



Estimasi Emisi Gas Karbondioksida (CO₂) dari Sektor Transportasi di Jalan Basuki Rahmat, Bojonegoro

Oktavianus Cahya Anggara*, Solikhati Indah Purwaningrum, Albet Haikal Fiqri

Universitas Bojonegoro, Indonesia

Email: oktavianuscahya@gmail.com*

Keywords:	ABSTRACT
Emissions; CO ₂ ; Transportation; Motor Vehicles; Basuki Rahmat	<i>Road transportation generates carbon dioxide (CO₂) emissions through fuel combustion during vehicle movement and idling. Local emission inventories are needed to inform transportation management and identify appropriate mitigation priorities. This study aimed to estimate vehicle CO₂ emissions along Basuki Rahmat Street, Bojonegoro Regency, and formulate emission reduction recommendations. A quantitative approach combined estimates of emissions from idling and moving vehicles. Traffic counts were conducted over 24 hours at intervals of 15 minutes on five observation days: Sunday, Monday, Wednesday, Friday, and Saturday, during June 2025. Calculations incorporated vehicle categories, fuel consumption, idling duration, travel distance, and emission factors. Results showed that traffic volumes ranged from 983 to 1,388 vehicles daily, predominantly medium motorcycles. Estimated daily emissions ranged from 617.792 to 860.817 kg CO₂, with the lowest emissions occurring on Sunday and the highest on Monday. Average emissions reached 765.743 kg CO₂ daily, corresponding to estimated annual emissions of 279.496 metric tons. Idling emissions dominated all vehicle categories except motorcycles, highlighting the importance of managing stationary engine operation. The study concludes that mitigation should prioritize fuel efficiency, reduced idling duration, and improved driving behavior. Annual estimates represent extrapolations from limited observations and provide an initial inventory to support local transportation planning and mitigation.</i>
Kata Kunci:	ABSTRAK
Emisi; CO ₂ ; Transportasi; Kendaraan Bermotor; Basuki Rahmat	<i>Transportasi jalan menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂) melalui pembakaran bahan bakar ketika kendaraan bergerak maupun berhenti dengan mesin menyala. Inventarisasi emisi diperlukan untuk mendukung pengelolaan transportasi yang sesuai dengan karakteristik lokal. Penelitian ini bertujuan mengestimasi emisi CO₂ kendaraan bermotor di Jalan Basuki Rahmat, Kabupaten Bojonegoro, serta merumuskan rekomendasi pengurangan emisi. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan menggabungkan estimasi emisi kendaraan pada kondisi stasioner dan bergerak. Data dikumpulkan melalui penghitungan kendaraan selama 24 jam dengan interval 15 menit pada lima hari pengamatan, yaitu Minggu, Senin, Rabu, Jumat, dan Sabtu, selama Juni 2025. Perhitungan mempertimbangkan jenis kendaraan, konsumsi bahan bakar, durasi stasioner, jarak tempuh, dan faktor emisi. Hasil penelitian menunjukkan volume kendaraan berkisar antara 983–1.388 unit per hari, dengan dominasi sepeda motor sedang. Estimasi emisi harian berkisar antara 617,792–860,817 kg CO₂, dengan emisi terendah pada Minggu dan tertinggi pada Senin. Rata-rata emisi mencapai 765,743 kg CO₂ per hari, sedangkan estimasi tahunan mencapai 279,496 ton CO₂. Emisi stasioner mendominasi pada seluruh kelompok kendaraan selain sepeda motor, menunjukkan pentingnya pengelolaan waktu berhenti. Penelitian</i>

menyimpulkan bahwa pengurangan emisi perlu diarahkan pada efisiensi bahan bakar, pengurangan durasi stasioner, dan perbaikan perilaku berkendara. Estimasi tahunan merupakan ekstrapolasi pengamatan terbatas yang dapat digunakan sebagai inventarisasi awal untuk mendukung perencanaan transportasi rendah karbon.

PENDAHULUAN

Perubahan iklim yang merupakan tantangan global, disebabkan oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) terutama karbondioksida (CO₂) di atmosfer. Salah satu penyumbang utama emisi CO₂ berasal dari sektor transportasi. Menurut laporan dari berbagai organisasi internasional, sektor transportasi menyumbang sekitar 14 % dari total emisi GRK global (IPCC, 2021). Di Indonesia, sektor transportasi menyumbang sekitar 24 % dari total emisi CO₂ pada tahun 2022, dengan transportasi darat sebagai penyumbang terbesarnya (Kementerian Perhubungan RI, 2024).

