiap jenis vegetasi dengan satuan kg/hari.

**Table 5. Perhitungan Daya Serap CO<sub>2</sub> Berdasarkan Jenis Vegetasi**

No.	Species	Jumlah	Daya Serap CO <sub>2</sub> (kg/pohon/hari)	Total Daya Serap CO <sub>2</sub> (kg/hari)
1	<i>Acacia mangium</i>	150	0,042	6,300
2	<i>Pterocarpus indicus</i>	28	0,031	0,868
3	<i>Dracaena</i>	446	0,001	0,446
4	<i>Cerberaodollam</i>	646	2,326	1.502,596
5	<i>Casuarina equisetifolia</i>	33	0,125	4,125
6	<i>Erythrina crista-galli</i>	263	0,013	3,419
7	<i>Tectona grandis</i>	67	0,376	25,192
8	<i>Leucosyke capitellata</i>	17	0,003	0,051
9	<i>Plumeria</i>	75	0,122	9,150
10	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	129	0,086	11,094
11	<i>Tiliparitiaceum</i>	33	1,611	53,175
12	<i>Terminalia mantaly</i>	3.130	0,065	203,450
13	<i>Bauhinia purpurea</i>	558	3,557	1.984,806
14	<i>Leucaena leucocephala</i>	37	3,960	146,520
15	<i>Swietenia mahagoni</i>	374	0,821	307,054
16	<i>Pometia pinnata</i>	50	0,916	45,800
17	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	400	0,086	34,400
18	<i>Maniltoa grandiflora</i>	58	0,023	1,334
19	<i>Duranta erecta</i>	17	0,000	0,000
20	<i>Spathodea campanulat</i>	116	0,588	68,208
21	<i>Tabebuia chrysantha</i>	643	0,581	373,583
22	<i>Tabebuia rosea</i>	1.377	0,581	800,037
23	<i>Cordyline fruticosa</i>	300	0,000	0,000
24	<i>Samanea saman</i>	643	79,023	50.811,789
<b>Total</b>		<b>9.590</b>		<b>56.393,397</b>

Jika dibandingkan dengan total emisi CO<sub>2</sub> kendaraan yang melintasi area penelitian, kondisi eksisting RTH pada koridor Jalan Tol Jagorawi hanya dapat menyerap 13,54% dari total emisi CO<sub>2</sub>. Hal tersebut terjadi karena vegetasi yang ditanam pada RTH koridor jalan tol Jagorawi pada saat ini masih didominasi dengan jenis vegetasi dengan daya serap tergolong rendah dalam menyerap emisi CO<sub>2</sub>, diantaranya adalah pohon akasia (*Acacia Mangium*), sengon (*Paraserianthes Falcataria*), mindi (*Melia Azedarach*), angkana (*Pterocarpus Indicus*), bunga kupu-kupu (*Bauhinia Purpurea*) dan palem raja (*Roystonea Regia*). Meskipun beragam vegetasi telah ditanam pada RTH koridor Jalan Tol Jagorawi, vegetasi tersebut tidak termasuk yang memiliki daya serap karbon tinggi. Dapat dikatakan bahwa pengembangan RTH di sepanjang Jalan Tol Jagorawi masih belum mempertimbangkan fungsi ekologis, diantaranya dalam hal penyerapan emisi karbon CO<sub>2</sub>.

