

Analisis Serapan Karbon Vegetasi dan Potensinya dalam Mereduksi Emisi CO₂ Kendaraan Bermotor di Jalan Dr. Ir. H. Soekarno, Surabaya

Hana Criselli Naftalia, Aussie Amalia*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: aussieamalia.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 6 Juli 2025

Disetujui: 16 Juli 2025

Abstract

Green belts play an important role in reducing greenhouse gas emissions in urban areas. This study aims to determine the total carbon stock and carbon absorption capacity of vegetation along the green belt of Dr. Ir. H. Soekarno IIC Road (MERR) in Surabaya, and to analyze the extent to which vegetation can reduce carbon dioxide (CO₂) and carbon monoxide (CO) emissions produced by motor vehicles. The method used in this study involves direct measurement of vegetation parameters such as tree diameter and height, which are then processed using biomass estimation and carbon stock conversion factors. In addition, CO₂ emissions are estimated based on traffic volume data and emission factors for each type of vehicle. The results show that the vegetation in the MERR IIC green belt is able to store a certain amount of carbon and has potential in absorbing CO₂ emissions, although it is still not proportional to the total emissions produced by motor vehicles per day. Therefore, improving the quality and quantity of vegetation in urban green belts is crucial to support air pollution control efforts in urban areas.

Keywords: *carbon stock, carbon absorption, green belt, vehicle emissions, merr surabaya*

Abstrak

Jalur hijau memiliki peran penting dalam mengurangi emisi gas rumah kaca di kawasan perkotaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui total stok karbon dan daya serap vegetasi di sepanjang jalur hijau Jalan Dr. Ir. H. Soekarno IIC (MERR) Surabaya, serta menganalisis sejauh mana vegetasi mampu mereduksi emisi karbon dioksida (CO₂) dan karbon monoksida (CO) yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran langsung terhadap parameter vegetasi seperti diameter batang dan tinggi pohon, yang kemudian dihitung menggunakan pendekatan biomassa dan faktor konversi stok karbon. Selain itu, estimasi emisi CO₂ dihitung berdasarkan volume lalu lintas kendaraan dan faktor emisi masing-masing jenis kendaraan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa vegetasi di jalur hijau MERR IIC mampu menyimpan sejumlah karbon dan memiliki potensi dalam menyerap emisi CO₂, meskipun masih belum sebanding dengan total emisi yang dihasilkan oleh kendaraan setiap harinya. Dengan demikian, peningkatan kualitas dan kuantitas vegetasi di jalur hijau sangat penting untuk mendukung upaya pengendalian pencemaran udara di kawasan perkotaan.

Kata kunci: *stok karbon, daya serap karbon, jalur hijau, emisi kendaraan, jalan merr surabaya*

1. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk dan urbanisasi yang pesat di Kota Surabaya memberikan tekanan signifikan terhadap kualitas lingkungan, terutama pada sektor transportasi dan tata guna lahan. Surabaya memiliki luas wilayah sekitar 333,063 km² dengan populasi yang meningkat dari 3.009.286 jiwa pada Maret 2024 menjadi 3.043.518 jiwa pada tahun 2025. Urbanisasi di Indonesia sendiri diproyeksikan mencapai 67% pada tahun 2035 [1]. Di tengah meningkatnya kebutuhan mobilitas, pembangunan transportasi publik yang berkelanjutan di Surabaya belum sepenuhnya terealisasi, sehingga mendorong masyarakat untuk lebih memilih kendaraan pribadi [2].

Salah satu jalur utama yang menopang mobilitas kawasan timur Surabaya adalah Jalan Dr. Ir. H. Soekarno atau dikenal dengan MERR (Middle East Ring Road). Jalan ini menjadi penghubung strategis antara wilayah utara, timur, selatan Kota Surabaya serta bagian timur laut Kabupaten Sidoarjo [3]. Perkembangan permukiman, pertokoan, dan pusat komersial di sepanjang jalur ini menyebabkan perubahan tata guna lahan dan peningkatan volume kendaraan bermotor. Ketidakseimbangan antara kapasitas jalan

dan pertumbuhan kendaraan berkontribusi terhadap kemacetan dan peningkatan emisi gas buang, khususnya karbon dioksida (CO_2) [4].

