

ESTIMASI SERAPAN KARBON MENGGUNAKAN INVENTARISASI PADA RUANG TERBUKA HIJAU DI WILAYAH PERKOTAAN KABUPATEN JEMBER

Sang Ayu Putri Kinanti^{1*}, Arie Dipareza Syafe'i²

*E-mail Korespondensi: sangayuputrikinanti@gmail.com

^{1,2}Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

ABSTRAK

Kabupaten Jember memiliki luas 3.306,689 km², namun hanya memiliki ruang terbuka hijau (RTH) publik sebesar 0,02%, jauh di bawah ketentuan minimum 20% sesuai peraturan tata ruang nasional. RTH memiliki peran penting dalam menyerap emisi karbon dioksida (CO₂) dari aktivitas manusia, sehingga perlu dilakukan perencanaan dan pemetaan yang matang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi penyerapan emisi CO₂ oleh RTH dari tiga aspek, yaitu teknis, lingkungan, dan ekonomi, guna merumuskan strategi pengembangan RTH yang optimal di wilayah perkotaan Kabupaten Jember. Metode yang digunakan meliputi inventarisasi luas aktual RTH, penghitungan emisi, analisis kemampuan daya serap, serta pemodelan box model untuk estimasi beban emisi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sektor transportasi merupakan penyumbang emisi terbesar (76%), dengan beban tertinggi terdapat di Kecamatan Kaliwates. Strategi pengembangan RTH menggunakan satu jenis pohon tertentu terbukti paling optimal dengan daya serap 7.710 g CO₂/detik dan nilai manfaat ekonomi Rp951.589.615 per hektar dalam 10 tahun. Oleh karena itu, strategi ini direkomendasikan sebagai pendekatan yang efektif dan efisien dalam mendukung mitigasi perubahan iklim di Kabupaten Jember.

Kata Kunci: Inventarisasi Emisi, Karbon Dioksida (CO₂), Ruang Terbuka Hijau (RTH), Kabupaten Jember

ABSTRACT

Jember Regency has a total area of 3,306.689 km² but only provides 0.02% of public green open space (GOS), far below the nationally mandated minimum of 20% based on spatial planning regulations. Green open space plays a crucial role in absorbing carbon dioxide (CO₂) emissions from human activities, highlighting the need for comprehensive planning and mapping. This study aims to analyze the CO₂ absorption potential of GOS from three perspectives: technical, environmental, and economic, to formulate an optimal GOS development strategy for the urban areas of Jember Regency. The methods include inventorying existing GOS areas, emission calculations, absorption capacity analysis, and using the box model approach to estimate emission loads. The results show that the transportation sector is the largest contributor to emissions (76%), with the highest load recorded in Kaliwates District. A development strategy involving a single tree species was found to be the most optimal, with an absorption capacity of 7,710 g CO₂/second and an economic benefit of IDR 951,589,615 per hectare over a ten-year period. Therefore, this strategy is recommended as an effective and efficient approach to support climate change mitigation efforts in the urban areas of Jember Regency.

Keywords: Emission Inventory, Carbon dioxide (CO₂), Green Open Space (GOS), Jember Regency

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global yang ditandai dengan peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi merupakan ancaman nyata bagi keberlanjutan lingkungan dan kehidupan manusia. Salah satu penyebab utama dari fenomena ini adalah peningkatan konsentrasi gas rumah kaca, khususnya karbon dioksida (CO₂), yang banyak dihasilkan dari aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, aktivitas transportasi, dan pertumbuhan industri. Wilayah perkotaan menjadi kontributor signifikan terhadap peningkatan emisi karbon, mengingat padatnya aktivitas ekonomi, tingginya lalu lintas

kendaraan bermotor, dan terbatasnya area penghijauan yang tersedia. Kabupaten Jember sebagai salah satu wilayah perkotaan yang terus mengalami perkembangan pesat tidak luput dari dampak tersebut. Pertumbuhan penduduk dan ekspansi wilayah permukiman, industri, serta infrastruktur telah mengubah pola pemanfaatan lahan, termasuk mengurangi luasan Ruang Terbuka Hijau (RTH) secara signifikan.

Fenomena alih fungsi lahan yang semakin meluas di Kabupaten Jember menyebabkan terjadinya penurunan kualitas lingkungan dan meningkatnya emisi karbon. RTH yang semestinya berperan sebagai penyerap karbon dan penyedia jasa lingkungan seperti penurunan

suhu, pengurangan kebisingan, serta peningkatan kualitas udara, justru tergerus oleh kebutuhan lahan terbangun. Berdasarkan data Peraturan Daerah Kabupaten Jember Nomor 01 Tahun 2015 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) tahun 2015-2035, dari luas wilayah Kabupaten Jember sebesar 3.306,689 km², hanya sekitar 0,600 km² atau 0,02% yang merupakan RTH publik. Angka ini sangat jauh dari target nasional yang mensyaratkan minimal 30% wilayah kota sebagai ruang terbuka hijau, dengan komposisi 20% RTH publik dan 10% RTH privat. Kondisi ini menunjukkan bahwa Kabupaten Jember belum memenuhi standar penataan ruang sesuai dengan amanat Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007.