Pertumbuhan sektor transportasi di Indonesia sangat pesat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan urbanisasi. Kota-kota besar seperti Jakarta dan Surabaya mengalami peningkatan jumlah kendaraan yang signifikan. Hal ini berimplikasi pada peningkatan emisi CO₂ yang dihasilkan dari aktivitas transportasi. Transportasi darat di Indonesia didominasi oleh kendaraan bermotor, terutama sepeda motor dan mobil pribadi. Sepeda motor menyumbang 36,1 % dari total emisi sektor transportasi pada tahun 2022, diikuti dengan mobil sebesar 21,8 % (Kementerian Perhubungan RI, 2024).

Kabupaten Bojonegoro, sebagai salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Timur, juga mengalami pertumbuhan transportasi yang pesat. Jalan Basuki Rahmat merupakan salah satu koridor utama di Kabupaten Bojonegoro yang mengalami peningkatan volume kendaraan. Jika dilihat dari jaringan transportasi regional, Jalan Basuki Rahmat yang terletak di Kelurahan Sukorejo, Kecamatan Bojonegoro, Kabupaten Bojonegoro memiliki posisi sebagai jalur perlintasan, baik dari Kabupaten Tuban (bagian utara); Kabupaten Lamongan (bagian timur); Kabupaten Jombang, Kabupaten Nganjuk, Kabupaten Madiun, dan Kabupaten Ngawi (bagian selatan); serta Kabupaten Blora (bagian barat). Posisi ini juga didukung dengan potensi Kabupaten Bojonegoro sebagai lumbung pangan dan energi. Sebagai jaringan transportasi, Jalan Basuki Rahmat menjadi salah satu sumber utama pencemar udara yang mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan di wilayah sekitarnya (Alongi, 2012).

Pemerintah Indonesia telah menetapkan target untuk mencapai emisi nol bersih (*net zero emission*) pada tahun 2060. Untuk mencapai target tersebut, pengurangan emisi karbon sektor transportasi menjadi prioritas. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini berusaha untuk memberi informasi tentang estimasi jumlah emisi CO₂ dari sektor transportasi di Jalan Basuki Rahmat, Bojonegoro, serta memberikan rekomendasi kebijakan yang lebih efektif dalam pengurangan emisi karbon.

Beberapa studi telah dilakukan untuk mengestimasi jumlah emisi CO₂ di kawasan perkotaan Indonesia. Penelitian di Kota Surakarta menunjukkan bahwa emisi CO₂ dari sektor transportasi pada tahun 2017 telah mencapai 343.195,63 ton/tahun (Nugraheni dkk, 2018). Studi lain di Kawasan Alun-Alun Kota Batu mencatat emisi CO₂ sebesar 729,37 ton/tahun, dengan sepeda motor sebagai penyumbang utamanya (Ambarsari dkk, 2019). Berbeda dengan penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini tidak berfokus pada emisi CO₂ suatu area, melainkan pada koridor jalan sebagai penghasil utama emisi. Penelitian ini berfokus pada emisi

CO₂ setiap jenis kendaraan yang terdapat di Jalan Basuki Rahmat, baik pada posisi stasioner (*idle*) maupun ketika bergerak. Melalui rekomendasi kebijakan yang diberikan, penelitian ini diharapkan mampu menurunkan emisi CO₂ dari sektor transportasi, yang bertujuan bukan hanya untuk mengurangi dampak perubahan iklim dari emisi karbon, tetapi juga bertujuan untuk meningkatkan kualitas kesehatan masyarakatnya.