Kendaraan bermotor merupakan sumber utama emisi CO_2 di wilayah perkotaan. Emisi ini dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil dalam proses operasional kendaraan [5], yang menurut data menyumbang sekitar 75% dari total pencemaran udara [6]. Peningkatan konsentrasi CO_2 di atmosfer tidak hanya berdampak terhadap perubahan iklim global, tetapi juga menimbulkan risiko kesehatan dan kerugian ekonomi. Di Surabaya, polusi udara akibat kendaraan bermotor diperkirakan menyebabkan lebih dari 1.300 kematian dan kerugian ekonomi sebesar USD 350 juta pada tahun 2024 [7].

Untuk mengurangi dampak emisi gas buang, keberadaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) menjadi sangat penting. RTH memiliki fungsi ekologis sebagai penyerap karbon, penyejuk mikroklimat, dan peredam polusi [8]. Dalam konteks ini, jalur hijau sebagai bagian dari taman pasif berperan penting dalam menyerap emisi CO_2 yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor di sekitarnya [9]. Jalur hijau jalan merupakan elemen ruang terbuka hijau perkotaan yang tersusun secara memanjang mengikuti alur infrastruktur jalan [10]. Menurut Joga dan Ismaun (2011), jalur hijau dapat diklasifikasikan ke dalam tiga jenis, yaitu jalur hijau di sepanjang tepian perairan, jalur hijau yang berfungsi sebagai zona pengaman, serta jalur hijau yang terletak di sisi jalan [11]. Oleh karena itu, upaya optimalisasi vegetasi di jalur hijau perlu dilakukan melalui analisis kapasitas stok karbon dan daya serapnya terhadap emisi CO_2 .

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis total stok karbon dan kemampuan daya serap vegetasi di sepanjang jalur hijau Jalan Dr. Ir. H. Soekarno (MERR IIC), Surabaya. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis peran vegetasi dalam mereduksi beban emisi karbon dioksida (CO_2) yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor dengan pendekatan estimasi beban emisi berdasarkan volume kendaraan dan faktor emisi.

2. Metode Penelitian

Periode dan Lokasi Pengambilan Data

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2025 dengan 2 minggu pengambilan data. Minggu pertama di tanggal 5 dan 9 Mei 2025, lalu minggu kedua pada tanggal 19 dan 23 Mei 2025. Penelitian ini dilakukan di jalur hijau sepanjang Jalan Dr. Ir. H. Soekarno (MERR) segmen IIC, Surabaya. yang dimulai dari MERR persimpangan Jl. Arief Rahman Hakim sampai MERR persimpangan Jl. Tambaksumur dengan jarak total 6,42 km. Berikut merupakan peta lokasi penelitian.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Data MERR IIC
(Google Earth, 2025)

Penelitian dilakukan dengan membagi jalan Merr IIC menjadi 4 segmen yang terdiri dari 8 titik sampling untuk memudahkan dalam perhitungan jumlah kendaraan bermotor, yaitu:

- Segmen A, titik sampling 1 pada lampu merah perempatan Merr menuju Jl. Arief Rahman Hakim arus utara dan titik sampling 2 pada arus selatan Merr yang bersimpangan dengan Jl. Deles untuk menghitung motor yang memasuki segmen A.

- b. Segmen B, titik sampling 3 arus utara dan titik sampling 4 arus selatan pada persimpangan antara Merr dengan Jl. Semolowaru
- c. Segmen C, titik sampling 5 arus utara dan titik sampling 6 arus selatan pada persimpangan antara Merr dengan Jl. Kedung Baruk
- d. Segmen D, titik sampling 7 arus utara dan titik sampling 8 arus selatan pada persimpangan antara Merr dengan Jl. Rungkut menuju Tambak Sumur

Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif dengan pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui survei lapangan dan observasi langsung terhadap vegetasi di jalur hijau, sedangkan data sekunder diperoleh dari studi pustaka terkait karakteristik lingkungan dan fungsi ekologis vegetasi. Pengumpulan data vegetasi dilakukan dengan mencatat parameter botani seperti jenis tanaman, jumlah individu, tinggi pohon, dan diameter batang. Estimasi stok karbon dihitung menggunakan metode alometrik, yaitu dengan mengukur diameter batang pohon pada ketinggian 1,3 meter dari permukaan tanah serta tinggi pohon secara vertikal. Identifikasi spesies tanaman dilakukan melalui aplikasi PictureThis, yang memindai foto daun atau batang untuk mengidentifikasi nama spesies dan karakteristik botanisnya. Data tersebut digunakan untuk menghitung biomassa pohon yang kemudian dikonversi menjadi stok karbon dan serapan karbon

