



Pengaruh Keberadaan Ruang Terbuka Hijau terhadap Tingkat Karbon Dioksida (CO₂) Perkotaan di Kota Jayapura

(Studi Perbandingan antara Ruas Jalan Percetakan dan Kawasan Dok V Atas)

Carlos Petter Timotius^{1*}, Elisabeth V. Wambrauw², Juliani Wairata³

¹⁻³ Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih, Jayapura, Indonesia

*Penulis Korespondensi: carlospettertimotius@gmail.com¹

Abstract. *Green Open Space (GOS) is an essential element in urban spatial planning that functions to maintain air quality and ecosystem balance. This research aims to analyze the influence of GOS on the concentration levels of Carbon Dioxide (CO₂) in the urban area of Jayapura City. The study locations were focused on two areas with distinct characteristics: Jalan Sam Ratulangi, which has high vegetation coverage, and Jalan Percetakan, which is dominated by built-up areas and dense commercial activity. The methods used include spatial analysis utilizing Landsat 8 satellite imagery Band 4 (Red) and Band 5 (NIR) to calculate the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), a vegetation time series analysis from 2019–2024, and direct CO₂ concentration measurements taken at three different times (morning, noon, afternoon). The data was processed using ArcGIS with the Kriging Interpolation method to generate spatial distribution maps of CO₂ in both locations. The results show that Jalan Sam Ratulangi has a GOS area of 6.13 ha (94%), while Jalan Percetakan has only 2.95 ha (31%). This difference significantly impacts CO₂ levels, with an average concentration of 484 ppm at Sam Ratulangi, which is lower than Percetakan's average of 567 ppm. The highest CO₂ value at Percetakan reached 649 ppm during the afternoon, whereas Sam Ratulangi recorded only 488 ppm. This study proves that the wider and healthier the GOS, the lower the CO₂ concentration detected. These results demonstrate that vegetation plays a significant role in reducing carbon emissions in urban areas, supporting the crucial role of GOS in maintaining air quality and supporting sustainable urban development in Jayapura City.*

Keywords: Carbon Dioxide (CO₂); Green Open Space; Jayapura City; NDVI; Spatial Analysis.

Abstrak. Ruang Terbuka Hijau (RTH) merupakan elemen penting dalam tata ruang perkotaan yang berfungsi menjaga kualitas udara dan keseimbangan ekosistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh keberadaan RTH terhadap tingkat konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di kawasan perkotaan Kota Jayapura. Lokasi penelitian difokuskan pada dua kawasan dengan karakteristik berbeda, yaitu Jalan Sam Ratulangi yang memiliki tutupan vegetasi tinggi dan Jalan Percetakan yang didominasi area terbangun serta aktivitas komersial padat. Metode yang digunakan meliputi analisis spasial dengan pemanfaatan citra satelit Landsat 8 Band 4 (Red) dan Band 5 (NIR) untuk menghitung indeks vegetasi NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), analisis time series vegetasi tahun 2019–2024, serta pengukuran langsung konsentrasi CO₂ pada tiga waktu (pagi, siang, sore). Data tersebut diolah menggunakan ArcGIS dengan metode Interpolasi Kriging untuk memperoleh peta sebaran spasial CO₂ di kedua lokasi penelitian. Hasil menunjukkan bahwa Jalan Sam Ratulangi memiliki luas RTH 6,13 ha (94%), sedangkan Jalan Percetakan hanya 2,95 ha (31%). Perbedaan ini berpengaruh signifikan terhadap kadar CO₂, di mana rata-rata di Sam Ratulangi sebesar 484 ppm, lebih rendah dari Percetakan yang mencapai 567 ppm. Nilai tertinggi CO₂ di Percetakan mencapai 649 ppm pada siang hari, sementara di Sam Ratulangi hanya 488 ppm. Penelitian ini membuktikan bahwa semakin luas dan berkualitas RTH, semakin rendah konsentrasi CO₂ yang terdeteksi. Hasil ini menunjukkan bahwa vegetasi berperan signifikan dalam menurunkan emisi karbon di kawasan perkotaan. Dengan demikian, RTH memiliki peran penting dalam menjaga kualitas udara dan mendukung pembangunan kota yang berkelanjutan di Kota Jayapura.

Kata Kunci: Analisis Spasial; Karbon Dioksida (CO₂); Kota Jayapura; NDVI; Ruang Terbuka Hijau.

1. PENDAHULUAN

Kota Jayapura, sebagai ibu kota Provinsi Papua, mempunyai luas daerah sebesar 940 km² (BPS Kota Jayapura, 2024) dan merupakan pusat kegiatan ekonomi, pemerintahan, serta layanan publik di Papua. Dengan perkembangan kota yang pesat, bermacam tantangan area mulai timbul, seperti kenaikan polusi udara, serta keterbatasan Ruang Terbuka Hijau (RTH).

Isu penurunan kualitas udara di kawasan perkotaan jadi tantangan utama dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan. Bersamaan dengan urbanisasi yang semakin bertambah, kebutuhan akan lahan untuk bermacam kepentingan komersial, perumahan, dan infrastruktur publik semakin mendesak, sehingga alokasi lahan buat RTH kerap kali terpinggirkan (Ramadhan & Arif, 2023). Dalam konteks pembangunan perkotaan yang berkelanjutan, keberadaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) mempunyai kedudukan strategis dalam melindungi kualitas lingkungan, meresap polusi udara, kurangi suhu permukaan, dan tingkatkan kenyamanan publik (Claudia, 2024). Namun hal ini tidak dapat di implementasikan secara efektif di semua kota-kota besar termasuk di Kota Jayapura, Kota Jayapura masih mengalami keterbatasan dalam penyediaan RTH yang mencukupi, paling utama di kawasan dengan kepadatan kegiatan ekonomi yang tinggi.

Salah satu kawasan yang hadapi tantangan yang sama terdapat di Jalur Percetakan Negara, yang terletak di Kelurahan Gurabesi, Kecamatan Jayapura Utara. Perlu diketahui bahwa Kota Jayapura mempunyai setidaknya 3 kawasan dengan kegiatan ekonomi yang cukup tinggi, ialah Distrik Abepura, kawasan Entrop, serta daerah pusat kota Jayapura seperti Jalur Ahmad Yani serta Jalur Percetakan. Ketiga kawasan ini ialah pusat konsentrasi kegiatan komersial, transportasi, serta mobilitas warga yang tinggi, sehingga berpotensi memberikan tekanan terhadap kualitas lingkungan, khususnya kualitas udara.