Ketidakeimbangan antara pertumbuhan lahan terbangun dan keberadaan RTH tidak hanya berdampak pada kerusakan ekologis, tetapi juga menurunkan daya dukung lingkungan dalam jangka panjang. Hal ini meningkatkan risiko bencana seperti banjir, kekeringan, serta memburuknya kualitas udara akibat akumulasi emisi karbon. Dalam jangka panjang, kondisi ini dapat menghambat pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan atau *Sustainable Development Goals* (SDGs) khususnya pada tujuan ke-11 (kota dan permukiman yang berkelanjutan) dan ke-13 (penanganan perubahan iklim). Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya sistematis dan berbasis data untuk merancang RTH yang efektif dan sesuai dengan kapasitas lahan yang ada, terutama dalam konteks kemampuannya menyerap emisi karbon dioksida.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan menginventarisasi kapasitas serapan emisi CO₂ oleh Ruang Terbuka Hijau di wilayah perkotaan Kabupaten Jember, yang meliputi Kecamatan Patrang, Kecamatan Kaliwates, dan Kecamatan Sumbersari. Dengan pendekatan kuantitatif dan spasial, penelitian ini akan menghitung daya serap CO₂ berdasarkan jenis vegetasi yang ada, luas lahan RTH eksisting, serta kebutuhan tambahan RTH yang diperlukan agar dapat menyeimbangkan beban emisi yang dihasilkan dari aktivitas manusia. Penghitungan daya serap CO₂ ini akan memperhitungkan faktor-faktor teknis seperti kerapatan tajuk, jenis vegetasi, dan sebaran spasial vegetasi di wilayah studi. Selain itu, penelitian juga akan menggunakan model matematis sederhana seperti box model untuk memperkirakan konsentrasi CO₂ dalam batas wilayah tertentu dan membandingkannya dengan kemampuan daya serap RTH. Penelitian ini didasarkan pada tiga aspek utama: teknis, lingkungan, dan ekonomi. Contoh karakteristik teknis meliputi luas tutupan vegetasi di RTH publik dan luasan tutupan perdu dan jenis pohon di RTH privat. Estimasi dampak yang terjadi ketika wilayah RTH tidak mencukupi

untuk lingkungan sekitar dan upaya yang dilakukan untuk beradaptasi dan mengurangi dampak merupakan contoh faktor lingkungan. Pertimbangan ekonomi merupakan perhitungan yang memperhitungkan biaya yang diperlukan untuk pelaksanaan mitigasi yang telah ditentukan.

Masalah utama yang ingin dipecahkan dalam penelitian ini adalah bagaimana kondisi aktual RTH di Kabupaten Jember dalam menyerap emisi CO₂ serta berapa kebutuhan tambahan RTH untuk mencapai keseimbangan karbon. Hal ini penting untuk dijawab mengingat minimnya studi yang secara khusus mengukur kapasitas serapan karbon RTH di daerah-daerah berkembang seperti Kabupaten Jember. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam penyusunan kebijakan perencanaan ruang yang berbasis data lingkungan serta mendorong kebijakan pembangunan kota hijau (*green city*).

Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar rekomendasi kepada Pemerintah Daerah Kabupaten Jember untuk memperluas atau mengoptimalkan fungsi RTH dalam konteks mitigasi perubahan iklim. Dengan mengetahui kapasitas serapan aktual dan ideal dari RTH, pemerintah dapat mengambil langkah strategis seperti pemilihan jenis pohon yang efektif dalam menyerap karbon, pengaturan zonasi RTH, serta pemulihan lahan yang telah terdegradasi. Selain itu, masyarakat juga dapat dilibatkan dalam upaya penghijauan berbasis komunitas dengan mengetahui pentingnya fungsi RTH dalam menjaga keseimbangan lingkungan.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berperan sebagai sarana akademik dalam memahami hubungan antara ruang terbuka hijau dan emisi karbon, tetapi juga menjadi instrumen perencanaan yang aplikatif dalam menjawab tantangan pembangunan perkotaan berkelanjutan di masa depan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai jumlah dan kualitas ruang terbuka hijau yang dibutuhkan untuk menurunkan emisi CO₂, serta rincian pemetaannya di wilayah perkotaan Kabupaten Jember yang ditinjau dari aspek teknis, aspek lingkungan dan aspek ekonomi.

METODE PENELITIAN

Langkah – langkah yang dapat dilakukan dalam implementasi penelitian disusun dari mencari penelitian terdahulu berdasarkan studi literatur, melakukan penelitian awal, implementasi penelitian, menganalisis dengan menentukan parameter penelitian, melakukan analisis data dan pembahasan dalam menyusun laporan hingga diketahui kesimpulan dan saran penelitian. Informasi yang dikumpulkan diperhitungkan saat memilih arah penelitian.

Informasi yang dikumpulkan di tinjau dari data primer dan sekunder.

Data primer bersumber dari hasil pengamatan yang dilakukan secara langsung di lokasi. Data bisa didapatkan dari penyebaran kuesioner. Kuesioner yang akan dilakukan berisi tentang penggunaan bahan bakar masyarakat setiap bulan di setiap rumah, dan luas area RTH privat yang dimiliki oleh responden, serta melakukan pengamatan jenis, jumlah pohon tingkat kerapatan vegetasi. Hasil kuesioner digunakan sebagai bahan perhitungan dalam menentukan penyerapan karbon dioksida. Data sekunder didapatkan dari beberapa sumber resmi dan literatur. Peta Wilayah Administratif, Pola Pemanfaatan Lahan Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Jember, Jumlah dan tata letak ruang terbuka hijau publik, taman, jalur hijau, dan kuburan didapatkan dari Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah Kabupaten Jember. Luas wilayah perkotaan di Kabupaten Jember, jumlah penduduk, dan jumlah KK didapatkan dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Jember. Jumlah dan jenis industri didapatkan dari Dinas Perindustrian Kabupaten Jember. Jumlah kendaraan bermotor dan penggunaan BBM kendaraan bermotor didapatkan dari Samsat Kabupaten Jember. Pola arah dan kecepatan angin rata-rata bulanan di wilayah Kabupaten Jember didapatkan dari BMKG Kabupaten Jember. Tingkat penyerapan karbon dioksida oleh tanaman bervariasi sesuai dengan spesies atau jenis vegetasi yang dimiliki didapatkan dari studi literatur.