Sementara itu, untuk menghitung beban emisi CO_2 dari kendaraan bermotor, digunakan metode *traffic counting* atau pencacahan lalu lintas secara manual. Observasi dilakukan dengan mencatat volume kendaraan yang melintasi lokasi penelitian pada waktu tertentu, kemudian diklasifikasikan berdasarkan jenis kendaraan (sepeda motor, mobil bensin, mobil solar, truk, dan bus). Data volume kendaraan tersebut dikalikan dengan faktor emisi CO_2 yang sesuai dengan masing-masing jenis kendaraan berdasarkan referensi baku. Hasil perhitungan ini memberikan estimasi total emisi CO_2 yang dihasilkan oleh aktivitas kendaraan bermotor di sepanjang koridor Jalan Dr. Ir. H. Soekarno (MERR IIC), Surabaya. Peta jalur hijau dan sebaran emisi kondisi eksisting wilayah penelitian disusun menggunakan perangkat lunak Google Earth dan ArcGIS untuk mendukung analisis spasial.

Analisis Data

1) Perhitungan Biomassa, Stok Karbon, dan Serapan Karbon Vegetasi

Untuk menghitung biomassa dari masing-masing jenis dibutuhkan persamaan allometrik seperti dibawah ini:

$$B = 0,11 \times \rho \times d^{2,62} \quad [12]$$

Keterangan:

B : Biomassa

ρ : Massa Jenis Tanaman

D : Diameter Tanaman

- Perhitungan Cadangan Karbon

Berdasarkan SNI 7724:2019 kandungan karbon dalam biomassa sebesar 47%, sehingga pendekatan perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$Cb = B \times \% \text{ C organic} \quad [12]$$

Keterangan :

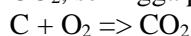
- Cb : Kandungan karbon dari biomassa (kg)

- B : Total biomassa (kg)

- %C organic : presentase kandungan karbon, 47% atau 0,47

- Perhitungan Serapan Karbon Dioksida

Serapan karbon diperoleh dengan perkalian antara karbon tersimpan dengan konversi karbon kepada CO_2 , sehingga pendekatan perhitungannya adalah sebagai berikut:



(Ar C = 12, Ar O = 16)

$$\text{CO}_2 = \text{C} \times \frac{44}{12}$$

$$\text{CO}_2 = \text{Cb} \times 3,67 \quad [13]$$

2) Perhitungan Timbulan Emisi

Adapun persamaan yang mengacu pada KEMEN LH No. 12 Tahun 2010 sebagai berikut:

$$Q = n \times EF \times K \times \text{Densitas Bahan Bakar} \quad [14]$$

$$K = \frac{L}{FE}$$

dimana:

EF = Faktor emisi CO₂ (g/kg)

K= Konsumsi Energi (L)

FE = Ekonomi bahan bakar (km/L)

L = Jarak Tempuh (km)

n = Jumlah kendaraan / jenis (unit)

Dengan data Faktor Emisi dan Ekonomi Bahan Bakar yang mengacu pada Kemen LH no. 12 Tahun 2010 sebagai berikut ini :

Tabel 1. Faktor Emisi Gas Kendaraan [14]

Kategori	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	PM ₁₀ (g/km)	CO ₂ (g/kg BBM)	SO ₂ (g/km)
Sepeda Motor	14	5,9	0,29	0,24	3180	0,008
Mobil penumpang (bensin)	40	4	2	0,01	3180	0,026
Mobil penumpang (solar)	2,8	0,2	3,5	0,53	3172	0,44
Bus	11	1,3	11,9	1,4	3172	0,93
Truk	8,4	1,8	17,7	1,4	3172	0,82

Tabel 2. Ekonomi Bahan Bakar Berdasarkan Tipe Kendaraan Bermotor Berjalan [14]

