

Kajian Perbandingan Daya Serap Karbon Ruang Terbuka Hijau Eksisting dan Rencana di Jalan Tol Jagorawi (STA KM 3.800–26.500)

Comparison Study of Carbon Capture-Oriented Green Open Space Planning and Existing on Jagorawi Toll Road (STA KM 3.800–26.500)

Sri Oka Rachmadita¹, Anindita Ramadhani^{1*}, Anita Sitawati¹, Herika Taki¹

¹Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Arsitektur Lanskap dan Teknik Lingkungan, Universitas Trisakti, Jakarta, Indonesia

*e-mail: anindita@trisakti.ac.id

(Received: 5 December 2025; Accepted: 17 February 2026)

Abstrak

Salah satu strategi mitigasi perubahan iklim untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, yang merupakan penyebab perubahan iklim, adalah perencanaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) berbasis *carbon capture*. Perencanaan RTH berbasis *carbon capture* dilakukan melalui penanaman vegetasi yang berdaya serap CO₂ tinggi melalui permodelan lanskap yang berwawasan ke depan untuk keberlanjutan lingkungan dan konsisten dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG) 13: Aksi Iklim. Berbeda dengan studi terdahulu yang umumnya menitikberatkan RTH jalan tol pada aspek estetika, penelitian ini menawarkan pendekatan baru yang berpotensi mengurangi emisi karbon di jalan tol. Integrasi penyerapan karbon ke dalam perencanaan RTH dapat memberikan manfaat mitigasi yang terukur secara karbon melalui desain lanskap. Studi ini bertujuan untuk merancang RTH Jalan Tol Jagorawi (STA KM 3.800–26.500) yang memaksimalkan kapasitas penyerapan CO₂. Metode analisis yang digunakan dalam studi ini terdiri dari tiga tahap, yaitu (1) perencanaan tata tanaman untuk memenuhi fungsi estetika dan ekologis, dengan menekankan pada daya serap CO₂, (2) perhitungan kapasitas daya serap CO₂ oleh tanaman eksisting dan rencana, dan (3) estimasi emisi CO₂ dari kendaraan dalam area studi. Rencana yang diusulkan mencakup penanaman 20.383 pohon, dengan perkiraan kapasitas penyerapan sebesar 211.142,46 kg CO₂ per hari atau naik 2,48 kali dari kapasitas penyerapan CO₂ dengan tanaman eksisting. Kesimpulan dari studi ini yaitu bahwa perencanaan RTH di wilayah studi berpotensi mengurangi emisi CO₂ yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor secara signifikan. Hasil ini menunjukkan bahwa pengembangan RTH dapat berfungsi estetika sekaligus ekologis, dan menjadi strategi mitigasi yang efektif untuk perubahan iklim dengan tetap memprioritaskan aspek keselamatan jalan.

Kata kunci: *carbon capture*; infrastruktur hijau; perubahan iklim; rencana tata tanaman; Ruang Terbuka Hijau

Abstract

One of the climate change mitigation strategies to reduce greenhouse gas emissions, which are the cause of climate change, is carbon capture-based Green Open Space (GOS) planning. Carbon capture-based green open space planning is carried out by planting vegetation with high CO₂ absorption capacity through forward-looking landscape modeling for environmental sustainability and is consistent with Sustainable Development Goal (SDG) 13: Climate Action. Unlike previous studies that generally focused on the aesthetic aspects of green space on toll roads, this research offers a new approach that has the potential to reduce carbon emissions on toll roads. Integrating carbon sequestration into green space planning can provide measurable carbon mitigation benefits through landscape design. This study aims to design Jagorawi Toll Road GOS (STA KM 3,800–26,500) that maximizes CO₂ absorption capacity. The method used comprised three steps: (1) designing plant layouts to fulfill ecological and aesthetic functions, with an emphasis on CO₂ absorption, (2) calculating the carbon absorption capacity of existing and planned vegetation, and (3) estimating CO₂ emissions from vehicles within the study area. The proposed plan includes the planting of 20,383 trees, with an estimated absorption capacity of 211,142.46 kg CO₂ per day or an increase of 2.48 times the CO₂ absorption capacity of existing plants. This study finds that GOS planning in the study area has the potential to reduce CO₂ emissions produced by motor vehicles significantly. These results suggest that GOS design can be multifunctional, both aesthetic and ecological, and an effective mitigation strategy for climate change while still prioritizing road safety.

Keywords: *carbon capture*; climate change; green infrastructure; green open space; planting plan

1. PENDAHULUAN

Perencanaan tata tanaman melalui penanaman vegetasi atau pohon merupakan salah satu strategi dalam mencapai keberlanjutan lingkungan (Westphal *et al.*, 2023). Penanaman pohon dapat mengantisipasi dampak jangka panjang dari perubahan iklim, mendukung upaya mitigasi dampak emisi, serta meningkatkan ketahanan ekosistem. Pohon memiliki beragam fungsi. Selain kemampuannya menyerap CO₂, pohon juga dapat meningkatkan kualitas udara, mengatur sistem air, dan melindungi keanekaragaman hayati. Penanaman pohon sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan/*Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya SDG 13 Aksi Iklim yang bertujuan untuk memitigasi dampak negatif dari perubahan iklim, membatasi kenaikan suhu global di bawah 1,5°C pada akhir abad ini, dan mengembangkan strategi rendah karbon (Küfeoğlu, 2022).

Studi-studi ilmiah terdahulu membuktikan bahwa penanaman pohon dengan penyerapan karbon tinggi merupakan bentuk perencanaan berbasis bukti. Penanaman pohon berdaya serap karbon dioksida (CO₂) tinggi merupakan salah satu upaya menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) (Bussotti & Pollastrini, 2025; Cho *et al.*, 2025; Wardhani *et al.*, 2018). Di Indonesia, beberapa upaya serupa telah dilakukan di Jababeka Industrial Estate melalui Program Jababeka Sahabat (Jabat). Salah satu pohon yang ditanam adalah *Samanea saman* yang secara luas dikenal memiliki daya serap CO₂ tinggi (Sitawati *et al.*, 2022).

Salah satu strategi mitigasi perubahan iklim adalah penerapan teknologi infrastruktur hijau perkotaan, diantaranya melalui perencanaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang berbasis kapasitas penyerapan CO₂. Sebagai contoh, jenis vegetasi yang ditanam di RTH di sepanjang koridor jalan tol harus memiliki daya serap CO₂ yang tinggi. Penggunaan kendaraan bermotor berbahan bakar menghasilkan emisi CO₂ signifikan berkontribusi dalam pemanasan global dan perubahan iklim. Perencanaan RTH jalan tol yang berbasis *carbon capture* dapat membantu mengimbangi emisi tersebut. Penyerapan karbon secara alamiah dapat dilakukan dengan menanam beberapa jenis tanaman karena setiap tanaman memiliki perbedaan kapasitas tergantung pada karakteristik morfologi daun (Wartaman *et al.*, 2018). Saat ini, masih terdapat kesenjangan antara RTH eksisting dengan RTH yang maksimal dalam penyerapan CO₂ di jalan tol sehingga meninggalkan pertanyaan apakah RTH dapat berkontribusi dalam pemenuhan target nasional pengurangan emisi GRK sebesar 29% yang belum terjawab.

Jalan Tol Jagorawi adalah jalan tol pertama yang dibangun di Indonesia. Jalan Tol Jagorawi diresmikan pada 9 Maret 1978, menghubungkan Jakarta, Bogor, dan Ciawi. Pada saat perencanaannya, isu perubahan iklim belum mengemuka. Jalan Tol Jagorawi merupakan jalur yang ramai, diman sekitar 9,000 kendaraan melintas setiap harinya, menempuh jarak rata-rata 59 kilometer per hari atau 40 kilometer per hari saat macet (Sitawati *et al.*, 2025). Selama ini, perencanaan RTH jalan tol di Indonesia masih berfokus pada aspek estetika (Fachrudin *et al.*, 2023; Farida & Nizar, 2013). Hal ini terlihat dari jenis vegetasi yang ditanam di koridor jalan tol seperti *Acacia sp.*, *Albizia chinensis*, *Melia azedarach*, *Bauhinia purpurea*, dan *Roystonea regia* yang memiliki daya serap CO₂ rendah.