Pengambilan sampel dapat digunakan untuk menghitung jumlah CO₂ yang dapat diserap oleh setiap ruang terbuka hijau di setiap kecamatan wilayah perkotaan Kabupaten Jember. Sebelum melakukan pengambilan sampel, terlebih dahulu dihitung jumlah dan penempatan sampel di setiap kecamatan. Tahap pertama dilakukan perhitungan menggunakan metode slovin, tahap kedua dilakukan menggunakan metode stratified random sampling.

Tabel 1. Perhitungan slovin

No	Kecamatan	Populasi (N)	Sampel $F_i = (N_i/N)$	Individu $N_i \text{ sampel} = (F_i \times n)$
1	Kaliwates	41.640	0,343	137
2	Sumbersari	45.042	0,371	148
3	Patrang	34.766	0,286	114
Jumlah populasi (N)		121.448	Sampel (n)	399

Metode stratified random sampling merupakan teknik pengambilan sampel yang dilakukan dengan membagi populasi ke dalam beberapa kelompok (strata) berdasarkan

karakteristik khusus yang dianggap relevan dengan fokus penelitian, sehingga dapat meningkatkan tingkat representatif dari sampel yang diambil. Pengambilan sampel dilakukan secara acak dari setiap strata untuk memastikan bahwa setiap kelompok terwakili secara memadai. Metode ini meminimalkan risiko bias dalam pengambilan sampel, memberikan kesempatan bagi peneliti untuk menganalisis hasil di dalam maupun antar kelompok, serta membantu meningkatkan ketepatan data yang diperoleh (Howell et al, 2020). Kapasitas penyerapan CO₂ rata-rata per m² dihitung dengan mengganti jenis ruang terbuka hijau karena lokasi pasti ruang terbuka tersebut tidak diteliti. Menggunakan ruang terbuka hijau yang diteliti, kapasitas penyerapan CO₂ suatu wilayah dipastikan dengan memvariasikan jenisnya.

Tabel 2. Jumlah sampel

Klasifikasi rumah	Jumlah sampel		
	Kecamatan		
	Patrang	Sumbersari	Kaliwates
Besar	11	14	22
Sedang	76	89	98
Kecil	27	45	17
Total	114	148	137

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aspek Teknis

1. Pendataan dan Kemampuan Serapan Tiap Jenis RTH

Ruang Terbuka Hijau (RTH) Publik adalah kawasan yang bervegetasi dan dimiliki serta dikelola oleh pemerintah daerah kabupaten/kota atau pemerintah daerah khusus ibu kota, baik secara langsung maupun melalui kerjasama dengan pemerintah pusat atau masyarakat, yang disediakan untuk digunakan oleh masyarakat umum. RTH Publik di Kabupaten Jember secara umum dikelola oleh Dinas Pekerjaan Umum Cipta Karya, sehingga data mengenai luas RTH dan jenis RTH bisa didapatkan berupa data sekunder. Jenis RTH Publik yang dikelola oleh Dinas Pekerjaan Umum Cipta Karya meliputi taman kota, jalur hijau, pemakaman, lapangan, dan Kebun.

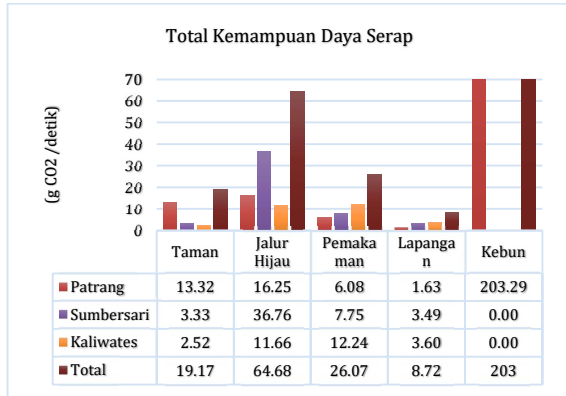
Tabel 3. Luas RTH publik di wilayah perkotaan Kabupaten Jember

RTH publik	Kecamatan			Total
	Patrang	Sumbersari	Kaliwates	
Taman	8,71	2,18	1,65	12,54
Jalur hijau	10,63	24,05	7,63	42,32
Makam	4,68	5,96	9,43	20,07
Lapangan	2,15	4,58	4,73	11,45
Kebun	267,10	-	-	267,10
Total	293,27	36,77	23,43	353,48

(Sumber: Dinas Pekerjaan Umum Cipta Karya, 2024)

Perkiraan kapasitas penyerapan CO₂ oleh RTH jenis taman, jalur hijau, pemakaman, lapangan, dan kebun dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Daya Serap} = LT \times \% \text{ Kerapatan} \times S \quad (1)$$



Gambar 1. Kemampuan serapan RTH publik keseluruhan

Kecamatan Patrang memiliki potensi RTH yang lebih besar dibandingkan kedua kecamatan lainnya dengan persentase 75%, karena wilayahnya yang luas dan sebagian besar masih berupa lahan pertanian terutama kebun.

RTH privat dimiliki dan dikelola oleh individu, pihak swasta, kelompok, atau lembaga/instansi tertentu. Contohnya sawah dan RTH yang ada di pekarangan rumah. Data mengenai inventarisasi RTH jenis sawah diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Cipta Karya dan citra satelit Google Earth tahun 2024. Jenis vegetasi di area sawah didominasi oleh tumbuhan perdu dan rumput dengan cakupan penuh. Perhitungan RTH sawah diasumsikan 100% kerapatan tajuknya sebagai berikut.