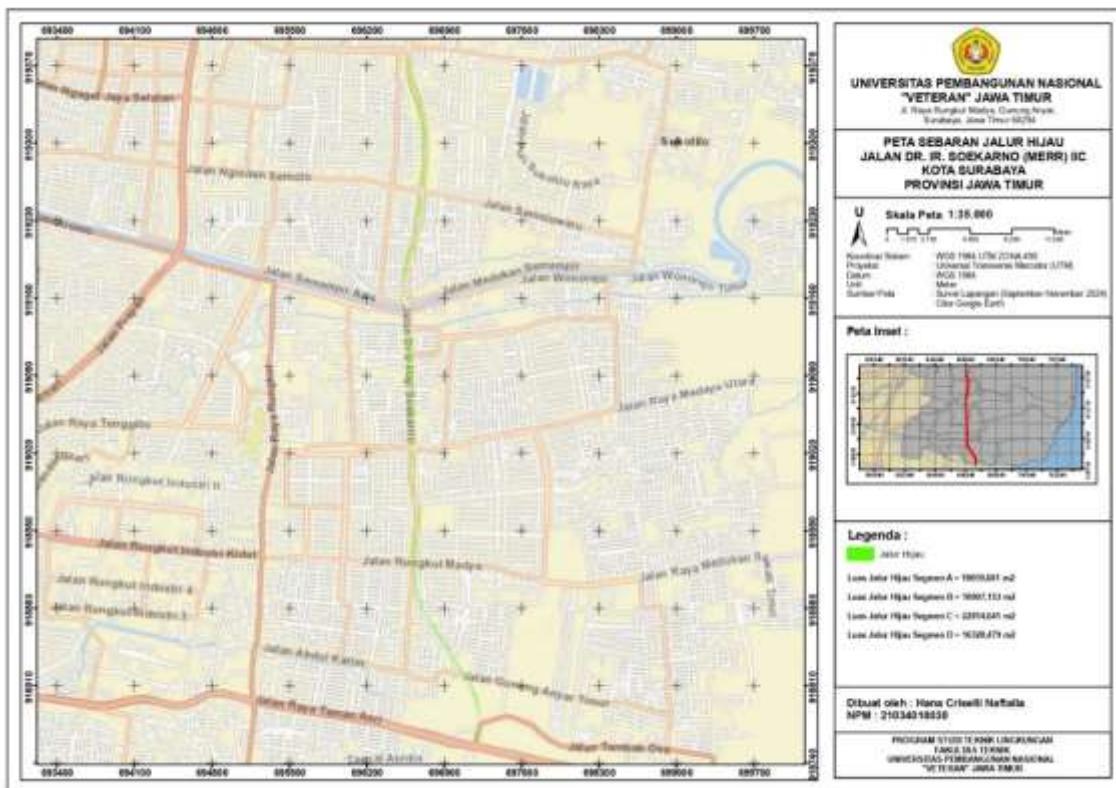
No.	Kategori	Ekonomi Bahan Bakar (km/L)
1	Sedan	9,8
2	Van/Minibus	8,0
3	Angkot	7,5
4	Bus (sedang)	4,0
5	Bus (besar)	3,5
6	Pickup	8,5
7	Truck	4,4
8	Jeep	8,0
9	Sepeda Motor	28,0

3. Hasil dan Pembahasan

Pada lokasi pengambilan data 4 segmen tersebut dipetakan ke dalam satu Peta Jalur Hijau Jl. Dr. Ir. H. Soekarno (MERR) IIC. Berikut ini adalah peta Jalur Hijau MERR IIC.

Tabel 3. Data Total Biomassa, Cadangan Karbon, dan Serapan CO₂ tiap Segmen

Lokasi	Total Biomassa (kg/tahun)	Cadangan Karbon (kg/tahun)	Serapan CO ₂ (kg/tahun)
Segmen A	1.974.805,47	928.158,57	3.406.341,96
Segmen B	600.174,02	282.081,79	1.035.240,16
Segmen C	1.048.719,62	492.898,22	1.808.936,47
Segmen D	288.534,67	135.611,29	497.693,45
Total	3.912.233,8	1.838.749,9	6.748.212,0



Gambar 2. Peta Jalur Hijau MERR IIC dengan skala 1:35.000
(ArcGis, 2024)