Penelitian terdahulu (Rumere, 2024) mengatakan bahwa kawasan dengan tingkatan kerapatan vegetasi yang tinggi cenderung mempunyai konsentrasi karbon monoksida (CO) yang lebih rendah. Penelitian tersebut menemukan bahwa keberadaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) mempunyai pengaruh sebesar 81, 9% dalam mengurangi kandungan CO, yang menunjukkan kontribusi signifikan RTH terhadap kenaikan kualitas udara di daerah perkotaan. Penemuan ini jadi landasan penting dalam memahami kedudukan ekologis RTH dalam mitigasi polusi udara.

Bersumber pada temuan tersebut, penelitian ini ditunjukan guna mengkaji pengaruh RTH terhadap tingkatan kualitas udara dengan fokus pada kawasan pusat Kota Jayapura. Ada pula posisi utama yang jadi objek riset merupakan Ruas Jalur Percetakan, yang mempunyai kegiatan ekonomi dan keterbatasan dalam penyediaan serta distribusi RTH. Sebagai pembanding, peneliti memilih wilayah Jalur Sam Ratulangi di Kelurahan Mandala, Dok V Atas, kawasan yang relatif mempunyai luasan serta kualitas RTH yang lebih mencukupi.

Penelitian ini bertujuan guna mengenali serta menganalisis perbandingan kualitas udara, khususnya konsentrasi gas CO₂, antara kedua kawasan yang mempunyai ciri berbeda dalam hal pemanfaatan ruang serta keberadaan RTH.

2. KAJIAN PUSTAKA

RTH didefinisikan sebagai bagian dari ruang terbuka yang didominasi oleh tumbuhan, baik alami maupun ditanam (UU No. 26 Tahun 2007). Secara fungsional, RTH dibagi menjadi RTH Publik (dimiliki pemerintah, seperti taman kota) dan RTH Privat (milik individu, seperti taman pekarangan) (Permen PU No. 05/PRT/M/2008). Pentingnya RTH dikuatkan oleh regulasi yang mewajibkan penyediaan minimal 30% dari luas wilayah kota. Fungsi ekologis RTH mencakup mitigasi iklim, estetika, dan penyerapan polutan udara.

Karbon Dioksida (CO₂) adalah gas rumah kaca utama yang konsentrasinya di perkotaan sangat dipengaruhi oleh emisi antropogenik, terutama dari sektor transportasi dan komersial (Auza Ghifary, 2017). Meskipun CO₂ tidak secara langsung bersifat toksik pada level normal, konsentrasi yang sangat tinggi dapat mengganggu pernapasan dan menjadi indikator akumulasi polusi yang serius.

Vegetasi berperan sebagai **penyerap (sink)** CO₂ melalui proses fotosintesis, yang menjadikannya mekanisme alami paling efektif untuk menurunkan emisi karbon di lingkungan urban (Hastuti & Utami, 2008). Penelitian Nawangsari & Mussadun (2018) di Semarang menunjukkan bahwa alih fungsi RTH secara langsung menyebabkan peningkatan polutan, sementara studi Yahya et al. (2020) mengukur kemampuan daya serap CO₂ pada pohon peneduh jalan.

Analisis Vegetasi Menggunakan NDVI

Normalize Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan indeks kehijauan atau aktivitas fotosintesis vegetasi yang paling sering digunakan dalam analisis vegetasi. NDVI didasarkan pada pengamatan bahwa permukaan yang berbeda-beda merefleksikan berbagai jenis gelombang cahaya yang berbeda. Vegetasi yang aktif melakukan fotosintesis akan menyerap sebagian besar gelombang merah dari sinar matahari dan mencerminkan gelombang inframerah dekat dengan lebih tinggi. Sebaliknya, vegetasi yang sudah mati atau mengalami stres (kurang sehat) akan lebih banyak mencerminkan gelombang merah dan lebih sedikit pada gelombang inframerah dekat.

Indeks ini dihitung dengan menggunakan rumus:

$$NDVI = \frac{Nir-Red}{Nir+Red} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- a) NIR (Near-Infrared): reflektansi inframerah dekat
- b) Red: reflektansi pada pita merah

Nilai NDVI berkisar antara -1 hingga +1:

- a) $NDVI > 0.4$ = Vegetasi lebat dan sehat (hutan, lahan hijau)
- b) $NDVI 0.2-0.4$ = Vegetasi sedang (semak, lahan campuran)
- c) $NDVI < 0.2$ = Sedikit atau tidak ada vegetasi (permukiman, beton, jalan)

Penggunaan NDVI dalam analisis vegetasi sangat penting, karena dapat memberikan informasi yang berguna mengenai kesehatan dan distribusi vegetasi di suatu area. Dengan demikian, NDVI menjadi alat yang efektif dalam pemantauan perubahan lingkungan dan pengelolaan sumber daya alam (Wulandari, 2019).

Adapun klasifikasi dari NDVI yang bersumber pada peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia yang digambarkan dengan tabel sebagai berikut.

Tabel 1. Klasifikasi NDVI

Klasifikasi Kerapatan Vegetasi (Peraturan Menteri Kehutanan RI)		
	<0	Non Vegetasi
	0.03 – 0.15	Vegetasi Sangat Rendah
	0.15 – 0.35	Vegetasi Rendah
	0.35 – 1	Vegetasi Sedang
	1	Vegetasi Tinggi

Analisis Spasial

Istilah spasial berasal dari kata bahasa Inggris "space," yang berarti ruang. Pendekatan ini lebih menekankan pada ekosistem dengan perhatian khusus terhadap aspek lokasi, elevasi, dan waktu. Analisis spasial merupakan suatu metode dalam studi geografi dan ilmu lainnya, yang dapat diterapkan di berbagai sektor seperti ekonomi, budaya, kesehatan, serta pariwisata. Dalam konteks pariwisata, analisis spasial berperan penting dalam manajemen pemasaran, yang bertujuan untuk mengevaluasi dan menjelaskan mengenai distribusi objek wisata dari sudut pandang geografis. Seperti yang dinyatakan oleh Mahendrasari dan Permata (2016), analisis spasial diartikan sebagai keterampilan umum untuk menyusun atau memproses data spasial ke dalam format yang variatif, sehingga menghasilkan interpretasi baru atau memberikan perspektif tambahan. Berdasarkan Undang-Undang No. 4 Tahun 2011, spasial diartikan sebagai suatu kejadian yang mencakup aspek lokasi, posisi, dan keterkaitannya. Informasi mengenai data spasial ini dikenal sebagai informasi geospasial.