Berdasarkan uraian di atas, pertanyaan yang diajukan adalah "bagaimana konsep dan desain RTH yang tepat di sepanjang koridor Jalan Tol Jagorawi untuk memaksimalkan fungsi penyerapan karbon?". Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk mengembangkan RTH Jagorawi guna memaksimalkan kapasitas penyerapan CO₂. Dengan demikian, hasilnya dapat menentukan kontribusi RTH Jagorawi terhadap pencapaian target pengurangan emisi nasional. Temuan studi ini menunjukkan bagaimana teknologi lingkungan (pengembangan RTH) diterapkan dalam konteks perkotaan untuk mitigasi perubahan iklim.

2. KAJIAN TEORI

Perencanaan RTH yang berbasis *carbon capture* merupakan konsep baru yang memadukan antara konsep estetika dan mitigasi dampak perubahan iklim. Secara umum, perencanaan RTH berbasis *carbon capture* belum banyak dipertimbangkan oleh para perencana RTH. Konsep perencanaan RTH lebih menekankan pada aspek estetika dan aspek lainnya (Djalante *et al.*, 2020; Fachrudin *et al.*, 2023; Farida & Nizar, 2013; Wang & Yi, 2016). Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan dilakukan perencanaan RTH di sempadan jalan tol Jagorawi yang memadukan aspek estetika dengan penekanan terhadap penyerapan CO₂.

Penyerapan karbon di udara secara alamiah dapat dilakukan dengan menggunakan vegetasi. Namun, jenis vegetasi pada jalur hijau jalan tol Jagorawi seperti pohon akasia (*Acacia mangium*), sengon (*Paraserianthes falcataria*), mindi (*Melia azedarach*), angkana (*Pterocarpus indicus*), bunga kupu-kupu (*Bauhinia purpurea*), dan palem raja (*Roystonea regia*) (Farida & Nizar, 2013) tidak termasuk dalam golongan pepohonan yang memiliki daya serap tinggi terhadap CO₂. Contoh

lainnya, perencanaan jalur hijau jalan di Kota Medan menggunakan pendekatan untuk meningkatkan kualitas udara, memblokir angin dan mengurangi air hujan (Fachrudin *et al.*, 2023). Meskipun dalam perencanaannya telah mempertimbangkan peningkatan kualitas udara, pendekatan yang dilakukan tersebut belum menekankan pada aspek penyerapan gas CO₂.

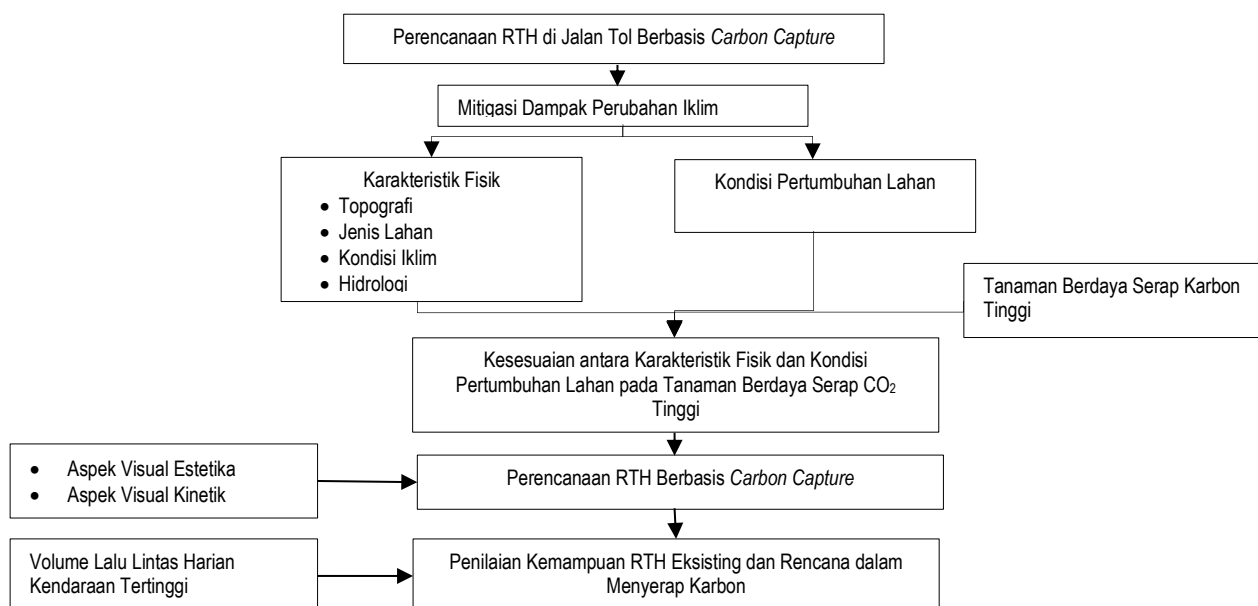
Hingga saat ini, hanya beberapa studi telah melakukan perhitungan terhadap seberapa besar RTH di sempadan jalan dapat menyerap gas CO₂ sehingga belum dapat menjawab pertanyaan “Apakah dapat berkontribusi dalam target nasional pengurangan emisi GRK sebesar 29%?” Untuk itu, penelitian ini berupaya merumuskan konsep “hijau” yang dapat berkontribusi dalam pengurangan emisi GRK sebesar 29%. Dengan demikian, penelitian ini sejalan dengan himbuan pemerintah agar dalam implementasi Undang-Undang (UU) Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change diterapkan di berbagai lini kegiatan.

Dalam perencanaan RTH, perencana dengan mudah menyadari kualitas estetika tetapi jarang memperhatikan manfaat fisik dan lingkungan lainnya (Wartaman *et al.*, 2020). Pepohonan dapat dimanfaatkan untuk memberikan suasana yang lebih indah, nyaman, kota yang produktif dan layak huni. Setiap jenis tanaman memiliki daya serap karbon yang berbeda-beda, bergantung pada morfologi daunnya (Yoses & Murti, 2023). Tanaman yang hidup di lingkungan dengan intensitas cahaya rendah memiliki daun berukuran lebih besar dan lebih tipis, ukuran stomata lebih besar, jumlah daun sedikit, dan ruang antar sel lebih besar. Sebaliknya, tanaman yang hidup pada lingkungan dengan intensitas cahaya tinggi memiliki daun lebih kecil dan tebal, stomata kecil dan banyak, serta jumlah daun yang lebih rindang (Marisha, 2018). Laju penyerapan CO₂ dipengaruhi oleh umur dan letak daun. Klorofil meningkat seiring bertambahnya umur dan luasan daun.

Beberapa contoh daya serap tanaman, antara lain trembesi 22.488,39 kg/tahun, bunga kupu-kupu 11.662,89 kg/tahun, glodogan 6.304,92 kg/tahun, *Cassia* 5.295,47 kg/tahun, *Syzygium zeylanica* 1.603,2 kg/tahun, bintaro 848,84 kg/tahun, kenanga 756,59 kg/tahun, beringin 535,9 kg/tahun, mangga 455,17 kg/tahun, dan kerai payung 404,83 kg/tahun (Dahlan, 2008; Febriansyah *et al.*, 2022; Khoiroh & Damayanti, 2014; Marisha, 2018; Rao & Wee, 1989). Dari sekian banyak vegetasi penyerap karbon, trembesi memiliki margin paling banyak karena tajuk besar dan daun pohon kecil sehingga jumlah daunnya banyak dan dapat menyerap karbon secara maksimal. Sepuluh pohon di atas memiliki kesamaan berupa daun yang kecil, yang lebih efektif dalam menyerap karbon daripada yang berdaun besar (Yoses & Murti, 2023).

3. METODE PENELITIAN

Studi ini berfokus pada RTH di sepanjang Jalan Tol Jagorawi yang menghubungkan Jakarta, Bogor, dan Ciawi, serta membentang melalui Jakarta, Kota Depok dan Kota Bogor, serta Kabupaten Bogor di Provinsi Jawa Barat. Lebih spesifik lagi, fokus penelitian ini adalah pada segmen Cawang–Cibinong (STA KM 3.800–26.500) yang terletak pada 6,14–6,29 Lintang Selatan (LS) dan 106,52 Bujur Timur (BT).