Berdasarkan hasil perhitungan pada keempat segmen jalur hijau di Jalan Dr. Ir. H. Soekarno (MERR IIC), diketahui bahwa total biomassa tahunan mencapai 3.912.233,8 kg, dengan cadangan karbon sebesar 1.838.749,9 kg per tahun, dan potensi serapan CO₂ mencapai 6.748.212,0 kg per tahun. Segmen A menunjukkan kontribusi terbesar terhadap stok karbon dan serapan CO₂, yaitu sebesar 928.158,57 kg karbon dan 3.406.341,96 kg CO₂ per tahun. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh tingginya kerapatan dan ukuran vegetasi pada segmen tersebut. Sebaliknya, Segmen D menunjukkan kontribusi paling kecil, dengan serapan CO₂ hanya sebesar 497.693,45 kg per tahun. Variasi antar segmen ini mengindikasikan bahwa distribusi dan kondisi vegetasi sangat mempengaruhi kemampuan jalur hijau dalam menyimpan karbon dan menyerap emisi CO₂. Oleh karena itu, optimalisasi vegetasi pada segmen-semen dengan nilai serapan rendah dapat menjadi strategi penting dalam peningkatan kapasitas ekosistem jalur hijau sebagai penyerap emisi karbon di kawasan perkotaan.

Untuk mengetahui sejauh mana vegetasi pada jalur hijau Jalan Dr. Ir. H. Soekarno (MERR IIC) mampu berkontribusi dalam mereduksi emisi karbon dioksida (CO₂) dari aktivitas kendaraan bermotor, dilakukan perhitungan terhadap dua komponen utama, yaitu estimasi emisi CO₂ yang dihasilkan kendaraan dan kemampuan serapan CO₂ oleh vegetasi. Data emisi CO₂ dihitung berdasarkan volume kendaraan yang melintas dan dikalikan dengan faktor emisi masing-masing jenis kendaraan, sementara data serapan CO₂ diperoleh dari perhitungan stok karbon vegetasi menggunakan metode alometrik. Hasil rekapitulasi perbandingan antara emisi dan serapan CO₂ di masing-masing segmen jalur hijau ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4. Rekap Total Emisi CO₂ per Segmen

Segmen	Emisi CO ₂ (kg/hari)	Emisi CO ₂ (kg/tahun)	Emisi CO (kg/hari)	Emisi CO (kg/tahun)
A	8.080,73	840.395,92	1.104,14	114.830,56
B	6.874,89	714.988,56	932,54	96.984,20
C	18.220,32	1.894.913,28	2.443,91	254.167,00
D	8.818,97	917.172,88	1.138,38	118.391,52
Total	41.994,91	4.367.470,64	5.618,97	584.373,28

Berdasarkan data emisi CO₂ dari kendaraan bermotor di sepanjang jalur hijau Jalan Dr. Ir. H. Soekarno (MERR IIC), total emisi CO₂ tahunan mencapai 4.367.470,64 kg. Segmen C merupakan penyumbang emisi tertinggi dengan 1.894.913,28 kg CO₂ per tahun atau sekitar 43,4% dari total emisi, yang kemungkinan besar disebabkan oleh tingginya volume lalu lintas dan dominasi kendaraan bermotor di segmen tersebut. Di sisi lain, segmen B mencatat emisi CO₂ tahunan terendah yaitu sebesar 714.988,56 kg, meskipun jumlah ini tetap signifikan dalam konteks pencemaran udara perkotaan. Jika dibandingkan dengan kapasitas serapan CO₂ vegetasi yang sebesar 6.748.212,0 kg per tahun, maka secara teoritis vegetasi di sepanjang jalur hijau MERR IIC masih mampu mengimbangi total emisi CO₂ dari kendaraan bermotor. Namun, distribusi serapan yang tidak merata antar segmen menunjukkan perlunya strategi penataan vegetasi yang lebih adaptif, terutama di area dengan beban emisi tinggi seperti segmen C, guna mengoptimalkan fungsi ekologis jalur hijau sebagai penyerap karbon.

Potensi Vegetasi dalam Menyerap Emisi Karbon Dioksida (CO₂)

Berdasarkan hasil observasi dan perhitungan di area Jalur Hijau MERR IIC, dilakukan perbandingan antara jumlah emisi karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan dengan kapasitas penyerapan CO₂ oleh tanaman. Tujuannya adalah untuk mengetahui sejauh mana kemampuan vegetasi dalam menyerap emisi karbon dioksida tersebut. Persentase penyerapan terhadap timbulan emisi CO₂ disajikan **Tabel 5** berikut.