Tabel 4. Serapan RTH sawah

Kecamatan	Luas (ha)	Daya serap (g/ ha/ detik)	Kerapatan (%)	Total (g/ detik)
Patrang	635,18	0,7611	100%	483,45
Sumbersari	636,30	0,7611	100%	484,30
Kaliwates	180,10	0,7611	100%	137,08
Total	1.452			1.105

RTH privat pada kawasan permukiman meliputi area vegetasi yang terdiri atas pohon dan tanaman perdu yang terdapat di lingkungan tempat tinggal penduduk dalam wilayah studi. Perhitungan luas RTH privat didasarkan pada luas tutupan vegetasi, yaitu total luasan tajuk pohon dan perdu. Berikut tahapan perhitungannya:

a. Perhitungan luasan RTH Privat Setiap Responden.

Rerata luasan RTH privat tipe rumah besar lebih besar, karena memiliki lahan yang

cukup untuk dijadikan taman atau RTH privat.

Tabel 5. Luas RTH privat setiap tipe rumah

Tipe rumah	Jumlah rumah	Total luas (m ²)	Rerata luas (m ²)
Besar	68	1.871	27,51
Sedang	274	1.482	5,41
Kecil	57	196	3,44
Jumlah	399	3.549	36,36

b. Perhitungan Total Luas RTH Privat Berdasarkan Tipe Rumah Setiap Kecamatan. Tipe rumah besar memiliki luasan RTH privat lebih tinggi, karena luas tanah tipe rumah besar lebih banyak. Luas rumah yang lebih besar memungkinkan untuk memiliki luas RTH privat lebih lebar yang dapat ditanami banyak jenis pohon dan perdu.

Tabel 6. Total luasan RTH privat dari tipe rumah tiap kecamatan

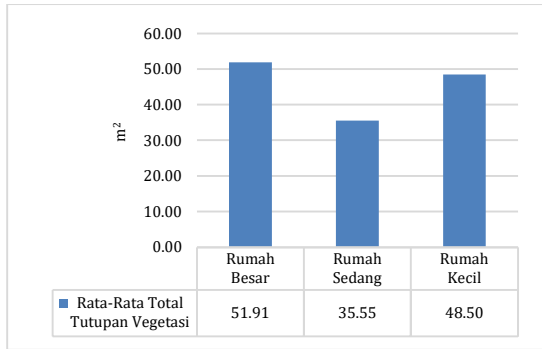
Kecamatan	Tipe rumah	Jumlah rumah	Rerata luas (m ²)	Total RTH privat (ha)
Patrang	Besar	3.223	27,51	8,87
	Sedang	23.195	5,41	12,54
	Kecil	8.349	3,44	2,87
Sumbersari	Besar	4.362	27,51	12,00
	Sedang	27.077	5,41	14,64
	Kecil	13.603	3,44	4,68
Kaliwates	Besar	6.651	27,51	18,30
	Sedang	29.854	5,41	16,14
	Kecil	5.135	3,44	1,77
Jumlah				91,81

c. Perhitungan Serapan CO₂ Berdasarkan Luas Tajuk

Luasan tajuk dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Luas Tajuk} = \pi \left(\frac{r_1 + r_2}{2} \right)^2 \times \text{kerapatan} \quad (2)$$

Total perhitungan luas tutupan vegetasi dari setiap responden dikelompokkan berdasarkan tipe rumahnya. Luas tutupan vegetasi untuk setiap tipe rumah didapatkan dari jumlah total luas tutupan vegetasi seluruh responden yang sesuai dengan tipe rumah.



Gambar 2. Grafik rerata total tutupan vegetasi

d. Perhitungan Serapan CO₂ oleh RTH Privat Setiap Tipe Rumah

Perhitungan kemampuan rerata laju serapan RTH privat didapatkan dari hasil kali rerata luas RTH privat dan data intensitas cahaya wilayah studi.

Tabel 7. Luas RTH privat setiap tipe rumah

Tipe Rumah	Jumlah Rumah	Rerata Luas (m ²)	Rerata Laju Serapan CO ₂ (gr/dtk)
Besar	14,236	27,51	0,0042050
Sedang	80,126	5,41	0,0008265
Kecil	27,086	3,44	0,0005255
Jumlah		36,36	0,0055570

Rerata persentase laju serapan CO₂ oleh RTH privat berdasarkan tipe rumah menunjukkan bahwa tipe rumah sebesar 76%, rumah tipe sedang sebesar 15%, dan rumah tipe kecil sebesar 9%. Semakin luas lahan yang dimiliki, maka semakin tinggi pula potensi penyerapan CO₂. Tingkat kerapatan vegetasi berperan penting untuk menentukan efektivitas serapan emisi CO₂ area hunian tersebut.

e. Perhitungan Serapan CO₂ oleh RTH Privat Berdasarkan Tipe Rumah Setiap Kecamatan.

Kemampuan serapan emisi CO₂ terbesar untuk rumah besar berada di Kecamatan Kaliwates, karena jumlah tipe rumah besar lebih banyak, sehingga serapan emisi CO₂ oleh RTH lebih besar.