Gambar 1. Kerangka Penelitian

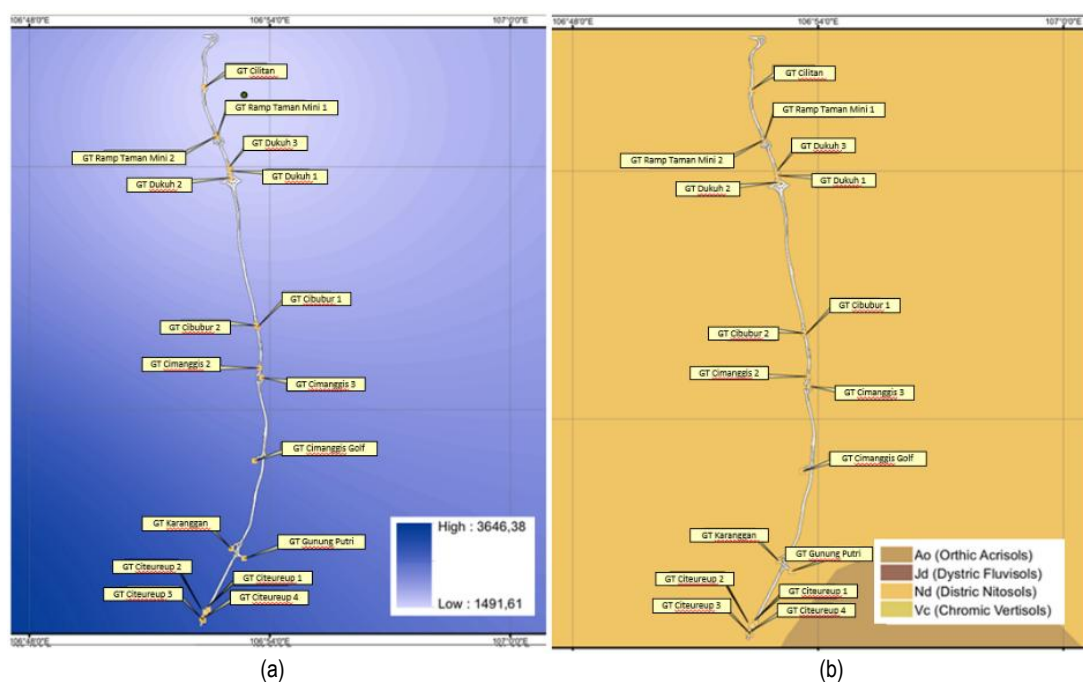
Kerangka penelitian disusun untuk mengelaborasi tahap-tahap penelitian yang dilakukan dalam studi. Kerangka penelitian dirancang untuk menyediakan ringkasan pelaksanaan penelitian, sebagaimana ditampilkan dalam Gambar 1 yang memperlihatkan bahwa perencanaan RTH berbasis *carbon capture* di sepanjang Jalan Tol Jagorawi merupakan strategi mitigasi dampak perubahan iklim. Tahap pertama dalam perencanaan meliputi identifikasi terhadap karakteristik fisik lahan, seperti topografi, jenis lahan, kondisi iklim, hidrologi, yang digunakan dalam mengidentifikasi kesesuaian lahan untuk mendukung pertumbuhan menurut jenis tanamannya. Secara bersamaan, diidentifikasi kondisi pertumbuhan lahan yang kemudian dilanjutkan dengan menyeleksi tanaman dan pohon yang memiliki daya serap CO₂ tinggi, dan juga mempertimbangkan aspek visual estetika dan dinamika untuk menjamin fungsi ekologis secara konsisten dengan nilai estetika dan meningkatkan kenyamanan pengemudi di jalan tol. Tahap akhir adalah evaluasi kapasitas RTH eksisting dan rencana untuk menyerap karbon sehingga memberikan kontribusi terukur terhadap pengurangan emisi dan peningkatan kualitas lingkungan di area sekitar jalan tol.

Data yang digunakan dalam studi ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer berupa volume lalu lintas harian di lokasi studi melalui *traffic counting*. Hasil *traffic counting* memperlihatkan bahwa volume lalu lintas harian sebesar 450.000 kendaraan. Rincian mengenai volume lalu lintas harian ditampilkan dalam Tabel 1. Volume lalu lintas harian berperan sebagai parameter penting dalam analisis inventaris emisi dalam studi dampak lingkungan. Informasi ini digunakan untuk memperkirakan jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan kendaraan yang melintasi wilayah studi. Sementara itu, data sekunder terdiri dari data kondisi fisik lahan dan data kapasitas penyerapan CO₂ berbagai jenis vegetasi.

Tabel 1. Volume Lalu Lintas Harian

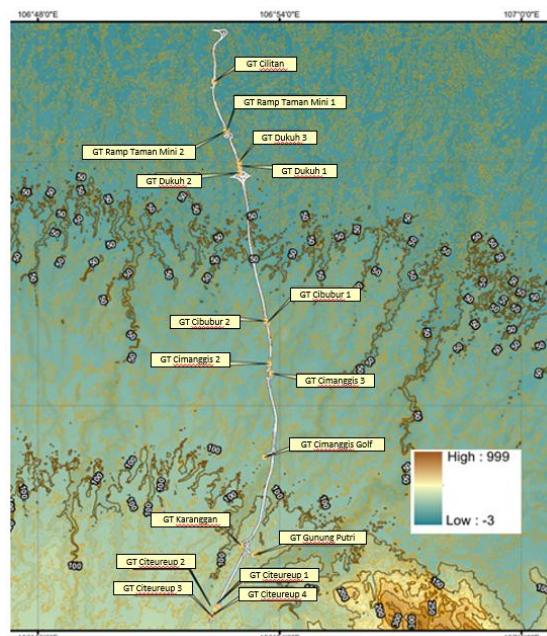
Segmen	Jarak (km)	Lalu Lintas Rata-rata Harian (Unit)
Cawang - Taman Mini STA 3+800 - 4+200	0,40	75.479
TMII - Pasar Rebo STA KM4+200 - 6+000	1,80	70.864
Pasar Rebo – Cibubur STA KM 6+000 - 13+200	7,20	77.770
Cibubur – Cisalak STA KM 13+200 - 15+600	2,40	66.055
Cisalak – Cimanggis STA KM 15+600 - 19+000	3,40	55.375
Cimanggis - Gunung Putri STA KM 19+000 - 23+800	4,80	52.303
Gunung Putri – Cibinong STA KM 23+800 - 27+000	3,20	52.218
TOTAL	23,20	450.064

Data kondisi lahan fisik meliputi jenis tanah, topografi, dan iklim. Data iklim diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), sedangkan data jenis tanah dan topografi masing-masing dikumpulkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan Environmental Systems Research Institute (ESRI) World Topography. Data ini menjadi dasar pemilihan jenis vegetasi yang tepat untuk ditanam di RTH sepanjang koridor Jalan Tol Jagorawi.



Gambar 2. Kondisi Curah Hujan (a) dan Jenis Tanah (b)
(BMKG, 2025; BIG, 2025)

Curah hujan di wilayah studi bervariasi antara 1.500 hingga sekitar 2.000 mm per tahun (Gambar 2(a)). Oleh karena itu, tanaman yang paling sesuai untuk lingkungan ini adalah tanaman yang toleran terhadap kelembapan tinggi dan tahan terhadap penyakit. Klasifikasi jenis tanah di wilayah studi adalah Nitosol Distrik (Nd) (Gambar 2(b)). Jenis tanah ini tergolong Podsolik Merah-Kuning yang cocok untuk keperluan pertanian dan perkebunan. Tanah ini juga cocok untuk upaya reboisasi, termasuk pengembangan sabuk hijau di sepanjang koridor jalan tol. Wilayah studi memiliki ketinggian 50 hingga 100 m di atas permukaan laut (Gambar 3) sehingga diklasifikasikan sebagai dataran rendah. Mengingat ketinggian dan kondisi lahan ini, beragam vegetasi tumbuh dengan baik, termasuk pohon-pohon kecil, sedang, dan besar, tetapi tidak termasuk vegetasi rawa pesisir seperti bakau.