Perkembangan penelitian terkini selanjutnya menunjukkan bahwa estimasi emisi kendaraan perlu mempertimbangkan karakteristik konsumsi bahan bakar dan kondisi operasional perjalanan. Guo, Kou, dan He (2024), melalui pemodelan emisi kendaraan di Kanada menggunakan data tahun 1995–2022, mengidentifikasi konsumsi bahan bakar pada perjalanan perkotaan dan jalan raya serta jenis bahan bakar sebagai faktor penting dalam prediksi emisi CO₂. Sementara itu, (Mądział, 2025) mengembangkan model emisi pada persimpangan menggunakan data pengukuran kendaraan dalam kondisi berkendara nyata dan menemukan bahwa model yang secara khusus merepresentasikan persimpangan memberikan estimasi lebih mendekati hasil pengukuran dibandingkan model yang lebih umum. Temuan tersebut memperkuat pentingnya memperhatikan kondisi kendaraan yang berhenti, berakselerasi, dan bergerak dalam penilaian emisi transportasi. Bagi penelitian berbasis inventarisasi lokal, perkembangan ini memberikan landasan untuk membedakan komponen emisi menurut kondisi operasi kendaraan, sekaligus menyesuaikan tingkat kerincian analisis dengan data lapangan yang tersedia. (Guo et al., 2024), (Mądział, 2025).

Dalam konteks lokal, Jalan Basuki Rahmat di Kelurahan Sukorejo, Kecamatan Bojonegoro, Kabupaten Bojonegoro, merupakan koridor yang melayani pergerakan beragam kendaraan, mulai dari sepeda motor, mobil penumpang, kendaraan pikap, hingga bus dan truk. Koridor sepanjang 1,55 kilometer yang menjadi objek penelitian ini memiliki tiga titik Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL), sehingga perjalanan kendaraan mencakup kondisi bergerak dan kemungkinan berhenti dengan mesin tetap menyala atau *idle*. Karakteristik tersebut menjadikan Jalan Basuki Rahmat relevan untuk dikaji melalui pemisahan emisi pada kedua kondisi operasional tersebut. Selain itu, pengamatan pada hari Minggu, Senin, Rabu, Jumat, dan Sabtu memungkinkan penelitian menggambarkan variasi aktivitas kendaraan pada hari pengamatan yang berbeda. Keragaman jenis kendaraan dan pola lalu lintas ini menimbulkan kebutuhan untuk mengetahui kontribusi setiap kelompok kendaraan terhadap emisi koridor, sehingga penentuan prioritas pengelolaan tidak hanya didasarkan pada jumlah kendaraan yang melintas.

Berdasarkan sintesis penelitian terdahulu, kesenjangan yang mendasari penelitian ini terletak pada kebutuhan informasi emisi yang secara khusus mengintegrasikan karakteristik kendaraan, kondisi operasional, dan variasi hari pengamatan di Jalan Basuki Rahmat. Kajian di Kota Batu memberikan gambaran emisi pada skala kawasan, sedangkan penelitian di Bejen menitikberatkan penilaian pada simpang bersinyal. Adapun penelitian (Guo et al., 2024) dan (Mądział, 2025) memperkuat pemahaman mengenai faktor prediktor serta pemodelan emisi kendaraan, tetapi hasilnya tidak dapat langsung digunakan sebagai inventarisasi bagi koridor di Bojonegoro yang memiliki komposisi kendaraan dan kondisi perjalanan tersendiri. Dengan demikian, diperlukan estimasi berbasis data aktivitas lokal yang menghubungkan emisi per jenis kendaraan dengan jumlah kendaraan pada hari pengamatan, kemudian mengagregasikannya menjadi estimasi harian dan tahunan. Kebutuhan tersebut merupakan kesenjangan empiris dan kontekstual yang dapat dijawab melalui penelitian ini, tanpa

mengasumsikan bahwa pendekatan estimasi pada koridor jalan belum pernah diterapkan sebelumnya.