Alat HT2000 CO₂ Detector


Alat pengukur karbon dioksida HT-2000 merupakan perangkat berbasis teknologi Non-Dispersive Infrared (NDIR) yang umum digunakan dalam pemantauan konsentrasi CO₂ di udara, baik untuk penelitian lingkungan, pengelolaan kualitas udara, maupun studi perubahan atmosfer. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi radiasi inframerah yang diserap oleh molekul CO₂ pada panjang gelombang tertentu, sehingga menghasilkan nilai konsentrasi gas secara real-time. Secara teknis, HT-2000 memiliki layar LCD 3,5 inci dengan pencahayaan belakang yang memudahkan pembacaan hasil pengukuran. Alat ini dilengkapi dengan beberapa mode pencatatan data (*logger mode*) seperti *key start/stop*, *immediate*, *schedule*, *real-time*, dan *roll-over*. Spesifikasi utama alat ini mencakup:

- a) Konsentrasi CO₂: rentang pengukuran 0–9999 ppm dengan akurasi ± 70 ppm atau $\pm 3\%$ dari pembacaan (pada kisaran 400–2000 ppm) dan waktu respons sekitar 10 detik.
- b) Suhu: rentang pengukuran -10 °C hingga 70 °C dengan resolusi $0,1$ °C dan akurasi $\pm 0,6$ °C (0 – 50 °C), sedangkan di luar rentang tersebut $\pm 1,2$ °C.
- c) Kelembaban: rentang pengukuran $0,1$ – $99,9\%$ RH dengan resolusi $0,1\%$ dan akurasi $\pm 3\%$ (10 – 90% RH), sedangkan di luar rentang tersebut $\pm 4,5\%$.
- d) Memori pencatatan: mampu menyimpan hingga 12.700 titik data.
- e) Kondisi operasi: suhu 0 – 50 °C dan kelembaban 0 – 95% RH.
- f) Kondisi penyimpanan: suhu -20 hingga 60 °C dan kelembaban 0 – 99% RH.
- g) Daya: menggunakan 4 baterai AA atau sumber daya melalui USB.
- h) Umur sensor: ± 15 tahun dalam kondisi lingkungan normal dengan fitur *Automatic Background Calibration (ABC)* aktif.

Dalam kondisi ideal, tingkat kesalahan pengukuran (*miss*) alat ini sekitar $\pm 3\%$ atau ± 70 ppm pada kisaran konsentrasi umum (400–2000 ppm). Kondisi lingkungan yang berubah akibat hujan juga dapat mempengaruhi kinerja sensor HT-2000. Kelembaban yang sangat tinggi atau terbentuknya kondensasi air dapat mengganggu transmisi sinar inframerah di dalam sensor NDIR, sedangkan paparan air secara langsung dapat menyebabkan gangguan pada komponen optik dan kelistrikan. Oleh karena itu, dalam penggunaan lapangan, HT-2000 sebaiknya dilindungi dari paparan hujan langsung, serta dilakukan kalibrasi berkala untuk menjaga keakuratan hasil pengukuran. Secara keseluruhan, alat HT-2000 merupakan perangkat yang andal dan praktis untuk mengukur konsentrasi CO₂ di atmosfer. Namun, hasil pengukurannya dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti hujan, kelembaban, suhu, serta dinamika atmosfer. Pemahaman terhadap pengaruh kondisi-kondisi tersebut menjadi

penting agar hasil pengukuran dapat diinterpretasikan dengan tepat dalam konteks penelitian lapangan.

Tabel 2. Spesifikasi Alat Pengukur CO₂

			
No	Jenis Sensor	Deskripsi	Fungsi
1	Letak Sensor NDIR (Non-Dispersive Infrared)	Mengukur kadar CO ₂ , berdasarkan penyerapan gelombang inframerah oleh molekul karbon dioksida. Udara melalui ruang sensor, dan detektor mengukur seberapa banyak cahaya inframerah diserap oleh gas CO ₂ .	Mengukur kadar CO ₂ dalam udara untuk memantau kualitas udara.
2	Letak Sensor Suhu (SHT21)	Mendeteksi perubahan resistansi atau kapasitansi akibat perubahan suhu. Sinyal tersebut dikonversi menjadi data suhu dan ditampilkan secara real-time melalui layar LCD.	Mengukur suhu dalam ruang untuk kontrol suhu atau monitoring sistem.

Penelitian Terdahulu yang Relevan

Penelitian ini berakar pada studi terdahulu, adapun penelitian terdahulu sebagai berikut:

Tabel 3. Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Tahun	Lokasi	Analisis	Temuan Utama
1	Auza Ghifary	2017	Kabupaten Bantul	Analisis spasial dan pengolahan citra satelit.	RTH dapat dikembangkan berdasarkan sebaran emisi CO ₂ pabrik untuk mereduksi dampak pencemaran.
2	Galih Maulidia Nawangsari & Mussadun	2018	Kota Semarang	Korelasi dan regresi linier sederhana.	Alih fungsi RTH menjadi kawasan terbangun menyebabkan peningkatan polutan seperti CO ₂ , O ₃ , dan debu; minimnya RTH mengurangi kemampuan reduksi polusi.
3	Rumere, Lodewijk	2024	Kota Jayapura (Entrop)	Analisis spasial (NDVI) dan analisis statistik (korelasi & regresi linear sederhana).	Keberadaan RTH dapat menurunkan kadar karbon monoksida (CO) sebesar 81,9%, menunjukkan kontribusi besar vegetasi terhadap kualitas udara.

Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini melanjutkan kajian di Kota Jayapura dengan fokus pada kawasan padat lainnya yang masih memiliki ruang terbuka hijau, untuk menilai pengaruhnya terhadap tingkat emisi karbon dioksida. Penulis menggunakan kombinasi metode analisis time series, NDVI, analisis spasial, serta pendekatan perbandingan terbalik antara kawasan padat dan kawasan dengan RTH memadai.

Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung tingkat konsentrasi Karbon Dioksida (CO₂) di udara (dalam satuan ppm) dan observasi kondisi eksisting Ruang Terbuka Hijau (RTH) di lokasi studi. Pengukuran CO₂ dilakukan selama 13 hari, mulai 26 April hingga 21 Mei 2025, pada enam titik sampel di kedua ruas jalan (Percetakan dan Sam Ratulangi). Setiap titik diukur sebanyak tiga kali sehari (Pagi, Siang, dan Sore) menggunakan alat HT2000 CO₂ Detector berbasis teknologi NDIR. Sementara itu, data sekunder mencakup Citra Satelit Landsat 8 dari USGS Earth Explorer (untuk analisis *Time Series* 2019–2024 dan analisis NDVI bulan Mei 2025) serta Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yang digunakan sebagai basis data spasial.

3.3 Metode Analisis Data

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan pendekatan analisis yang beragam untuk memperoleh pemahaman yang menyeluruh mengenai pengaruh Ruang Terbuka Hijau (RTH) terhadap kualitas udara, khususnya pada dua ruas jalan di Kota Jayapura dengan karakteristik yang berbeda. Metode analisis dipilih berdasarkan jenis data yang telah dikumpulkan serta tujuan penelitian, dengan mempertimbangkan aspek spasial, temporal, kualitas lingkungan, dan kebijakan yang berlaku. Melalui analisis yang terintegrasi, peneliti berharap mampu menunjukkan seberapa besar kontribusi RTH dalam meningkatkan kualitas udara, serta implikasinya terhadap pengelolaan ruang kota ke depan.

Adapun metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup:

- a) Analisis *Time Series* (2019–2024 setiap bulan Mei) juga dilakukan untuk melihat tren perubahan Analisis Time Series Citra Google Earth

Untuk menelusuri perubahan tutupan vegetasi pada periode 2019–2024 dan mengamati hubungan antara intensifikasi aktivitas ekonomi dengan penurunan kualitas RTH, khususnya di Ruas Jalan Percetakan.

- b) Analisis Spasial Menggunakan GIS dan Google Earth Pro

Digunakan untuk memetakan distribusi vegetasi dan RTH secara spasial di kedua lokasi penelitian. Hasil pemetaan digunakan untuk mengidentifikasi pengaruh RTH.

- c) Analisis NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Untuk menilai tingkat kehijauan dan kepadatan vegetasi secara kuantitatif melalui pengolahan citra satelit. NDVI memberikan gambaran objektif terhadap kondisi vegetasi di kedua wilayah penelitian.

Output Penelitian

Sebagai hasil akhir dari rangkaian metode analisis yang telah dilakukan, penelitian ini menghasilkan pemetaan spasial yang menunjukkan pengaruh keberadaan dan distribusi Ruang Terbuka Hijau (RTH) terhadap tingkat Karbon Dioksida (CO₂) di dua lokasi penelitian. Peta ini disusun berdasarkan integrasi data citra satelit, analisis NDVI, pengukuran kualitas udara, serta overlay penggunaan lahan yang dianalisis secara spasial melalui perangkat lunak GIS. Melalui pendekatan ini, pola keterkaitan antara keberadaan RTH dan konsentrasi polutan udara, khususnya karbon dioksida (CO₂), dapat diidentifikasi secara visual dan kuantitatif.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Spasial RTH dan Kerapatan Vegetasi

Tabel 4. Luas dan Proporsi Tutupan Lahan di Kawasan Studi

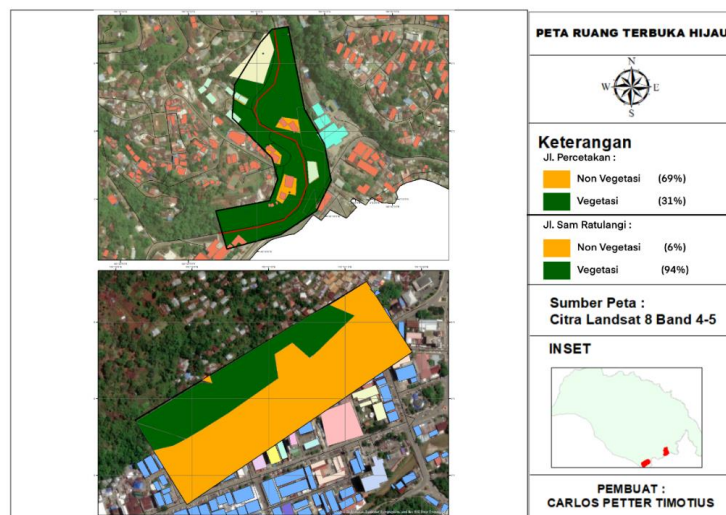
Lokasi	RTH (Vegetasi) (ha)	RTH (%)	Non-Vegetasi (ha)	Non-Vegetasi (%)	Keterangan
Jl. Sam Ratulangi	6.13	94%	0.39	6%	RTH Memadai
Jl. Percetakan	2.95	31%	6.64	69%	Lahan Terbangun

Jalan Percetakan, yang dikenal sebagai salah satu pusat aktivitas komersial dan ekonomi terpadat di Kota Jayapura, mencatat proporsi RTH yang sangat rendah, yaitu hanya 2,95 hektar (31%) dari total area studi. Angka ini secara signifikan didominasi oleh lahan non-vegetasi sebesar 6,64 hektar (69%). Proporsi lahan non-vegetasi yang mendekati 70% ini mencerminkan tingginya kepadatan fisik, di mana sebagian besar permukaan bumi telah tertutup oleh infrastruktur, perkerasan (aspal/beton), dan bangunan komersial. Fenomena ini bukan hanya menunjukkan kegagalan kawasan dalam memenuhi amanat UU No. 26 Tahun 2007 (minimal 30% RTH publik dan privat), tetapi juga menciptakan kondisi lingkungan yang rentan terhadap polusi udara. Kepadatan bangunan dan minimnya area serapan menciptakan efek "Pulau Panas Perkotaan" (*Urban Heat Island*) lokal, yang memperburuk sirkulasi udara dan akumulasi emisi CO₂ yang dihasilkan oleh tingginya volume kendaraan bermotor (Nawangarsi, 2018).