Gambar 3. Topografi
(ESRI World Topography, 2025)

Memahami kapasitas penyerapan emisi CO₂ dari berbagai jenis vegetasi sangat penting dalam perencanaan dan pengelolaan lingkungan berkelanjutan. Informasi ini digunakan untuk memilih spesies tumbuhan yang paling efektif dalam penyerapan karbon, sehingga memaksimalkan mitigasi perubahan iklim dengan meningkatkan kapasitas penyerapan GRK. Data tentang kapasitas penyerapan berbagai jenis vegetasi diperoleh melalui tinjauan pustaka, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Daftar Kapasitas Penyerapan CO₂ Menurut Spesies Tanaman per Hari

Tabel 2. Daftar Kapasitas Penyerapan CO ₂ Monardra Species Tanaman per Hari.						
No.	Spesies	Kapasitas Penyerapan CO ₂ (kg/pohon/hari)		No.	Spesies	Kapasitas Penyerapan CO ₂ (kg/pohon/hari)
1	<i>Ceiba pentandra</i>	23.91	(a)	18	<i>Bougainvillea</i>	0.001 [d]
2	<i>Musa paradisiaca</i>	0.42	(b)	19	<i>Ficus benjamina</i>	3.49 [d]
3	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	0.09	(c)	20	<i>Oleana syzygium</i>	0.34 [d]
4	<i>Acacia mangium</i>	0.04	(c)	21	<i>Nerium oleander L.</i>	0.08 (e)
5	<i>Cassia fistula</i>	14.71	(c)	22	<i>Jatropha curcas</i>	0.07 (f)
6	<i>Erythrina crista-galli</i>	0.01	(c)	23	<i>Jatropha integerrima Jacq.</i>	0.07 (f)
7	<i>Filicium decipiens</i>	1.12	(c)	24	<i>Cerbera manghas</i>	2.36 (g)
8	<i>Mimusops elengi</i>	0.10	(c)	25	<i>Spathodea campanulat</i>	0.59 (g)
9	<i>Pometia pinnata</i>	0.92	(c)	26	<i>Polyalthia longifolia</i>	17.51 (g)
10	<i>Pterocarpus indicus</i>	0.03	(c)	27	<i>Bauhinia purpurea</i>	3.56 (h)
11	<i>Samanea saman</i>	79.13	(c)	28	<i>Melaleuca cajuputi</i>	0.84 (i)
12	<i>Schima wallichii</i>	0.18	(c)	29	<i>Leucaena leucocephala</i>	3.96 (j)
13	<i>Swettiana mahagoni</i>	0.82	(c)	30	<i>Tabebuia chrysantha</i>	0.58 (j)
14	<i>Cassia grandis</i>	0.32	(c)	31	<i>Canarium sp.</i>	23.00 (k)
15	<i>Maniltoa grandiflora</i>	0.02	(c)	32	<i>Michelia champaca</i>	23.00 (k)
16	<i>Casuarina equisetifolia</i>	0.13	[d]	33	<i>Tabebuia rosea</i>	0.58 [k]
17	<i>Terminalia mantaly</i>	0.07	[d]			

Kapasitas penyerapan CO₂ spesies tumbuhan menunjukkan variasi yang signifikan, mulai dari yang terendah pada *Bougainvillea* (0,001 kg/pohon/hari) dan *Jatropha integerrima* serta *Jatropha curcas* (0,07 kg/pohon/hari), hingga yang tertinggi pada *Samanea saman* (79,13 kg/pohon/hari), *Ceiba pentandra* (23,91 kg/pohon/hari), serta *Canarium sp.* dan *Michelia champaca* (23,00 kg/pohon/hari). Variasi ini dipengaruhi oleh perbedaan ukuran biomassa, luas tajuk, laju fotosintesis, dan karakteristik morfologi masing-masing spesies. Pohon besar dengan biomassa tinggi berperan penting sebagai penyerap karbon utama dalam mitigasi perubahan iklim, sementara tanaman dengan kapasitas penyerapan rendah terutama berkontribusi pada peningkatan nilai estetika dan pengaturan iklim mikro. Oleh karena itu, pengembangan RTH yang efektif harus menggabungkan tanaman penyerap karbon tinggi yang mendukung fungsi ekologis dengan tanaman penyerap karbon rendah, sehingga meningkatkan kualitas visual dan kenyamanan lingkungan.

Analisis penelitian ini terdiri dari 3 tahap, yaitu 1) perencanaan tata letak tanaman yang mempertimbangkan fungsi ekologis, sosial-budaya, ekonomi, dan fungsi estetika, khususnya penyerapan CO₂, 2) perhitungan kapasitas penyerapan CO₂ vegetasi eksisting dan rencana, dan 3) perhitungan emisi CO₂ dari kendaraan di wilayah studi.

Tata letak tanaman mempertimbangkan fungsi ekologis, sosial-budaya, ekonomi, dan estetika dengan berfokus pada penyerapan CO₂. Tahapan-tahapan dalam tata letak tanaman meliputi pemilihan tanaman dan tata tanaman. Dalam pemilihan tanaman, terdapat empat kriteria untuk pemilihan jenis tanaman. Pertama, sebuah tanaman harus memiliki kapasitas penyerapan CO₂ sedang hingga tinggi. Kriteria ini sejalan dengan SDG 13 Aksi Iklim, yang bertujuan untuk memitigasi emisi. Dalam studi ini, pengurangan GRK dicapai secara alami melalui penanaman spesies spesifik yang mampu menyerap karbon. Metode ini juga mendukung komitmen pemerintah Indonesia untuk mengurangi emisi (Sitawati *et al.*, 2025). Kedua, tanaman sesuai dengan karakteristik lahan fisik, termasuk topografi, iklim, jenis tanah, dan karakteristik lainnya (Booth, 1983). Ketiga, tanaman harus mampu membentuk ruang koridor, meningkatkan estetika jalan, dan juga berfungsi sebagai pemandu visual bagi pengguna jalan, membantu meningkatkan kesadaran pengemudi, dan mendukung keselamatan berkendara. Aspek estetika dicapai dengan memilih spesies tanaman dengan beragam bentuk tajuk, dedaunan, dan bunga yang meningkatkan daya tarik visual, mengurangi monoton, dan menciptakan identitas lanskap yang khas. Tahap penanaman merupakan elemen penting dalam perencanaan lanskap, menghasilkan RTH yang tidak hanya indah tetapi juga ramah lingkungan dan meningkatkan kenyamanan jalan. Keempat, pemilihan tanaman harus mempertimbangkan biaya pemeliharaan berkelanjutan, sebagai cara untuk mengurangi biaya operasional jangka panjang untuk pengelolaan (Booth, 1983).

Pada tata tanaman, pendekatan dalam merancang tata letak tanaman, antara lain rencana tata tanaman harus mengutamakan keamanan, memastikan keselamatan berkendara dengan mencapai elemen-elemen seperti jarak pandang aman sesuai kecepatan yang ditentukan, pencegahan tabrakan antara kendaraan yang bergerak cepat dan pepohonan dengan penggunaan pembatas jalan atau pembatas jalan, peningkatan keselamatan jalan, pengurangan silau lampu depan dengan penggunaan tanaman peneduh, pengurangan gulma dengan penggunaan tanaman penutup tanah di area yang terlihat, isyarat visual bagi pengemudi untuk memberi sinyal dan kecepatan jalan yang tepat, serta upaya penanaman yang bijaksana untuk meningkatkan perilaku dan kewaspadaan berkendara.

Upaya menata tanaman harus berkontribusi terhadap peningkatan karakter dan nilai lingkungan binaan. Mengingat para komuter menghabiskan banyak waktu untuk bepergian, persepsi terhadap suatu destinasi dibentuk oleh perjalanan tersebut, termasuk kualitas kondisi jalan. Oleh karena itu, desain lanskap seharusnya tidak hanya meningkatkan kualitas lingkungan tetapi juga memperkaya pengalaman perjalanan secara keseluruhan. Selain itu, tata letak tanaman juga harus mempertimbangkan aspek estetika dan tata letak ruang koridor jalan. Pertimbangan yang perlu diperhatikan, yaitu pohon berukuran kecil sebaiknya ditempatkan di lajur persimpangan hijau agar pandangan pengemudi tetap jelas dari halangan, pohon berukuran besar ditanam di luar lajur jalan dan disusun secara gradasi, dan pohon berukuran sedang dan tanaman kecil ditanam dekat bahu jalan.

Perhitungan kapasitas total penyerapan CO₂ dilakukan dengan menggunakan Persamaan 1, dimana jumlah tanaman dikalikan dengan kapasitas penyerapan CO₂ masing-masing tanaman. Rumusnya yaitu

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

Keterangan:

V_i = jumlah tanaman

CAC_i = kapasitas penyerapan karbon (CO₂)

Kendaraan, terutama yang berbahan bakar bensin, menghasilkan emisi GRK seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan nitrogen oksida (N₂O). Studi ini terbatas pada emisi CO₂, yang dihitung dalam Persamaan 2 dengan mengalikan bahan bakar yang dijual di SPBU komersial dengan faktor emisi.

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

Keterangan:

$Fuel_a$ = Bahan bakar yang digunakan kendaraan bermotor (TJ)

EF_a = Faktor emisi (kg/TJ)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Emisi kendaraan bermotor sebagai dampak aktivitas mobilitas perkotaan menjadi salah satu penyebab perubahan iklim. Perencanaan RTH di sepanjang koridor jalan tol yang diuraikan dalam penelitian ini berpotensi mengurangi emisi CO₂ yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor.