Tabel 5. Sisa Emisi dan Persentase Penyerapan Timbulan Emisi CO₂ Oleh Vegetasi Jalur Hijau MERR IIC

Lokasi	Timbulan Emisi CO ₂ (kg/tahun)	Serapan CO ₂ (kg/tahun)	Sisa Emisi CO ₂ (kg/tahun)	Persentase Penyerapan
Segmen A	840.396	3.406.342	-2.565.946	405%
Segmen B	714.989	1.035.240	-320.252	145%
Segmen C	1.894.913	1.808.936	85.977	95%
Segmen D	917.173	497.693	419.479	54%
Total	4.367.471	6.748.212	-2.380.741	155%

Perbandingan antara emisi dan serapan CO₂ pada masing-masing segmen jalur hijau MERR IIC menunjukkan bahwa kemampuan vegetasi sangat bervariasi. Segmen A dan B memiliki kinerja sangat baik, dengan tingkat penyerapan mencapai 405% dan 145%, menjadikannya sebagai area penyerap karbon bersih. Sebaliknya, Segmen C dan D menunjukkan kinerja lebih rendah, masing-masing sebesar 95% dan 54%, dengan Segmen D masih menyisakan emisi cukup besar. Secara keseluruhan, vegetasi di sepanjang jalur hijau MERR IIC mampu menyerap 155% dari total emisi CO₂ tahunan, menunjukkan peran signifikan dalam mitigasi emisi perkotaan. Namun, segmen dengan serapan rendah perlu ditingkatkan melalui optimalisasi jenis dan struktur vegetasi yang lebih efektif.

Salah satu langkah mitigatif yang dapat dilakukan adalah perluasan dan optimalisasi Ruang Terbuka Hijau (RTH), baik dari sisi jumlah maupun kualitas vegetasi. Untuk menentukan kebutuhan tambahan RTH secara akurat, digunakan rumus berikut:

$$\text{Kebutuhan Luas Tambahan RTH (m}^2\text{)} = \frac{\text{Sisa Emisi CO}_2 \text{ (kg/tahun)}}{\text{Rata-rata Serapan CO}_2 \text{ (kg/m}^2\text{/tahun)}} \text{ [15]}$$

Dengan menggunakan data empiris dari masing-masing segmen, diperoleh rata-rata serapan sebagai berikut:

Tabel 6. Rata-rata serapan CO₂ pada Segmen C dan D

Segmen	Luas RTH (m ²)	Serapan CO ₂ (kg/tahun)	Rata-rata Serapan CO ₂ (kg/m ² /tahun)
C	22.815	1.808.936	79,30
D	16.328	497.693	30,50

Selanjutnya, kebutuhan tambahan luas RTH untuk menyeimbangkan sisa emisi dihitung sebagai berikut:

- Segmen C

$$\frac{85.977 \text{ kg/tahun}}{79,3 \text{ kg/m}^2/\text{tahun}} = 1.084 \text{ m}^2 = 1 \text{ Ha}$$

- Segmen D

$$\frac{419.479 \text{ kg/tahun}}{30,5 \text{ kg/m}^2/\text{tahun}} = 13.757 \text{ m}^2 = 13 \text{ Ha}$$

Dengan demikian, diperlukan penambahan RTH seluas $\pm 1.100 \text{ m}^2$ di Segmen C dan $\pm 13.800 \text{ m}^2$ di Segmen D agar daya serap vegetasi seimbang dengan emisi yang dihasilkan. Strategi ini dapat dilakukan melalui integrasi vegetasi penyerap karbon tinggi seperti Trembesi, Mahoni, dan Ketapang Kencana, serta pengurangan area impermeabel yang kurang produktif secara ekologis.

4. Kesimpulan

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa konsentrasi CO_2 tertinggi secara konsisten terjadi di segmen C di hari Senin. Total timbulan emisi dari keempat segmen jalan mencapai 4.367.470,64 kg CO_2/tahun dimana segmen C merupakan segmen yang memiliki timbulan emisi terbesar, berbanding lurus dengan konsentrasi CO_2 kondisi eksisting. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total stok karbon di sepanjang jalur hijau MERR IIC mencapai 2.000.832,3 kg dengan daya serap CO_2 sebesar 6.748.212 kg/tahun, mampu mereduksi 155% dari total emisi CO_2 tahunan sebesar 4.367.471 kg. Hal ini membuktikan bahwa vegetasi pada jalur hijau memiliki peran signifikan dalam menyerap emisi CO_2 dari kendaraan bermotor melalui proses fotosintesis yang tersimpan dalam bentuk biomassa. Namun, segmen C dan D masih mencatat sisa emisi CO_2 , sehingga diperlukan optimalisasi vegetasi di area tersebut.