Sebaliknya, hasil pemetaan di Jalan Sam Ratulangi (Dok V Atas) menunjukkan kondisi yang ideal dari sudut pandang ekologis. Kawasan ini memiliki luasan RTH sebesar 6,13 hektar (94%). Proporsi vegetasi yang sangat dominan ini menjadikan kawasan tersebut sebagai zona konservasi dan paru-paru kota Jayapura. Lahan non-vegetasi di Sam Ratulangi hanya menempati 0,39 hektar (6%). Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan lahan di kawasan ini didominasi oleh fungsi lindung dan ruang terbuka hijau, dengan aktivitas transportasi yang melintas berada di bawah kanopi vegetasi yang padat. Keseimbangan ekologis yang tercipta di

Sam Ratulangi menjadikannya area penyangga dan penyerap (sink) emisi yang efektif, berbeda drastis dengan Jalan Percetakan. Kualitas RTH yang tinggi ini, yang dikuatkan oleh nilai NDVI yang lebat, secara teoritis menjamin bahwa mekanisme fotosintesis berjalan optimal dalam mengonversi CO₂ menjadi oksigen (Hastuti & Utami, 2008).

Kesenjangan luasan RTH ini menyoroti permasalahan tata ruang yang belum terselesaikan di Jayapura. Kawasan yang secara ekonomi vital (Percetakan) tidak memiliki kapasitas ekologis yang memadai untuk menyeimbangkan dampak negatif dari aktivitasnya. Perbedaan drastis antara 94% RTH di Sam Ratulangi dan 31% RTH di Percetakan adalah faktor utama yang akan menjelaskan disparitas tingkat konsentrasi CO₂ di sub-bab berikutnya. Analisis ini menjadi dasar kuat untuk melakukan intervensi perencanaan tata ruang dengan memprioritaskan penambahan RTH di titik-titik kepadatan tinggi.

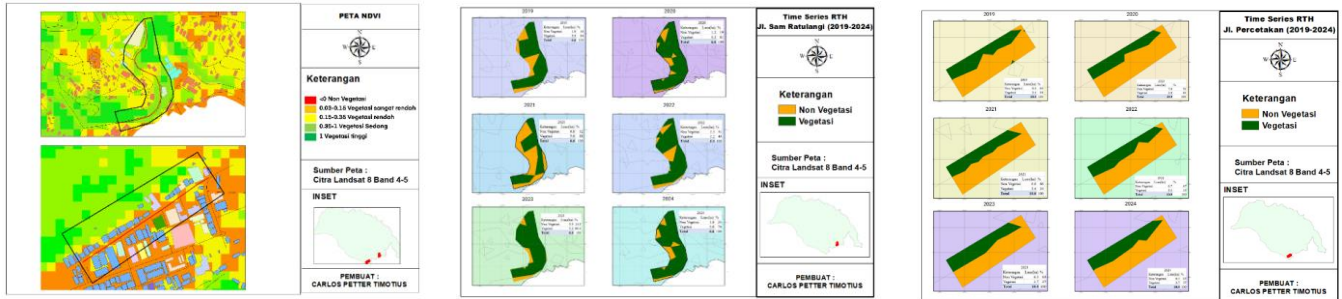


Gambar 2. Peta Klasifikasi Tutupan Lahan

Analisis Time Series dan NDVI

Analisis *Time Series* (2019–2024 setiap bulan mei) memperlihatkan bahwa Jl. Sam Ratulangi berhasil mempertahankan stabilitas RTH yang tinggi (di atas 80%) selama 5 tahun terakhir. Kerapatan vegetasi diukur dengan NDVI rata-rata mencapai **0.71** (sehat/lebat) di Sam Ratulangi, berbanding terbalik dengan nilai NDVI rata-rata **0.11** (sangat rendah) di Jl. Percetakan. Kualitas vegetasi yang rendah di Percetakan membatasi kapasitasnya sebagai penyerap CO₂. Keterbatasan kapasitas penyerapan CO₂ ini terjadi karena nilai NDVI 0.11 mengindikasikan bahwa jenis vegetasi yang ada di Jalan Percetakan vegetasi rumput/semak yang tidak cukup padat untuk menangkap volume emisi karbon yang besar yang dihasilkan oleh aktivitas lalu lintas dan komersial yang padat. Sebaliknya, nilai NDVI 0.71 di Jalan Sam Ratulangi menunjukkan RTH yang lebat dan memiliki tingkat efisiensi fotosintesis yang tinggi. Vegetasi yang sehat dan padat di kawasan ini bertindak sebagai infrastruktur ekologis aktif

yang secara konstan memproses emisi. Kerapatan yang tinggi ini tidak hanya memastikan penyerapan CO₂ optimal, tetapi juga membantu dalam: (1) Dispersi Polutan melalui turbulensi udara yang dihasilkan oleh kanopi pohon, dan (2) Penurunan Suhu Lokal yang mengurangi reaksi kimia yang dapat menghasilkan polutan sekunder.