4.1. TAHAP TATA TANAMAN

4.1.1. Pemilihan tanaman

Tanaman berperan sebagai solusi berbasis alam untuk upaya strategis mitigasi perubahan iklim (Bussotti & Pollastrini, 2025; Westphal *et al.*, 2023). Dengan mempertimbangkan peran ini, kriteria pemilihan tanaman yang sesuai meliputi kapasitas penyerapan karbon sedang hingga tinggi, kesesuaian dengan karakteristik fisik lahan, dan kemampuan membentuk ruang koridor sekaligus meningkatkan estetika jalan (Booth, 1983; Sitawati *et al.*, 2025).

Berdasarkan kriteria-kriteria pemilihan tanaman yang telah dijelaskan dalam metode penelitian, dipilih sebanyak 13 spesies tanaman yang digunakan dalam perencanaan RTH di wilayah studi seperti disajikan pada Tabel 3. Diantara 13 spesies, 4 spesies diklasifikasikan sebagai pohon besar, yaitu *Samanea saman*, *Swietenia mahagoni*, *Ficus benjamina*, dan *Michelia champaca*. Fungsi keempat spesies pohon tersebut yaitu membentuk ruang koridor, menyerap polusi udara, dan menciptakan iklim mikro. Sejumlah pohon kecil dengan bunga yang indah juga dipilih untuk memberikan nilai visual pada lanskap jalan tol, termasuk *Handroanthus chrysotrichus*, *Bougainvillea*, *Caesalpinia pulcherrima*, *Nerium oleander* L., *Bauhinia purpurea*, dan *Syzygium oleana*. Sebagai tambahan, beberapa spesies berukuran medium (*Terminalia mantaly*, *Cerbera manghas*, dan *Cassia fistula*) dipilih untuk ditanam di sepanjang koridor. Spesies tersebut berperan sebagai pembentuk ruang koridor, bertindak sebagai pemandu jalan, dan meningkatkan estetika visual jalan tol.

Tabel 3. Spesies Tanaman Terpilih untuk RTH di Koridor Jalan Tol Jagorawi

No.	Spesies		No.	Spesies	
1	<i>Syzygium oleana</i> : Pohon yang berukuran kecil, berdaun lebat, dan memiliki fungsi mempercantik estetika jalan tol.		8	<i>Bougainvillea</i> : Tanaman yang memiliki nilai estetika tinggi, berfungsi mempercantik tampilan jalan tol.	
2	<i>Caesalpinia pulcherrima</i> : Pohon yang berukuran kecil, berbunga indah, berfungsi mempercantik estetika visual jalan tol.		9	<i>Handroanthus chrysotrichus</i> : Pohon yang berukuran kecil, berbunga indah, berfungsi mempercantik estetika visual jalan tol.	
3	<i>Samanea saman</i> : Pohon berukuran besar dengan tajuk menyebar/membulat, berfungsi sebagai pembentuk iklim mikro.		10	<i>Swettiana mahagoni</i> : Pohon berukuran besar, berdaun lebat, berfungsi membentuk ruang koridor	

No.	Spesies		No.	Spesies	
4	<i>Cassia fistula</i> : Pohon berukuran sedang, memiliki bunga yang indah dipandang, berfungsi membentuk ruang koridor dan mempercantik estetika visual jalan tol.		11	<i>Ficus benjamina</i> : Pohon berukuran besar, berfungsi membentuk ruang koridor, menciptakan iklim mikro & penghijauan koridor jalan tol.	
5	<i>Terminalia mantaly</i> : Pohon berbentuk piramida, berfungsi membentuk ruang koridor dan sebagai penunjuk jalan.		12	<i>Nerium oleander L.</i> : Pohon berukuran kecil, berbunga indah, berperan mempercantik estetika visual jalan tol.	
6	<i>Bauhinia purpurea</i> : Pohon berukuran kecil, berbunga indah, berfungsi mempercantik estetika visual jalan tol dan membentuk stratifikasi tanaman.		13	<i>Michelia champaca</i> : Pohon yang berukuran besar, memiliki bunga yang indah dipandang, berfungsi sebagai pembentuk ruang koridor	
7	<i>Cerbera manghas</i> : Pohon berukuran sedang, berdaun lebat, berfungsi sebagai penghijauan dan pembentuk iklim mikro.				

4.1.2. Pertimbangan tata tanaman

Beberapa faktor perlu dipertimbangkan dalam merancang tata tanaman di sepanjang koridor Jalan Tol Jagorawi. Faktor tersebut adalah keselamatan berkendara, yang mencakup pengurangan stres, peningkatan perilaku dan kesadaran pengemudi, mitigasi frustrasi terkait perjalanan, dan pencegahan risiko tabrakan jalan (Calvi, 2019; Fitzpatrick *et al.*, 2016). Keberadaan tanaman di sepanjang koridor jalan tol harus memenuhi aspek keselamatan jalan. Obyek bahaya sisi jalan dalam Instruksi Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 02/IN/Db/2012 tentang Panduan Teknis Rekayasa Keselamatan Jalan Direktur Jenderal Bina Marga didefinisikan sebagai objek tetap yang berdiameter 100 mm atau lebih, berada dalam zona bebas. Dengan demikian, tata letak dan jenis tanamannya harus memenuhi ketentuan tersebut. Lebih lanjut, tata letak tanaman dimaksudkan untuk meningkatkan karakter dan nilai lingkungan binaan, menggabungkan kualitas estetika, dan mendefinisikan ruang koridor jalan.

Tabel 4 menyajikan spesies tanaman yang dipilih untuk jalan tol, diklasifikasikan berdasarkan ukuran, struktur tajuk, serta fungsi ekologis dan estetika. Spesies pohon besar seperti *Swietenia mahagoni*, *Ficus benjamina*, dan *Michelia champaca* ditanam untuk membentuk ruang koridor dan ditempatkan di luar zona bebas karena dedaunan dan bunganya yang lebat cocok untuk membangun koridor visual dan meningkatkan fungsi ekologis (Fadillah *et al.*, 2025). Bentuk piramida *Terminalia mantaly* tidak hanya berkontribusi pada pembentukan ruang koridor tetapi juga fungsinya sebagai penunjuk jalan. Sementara itu, *Samanea saman*, dengan tajuknya yang menyebar atau membulat, berperan penting dalam pembentukan iklim mikro (Fadillah *et al.*, 2025).

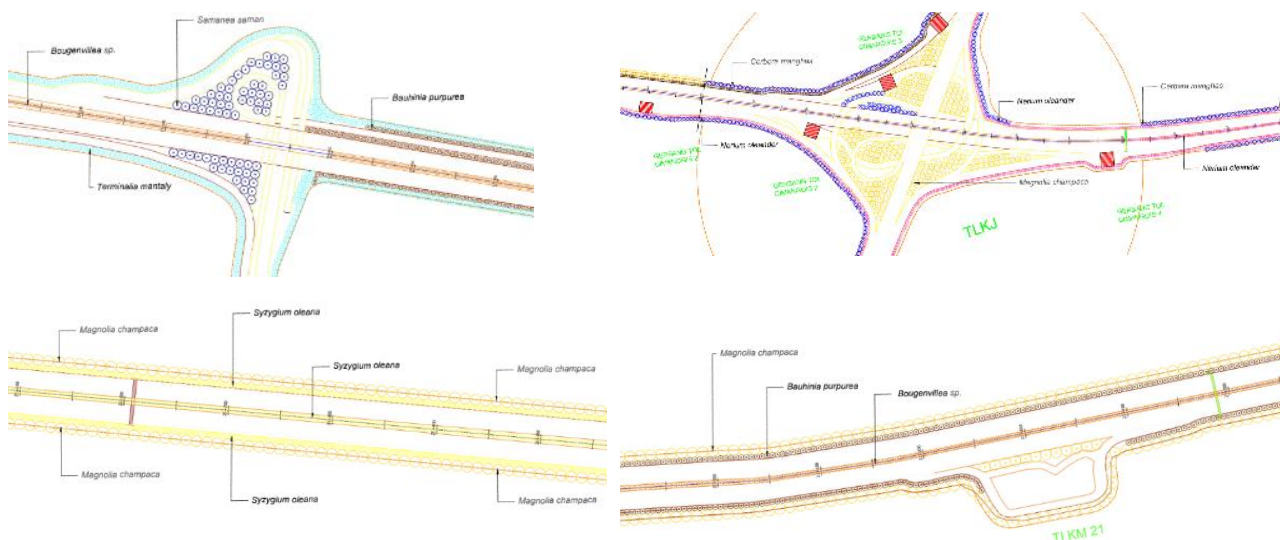
Sementara itu, *Cerbera manghas*, pohon berukuran sedang dengan dedaunan lebat, berkontribusi pada penghijauan di tepi jalan dan pembentukan iklim mikro. Beberapa spesies pohon berbunga, termasuk *Handroanthus chrysotrichus*, *Caesalpinia pulcherrima*, *Nerium oleander*, dan *Bauhinia purpurea*, ditambahkan untuk meningkatkan estetika visual jalan tol, yang juga berkontribusi pada stratifikasi tanaman vertikal. Tanaman seperti *Bougainvillea sp.* dan *Syzygium oleana* dipilih karena fitur estetikanya, sehingga cocok untuk meningkatkan estetika visual jalan tol. *Cassia fistula*, pohon berukuran sedang yang estetik, berperan ganda dalam membentuk ruang koridor dan meningkatkan estetika visual lingkungan binaan. Secara keseluruhan, tata letak tanaman dirancang untuk mengintegrasikan fungsi ekologis, termasuk pembentukan ruang koridor dan iklim mikro, dengan aspek estetika, sehingga menciptakan lingkungan jalan tol yang hijau, nyaman, menarik secara visual, dan memperhatikan aspek keselamatan.