Tabel 8. Besar serapan CO₂ setiap tipe rumah setiap kecamatan

Kecamatan	Tipe rumah	Jumlah rumah	Rerata laju serapan (gr/dtk)	Total serapan (gr/dtk)
Patrang	Besar	3.222	0,004205	13,551
	Sedang	23.195	0,000826	19,170
	Kecil	8.349	0,000525	4,387
Sumbersari	Besar	4.362	0,004205	18,344
	Sedang	27.077	0,000826	22,378

Kecamatan	Tipe rumah	Jumlah rumah	Rerata laju serapan (gr/dtk)	Total serapan (gr/dtk)
Kaliwates	Kecil	13.603	0,000525	7,148
	Besar	6.651	0,004205	27,968
	Sedang	29.854	0,000826	24,674
	Kecil	5.135	0,000525	2,698
Jumlah				140,318

f. Perhitungan Daya Serap RTH Privat Berdasarkan Jenis Pohon Setiap Tipe Rumah

Jenis dan jumlah pohon didapatkan dari hasil survei setiap responden. Tidak semua responden memiliki lahan untuk taman, ada juga responden yang memiliki lahan untuk taman tapi tidak memiliki tanaman sama sekali. Jenis pohon yang umum dimiliki oleh responden adalah jenis pohon yang menghasilkan buah, seperti pohon mangga, pohon jambu biji, dan pohon pepaya. Rumah besar memiliki jumlah pohon 50 yang berasal dari 68 responden. Rumah sedang memiliki jumlah pohon 98 yang berasal dari 274 responden dan rumah kecil memiliki jumlah pohon 30 yang berasal dari 57 responden. Total keseluruhan pohon setiap tipe rumah sebanyak 178 pohon. Setiap jenis pohon memiliki nilai serapan berbeda, yang akan berpengaruh terhadap cara mereduksi zat pencemar akibat kegiatan manusia. Jumlah tipe rumah sedang lebih, sehingga lebih banyak pohon dan perdu yang dimiliki. Faktor lain dari serapan CO₂ adalah jumlah tanaman.

Tabel 9. Luas RTH privat setiap tipe rumah

Tipe rumah	Total serapan pohon (g/dtk)	Total serapan perdu (g/dtk)	Total serapan (mg/dtk)
Besar	13,730	29,517	43.247
Sedang	8,863	87,257	96.119
Kecil	0,294	16,179	16.473
Total	22,886	132,953	155.839

g. Perhitungan Serapan RTH Privat Berdasarkan Jenis Pohon Setiap Kecamatan

Tingginya serapan CO₂ pada Kecamatan Sumbersari dikarenakan jumlah kepala keluarga lebih banyak sejumlah 45.042 kepala keluarga. Semakin banyak rumah, maka semakin besar kemungkinan jumlah tanaman.

Tabel 10. Besar serapan emisi oleh RTH

RTH	Luas RTH (ha)	Serapan CO ₂ (g/dtk)
Publik	353	322
Privat	1.543	1.251
Total	1.897	1.573

Luas dan besar serapan RTH total. Hasil pendataan dan perhitungan kapasitas serapan emisi CO₂ menunjukkan bahwa total RTH wilayah perkotaan Kabupaten Jember sebesar 353 ha RTH publik dan 1.543 ha RTH privat. Berdasarkan peraturan, RTH publik minimal harus 20% dari luas wilayah atau sekitar 1.949 ha, namun saat ini masih belum terpenuhi. Sebaliknya, RTH privat telah memenuhi syarat minimal 10%. Meskipun luas RTH privat mencukupi, ketersediaan total RTH belum sepenuhnya optimal dalam menyerap emisi CO₂ sesuai kebutuhan lingkungan perkotaan.

2. Sumber dan Besaran Beban Emisi Karbon dioksida (CO₂)

a. Kegiatan Permukiman

Perhitungan CO₂ dari sektor permukiman memerlukan informasi mengenai jumlah rumah tangga yang memakai jenis bahan bakar seperti (LPG, minyak tanah, dan kayu bakar) beserta besar konsumsinya. Informasi diperoleh dari pengambilan sampel di wilayah studi. Hasil survei dari pengumpulan data menyatakan bahwa bahan bakar minyak tanah tidak digunakan. Data yang sudah dimiliki kemudian dikelompokkan berdasarkan klasifikasi rumah.

Tabel 11. Luas RTH privat setiap tipe rumah

Tipe rumah	Jumlah sampel	LPG (kg/bln)	Kayu bakar (kg/bln)	Total CO ₂ (ton/thn)
Besar	68	1.058	720	37,89
Sedang	274	2.639	328	118,27
Kecil	57	608	85	21,78

Perbedaan persentase dari rumah sedang dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya jumlah rumah sedang lebih banyak dibandingkan rumah besar dan rumah kecil, selain itu rumah sedang umumnya dihuni oleh keluarga inti yang aktif memasak setiap hari. Kecamatan Kaliwates menghasilkan emisi CO₂ sekitar 36% dari wilayah studi karena lebih banyak penggunaan kayu bakar.

b. Kegiatan Industri

Kegiatan industri di wilayah studi terbagi menjadi 7 macam yang berada dibawah pengawasan Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Jember. Informasi mengenai jenis dan jumlah bahan

bakar yang digunakan setiap industri diperoleh melalui pengambilan sampel secara acak menggunakan metode random sampling. Penentuan emisi didapatkan dari hasil perhitungan sesuai metode IPCC Guidelines tahun 2006. Total keseluruhan CO₂ setiap kegiatan industri di wilayah studi menunjukkan bahwa Kecamatan Patrang memiliki tingkat emisi CO₂ tertinggi sebesar 29,860 ton/tahun, karena industri pada Kecamatan Patrang lebih banyak menggunakan kayu bakar dibandingkan dengan LPG.