Gambar 3. Peta Time Series dan Kerapatan Vegetasi (NDVI)

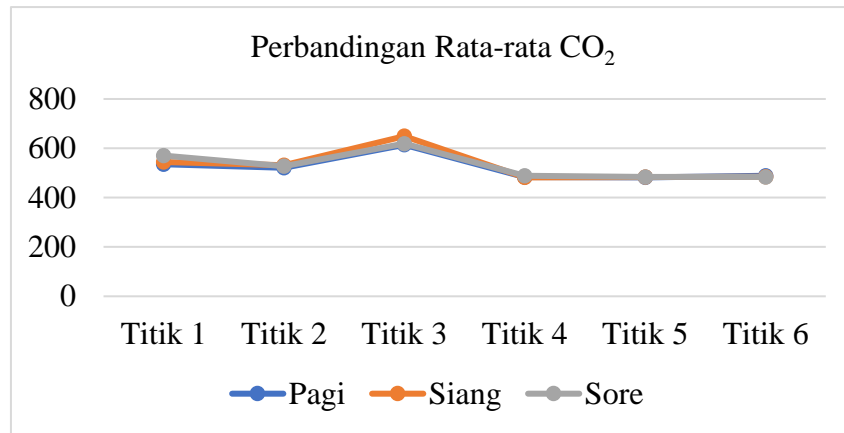
Tingkat Emisi CO₂

Tabel 5. Rata-Rata Konsentrasi CO₂ Berdasarkan Lokasi dan Waktu

Lokasi	Rata-Rata Pagi (ppm)	Rata-Rata Siang (ppm)	Rata-Rata Sore (ppm)	Rata-Rata Harian	Puncak Ekstrem
Jl. Percetakan	556	575	572	567 ppm	1052 ppm (Siang, Titik 3)
Jl. Sam Ratulangi	485	484	485	485 ppm	496 ppm (Pagi, Titik 6)

Konsentrasi CO₂ di Jl. Percetakan sangat tinggi dibandingkan dengan Jl. Sam Ratulangi, mencapai rata-rata harian 567 ppm. Konsentrasi tertinggi terjadi pada Sore Hari karena akumulasi emisi dari puncak aktivitas komersial dan transportasi. Titik 3, yang berada di persimpangan padat dan minim RTH, mencatat lonjakan ekstrem hingga 1052 ppm, menunjukkan akumulasi polusi yang serius karena efek *street canyon* dan minimnya penyerapan (Nawangsari & Mussadun, 2018).

Jl. Sam Ratulangi menunjukkan konsentrasi CO₂ yang stabil dan rendah dibandingkan dengan Jl. Percetakan dengan rata-rata harian 485 ppm. Ketersediaan RTH 94% memungkinkan sirkulasi dan penyerapan CO₂ yang efektif, menjaga kualitas udara tetap mendekati batas normal atmosfer. Fluktuasi harian rendah atau stabil, membuktikan peran RTH sebagai penyangga ekologis yang kuat dan konsisten.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Rata-Rata CO₂

Analisis Spasial Sebaran CO₂ (Interpolasi Kriging)

Analisis sebaran spasial CO₂ dilakukan menggunakan metode **Interpolasi Kriging** berdasarkan data pengukuran lapangan, diintegrasikan dengan citra Landsat 8 Band 4–5 (NDVI) untuk memvisualisasikan hubungan CO₂ dengan tutupan lahan RTH di kedua kawasan studi. Peta yang dihasilkan pada bagian ini memberikan gambaran komprehensif mengenai dinamika polusi udara sepanjang hari.

A. Sebaran CO₂ di Jalan Percetakan (RTH Rendah)

Peta sebaran CO₂ di Jalan Percetakan menunjukkan konsentrasi yang sangat tinggi dan fluktuatif, berkorelasi erat dengan pola aktivitas transportasi dan komersial:

Tabel 6. Sebaran CO₂ Jl. Percetakan

Waktu Pengukuran	Kisaran Konsentrasi	Temuan Kunci
Pagi Hari	520–613 ppm	Titik 3 menunjukkan peningkatan tinggi (hingga 613 ppm) akibat arus kendaraan menuju sekolah dan tempat kerja.
Siang Hari	531–649 ppm	Konsentrasi mencapai puncak tertinggi. Titik 2 hingga Titik 3 terpetakan sebagai <i>hotspot</i> polusi (>600 ppm) karena akumulasi emisi dari aktivitas kendaraan dan aktivitas komersil.
Sore Hari	527–618 ppm	Konsentrasi relatif tinggi, sedikit menurun dari siang hari, dipengaruhi oleh arus kendaraan pulang kerja.

Secara umum, konsentrasi CO₂ di Jalan Percetakan menunjukkan pola terendah pada pagi hari, meningkat tajam pada siang hari, lalu sedikit menurun pada sore hari. Pola ini mengonfirmasi bahwa rendahnya RTH (31%) mengakibatkan akumulasi emisi yang dihasilkan oleh tingginya intensitas penggunaan lahan dan transportasi, tanpa adanya daya serap yang memadai.

B. Sebaran CO₂ di Jalan Sam Ratulangi (RTH Tinggi)

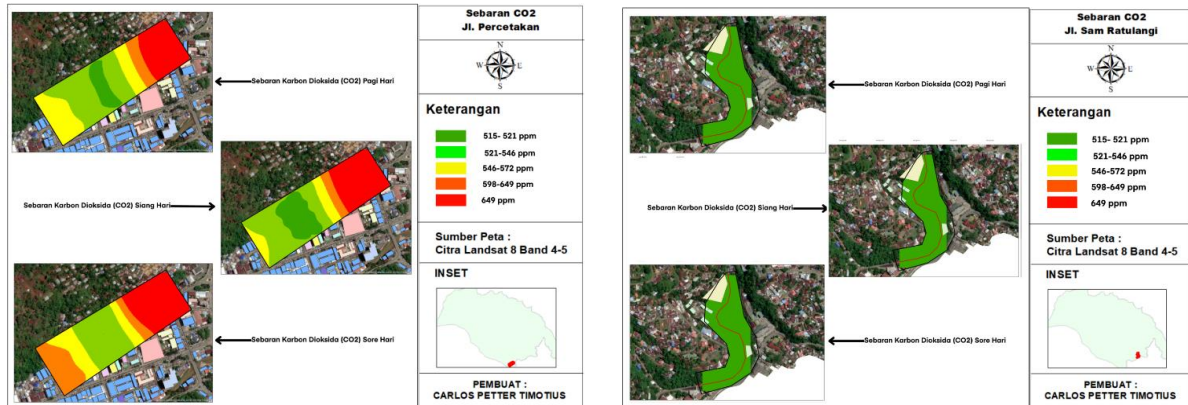
Sebaliknya, peta sebaran CO₂ di Jalan Sam Ratulangi memperlihatkan konsentrasi yang rendah dan sangat stabil di ketiga waktu pengukuran, menunjukkan efektivitas RTH:

Tabel 7. Sebaran CO₂ Jl. Sam Ratulangi

Waktu Pengukuran	Kisaran Konsentrasi	Temuan Kunci
Pagi Hari	482–488 ppm	Fluktuasi minimal. Konsentrasi rendah (482–484 ppm) ditemukan di Titik 5, area dengan vegetasi terpadat.
Siang Hari	482–485 ppm	Konsentrasi terendah dan paling stabil. Titik 5 berfungsi sebagai zona mitigasi utama, menunjukkan peran efektif vegetasi dalam menyerap emisi, meskipun bagian tepi kawasan tetap dipengaruhi mobilitas masyarakat.
Sore Hari	484–488 ppm	Sedikit peningkatan kecil di Titik 4 dan 6 akibat arus balik kendaraan, namun tetap berada dalam kisaran rendah.