Tabel 4. Kriteria Pemilihan Tanaman

Spesies	Fungsi
<i>Cerbera manghas</i>	Pohon berukuran sedang, berdaun lebat, berfungsi penghijauan, pembentuk iklim mikro.
<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	Pohon berukuran kecil, berbunga indah, dan memperindah tampilan jalan tol.
<i>Swietenia mahagoni</i>	Pohon berukuran besar, berdaun lebat, dan memperindah tampilan koridor.
<i>Bougainvillea sp.</i>	Tanaman yang indah, dan memperindah tampilan jalan tol.
<i>Ficus benyamina</i>	Pohon berukuran besar, berdaun lebat, dan memperindah tampilan koridor.
<i>Terminalia mantaly</i>	Pohon berbentuk piramida, berfungsi sebagai pembentuk tampilan koridor dan pemandu jalan.
<i>Caesalpinia pulcherima</i>	Pohon berukuran kecil, berbunga indah, dan memperindah tampilan jalan tol.
<i>Samanea saman</i>	Pohon berukuran besar dengan tajuk melebar/bulat, berfungsi sebagai pembentuk iklim mikro.
<i>Nerium oleander</i>	Pohon berukuran kecil, berbunga indah, dan memperindah tampilan jalan tol.
<i>Bauhinia purpurea</i>	Pohon berukuran kecil, berbunga indah, dan memperindah tampilan jalan tol.
<i>Michelia champaca</i>	Pohon berukuran kecil, berbunga indah, dan memperindah tampilan jalan tol.
<i>Syzygium oleana</i>	Pohon berukuran kecil, berbunga indah, dan memperindah tampilan jalan tol.
<i>Cassia fistula</i>	Pohon berukuran kecil, berbunga indah, dan memperindah tampilan jalan tol sekaligus membentuk stratifikasi tanaman. Pohon berukuran besar, berbunga indah, dan berfungsi sebagai pembentuk ruang koridor.

4.1.3. Rancangan tata tanaman

Berdasarkan kriteria pemilihan jenis tanaman dan pertimbangan dalam perencanaan tata tanaman, tata tanaman di sepanjang koridor Jalan Tol Jagorawi (KM 3,800–KM 26,500) dirancang sebagaimana ditampilkan dalam Gambar 4. Tata letak tanaman yang direncanakan berfungsi untuk menentukan ruang koridor di sepanjang jalan tol, memenuhi fungsi ekologis dan estetika. Spesies pohon dikategorikan menjadi ukuran kecil, sedang, dan besar. Pohon-pohon tersebut membentuk stratifikasi berdasarkan tinggi masing-masing. Sesuai pedoman, tata letak penanaman di RTH menempatkan pohon-pohon kecil, diikuti oleh pohon-pohon berukuran sedang, di sepanjang tepi jalan, sementara pohon-pohon besar ditanam berdekatan dengan pagar pembatas jalan atau di luar zona bebas.



Gambar 4. Rencana Tata Tanaman

Pohon-pohon kecil dapat ditanam di median jalan atau di sepanjang tepi jalan dalam jalur hijau. Tanaman di median jalan berfungsi sebagai pembatas jalan dan mengurangi silau lampu kendaraan di malam hari. Pohon berbunga atau pohon dengan dedaunan yang menarik berfungsi untuk meningkatkan estetika visual jalan tol. Pohon berukuran sedang dan besar, selain kemampuannya menyerap emisi CO₂, juga membentuk ruang koridor dan berkontribusi pada perkembangan iklim mikro. Terakhir, tanaman di area hijau pada persimpangan dan simpang susun memiliki peran ganda, yaitu menyediakan ruang hijau dan berkontribusi pada pembentukan iklim mikro. Berdasarkan rancangan tata letak tanaman, jumlah dan kuantitas setiap spesies tanaman yang direncanakan ditampilkan pada Tabel 5.

Vegetasi yang direncanakan di sepanjang koridor Jalan Tol Jagorawi terdiri dari 20.383 pohon dari 13 spesies. Empat spesies—*Bauhinia purpurea* (3.187 pohon/15,64%), *Bougainvillea sp.* (2.653 pohon/13,02%), *Nerium oleander* (2.447 pohon/12,01%), dan *Caesalpinia pulcherrima* (2.193 pohon/10,76%) yang merupakan tanaman hias berbunga mendominasi komposisi, secara kolektif menyumbang lebih dari 51% dari total vegetasi. Hal ini dimaksudkan agar fungsi estetika tetap ditampilkan. Sementara itu, pohon-pohon dengan tajuk lebar, seperti *Samanea saman* (10,16%), *Cerbera manghas* (8,66%), *Terminalia mantaly* (6,50%), dan *Magnolia champaca* (6,05%), juga menyumbang porsi yang signifikan, berfungsi membentuk koridor hijau dan memberikan naungan terhadap sinar matahari. Secara umum, distribusi tanaman menunjukkan keseimbangan antara spesies yang melayani fungsi estetika (misalnya, pohon berbunga seperti *Bougainvillea*, *Nerium oleander*, dan *Caesalpinia pulcherrima*) dan tanaman yang melayani fungsi ekologis (misalnya, pohon berkanopi besar seperti *Samanea saman* dan *Terminalia mantaly*).

Tabel 5. Jenis dan Jumlah Rencana Tanaman yang Ditanam di Koridor Jalan Tol Jagorawi

Spesies	Rencana	
	Jumlah	%
<i>Bauhinia purpurea</i>	3.187	15,64
<i>Bougainvillea sp.</i>	2.653	13,02
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	2.193	10,76
<i>Nerium oleander</i>	2.447	12,01
<i>Syzygium oleana</i>	2.025	9,93
<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	768	3,77
<i>Cerbera manghas</i>	1.766	8,66
<i>Cassia fistula</i>	86	0,42
<i>Terminalia mantaly</i>	1.325	6,50
<i>Ficus benjamina</i>	25	0,12
<i>Magnolia champaca</i>	1.233	6,05
<i>Swietenia mahagoni</i>	605	2,97
<i>Samanea saman</i>	2.070	10,16
TOTAL	20.383	100,00

4.2. PERHITUNGAN KAPASITAS PENYERAPAN CO₂

Kapasitas penyerapan CO₂ tanaman eksisting yang berada di lokasi studi disajikan dalam Tabel 6. Total kapasitas penyerapan CO₂ tanaman eksisting di sepanjang koridor jalan tol adalah 85.046,277 kg/hari. Tabel 6 menunjukkan dominasi *Samanea saman*, yang menyerap 44.869,214 kg/hari, atau 52,759 % dari total penyerapan eksisting, diikuti oleh *Bauhinia purpurea* (34.157,149 kg/hari, 40,163%). Sebaliknya, beberapa pohon, seperti *Bougainvillea sp.*, *Nerium oleander*, dan *Terminalia mantaly*, menyerap jauh kurang dari 0,2%. Sementara itu, vegetasi yang direncanakan di area studi berjumlah 20.383 pohon, terdiri dari 13 spesies. Total kapasitas rencana penyerapan CO₂ pohon yang ditanam di sepanjang koridor jalan tol adalah 211.142,46 kg/hari.