Berdasarkan hasil analisis, jalur hijau MERR IIC secara keseluruhan telah mampu menyerap emisi CO_2 lebih besar daripada yang dihasilkan, namun masih terdapat segmen defisit seperti C dan D yang memerlukan penambahan RTH. Untuk menyeimbangkan emisi, diperlukan penambahan ruang terbuka hijau seluas $\pm 1.100 \text{ m}^2$ di Segmen C dan $\pm 13.800 \text{ m}^2$ di Segmen D, dengan optimalisasi jenis vegetasi berdaya serap tinggi sebagai langkah mitigasi yang strategis.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya atas bantuan data dan informasi yang diberikan selama proses penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing atas arahan dan bimbingan yang berharga, serta kepada tim survei lapangan yang telah membantu dalam proses pengumpulan data.

6. Referensi

- [1] Fatmawati, E. (2022). *Tren Urbanisasi dan Tantangan Tata Kota di Indonesia*. Jakarta: Bappenas Press.
- [2] Susiati, R., Hadi, R., & Putri, M. A. (2024). "Kecenderungan Penggunaan Kendaraan Pribadi di Perkotaan dan Dampaknya terhadap Lingkungan." *Jurnal Transportasi Berkelanjutan*, 12(1), 22–31.
- [3] Negara, D. A. (2023). *Pembangunan Infrastruktur Jalan di Wilayah Perkotaan*. Surabaya: CV Graha Kota.
- [4] Balabagan, M., Afiuddin, M., & Nindyapuspa, R. (2024). "Pengaruh Pertumbuhan Kendaraan Terhadap Emisi Karbon di Jalan Perkotaan." *Jurnal Lingkungan Perkotaan*, 9(2), 45–53.
- [5] Maulana, A., Kurniawan, H., & Dewi, S. (2016). "Sumber Emisi CO_2 dari Transportasi dan Strategi Pengurangannya." *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 7(1), 13–20.
- [6] Kurnia, T., Aditya, B., & Nurhaliza, F. (2021). "Kontribusi Emisi Kendaraan Bermotor terhadap Polusi Udara di Indonesia." *Jurnal Atmosfer Indonesia*, 5(3), 88–97.
- [7] Akhmad, A., Setyawan, D., & Prameswari, A. (2017). "Dampak Kesehatan dan Ekonomi Akibat Polusi Udara di Kota Metropolitan." *Jurnal Ekologi Perkotaan*, 11(1), 56–64.
- [8] Latief, A., Suryani, I., & Prasetyo, D. (2022). "Peran Ruang Terbuka Hijau dalam Mitigasi Perubahan Iklim di Kota Besar." *Jurnal Ekologi Lanskap*, 10(2), 33–41.
- [9] Momongan, M., Putra, A., & Lestari, H. (2020). "Efektivitas Jalur Hijau sebagai Penyerap Polusi Gas Kendaraan Bermotor." *Jurnal Tata Kota dan Lingkungan*, 8(1), 21–28.
- [10] Al – Hakim, A.H. (2014). Evaluasi Efektifitas Tanaman Dalam Mereduksi Polusi Berdasarkan Karakter Fisik Pohon pada Jalur Hijau Jalan Padjajaran Bogor. Skripsi, Institut Pertanian Bogor. Indonesia.

-
- [11] Joga, N., Ismaun I. (2011). RTH 30% Resolusi (Kota) Hijau. Jakarta: Gramedia.
 - [12] Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 7724:2019 — Ruang terbuka hijau: Perencanaan dan perancangan dalam konteks perkotaan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
 - [13] Letsoin, S. M. A., Rahmawan, F., Suhendra, A. B., & Nur, A. M. (2024). *Estimasi Stok dan Nilai Ekonomi Karbon Ekosistem Mangrove Menggunakan Penginderaan Jauh di Kabupaten Mamberamo Raya*. Academia.edu.
 - [14] Kementerian Lingkungan Hidup. (2010). *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Tata Cara Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia.
 - [15] Setiawan, A., & Hermana, J. (2013). *Analisa Kecukupan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Penyerapan Emisi CO₂ dan Pemenuhan Kebutuhan Oksigen di Kota Probolinggo*. Jurnal Teknik ITS, 2(1).