Urgensi penelitian terletak pada penyediaan informasi dasar yang dapat membantu pemerintah daerah menentukan sasaran pengurangan emisi secara lebih terarah. Tanpa rincian kontribusi emisi menurut jenis kendaraan dan kondisi operasional, prioritas penanganan berpotensi hanya mengikuti dominasi jumlah kendaraan, padahal kontribusi karbon juga dipengaruhi oleh karakteristik konsumsi bahan bakarnya. Kebaruan penelitian ini bersifat kontekstual dan terletak pada penggabungan estimasi emisi saat idle dan bergerak untuk setiap kelompok kendaraan, variasi jumlah kendaraan pada lima hari pengamatan, serta agregasi emisi pada satu koridor dengan tiga APILL. Penggabungan tersebut memungkinkan penyajian profil emisi Jalan Basuki Rahmat yang lebih terperinci sebagai dasar penyusunan rekomendasi pengelolaan transportasi. Namun, estimasi tahunan tetap perlu dipahami sebagai hasil ekstrapolasi berdasarkan hari pengamatan dan asumsi perhitungan yang digunakan, sehingga kontribusi penelitian ditempatkan sebagai penyediaan inventarisasi awal untuk mendukung pengambilan keputusan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan mengestimasi emisi CO₂ kendaraan bermotor di Jalan Basuki Rahmat, Kabupaten Bojonegoro, dengan memperhitungkan emisi pada kondisi idle dan bergerak, mengidentifikasi kontribusi setiap jenis kendaraan, serta menggambarkan variasi emisi harian dan estimasi emisi tahunan. Penelitian ini juga bertujuan merumuskan rekomendasi pengelolaan transportasi berdasarkan sumber dan komponen emisi yang teridentifikasi. Secara ilmiah, hasil penelitian diharapkan memperkaya bukti empiris mengenai inventarisasi emisi transportasi pada skala koridor jalan di wilayah kabupaten, khususnya melalui penggabungan data aktivitas kendaraan dan pemisahan kondisi operasionalnya. Secara praktis, hasilnya diharapkan menjadi bahan pertimbangan bagi Dinas Perhubungan, Dinas Lingkungan Hidup, dan pemangku kepentingan terkait dalam menentukan prioritas evaluasi pengaturan lalu lintas, pengurangan waktu berhenti dengan mesin menyala, serta peningkatan efisiensi penggunaan bahan bakar. Dengan demikian, penelitian ini dapat mendukung perencanaan transportasi yang mempertimbangkan kebutuhan mobilitas dan pengurangan emisi karbon secara bersamaan.

METODE PENELITIAN

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan menggunakan pendekatan estimasi jumlah emisi CO₂ tahunan setiap jenis kendaraan bermotor, yang diperoleh dengan menjumlahkan emisi CO₂ kendaraan bermotor dalam posisi stasioner (*idle*) dan ketika bergerak.

Emisi CO₂ kendaraan bermotor dalam posisi stasioner dapat dihitung dengan mengalikan antara durasi mesin kendaraan hidup dalam posisi stasioner, jumlah konsumsi BBM dalam posisi stasioner per menit dengan faktor konversi BBM → CO₂ (Ambarsari et al., 2019). Emisi CO₂ kendaraan bermotor ketika bergerak dapat dihitung dengan mengalikan jarak tempuh kendaraan bermotor selama berada di Jalan Basuki Rahmat dengan faktor konversi BBM → CO₂ (Ambarsari et al., 2019).

Setelah didapatkan jumlah emisi CO₂ masing-masing jenis kendaraan bermotor, kemudian dikalikan dengan jumlah unit setiap jenis kendaraan bermotor yang terdapat di Jalan

Basuki Rahmat. Rata-ratakan untuk setiap karakter hari, sehingga didapatkan rata-rata emisi CO₂ harian. Kalikan 365 untuk mengetahui jumlah emisi CO₂ tahunan. Estimasi ini yang dapat digunakan bagi pemerintah, khususnya Pemerintah Kabupaten Bojonegoro sebagai bahan evaluasi dan pertimbangan jika menyusun kebijakan yang efektif dalam pengurangan emisi karbon.

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Jalan Basuki Rahmat yang terletak di Kelurahan Sukorejo, Kecamatan Bojonegoro, Kabupaten Bojonegoro, mulai tanggal 19 Mei 2025 hingga 12 September 2025. Citra satelit kenampakan Jalan Basuki Rahmat dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Citra Satelit Kenampakan Jalan Basuki Rahmat, Bojonegoro

Populasi dan Sampel

Populasi pada penelitian ini adalah seluruh kendaraan bermotor yang melintas di Jalan Basuki Rahmat, yang terdiri atas sepeda motor, sedan/ jeep, mobil keluarga (MPV), pick-up, bis dan truk. Pengambilan sampel pada penelitian ini dilakukan dengan menghitung jumlah unit kendaraan bermotor yang melintas di Jalan Basuki Rahmat pada hari Minggu, Senin, Rabu, Jumat dan Sabtu. Hari Selasa dan Kamis tidak dilakukan pengambilan sampel, karena karakter kedua hari tersebut sama dengan hari Rabu (hari biasa).