Beberapa jenis vegetasi yang direkomendasikan untuk ditanam secara optimal pada RTH di koridor Jalan Tol Jagorawi adalah *Samanea saman*, *Bauhinia purpurea* dan *Swietenia mahagoni* yang merupakan spesies dengan daya serap tinggi pada penyerapan CO<sub>2</sub> sebagaimana sejalan dengan penelitian Kusuma *et al.* (2023) yang melakukan penelitian serupa terkait perhitungan daya serap RTH pada koridor Jalan Nasional Semarang-Yogyakarta di Kecamatan Bawen. Pemilihan berbagai jenis vegetasi asli atau endemik juga dapat dipertimbangkan sebagai upaya rehabilitasi lahan dan reduksi emisi karbon (Purnomo *et al.*, 2023). Salah satu jenis vegetasi yang berasal dari Indonesia dan memiliki daya serap CO<sub>2</sub> tinggi adalah *Ficus benjamina* (Arifin & Nakagoshi, 2011; Febriansyah *et al.*, 2022). Penelitian Azmi (2020) juga menekankan bahwa ke depannya, perencanaan RTH perlu dilakukan pada fase awal dalam pembangunan jalan tol di Indonesia untuk mengantisipasi kekurangan lahan vegetasi pada jalur hijau sepanjang koridor jalan tol. Selain itu, perencanaan maupun perancangan lanskap koridor jalan tol perlu mempertimbangkan jenis vegetasi yang dapat menyerap CO<sub>2</sub> lebih optimal, mengingat jumlah kendaraan yang melintasi jalan tol meningkat setiap tahunnya sebagaimana kasus pada Jalan Tol Satelit-Gunungsari. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2020) juga menyatakan bahwa kategori transportasi diperkirakan akan menyumbang emisi dalam jumlah besar di masa depan, mengingat kendaraan dengan bahan bakar fosil masih terus diproduksi. Dengan demikian, perlu juga dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perencanaan dan perancangan RTH yang mengedepankan fungsi ekologis pada koridor Jalan Tol Jagorawi agar dapat optimal dalam menyerap emisi karbon (CO<sub>2</sub>) dari kendaraan yang melintas pada Jalan Tol Jagorawi. Perencanaan dan perancangan lanskap jalan tol saat ini menjadi hal penting untuk mewujudkan pembangunan jalan tol yang berwawasan lingkungan dan berkelanjutan atau dikenal dengan istilah *green toll road* (PT Jasa Marga, 2018). Hal tersebut sejalan dengan penelitian

Asy'Ary, Utomo (2020) yang menunjukkan bahwa pengelolaan lanskap pada koridor jalan tol menjadi salah satu faktor utama dalam mendukung implementasi konsep pembangunan jalan tol berkelanjutan di Indonesia.

## 5. KESIMPULAN

Jumlah vegetasi yang teridentifikasi ditanam di wilayah penelitian saat ini adalah 9.590 vegetasi yang terdiri dari 24 spesies. Dengan demikian, total CO<sub>2</sub> yang diserap oleh vegetasi pada wilayah penelitian mencapai 56.393,397 kg/hari. Vegetasi yang ditanam pada RTH koridor jalan tol Jagorawi pada saat ini masih didominasi dengan jenis vegetasi yang memiliki daya serap rendah dalam menyerap emisi CO<sub>2</sub>. Di sisi lain, total emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh 235.328 kendaraan yang melewati wilayah penelitian setiap harinya mencapai 416.435 kg/hari. Dibandingkan dengan total emisi CO<sub>2</sub> kendaraan yang melintasi area penelitian, kondisi eksisting RTH pada koridor Jalan Tol Jagorawi hanya menyerap 13,54% dari total emisi. Penelitian ini menunjukkan bahwa RTH pada koridor Jalan Tol Jagorawi belum sepenuhnya mempertimbangkan fungsi ekologis diantaranya dalam menyerap emisi karbon (CO<sub>2</sub>). Penelitian ini menunjukkan pentingnya penelitian lebih lanjut mengenai perencanaan dan perancangan RTH pada koridor Jalan Tol Jagorawi yang optimal dalam menyerap emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari kendaraan yang melintas pada Jalan Tol Jagorawi sebagai salah satu upaya untuk mewujudkan penurunan GRK dari