Tabel 12. Total CO₂ setiap sektor industri

No	Sektor industri	Jumlah sampel	Total CO ₂ (Ton/ tahun)
1	Makanan dan Minuman	37	18,901
2	Kimia dan Bahan Kimia	5	3,270
3	Karet dan Plastik	2	8,323
4	Tekstil	5	350
5	Hasil tembakau	3	107
6	Furnitur dan Hasil Logam	10	16,052
7	Manufaktur	7	3,590
	Total	69	50,593

c. Kegiatan Sampah

Kabupaten Jember memiliki berat timbunan sampah sebesar 835,25 ton/hari (BPS, 2024). Jumlah sampah terangkut ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sekitar 165,03 ton/hari. TPA Pakusari tidak hanya melayani wilayah studi, namun terdapat 15 kecamatan lainnya. Populasi yang terlayani oleh TPA Pakusari tahun 2024 yaitu 309.355 orang. Berikut persamaan yang digunakan:

$$Emisi CH_4 = [MSWT \times MSWF \times MCF \times DOC \times DOCF \times F \times 16/12 - R] \times (1-OX) \quad (3)$$

$$Emisi CO_2 = methane \times \left(\frac{1-F}{F} OX\right) \times \frac{44}{16} \quad (4)$$

Total CO₂ dari aktivitas pengelolaan sampah sebesar 64.863,26 ton CO₂-eq/orang.tahun. Kecamatan

Sumbersari menghasilkan CO₂ terbesar sebesar 7.134,96 ton CO₂-eq/orang.tahun, karena merupakan area dengan intensitas aktivitas institusional padat. Tingginya aktivitas menyebabkan usaha kuliner, tempat tinggal sementara dengan manajemen sampah kurang baik, dan

banyaknya kegiatan kampus dan kegiatan publik lainnya.

d. Kegiatan Transportasi

Perhitungan CO₂ diklasifikasikan sesuai dengan jenis kendaraan yang diperoleh dari hasil survei traffic counting oleh Samsat Kabupaten Jember. Hasil survei memperoleh data mengenai jumlah kendaraan berdasarkan jenisnya di setiap kecamatan di wilayah studi. Jenis bahan bakar mencakup bensin, seperti Premium dan Pertamax, serta diesel (solar). Data kendaraan diperoleh dari berbagai jenis kendaraan, antara lain sepeda motor, kendaraan pribadi, mobil penumpang umum (MPU), bus berukuran besar, kendaraan angkut seperti pick up, serta truk sedang dan truk berukuran besar. Nilai kalor dan faktor emisi digunakan sesuai ketentuan IPCC Guideline tahun 2006.

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Konsumsi BBM} \times \text{NCV} \times \text{FE Gasoline/Solar} \quad (5)$$

Perhitungan Faktor Emisi Spesifik (FES) digunakan untuk mengetahui besarnya emisi karbon dari setiap jenis bahan bakar kendaraan.

$$\text{Faktor Emisi Spesifik} = \frac{\text{Emisi CO}_2}{\text{Total SMP}} \quad (6)$$

Tabel 13. Emisi transportasi di setiap kecamatan

SMP	Kecamatan		
	Patrang	Sumbersari	Kaliwates
Sepeda motor	3,224	5,359	16,777
Mobil	4,541	7,865	19,309
MPU	-	152	90
Bus besar	-	-	232
Pick up	172	354	1,127
Truk sedang	-	134	631
Truk besar	-	-	223
Total SMP	7,937	13,864	38,388
Emisi (ton/tahun)	29,422	51,395	142,308

Kecamatan Kaliwates menunjukkan angka emisi tertinggi, karena wilayah tersebut memiliki jumlah penduduk yang padat serta intensitas lalu lintas kendaraan yang tinggi dan merupakan jalan arteri.

3. Penggunaan Metode Box Model

Box model digunakan untuk memperkirakan kualitas emisi suatu daerah dan tingkat polusi ditinjau dari hasil emisi wilayah studi. Rumus perhitungan konsentrasi pencemar:

$$C(t) = \frac{qL}{UH} (1 - e^{-\frac{ut}{L}}) \quad (7)$$

Perhitungan beban CO₂ menggunakan box model dilakukan 2 tahap. Tahap 1 menghitung menggunakan tinggi inversi (H1) dan tahap 2 menghitung menggunakan batas atas rerata tinggi pohon (H2). Tahap 1 didapatkan massa emisi sebesar 9.282 mg CO₂/detik. Massa emisi Tahap 2 sebesar 9.282 mg CO₂/detik dengan rincian :

Kecamatan Patrang : 2.046 mg/detik

Kecamatan Summersari : 2.043 mg/detik

Kecamatan Kaliwates : 5.193 mg/detik

Total massa CO₂ dari perhitungan menggunakan tinggi inversi dan tinggi pohon adalah sama, artinya tinggi pohon secara fungsional telah mendekati tinggi inversi pada wilayah studi, emisi yang dilepaskan di wilayah studi tidak tersebar lebih tinggi dari tajuk pohon dan sebarannya berada pada konsentrasi lapisan bawah atmosfer. Kanopi berperan aktif sebagai batas atas pencemaran yang relevan digunakan dalam model perkotaan.

4. Keterkaitan Antara Sumber dan Besaran Beban Emisi dengan Serapan RTH

Penelitian ini bertujuan mengestimasi emisi CO₂ dari aktivitas manusia seperti permukiman, industri, sampah, dan transportasi. Emisi dihitung secara kuantitatif dan dibandingkan dengan kapasitas penyerapan CO₂ oleh RTH setiap kecamatan. Serapan RTH ditentukan oleh luas vegetasi, khususnya luasan tajuk pohon. Selisih antara total emisi dan serapan RTH menghasilkan nilai emisi bersih.

Tabel 14. Resultan emisi dan serapan emisi

Kecamatan	Beban emisi (mg/dtk)	Serapan CO ₂ (mg/dtk)	Resultan (mg/dtk)
Patrang	2.046.097	768.181	-1.277.916
Sumbersari	2.042.674	609.385	-1.433.289
Kaliwates	5.192.878	194.642	-4.998.236

Kecamatan Patrang memiliki potensi RTH terbesar karena lahannya masih luas dan dominan pertanian. Kaliwates memiliki serapan terendah akibat kepadatan penduduk dan fungsi pusat pemerintahan, sehingga Kaliwates membutuhkan penambahan RTH untuk menyerap emisi yang belum tertampung.