Jenis Data dan Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data-data yang menunjang proses penelitian. Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui survei penghitungan jumlah unit kendaraan bermotor di Jalan Basuki Rahmat. Survei ini dilakukan pada hari Minggu, Senin, Rabu, Jumat dan Sabtu, mulai tanggal 15 Juni 2025 hingga 21 Juni 2025. Survei ini dilakukan dengan menghitung jumlah unit semua kendaraan bermotor yang melintas di Jalan Basuki Rahmat selama 24 jam dengan interval waktu 15 menit.

Teknik Analisis Data

Besarnya emisi CO₂ yang terdapat di Jalan Basuki Rahmat dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

1. Emisi CO₂ setiap jenis kendaraan bermotor dapat diperoleh dengan menjumlahkan emisi CO₂ kendaraan bermotor dalam posisi stasioner (*idle*) dan ketika bergerak.

a. Emisi CO₂ kendaraan bermotor dalam posisi stasioner (*idle*)

Emisi CO₂ kendaraan bermotor dalam posisi stasioner dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$ECO_2(s) = t_{\text{stasioner}} \times \text{kons}_{\text{BBM}} \times \text{konv}_{\text{BBM}}$$

dimana:

$ECO_2(s)$: emisi CO₂ kendaraan bermotor dalam posisi stasioner (kgCO₂)

$t_{\text{stasioner}}$: durasi mesin kendaraan hidup dalam posisi stasioner (menit)

kons_{BBM} : jumlah konsumsi BBM dalam posisi stasioner per menit (l/menit)

Sepeda motor sedang (115 – 125 cc) : 0,017 l/menit

Sepeda motor besar (>125 cc) : 0,024 l/menit

Mobil kecil premium (<1.400 cc) : 0,127 l/menit

Mobil sedang premium (1.400 – 2.000 cc) : 0,148 l/menit

Mobil besar premium (> 2.000 cc) : 0,212 l/menit

Mobil kecil solar (<1.700 cc) : 0,083 l/menit

Mobil sedang solar (1.700 – 2.000 cc) : 0,105 l/menit

Mobil besar solar (> 2.000 cc) : 0,144 l/menit

(Ambarsari dkk, 2019)

konv_{BBM} : faktor konversi BBM → CO₂ (kgCO₂/l)

Premium : 2,10 kgCO₂/l

Solar : 2,58 kgCO₂/l

(Ambarsari dkk, 2019)

b. Emisi CO₂ kendaraan bermotor ketika bergerak

Emisi CO₂ kendaraan bermotor ketika bergerak dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$ECO_2(g) = l_{\text{tempuh}} \times \text{konv}_{\text{BBM}}$$

dimana:

$ECO_2(g)$: emisi CO₂ kendaraan bermotor ketika bergerak (kgCO₂)

l_{tempuh} : jarak tempuh kend. bermotor selama berada di Jalan Basuki Rahmat (km)

konv_{BBM} : faktor konversi BBM → CO₂ (kgCO₂/km)

Sepeda motor sedang : 0,10 kgCO₂/km

Sepeda motor besar : 0,14 kgCO₂/km

Mobil kecil premium (<1.400 cc) : 0,18 kgCO₂/km

Mobil sedang premium (1.400 – 2.000 cc) : 0,21 kgCO₂/km

Mobil besar premium (> 2.000 cc) : 0,30 kgCO₂/km

Mobil kecil solar (<1.700 cc) : 0,15 kgCO₂/km

Mobil sedang solar (1.700 – 2.000 cc) : 0,19 kgCO₂/km

Mobil besar solar (> 2.000 cc) : 0,26 kgCO₂/km

(Ambarsari dkk, 2019)

Setelah didapatkan jumlah emisi CO₂ kendaraan bermotor dalam posisi stasioner dan ketika bergerak, maka emisi CO₂ untuk setiap jenis kendaraan bermotor dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$ECO_2 = ECO_2(s) + ECO_2(g)$$

dimana:

ECO_2 : emisi CO_2 setiap jenis kendaraan ($kgCO_2$)
 ECO_2 (s) : emisi CO_2 kendaraan bermotor dalam posisi stasioner ($kgCO_2$)
 ECO_2 (g) : emisi CO_2 kendaraan bermotor ketika bergerak ($kgCO_2$)