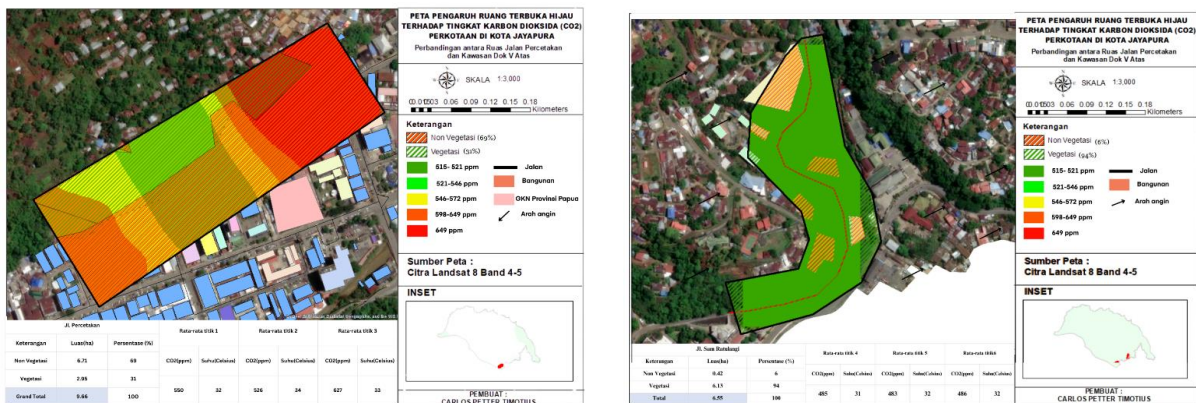
Secara keseluruhan, data spasial menegaskan bahwa Jalan Sam Ratulangi menunjukkan konsentrasi CO₂ yang relatif jauh lebih rendah dan fluktuasi yang sangat kecil sepanjang periode pengukuran (rata-rata 484 ppm). Stabilitas ini merupakan bukti kuat dan nyata dari kontribusi signifikan vegetasi RTH (94%) dan kualitas vegetasi yang sehat (NDVI 0.71), yang memfasilitasi penyerapan CO₂ secara berkelanjutan dan maksimal melalui proses fotosintesis. Selain fungsi penyerapan, kondisi morfologi kawasan dan kerapatan kanopi pohon juga berperan penting dalam dispersi polutan yang efektif. Pohon-pohon di Sam Ratulangi bertindak sebagai penghalang fisik yang menghasilkan turbulensi udara mikro, membantu pemecahan konsentrasi lokal dan mencegah terjadinya efek akumulasi polusi seperti yang terjadi pada kawasan padat RTH rendah. Dengan demikian, RTH di Sam Ratulangi tidak hanya menurunkan kadar polutan secara kimiawi, tetapi juga secara fisik menjaga kualitas udara tetap stabil dan resilien sepanjang hari, menjadikannya zona mitigasi emisi yang baik bagi ekosistem

Kota Jayapura. Hasil interpolasi Kriging memvisualisasikan secara jelas hubungan terbalik antara RTH dan CO₂.



Gambar 4. Peta Sebaran Konsentrasi CO₂

Sebagai hasil dari serangkaian analisis spasial dan pengolahan data yang telah dilakukan, berikut ini disajikan peta yang menggambarkan pengaruh Ruang Terbuka Hijau (RTH) terhadap tingkat karbon dioksida (CO₂) di kawasan perkotaan. Peta ini dihasilkan melalui integrasi antara data tutupan vegetasi yang diperoleh dari citra satelit Landsat 8 Band 4 dan Band 5 dengan data pengukuran konsentrasi CO₂ di lapangan, yang kemudian dianalisis menggunakan aplikasi ArcGIS. Melalui proses ini, dapat diidentifikasi hubungan spasial antara sebaran RTH dan distribusi konsentrasi CO₂ pada dua lokasi penelitian, yaitu Jalan Sam Ratulangi dan Jalan Percetakan, yang memiliki karakteristik lingkungan berbeda.



Gambar 5. Peta Pengaruh Ruang Terbuka Hijau Terhadap Tingkat Karbon Dioksida (CO₂)

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai sebaran karbon dioksida (CO₂) di Ruas Jalan Percetakan dan Ruas Jalan Sam Ratulangi, Kelurahan Mandala, Dok V Atas, maka dapat disimpulkan:

a) Kondisi RTH dan Kerapatan Vegetasi

(1) Jalan Percetakan memiliki luas RTH yang relatif terbatas ($\pm 2,95$ ha). Tingkat kerapatan vegetasi cenderung rendah dengan fluktuasi kecil pada periode 2019–2024. Persentase vegetasi sempat turun dari 34% (2019) menjadi 30% (2020), lalu kembali naik hingga mencapai 37% (2023–2024). Hal ini menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan, tetapi belum signifikan karena dominasi lahan terbangun. (2) Jalan Sam Ratulangi memiliki luas RTH yang lebih besar ($\pm 6,13$ ha) dengan tingkat kerapatan vegetasi relatif stabil. Data 2019–2024 menunjukkan persentase vegetasi berada di kisaran 70–88%, dengan kecenderungan stabil dari 84% (2019) kemudian menurun menjadi 49% (2022), kemudian meningkat di angka 86% di 2023 dan di akhir periode menjadi 76% di 2024. Stabilitas ini mencerminkan keberadaan pohon pelindung dan vegetasi penutup lahan yang konsisten, sehingga fungsi ekologis kawasan tetap terjaga.