A. Aspek Lingkungan

Upaya meningkatkan serapan CO₂ oleh RTH di wilayah studi dilakukan melalui dua pendekatan: intensifikasi dan ekstensifikasi. Intensifikasi dilakukan dengan mengoptimalkan RTH yang ada melalui

perbaikan, penambahan vegetasi berkualitas tinggi, serta penerapan sistem taman pot seperti indoor dan roof garden. Sementara itu, ekstensifikasi dilakukan dengan memperluas area RTH baru, memanfaatkan ruang sisa, memperkuat vegetasi, serta menerapkan penghijauan vertikal. Pendekatan bertujuan untuk memaksimalkan manfaat ekologis dan mendukung keberlanjutan kota dalam menghadapi perubahan iklim.

Strategi 1 peningkatan penyerapan emisi dilakukan dengan menanam pohon trembesi yang mampu menyerap 28.448 kg/pohon/tahun. Dengan kepadatan 20 pohon per hektar dan area tanam 25 m² per pohon, penanaman dilakukan secara merata di setiap kecamatan. Pohon trembesi memiliki daya serap CO₂ tinggi, yakni 243.092 ton/tahun.

Tabel 15. Penyerapan CO₂ oleh pohon trembesi

Kecamatan	Luas RTH tambahan (ha)	Jumlah pohon	Serapan pohon trembesi (ton/thn)
Patrang	71	1.415	40.263
Sumbersari	79	1.589	45.204
Kaliwates	277	5.541	157.624
Total	427	8.545	243.092

Strategi 2 menggunakan dua jenis pohon, cassia dan mangga, masing-masing 50%. Pohon cassia ditanam 54 batang/ha, pohon mangga 625 batang/ha. Keduanya memiliki area tanam 25 m²/pohon. Tujuannya untuk meningkatkan daya serap CO₂ melalui kombinasi vegetasi berdaya serap tinggi.

Tabel 16. Penyerapan emisi oleh pohon cassia dan pohon mangga

Rincian	Kecamatan			Total
	Patrang	Sumbersari	Kaliwates	
Luas RTH tambahan (ha)	71	79	277	427
Jumlah cassia	3.802	4.268	14.883	22.953
Serapan cassia (ton/thn)	20.132	22.602	78.812	121.546
Jumlah mangga	44.230	49.658	173.153	267.040
Serapan mangga (ton/thn)	20.132	22.602	78.812	121.546
Total serapan (ton/thn)	40.263	45.204	157.624	243.092

Strategi 3 menggabungkan pohon dan perdu untuk mengoptimalkan ruang dan waktu. Pohon menyerap emisi jangka panjang, perdu cepat tumbuh dan segera menyerap karbon. Perdu dapat ditanam rapat meski daya serapnya rendah.

Contohnya pohon mangga dan perdu toga dengan pola tanam spesifik.

Tabel 17. Penyerapan Emisi CO₂ oleh pohon dan perdu

Rincian	Kecamatan			Total
	Patrang	Sumbersari	Kaliwates	
Luas RTH tambahan (ha)	71	79	277	427
Jumlah pohon	88.459	99.315	346.305	534.080
Serapan pohon (ton/thn)	40.263	45.204	157.624	243.092
Serapan perdu (ton/thn)	3.891	4.369	15.234	23.495
Total serapan (ton/thn)	44.155	49.573	172.859	266.586

B. Aspek Ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan untuk menghitung kebutuhan biaya dalam penambahan luasan RTH sebagai langkah peningkatan kapasitas penyerapan emisi CO₂ sesuai strategi yang dirancang.

Strategi 1 dihitung menggunakan Standar Satuan Harga Belanja Daerah Kabupaten Jember 2024 sebagai pedoman. Asumsi strategi satu dalam penambahan pohon trembesi di setiap kecamatan secara merata.

Tabel 18. Biaya investasi strategi 1

Kecamatan	Luas RTH tambahan (ha)	Harga (perbatang)	Biaya investasi
Patrang	71	Rp89.800,00	Rp127.094.312,00
Sumbersari	79	Rp89.800,00	Rp142.691.577,00
Kaliwates	277	Rp89.800,00	Rp497.556.096,00
Total			Rp767.341.985,00

Strategi 2 dihitung menggunakan Standar Satuan Harga Belanja Daerah Kabupaten Jember 2024 sebagai pedoman. Asumsi strategi dua adalah menanam dua jenis pohon di RTH yakni penanaman pohon cassia dan pohon mangga dengan presentase masing-masing 50%.

Tabel 19. Biaya investasi strategi 2

Rincian	Kecamatan		
	Patrang	Sumbersari	Kaliwates
Luas RTH tambahan (ha)	71	79	277
Harga cassia (perbatang)	47.300,00	47.300,00	47.300,00
Harga mangga (perbatang)	51.700,00	51.700,00	51.700,00

Rincian	Kecamatan		
	Patrang	Sumbersari	Kaliwates
Biaya investasi cassia (Rp dalam juta)	179,82	201,89	703,96
Biaya investasi mangga (Rp dalam juta)	2.286,67	2.567,29	8.951,99
Total biaya investasi (Rp)	14.891.633.052,00		

Strategi 3 dihitung menggunakan Standar Satuan Harga Belanja Daerah Kabupaten Jember 2024 sebagai pedoman. Asumsi strategi tiga adalah menanam pohon dan perdu dengan persentase masing-masing 100%.