- Setelah didapatkan jumlah emisi CO_2 masing-masing jenis kendaraan bermotor, kalikan dengan jumlah unit setiap jenis kendaraan bermotor yang terdapat di Jalan Basuki Rahmat pada hari Minggu, Senin, Rabu, Jumat dan Sabtu ($kgCO_2/hari$).
- Rata-ratakan untuk setiap karakter hari, sehingga didapatkan rata-rata emisi CO_2 harian ($kgCO_2/hari$).
- Kalikan 365 untuk mengetahui jumlah emisi CO_2 tahunan ($kgCO_2/tahun$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Estimasi Emisi CO_2 Setiap Jenis Kendaraan Bermotor

Besarnya emisi CO_2 setiap jenis kendaraan bermotor yang terdapat di Jalan Basuki Rahmat dapat dihitung dengan menjumlahkan emisi CO_2 kendaraan bermotor dalam posisi stasioner (*idle*) dan ketika bergerak. Emisi CO_2 setiap jenis kendaraan bermotor dalam posisi stasioner (*idle*) didapatkan dengan mengalikan antara durasi mesin hidup dalam posisi stasioner (menit), konsumsi BBM dalam posisi stasioner (l/menit), dengan faktor konversi $BBM \rightarrow CO_2$ ($kgCO_2/l$) (Ambarsari dkk, 2019). Durasi mesin hidup dalam posisi stasioner didapatkan dengan menjumlahkan durasi nyala merah pada 3 (tiga) lampu APILL (Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas) di Jalan Basuki Rahmat. APILL di titik utara (persimpangan Jl. Basuki Rahmat - Jl. Teuku Umar - Jl. Sawunggaling - Jl. Pemuda Timur) selama 56 detik. APILL di titik tengah (persimpangan Jl. Bauki Rahmat - Jl. Dr. Cipto - Jl. Kyai Mojo) selama 48 detik. APILL di titik selatan (persimpangan Jl. Basuki Rahmat - Jl. Gajah Mada - Jl. Ahmad Yani) selama 56 detik. Emisi CO_2 setiap jenis kendaraan bermotor di Jalan Basuki Rahmat dalam posisi stasioner (*idle*) dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Emisi CO_2 Setiap Jenis Kendaraan Bermotor di Jalan Basuki Rahmat Dalam Posisi Stasioner (*Idle*)

No.	Jenis Kendaraan Bermotor	Durasi Mesin Hidup Posisi Stasioner (menit)	Konsumsi BBM Posisi Stasioner (l/menit)	Faktor Konversi $BBM \rightarrow CO_2$ ($kgCO_2/l$)	Emisi CO_2 Kend. Bermotor Posisi Stasioner ($kgCO_2$)
1.	Sepeda Sedang	2,67	0,017	2,10	0,095
	Motor Besar	2,67	0,024	2,10	0,135
2.	Sedan/ jeep	2,67	0,127	2,10	0,712
3.	Mobil keluarga/MPV	2,67	0,148	2,10	0,830
4.	Pick-up	2,67	0,083	2,58	0,572
5.	Bis Sedang	2,67	0,105	2,58	0,723
	Besar	2,67	0,144	2,58	0,992
6.	Truk	2,67	0,144	2,58	0,992

Berdasarkan tabel 1 dapat diketahui bahwa emisi CO_2 setiap jenis kendaraan bermotor dalam posisi stasioner (*idle*) di Jalan Basuki Rahmat ternyata berbeda-beda. Emisi CO_2 kendaraan bermotor dalam posisi stasioner yang tertinggi dihasilkan oleh bis besar dan truk

sebanyak 0,992 kgCO₂. Sedangkan emisi CO₂ kendaraan bermotor dalam posisi stasioner yang terendah dihasilkan oleh sepeda motor kecil sebanyak 0,078 kgCO₂. Perbedaan jumlah emisi CO₂ kendaraan bermotor dalam posisi stasioner ini disebabkan karena perbedaan kapasitas mesin kendaraannya. Semakin besar kapasitas mesinnya, semakin besar pula emisi CO₂ yang dihasilkannya (Ambarsari dkk, 2019).