b) Pengaruh RTH terhadap Konsentrasi Karbon Dioksida (CO₂)

(1) Konsentrasi CO₂ di Jalan Percetakan lebih tinggi, dengan rata-rata keseluruhan mencapai 567 ppm dan puncak mencapai 649 ppm pada siang hari di titik 3. Tingginya emisi dipicu keterbatasan RTH dan intensitas kendaraan bermotor. (2) Konsentrasi CO₂ di Jalan Sam Ratulangi lebih rendah, dengan rata-rata 485 ppm dan puncak 496 ppm pada sore hari pada titik 6. Keberadaan RTH yang luas membantu menekan akumulasi emisi. (3) Secara keseluruhan, hasil penelitian menegaskan bahwa semakin luas dan rapat vegetasi pada suatu kawasan, semakin rendah konsentrasi CO₂ yang terukur. Hal ini membuktikan bahwa RTH berperan signifikan dalam menjaga kualitas udara perkotaan.

Saran

(1) Pemerintah Kota Jayapura diharapkan menambah dan memperluas Ruang Terbuka Hijau (RTH) di kawasan padat aktivitas seperti Ruas Jalan Percetakan untuk membantu menurunkan kadar karbon dioksida (CO₂) di udara. (2) Perlu dilakukan penataan lalu lintas dan pengendalian jumlah kendaraan bermotor di jam-jam sibuk untuk mengurangi emisi CO₂, khususnya pada sore hari yang tercatat sebagai waktu dengan konsentrasi CO₂ tertinggi. (3) Masyarakat diharapkan lebih aktif dalam menjaga dan menanam vegetasi di area publik untuk mendukung upaya penurunan polusi udara di lingkungan sekitar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa syukur dan terima kasih yang tulus dan mendalam kepada Ibu Elisabeth V. Wambrauw, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I, dan Bpk. Juliani Wairata, S.Pd., M.T. selaku Dosen Pembimbing II, atas arahan, bimbingan, dan motivasi yang tak terhingga dalam penyelesaian penelitian ini. Rasa terima kasih juga ditujukan kepada Rektor, Dekan Fakultas Teknik, dan Ketua Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Cenderawasih, atas dukungan institusional. Dukungan moril dan doa yang tak pernah putus dari keluarga, terutama Mama tercinta, menjadi sumber kekuatan utama bagi penulis. Penulis juga berterima kasih kepada MTEAM (Kakak Uli, Kakak Pierre, Kakak Deden, Abigail, Ryan, Raja), Kakak Neil Aiwoy & Gatra Rumbiak, serta Piche Ginuny, atas bantuan dan semangat yang diberikan.

DAFTAR REFERENSI

- Badan Pusat Statistik. (2024). *Jayapura dalam angka 2024*. <https://web-api.bps.go.id>
- Claudia, E. R. (2024). *Hubungan kualitas lingkungan terhadap pertumbuhan ekonomi di Indonesia*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ. <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit>
- Ghifary, A. (2017). *Pengembangan ruang terbuka hijau berdasarkan emisi CO2 Pabrik Gula Krebet* (Tugas akhir). Universitas Brawijaya. <https://repository.ub.ac.id/1997/1/AUZA%20GHIFARY.pdf>
- Google Earth. (n.d.). *Google Earth Pro* [Perangkat lunak pemetaan]. <https://www.google.com/earth/>
- Hastuti, E., & Utami, T. (2008). Potensi ruang terbuka hijau dalam penyerapan CO2 di permukiman: Studi kasus Perumnas Sariadji Bandung dan Cirebon. *Jurnal Permukiman*, 3(2). <https://doi.org/10.31815/jp.2008.3.106-114>
- HTI Instrument. (2024). *HT-2000 CO2 Meter – Product specification sheet*. HTI Instruments. <https://hti-instrument.com/products/ht-2000-CO2-meter>
- Nawangsari, G. M. (2018). The relation of open green space with air quality in Semarang City. *Ruang*, 4(1), 11–20. <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/ruang/>
- Ramadhan, A. M., Arif, M., Ekonomi, P. I., Pembangunan, S., Ekonomi, F., & Bisnis, D. (2023). Dampak pertumbuhan ekonomi terhadap kualitas lingkungan hidup di Provinsi Pulau Sumatera. *Jurnal Bisnis dan Manajemen*, 3(4). <https://databoks.katadata.co.id/>
- Rumere, L. E. S., Wambrauw, M. Y. B., & Elisabeth, V. (2024). Dengan mengukur tingkat kadar gas karbon monoksida (studi kasus: Kelurahan Entrop Distrik Jayapura Selatan). *Jurnal Wilayah, Kota dan Lingkungan Berkelanjutan*, 3(2), 45–57. <https://doi.org/10.58169/jwikal.v3i2.488>

- U.S. Geological Survey. (n.d.). *Earth Explorer* [Sumber data citra satelit]. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Islam, A. (2024). *Impact of urban green spaces on air quality: A study*. *Science of The Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176770>
- Kumar, P., Corada, K., & Debele, S. E. (2024). Air pollution abatement from green-blue-grey infrastructure. *The Innovation Geoscience*, 2(4), 100100. <https://doi.org/10.59717/j.xinn-geo.2024.100100>
- Lilli, A. (2024). A health relevant approach for assessing urban green space characteristics and air pollution removal. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(3), 409. <https://doi.org/10.3390/ijerph22030409>
- Venter, Z. S., et al. (2024). Reassessing the role of urban green space in air pollution removal. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*. <https://doi.org/10.1073/pnas.2306200121>
- Wu, B., & Liu, C. (2023). Impacts of building environment and urban green space features on urban air quality: Focusing on interaction effects and nonlinearity. *Buildings*, 13(12), 3111. <https://doi.org/10.3390/buildings13123111>
- Yahya, W., Sitawati, A., Fitri, R., Andajani, R. D., & Siswanto, A. N. (2025). Kajian daya serap ruang terbuka hijau koridor Jalan Tol Jagorawi dalam menurunkan emisi CO₂ dari kendaraan. *Desa-Kota: Jurnal Perencanaan Wilayah, Kota, dan Permukiman*, 7(1), 1–13.