transportasi darat dan dapat berkontribusi pada penurunan GRK nasional sebesar 29%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Hibah BIMA Tahun Anggaran 2024 sebagaimana tertuang dalam kontrak No.832/LL3/AL.04/2024 dan kontrak No. 168/A/LPPM-P/USAKTI/VI/2024 tanggal 26 Juni 2024. Peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Trisakti dan PT. Jasa Marga Tollroad Maintenance yang telah memberikan dukungan terhadap penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aindo, N. R., Indriyani, L., Manan, A., Gandri, L., & Sahindomi Bana. (2023). Analysis of The Need for Green Open Spaces in Reducing CO<sub>2</sub> Carbon Dioxide Emissions in the Bahteramas Hospital Area of Southeast Sulawesi Province. *Journal of Soilscape and Agriculture*, 2(1), 24–32. <https://doi.org/10.19184/jsa.v2i1.429>
- Ajrina, H., & Kustiawan, I. (2019). From Green Open Space to Green Infrastructure: The Potential of Green Open Space Optimization towards Sustainable Cities in Bekasi City & Regency, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 399(1), 0–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/399/1/012130>
- Arifin, H. S., & Nakagoshi, N. (2011). Landscape Ecology and Urban Biodiversity in Tropical Indonesian Cities. *Landscape and Ecological Engineering*, 7(1), 33–43. <https://doi.org/10.1007/s11355-010-0145-9>
- Asy'Ary, M. Y., & Utomo, C. (2020). Factors for Implementing Green Highway Concept in Toll Road Development Investment in Indonesia. *Proceedings of the 2nd International Seminar on Science and Technology (ISSTEC 2019)*. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.201010.023>
- Berezin, A., Gorodnova, N., Sergi, B. S., Handoko, C. T., & Permana, C. T. (2023). Prospects for Energy Transition to Hydrogen Fuel: Analysis of World Experience and Russian Practice. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 13(4), 641–653. <https://doi.org/10.32479/ijeep.14305>
- Bhattacharya, A., Saikia, K., Takhelmayum, M., & Sarkar, P. (2020). Carbon Sequestration in the Bio-Edaphic Ecosystem of National Highway-27 in Guwahati, Assam, India. *Heliyon*, 6(9), e04969. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04969>
- Buberger, J., Kersten, A., Kuder, M., Eckerle, R., Weyh, T., & Thiringer, T. (2022). Total CO<sub>2</sub>-Equivalent Life-Cycle Emissions from Commercially Available Passenger Cars. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159(February), 112158. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112158>
- Catalano, C., Meslec, M., Boileau, J., Guarino, R., Aurich, I., Baumann, N., Chartier, F., Dalix, P., Deramond, S., Laube, P., Lee, A. K., Ochsner, P., Pasturel, M., Soret, M., & Moulherat, S. (2021). Smart Sustainable Cities of the New Millennium: Towards Design for Nature. *Circular Economy and Sustainability*, 1(3), 1053–1086. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00100-6>
- da Silva, A. M., Braga Alves, C., & Alves, S. H. (2010). Roadside vegetation: Estimation and Potential for Carbon Sequestration. *IForest*, 3(SEPTEMBER), 124–129. <https://doi.org/10.3832/for0550-003>
- Dahlan, E. N. (2008). Jumlah Emisi Gas CO<sub>2</sub> dan Pemilihan Jenis Tanaman Berdaya Rosot Sangat Tinggi : Studi Kasus di Kota Bogor. *Media Konservasi*, 13(2), 85–89.
- Dewi, I. K., Febriani, Y., & Wicaksono, A. (2024). Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) 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>
- Elliott, C., Schumer, C., Gasper, R., Ross, K., & Singh, N. (2023). Realizing Net-Zero Emissions: Good Practices in Countries. *World Resources Institute*. <https://doi.org/https://doi.org/10.46830/wriwp.22.00134>