Daya serap CO₂ tanaman rencana didominasi oleh *Samanea saman*, yang menyerap 163.799,10 kg/hari, atau 77,58% dari total penyerapan, diikuti oleh *Magnolia champaca* (28.359,00 kg/hari, 13,43%) dan *Bauhinia purpurea* (11.345,72 kg/hari, 5,37%). Sebaliknya, beberapa pohon, seperti *Bougainvillea sp.*, *Nerium oleander*, dan *Terminalia mantaly*, menyerap jauh kurang dari 0,1%. Kapasitas penyerapan *Samanea saman* yang tinggi disebabkan oleh tajuknya yang lebar, sehingga memungkinkannya menyerap hingga 79,13 kg CO₂ per pohon per hari. Nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan tanaman hias seperti *Bougainvillea sp.*, yang hanya menyerap 0,001 kg/hari per pohon.

Temuan ini menegaskan bahwa perencanaan reboisasi harus memprioritaskan spesies pohon dengan kapasitas penyerapan tinggi untuk mencapai pengurangan emisi CO₂ yang efektif, sekaligus mempertahankan fungsi estetika dan ekologi lainnya (seperti pembentukan iklim mikro) melalui penanaman tanaman hias berbunga. Dengan demikian, terlepas dari beragamnya spesies yang ditanam, sekitar 91% dari total penyerapan karbon hanya disumbangkan oleh dua spesies pohon utama: *Samanea saman* dan *Magnolia champaca*. Kombinasi pohon-pohon penyerap karbon utama ini dengan tanaman pendukung yang estetik akan menghasilkan lanskap jalan tol yang tidak hanya menarik secara visual tetapi juga mampu mengoptimalkan pengurangan emisi CO₂.

Tabel 6. Kapasitas Serap CO₂ Tanaman Eksisting dan Rencana

Spesies	Daya Serap CO ₂ Tahunan kg/pohon	Eksisting			Rencana		
		Jumlah	Daya Serap CO ₂ per Hari		Jumlah	Daya Serap CO ₂ per Hari	
			Kg/hari	%		Kg/hari	%
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	0,09	931	80,069	0,094	2.193	197,37	0,093
<i>Bougainvillea</i>	0,01	500	3,120	0,004	2.653	2,65	0,001
<i>Erythrina crista-galli</i>	0,01	765	9,675	0,011	-	-	-
<i>Cerbera manghas</i>	2,36	833	1.964,907	2,310	1.766	4.167,76	1,974
<i>Bauhinia purpurea</i>	32,40	1.054	34.157,149	40,163	3.187	11.345,72	5,373
<i>Terminalia mantaly</i>	0,07	1.996	133,976	0,158	1.325	92,75	0,044
<i>Spathodea campanulat</i>	0,59	200	117,578	0,138	-	-	-
<i>Maniltoa gemmipara</i>	0,02	101	2,310	0,003	-	-	-
<i>Swettiana mahagoni</i>	0,82	1.563	1.283,688	1,509	605	496,10	0,235
<i>Samanea saman</i>	79,13	567	44.869,214	52,759	2.070	163.799,10	77,578
<i>Tabebuia rosea</i>	0,58	1.938	1.124,233	1,322	-	-	-
<i>Tabebuia chrysantha</i>	0,58	75	43,560	0,051	-	-	-
<i>Jatropha integerrima Jacq.</i>	0,07	500	33,556	0,039	-	-	-
<i>Jatropha curcas</i>	0,07	500	33,333	0,039	-	-	-
<i>Nerium oleander L.</i>	0,08	700	56,000	0,066	2.447	195,76	0,093
<i>Melaleuca cajuputi.</i>	0,84	8	7,003	0,008	-	-	-
<i>Ceiba pentandra</i>	23,91	12	278,898	0,328	-	-	-
<i>Leucaena leucocephala</i>	3,96	135	534,600	0,629	-	-	-
<i>Acacia mangium</i>	0,06	92	5,925	0,007	-	-	-
<i>Cassia siamea</i>	0,32	17	5,382	0,006	-	-	-
<i>Casuarina equisetifolia</i>	1,10	67	73,365	0,086	-	-	-
<i>Musa paradisiaca</i>	0,42	150	62,640	0,074	-	-	-
<i>Mimusops elengi</i>	2,64	63	166,095	0,195	-	-	-
<i>Syzygium oleana</i>	0,34	-	-	-	2.025	688,50	0,326
<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	0,58	-	-	-	768	445,44	0,211
<i>Cassia fistula</i>	14,71	-	-	-	86	1.265,06	0,599
<i>Ficus benjamina</i>	3,49	-	-	-	25	87,25	0,041
	23	-	-	-	1.233	28.359,00	13,431
Total		12.768	85.046,277	100,00	20.383	211.142,46	100,00

4.3. PERHITUNGAN EMISI CO₂ KENDARAAN BERMOTOR

Berdasarkan Tabel 7, jumlah kendaraan yang melintasi wilayah perencanaan tercatat sebanyak 450.064 unit, dengan emisi CO₂ total sebesar 423.833,978 kg. Emisi CO₂ harian di wilayah Jalan Tol Jagorawi (ruas Cawang–Cibinong) dihitung berdasarkan 450.064 kendaraan yang menempuh jarak total 23,2 km. Kendaraan tersebut mengonsumsi bahan bakar sebanyak 185.331 liter (setara dengan 6,116 TJ energi), sehingga menghasilkan emisi total sebesar 423.834 kg. Perhitungan dilakukan dengan asumsi sebagai berikut: (1) kendaraan rata-rata adalah minibus, (2) bensin merupakan bahan bakar utama yang digunakan, dan (3) konsumsi bahan bakar untuk minibus adalah 8 km per liter.

Emisi bervariasi di setiap segmen jalan tergantung pada volume lalu lintas, panjang jalan, dan konsumsi bahan bakar. Segmen Pasar Rebo–Cibubur mencatat emisi tertinggi (160.067 kg CO₂), sementara segmen Cawang–Taman Mini mencatat emisi terendah (8.631 kg CO₂). Rata-rata, emisi harian mencapai 18.200 kg CO₂ per km (18,2 ton), setara dengan sekitar 6.600 ton per tahun. Dibandingkan dengan studi lain, emisi CO₂ di sepanjang Jalan Tol Jagorawi menunjukkan intensitas yang jauh lebih tinggi. Sebagai contoh, sebuah studi kasus di wilayah Xi'an–Hanzhong, Tiongkok, melaporkan emisi rata-rata sebesar 6.197 ton per kilometer lajur jalan selama 15 tahun (Liu *et al.*, 2020), sementara kendaraan penumpang di Amerika Serikat menghasilkan emisi CO₂ sekitar 4,6 ton per tahun. Semakin tinggi emisi CO₂ yang dihasilkan dari aktivitas kendaraan harian di jalan tol, semakin banyak pula intervensi yang mendesak untuk dilakukan, termasuk peningkatan efisiensi kendaraan, transportasi umum yang berbahan bakar ramah lingkungan, dan pengembangan RTH.

Tabel 7. Emisi CO₂ Kendaraan Bermotor

Segmen Jalan	Jumlah Kendaraan (Unit/hari)	Panjang Jalan (km)	Konsumsi Bensin (L)	Konversi Energi (TJ)	Faktor Emisi CO ₂ (kg/TJ)	Total CO ₂ (kg)
Cawang-Taman Mini STA 3+800 - 4+200	75.479	0,40	3.773,950	0,125	69.300	8.630,65
TMI - Pasar Rebo STA KM4+200 - 6+000	70.864	1,80	15.944,400	0,526	69.300	36.463,25
Pasar Rebo - Cibubur STA KM 6+000 - 13+200	77.770	7,20	69.993,000	2,310	69.300	160.066,99
Cibubur - Cisalak STA KM 13+200-15+600	66.055	2,40	19.816,500	0,654	69.300	45.318,35
Cisalak - Cimanggis STA KM 15+600-19+000	55.375	3,40	23.534,375	0,777	69.300	53.820,76
Cimanggis - Gunung Putri STA KM 19+000-23+800	52,303	4,80	31.381,800	1,036	69.300	71.767,04
Gunung Putri - Cibinong STA KM 23+800 - 27+000	52.218	3,20	20.887,200	0,689	69.300	47.766,94
TOTAL	450.064	23,20	185.331,225	6,116		423.833,978

Hasil dari studi ini memperkuat konsep pembangunan perkotaan berkelanjutan yang menghubungkan pengurangan CO₂ dengan keberlanjutan perkotaan yang lebih luas dan agenda perencanaan kota berkelanjutan. Temuan ini menyoroti bahwa mitigasi perubahan iklim melalui peningkatan kapasitas RTH dalam menyerap CO₂ tidak hanya menurunkan emisi CO₂, tetapi juga meningkatkan kualitas lingkungan, memperhatikan aspek keselamatan jalan, meningkatkan kualitas hidup, dan memperkuat ketahanan perkotaan. Oleh karena itu, studi ini sangat mendukung pencapaian SDG 13 dan juga terkait dengan SDG 11.