Tabel 20. Biaya investasi strategi 3

Rincian	Kecamatan		
	Patrang	Sumbersari	Kaliwates
Luas RTH tambahan (ha)	71	79	277
Harga mangga (Rp perbatang)	51.700,00	51.700,00	51.700,00
Harga perdu (Rp)	16.300,00	16.300,00	16.300,00
Biaya investasi mangga (Rp dalam juta)	4.573,34	5.134,59	17.903,99
Biaya investasi perdu (Rp dalam juta)	3.844,22	4.315,99	15.049,57
Total biaya investasi (Rp)	50.821.707.987,00		

Strategi ekonomi paling rendah terdapat pada strategi 1 dengan investasi pohon trembesi sebesar Rp767.341.985,00. Selanjutnya dilakukan analisis ekonomi untuk menghitung potensi penghematan biaya melalui peningkatan RTH. Valuasi ekonomi membantu pengambilan keputusan dengan memberikan estimasi efisiensi dari berbagai alternatif pemanfaatan sumber daya alam dan lingkungan. Penambahan RTH seluas 427 hektar dengan investasi awal sebesar Rp427.236.432.854,00 bertujuan meningkatkan

kapasitas penyerapan emisi CO₂ dan memberikan manfaat ekonomi. Serapan CO₂ RTH diperkirakan mencapai 10.681 ton/tahun dengan nilai sosial sekitar Rp12.817.092.986,00/tahun. Selain itu, RTH memberikan manfaat berupa penghematan energi pendingin udara Rp213.616.044.988,00/tahun, pengurangan biaya kesehatan Rp128.169.626.993,00/tahun dan pengelolaan air hujan Rp85.446.417.995,00/tahun. Setelah dikurangi biaya pemeliharaan sebesar Rp20.682.680.368,00, total manfaat tahunan mencapai Rp406.553.752.486,00/tahun.

Analisis kelayakan investasi dilakukan menggunakan metode Net Present Value (NPV) selama 10 tahun dengan diskonto 6%, yang menghasilkan nilai NPV positif sebesar Rp2.565.034.576.523,00, menandakan bahwa proyek ini layak secara ekonomi. Penambahan RTH juga berdampak pada peningkatan nilai properti sekitar 15–20% serta menyumbang penyimpanan karbon jangka panjang sebesar 10.681 ton CO₂, dengan nilai ekonomi setara Rp12.817.092.986,00. Secara keseluruhan, manfaat ekonomi per hektar RTH mencapai Rp951.589.615,00/tahun, memperkuat argumentasi bahwa investasi pengembangan RTH memiliki kontribusi signifikan terhadap mitigasi perubahan iklim dan peningkatan kualitas lingkungan perkotaan.

PENUTUP

Kecamatan Kaliwates memiliki cakupan RTH terendah dan tidak mampu menampung emisi CO₂ secara optimal, sehingga dapat diatasi dengan penambahan RTH dan pemilihan jenis vegetasi berdaya serap tinggi seperti pohon trembesi. Secara teknis, emisi tertinggi berasal dari sektor transportasi terutama pada Kecamatan Kaliwates. Aspek lingkungan menunjukkan bahwa strategi penanaman satu jenis pohon yang memiliki kemampuan daya serap tinggi lebih efektif dibandingkan strategi lainnya. Secara ekonomi, strategi satu jenis pohon lebih efisien dengan biaya investasi Rp767.000.000,00/hektar dan manfaat ekonomi sebesar Rp951.000.000,00/hektar dalam 10 tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis spesies tunggal dengan kapasitas serapan tinggi lebih efisien dalam perencanaan RTH di wilayah perkotaan dengan emisi tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik Kabupaten Jember. 2024. Kabupaten Jember dalam angka 2013. Kabupaten Jember : BPS Jawa Timur

- Chao, J. C., & Lin, J. Y. (2024). Cost-Benefit Analysis of Urban Green Infrastructures: A Case Study of the LiuChuan River Corridor, Taichung City, from Linsenliu Bridge to Minquanliu Bridge. *E3S Web of Conferences*, 530.
- Febriansyah, A. R., Ergantara, R. I., & Nasoetion, P. (2022). Daya Serap CO₂ Tanaman Pengisi Ruang Terbuka Hijau (RTH) Privat Rumah Besar Perumahan Springhill Dan Citra Mas Di Kelurahan Kemiling Permai. *Jurnal Rekayasa, Teknologi, Dan Sains*, 6(1), 20–31.
- IPCC.2006.*IPCC guidelines for National greenhouse gas inventories*In: Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), *Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. IPCC/OECD/IEA*, Hayama, Japan
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2017). Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan Monitoring, Pelaporan, dan Verifikasi. Jakarta: Direktorat Inventarisasi GRK dan MPV
- Pemerintah Kabupaten Jember (2015). Peraturan Daerah Kabupaten Jember Nomor 1 Tahun 2015 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Jember Tahun 2015-2035
- Quaranta, E., Dorati, C., & Pistocchi, A. (2021). Water, energy and climate benefits of urban greening throughout Europe under different climatic scenarios. *Scientific Reports*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88141-7>
- Seftiani, dkk. 2024. Mekanisme Dampak Pemanasan Global Oleh Gas Rumah Kaca. *Jurnal Pendidikan, Sains Dan Teknologi (JPST)* Vol.03 No. 02
- Surya, A., & Ariefahnoor., D. (2018). Pengelolaan dan Pengolahan Sampah Pasar Desa Gudang Tengah Melalui Konsep 3R dan Teknologi Lingkungan. *Jurnal Kacapuri*, 1(1), 102–114.
- Sasmita, A., Reza, M., Gitami, P. A., Harimurti, A., & Putri, A. (2021). Analisis kemampuan ruang terbuka hijau publik menyerap emisi karbon dioksida dari kegiatan transportasi di kota pekanbaru. *Jurnal Sains Dan Teknologi* 20, 20(1), 33–42.