Gambar 2. Kendaraan Bermotor di Jalan Basuki Rahmat Dalam Posisi Stasioner (*Idle*)

Berbeda dengan saat posisi stasioner, emisi CO₂ setiap jenis kendaraan bermotor ketika bergerak (melintas) di Jalan Basuki Rahmat didapatkan dengan mengalikan antara jarak tempuh rata-rata (km) dengan faktor konversi BBM → CO₂ (kgCO₂/km) (Ambarsari dkk, 2019). Emisi CO₂ setiap jenis kendaraan bermotor ketika bergerak dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Emisi CO₂ Setiap Jenis Kendaraan Bermotor di Jalan Basuki Rahmat Ketika Bergerak

No.	Jenis Kendaraan Bermotor		Jarak Tempuh Rata-rata (km)	Faktor Konversi BBM → CO ₂ (kgCO ₂ /km)	Emisi CO ₂ Kend. Bermotor Ketika Bergerak (kgCO ₂)
1.	Sepeda motor	Sedang	1,55	0,10	0,155
		Besar	1,55	0,14	0,217
2.	Sedan/ jeep		1,55	0,18	0,279
3.	Mobil keluarga/ MPV		1,55	0,21	0,326
4.	Pick-up		1,55	0,15	0,233
5.	Bis	Sedang	1,55	0,19	0,295
		Besar	1,55	0,26	0,403
6.	Truk		1,55	0,26	0,403

Berdasarkan tabel 2 dapat diketahui bahwa emisi CO₂ setiap jenis kendaraan bermotor ketika bergerak (melintas) di Jalan Basuki Rahmat juga berbeda-beda. Emisi CO₂ kendaraan bermotor ketika bergerak yang tertinggi dihasilkan oleh bis besar dan truk sebanyak 0,403 kgCO₂. Sedangkan emisi CO₂ kendaraan bermotor ketika bergerak yang terendah dihasilkan oleh sepeda motor kecil sebanyak 0,124 kgCO₂. Perbedaan jumlah emisi CO₂ kendaraan bermotor ketika bergerak ini disebabkan karena perbedaan kapasitas mesin kendaraannya. Semakin besar kapasitas mesinnya, semakin besar pula emisi CO₂ yang dihasilkannya (Ambarsari dkk, 2019).

Selanjutnya, untuk mengetahui besarnya emisi CO₂ setiap jenis kendaraan bermotor, maka emisi CO₂ kendaraan bermotor dalam posisi stasioner dan ketika bergerak dijumlahkan. Besarnya emisi CO₂ setiap jenis kendaraan bermotor saat berada di Jalan Basuki Rahmat dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Emisi CO₂ Setiap Jenis Kendaraan Bermotor di Jalan Basuki Rahmat

No.	Jenis Kendaraan Bermotor		Emisi CO ₂	Emisi CO ₂	Emisi CO ₂
			Kend. Bermotor Posisi Stasioner (Idle) (kgCO ₂)	Kend. Bermotor Ketika Bergerak (kgCO ₂)	Kend. Bermotor (kgCO ₂)
1.	Sepeda motor	Sedang	0,095	0,155	0,250
		Besar	0,135	0,217	0,352
2.	Sedan/ jeep		0,712	0,279	0,991
3.	Mobil keluarga/ MPV		0,830	0,326	1,156
4.	Pick-up		0,572	0,233	0,805
5.	Bis	Sedang	0,723	0,295	1,018
		Besar	0,992	0,403	1,395
6.	Truk		0,992	0,403	1,395

Berdasarkan tabel 3, dapat diketahui bahwa emisi CO₂ setiap jenis kendaraan bermotor (kecuali sepeda motor) didominasi oleh emisi CO₂ pada posisi stasioner. Hal ini terjadi karena jumlah BBM yang dibakar pada posisi stasioner lebih banyak daripada ketika bergerak. Semakin banyak BBM yang dibakar, maka emisi CO₂ yang dikeluarkan juga semakin banyak. Posisi stasioner terjadi ketika kendaraan sedang berhenti di APILL atau saat menaikkan dan/ atau menurunkan penumpang dan/ atau barang di titik-titik lokasi sepanjang Jalan Basuki Rahmat.