5. KESIMPULAN

Hasil studi menunjukkan bahwa perencanaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) di wilayah studi memiliki potensi yang signifikan untuk mengurangi emisi CO₂ dari kendaraan bermotor. Berdasarkan hasil perhitungan kapasitas maksimal CO₂ yang mampu diserap oleh rancangan RTH di wilayah studi, sebanyak 20.383 pohon dari 13 spesies perlu ditanam, dengan perkiraan kapasitas penyerapan CO₂ sebesar 211.142,46 kg/hari. Jumlah tersebut meningkat 2,48 kali dibandingkan dengan kapasitas penyerapan CO₂ tanaman eksisting. Kapasitas penyerapan CO₂ oleh RTH yang dirancang tersebut dapat menyerap hingga 49,82% dari total emisi harian kendaraan sebesar 423.834 kg. Dengan demikian, penanaman 20.383 pohon diproyeksikan akan mengimbangi hampir setengah dari emisi yang dihasilkan oleh aktivitas kendaraan. Temuan ini menyoroti bahwa pengembangan RTH dapat berfungsi secara estetis sekaligus secara ekologis dan menjadi strategi mitigasi yang efektif untuk perubahan iklim, namun tetap memperhatikan aspek keselamatan jalan. Lebih lanjut, RTH yang direncanakan diharapkan dapat berkontribusi pada target pengurangan gas rumah kaca (GRK) pemerintah, sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Nomor 16 tahun 2016 tentang Pengesahan Perjanjian Paris, yang berkomitmen untuk mengurangi emisi GRK sebesar 29% pada tahun 2030.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Hibah BIMA, sebagaimana tertuang dalam Kontrak No. 1014/LL3/AL.04/2025 dan Kontrak No. 501/A/LPPM/USAKTI/VI/2025, tanggal 4 Juni 2025. Selain itu, Tim Peneliti juga menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada PT Jasamarga Tollroad Maintenance dan Bapak Iwan Ismaun atas dukungannya terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Booth, N. K. (1983). *Basic Elements of Landscape Architecture Design*. Waveland Press Inc Illinois.
- Bussotti, F., & Pollastrini, M. (2025). Planting Trees as a Nature-Based Solution to Mitigate Climate Change: Opportunities, Limits, and Trade-Offs. *Forests*, 16(5), 810. <https://doi.org/10.3390/f16050810>
- Calvi, A. (2019). Does Roadside Vegetation Affect Driving Performance?: Driving Simulator Study on the Effects of Trees on Drivers' Speed and Lateral Position. *Journal of the Transportation Research Board*, 2518(1), 1–8. <https://doi.org/10.3141/2518-01>

- Cho, F. H. T., Aglonucci, P., Bateman, I. J., Lee, C. F., Lovett, A., Mancini, M. C., Rapti, C., & Day, B. H. (2025). Resilient Tree-Planting Strategies for Carbon Dioxide Removal Under Compounding Climate and Economic Uncertainties. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. <https://doi.org/10.1073/pnas.2320961122>
- Dahlan, E. N. (2008). Jumlah Emisi Gas Co₂ dan Pemilihan Jenis Tanaman Berdaya Rosot Sangat Tinggi: Studi Kasus di Kota Bogor (the Amount of Co₂ Gasses Emission and Selection of Plant Species with Height Carbon Sink Capability: Case Study in Bogor Municipality). *Media Konservasi*, 13(2), 85–89. <https://doi.org/10.29243/medkon.13.2.%p>
- Djalante, S., Oneyama, H., & Arsyad, L. O. M. N. (2020). Toward Sustainability: Green Road Construction in Indonesia. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Transportation Studies in Developing Countries (ISTSDC 2019)*. <https://doi.org/10.2991/aer.k.200220.038>
- 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), 8. <https://doi.org/doi.org/10.5334/fce.176>
- Fadillah, A. R., Novianti, V., & Hapsari, L. (2025). Analysis of the Eco-Physiological Characteristics of Street Trees in Urban Area for Sustainable Urban Greening. *Proceedings of the National Institute of Ecology of the Republic of Korea*. <https://doi.org/10.22920/PNIE.2025.6.1.15>
- Farida, N., & Nizar, N. (2013). *Perencanaan jalur hijau Jalan Tol Jagorawi ruas Gerbang Tol Bogor sampai Terminal Baranangsiang (Planning of Jagorawi Toll Road greenbelts In Bogor Toll Gate – Baranangsiang Terminal section)*. Insitut Pertanian Bogor.
- 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 Bisnis*, 6(1), 20–31. <https://doi.org/10.33024/jrets.v6i1.5862>
- Fitzpatrick, C. D., Samuel, S., & Knodler, M. A. (2016). Evaluating the Effect of Vegetation and Clear Zone Width on Driver Behavior Using a Driving Simulator. *Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour*, 42, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.07.002>
- Khoiroh, M., & Damayanti, A. (2014). *Analisis Kemampuan Jalur Hijau Jalan sebagai Ruang Terbuka Hijau (RTH) Publik untuk Menyerap Emisi Karbon Monoksida (CO) dari Kendaraan Bermotor di Kecamatan Sukolilo Surabaya*. Insitut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Küfeoğlu, S. (2022). *SDG-13: Climate Action*. Springer International Publishing.
- Marisha, S. (2018). *Analisis Kemampuan Pohon Dalam Menyerap CO₂ dan Menyimpan Karbon pada Jalur Hijau Jalan di Subwilayah Kota Tegalega, Kota Bandung (Analysis on Tree Capacity in Absorbing CO₂ and Capturing Carbon within Green Belts in Tegalega Sub-Region, Bandung)*. Insitut Teknologi Bandung.
- Rao, A. N., & Wee, Y. C. (1989). *Singapore Trees*. Singapore Institute of Biology.
- Sitawati, A., Taki, H. M., & Andajani, R. D. (2022). The Influence of Environmental Polices on Selecting Investment Locations. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 5(3), 266–280. <https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v5i3.14448>
- Sitawati, A., Yahya, W., Fitri, R., Andajani, R. D., & Ikhsan, S. M. (2025). Carbon Emission Reduction with Green Open Space Development in Jagorawi Toll Road, Indonesia. *Journal of Lifestyle & SDG's Review*, 5(2), 1–23. <https://doi.org/10.47172/2965-730X.SDGsReview.v5.n02.pe03099>
- Undang-Undang (UU) Nomor 16 Tahun 2016 Tentang Pengesahan Paris Agreement To The United Nations Framework Convention On Climate Change (Persetujuan Paris Atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa Mengenai Perubahan Iklim), Pub. L. No. 16 (2016).
- Wang, W., & Yi, H. (2016). Research on the Green Streets Planning of Sponge City. *2016 International Conference on Sensor Network and Computer Engineering*, 407–410.
- Wardhani, A. K., Budianto, B., & Surgiarto, Y. (2018). The Role of Vegetation in Reducing Anthropogenic CO₂ in Bogor City. *Agromet*, 32(1), 42–50. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.32.1.42-50>
- Wartaman, A. S., Situmorang, R., & Suharto, B. B. (2018). Enhancing the Open SPace of Jabodetabek Area, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/106/1/012029>
- Wartaman, A. S., Suharto, B., Luru, M. N., Ramadhani, A., Dewi, R., & Andajani. (2020). Green Open Space"s Emission Absorption: A Case Of Duri Kosambi, DKI Jakarta Province, Indonesia. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 9(1), 3564–3569.
- Westphal, L. M., Sturtevant, B., Reese, G. C., Quingley, K. M., Crabtree, J., Bengston, D. N., Fleischman, F. D., & Plisinski, J. S. (2023). Preparing for an Uncertain Future: Merging the Strategic Foresight Toolkit with Landscape Modeling in Northeast Minnesota's Forests. *Scientific Journal*, 237(10), 104798. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104798>
- Yoses, Y. F. F., & Murti, F. (2023). Pemilihan dan Penataan Vegetasi dalam Mengurangi Emisi Karbon Kendaraan di Terminal Purabaya. *Selasar*, 20(1), 1–10. <https://doi.org/10.30996/selasar.v20i1.8713>