- Fachrudin, H. T., Karolina, R., Fachrudin, K. A., & Faris, D. M. (2023). Green Street Design Approach to Realize Green City. Case Study: Medan City. *Future Cities and Environment*, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.5334/fce.176>
- Febriansyah, A. R., Ergantara, R. I., & Nasoetion, P. (2022). Daya Serap CO2 Tanaman Pengisi Ruang Terbuka Hijau (RTH) Privat Rumah Besar Perumahan Springhill dan Citra Mas di Kelurahan Kemiling Permai. *Jurnal Rekayasa, Teknologi, Dan Sains*, 6(1), 20–31. <http://ejournalmalahayati.ac.id/index.php/teknologi/article/view/5862>
- Global Green Growth Institute. (2015). *Mewujudkan Pertumbuhan Ekonomi Hijau di Indonesia: Peta Jalan untuk Kebijakan, Perencanaan, dan Investasi*.
- Grzędzicka, E. (2019). Is the Existing Urban Greenery Enough to Cope with Current Concentrations of PM2.5, PM10 and CO2? *Atmospheric Pollution Research*, 10(1), 219–233. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.08.002>
- Gunawan, J., Hazriani, R., & Mahardika, R. Y. (2020). Morfologi dan Klasifikasi Tanah - Buku Ajar. *Fakultas Pertanian Universitas Tanjungpura*, April, 11.
- Hardiansyah, G., Indrianingrum, D. R., Sofwan Anwari, M., Haryono, Z., Diba, F., Ekamawanti, H. A., & Yani, A. (2024). Carbon Sequestration in the Green Open Spaces along Primary Road of Pontianak City, West Kalimantan, Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 14(1), 190–200. <https://doi.org/10.29244/jpsl.14.1.190>
- Hasrini, W. S., & Rasul, M. (2024). Analisis Pemetaan Daerah Rawan Banjir dan Strategi Mitigasi Untuk Masyarakat Kabupaten Luwu. *Social Science*, 12(1), 73–81.
- IPCC. (2006a). Chapter 2: Stationary Combustion. In *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\\_Volume2/V2\\_2\\_Ch2\\_Stationary\\_Combustion.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf)
- IPCC. (2006b). Chapter 3: Mobile Combustion. In *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- Kusuma, A. S. W., Rudiarto, I., & Mussadun, M. (2023). Analysis of The Need for Green Open Space (RTH) as an Absorptor of Carbondioxide Gas Emissions in The Semarang-Yogyakarta National Road Corridor, Bergas District, Semarang Regency. *Eduvest - Journal of Universal Studies*, 3(10), 1776–1788. <https://doi.org/10.59188/eduvest.v3i10.930>
- Liu, H., Wennersten, R., Luo, P., Jiang, L., & Dong, W. (2016). Conceptual Sustainability Framework for Eco-City Development in the City Core of Xuzhou. *Journal of Urban Planning and Development*, 142(4), 5016003. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000319](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000319)
- Nurika, F. B. P., Wiryani, E., & Jumari. (2019). Keanekaragaman Vegetasi Riparian Sungai Panjang Bagian Hilir di Kecamatan Ambarawa Kabupaten Semarang. *Jurnal Akademika Biologi*, 8(1), 30–34. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/biologi/article/view/24742/22144>
- Nursyahbandi, U. H., Subchan, W., & Suratno. (2020). The Estimation of CO2 Absorption and O2 Production from Trees on Main Street in the City of Jember. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 485(1), 0–11. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/485/1/012047>
- PT Jasa Marga. (2018). *Buku Pedoman Perancangan Lansekap, Drainase, dan Sistem Irigasi Jalan Tol*.
- Purnomo, D. W., Prasetyo, L. B., Widyatmoko, D., Rushayati, S. B., Usmadi, D., Wati, R. K., & Solihah, S. M. (2023). Kemampuan Penyerapan Karbon Dioksida dan Karakter Stomata pada Pohon-Pohon Asli Dataran Rendah Tropis. *Buletin Kebun Raya*, 26(2), 84–96. <https://doi.org/10.55981/bkr.2023.1372>
- Rachmayanti, L., & Mangkoedihardjo, S. (2021). Evaluasi dan Perencanaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) Berbasis Serapan Emisi Karbon Dioksida (CO2) di Zona Tenggara Kota Surabaya (Studi Literatur dan Kasus). *Jurnal Teknik ITS*, 9(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.54854>
- 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>
- Saputra, E., Hartmann, T., Zoomers, A., & Spit, T. (2017). Fighting the Ignorance: Public Authorities' and Land Users' Responses to Land Subsidence in Indonesia. *American Journal of Climate Change*, 06(01), 1–21. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2017.61001>
- Sari, D. N., Wijaya, F., Mardana, M. A., & Hidayat, M. (2018). Analisis Vegetasi Tumbuhan Bawah dengan Metode Transek (Line Transect) di Kawasan Hutan Deudap Pulo Aceh Kabupaten Aceh Besar. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, 6(1), 165–173.
- Sitawati, A., Taki, H. M., & Andajani, R. D. (2022). the Influence of Environmental Policies on Selecting Investment Locations. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 5(3), 266–280. <https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v5i3.14448>
- Sogut, M. Z., & Erdoğan, O. (2022). An Investigation on a Holistic Framework of Green Port Transition Based on Energy and Environmental Sustainability. *Ocean Engineering*, 266, 112671. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112671>
- Sukmawati, T., Fitrihidajati, H., & Indah, N. K. (2015). Penyerapan Karbon Dioksida pada Tanaman Hutan Kota di Surabaya. *Lentera Bio*, 4(1), 108–111. <http://ejournal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio>
- Wikansari, N. H., & Nurjani, E. (2018). Estimasi Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau (RTH) sebagai Penyerap Emisi Karbondioksida pada Sektor Domestik di Kecamatan Tegalrejo, Kota Yogyakarta. *Jurnal Bumi Indonesia*, 7(3). <https://www.neliti.com/id/publications/260759/estimasi-kebutuhan-ruang-terbuka-hijau-rth-sebagai-penyerap-emisi-karbondioksida#cite>