Estimasi Jumlah Setiap Jenis Kendaraan Bermotor

Selain perbedaan posisi stasioner (*idle*) dan ketika bergerak, jumlah emisi CO₂ yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor di Jalan Basuki Rahmat juga dipengaruhi oleh jumlah unit kendaraan bermotor (Saadah, 2002). Berdasarkan survei primer yang telah dilakukan, jumlah unit kendaraan bermotor yang terdapat di Jalan Basuki Rahmat dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Jumlah Unit Kendaraan Bermotor di Jalan Basuki Rahmat

Hari	Sepeda Motor		Sedan/ Jeep	Mobil Keluarga/ MPV	Pick- up	Bis		Truk	Jumlah
	Sedang	Besar				Sedang	Besar		
	(unit)	(unit)	(unit)	(unit)	(unit)	(unit)	(unit)	(unit)	(unit)
Minggu	544	20	17	133	86	54	8	121	983
Senin	742	61	26	255	120	53	10	121	1.388
Rabu	647	75	20	232	112	59	7	95	1.247
Jumat	777	60	25	187	101	59	5	102	1.316
Sabtu	762	51	11	209	124	74	7	131	1.369

Berdasarkan tabel 4 dapat diketahui bahwa jumlah unit kendaraan bermotor yang terdapat di Jalan Basuki Rahmat bervariasi antara 983 unit/hari hingga 1.388 unit/hari. Jumlah unit kendaraan bermotor yang terendah terjadi pada hari Minggu (hari libur), sedangkan jumlah unit kendaraan bermotor yang tertinggi terjadi pada hari Senin (hari sibuk awal pekan). Pada hari Senin, jumlah pengguna jalan khususnya anak sekolah dan pekerja lebih banyak jika dibandingkan dengan hari lainnya, sehingga jumlah unit kendaraan pribadi yang digunakan dan kendaraan umum yang dioperasikan menjadi lebih banyak pula.

Berdasarkan tabel 4 pula, dapat diketahui bahwa kendaraan bermotor yang terdapat di Jalan Basuki Rahmat didominasi oleh sepeda motor sedang (125 cc). Jumlah sepeda motor sedang (125 cc) bervariasi antara 544 unit/hari hingga 777 unit/hari. Dominasi jumlah sepeda motor sedang (125 cc) yang terendah terjadi pada hari Minggu (55,34 % dari total kendaraan pada hari Minggu), sedangkan dominasi jumlah sepeda motor sedang (125 cc) yang tertinggi terjadi pada hari Jumat (59,04 % dari total kendaraan pada hari Jumat). Pada hari Jumat, jam istirahat bagi anak sekolah dan pekerja lebih panjang daripada hari lainnya. Jika pada hari Senin – Kamis dan Sabtu, jam istirahat dimulai dari pukul 12.00 hingga pukul 13.00, maka pada hari Jumat, jam istirahat dimulai dari pukul 11.00 hingga pukul 13.00. Durasi jam istirahat yang lebih panjang ini menyebabkan penggunaan sepeda motor sedang (125 cc) di Jalan Basuki Rahmat menjadi meningkat. Pengguna sepeda motor menghabiskan waktu istirahat siang di Jalan Basuki Rahmat dengan sholat Jumat di masjid-masjid yang berada di sepanjang jalan dan makan siang di warung/ depot.

Estimasi Jumlah Emisi CO₂ Tahunan

Setelah didapatkan jumlah unit setiap jenis kendaraan bermotor, maka emisi CO₂ kendaraan bermotor yang terdapat di Jalan Basuki Rahmat didapatkan dengan mengalikan antara jumlah emisi CO₂ dengan jumlah unit setiap jenis kendaraan bermotor yang ada di Jalan Basuki Rahmat pada hari Minggu, Senin, Rabu, Jumat dan Sabtu. Emisi CO₂ kendaraan bermotor yang terdapat di Jalan Basuki Rahmat dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Jumlah Emisi CO₂ Kendaraan Bermotor di Jalan Basuki Rahmat

Hari	Sepeda Motor		Sedan/ Jeep	Mobil Keluarg a/ MPV	Pick-up	Bis		Truk	Jumlah
	Sedang	Besar				Sedang	Besar		
	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)				(kgCO ₂)	(kgCO ₂)		
Minggu	136,000	7,040	16,847	153,748	69,230	54,972	11,160	168,795	617,792
Senin	185,500	21,472	25,766	294,780	96,600	53,954	13,950	168,795	860,817
Rabu	161,750	26,400	19,820	268,192	90,160	60,062	9,765	132,525	768,674
Jumat	194,250	21,120	24,775	216,172	81,305	60,062	6,975	142,290	746,949
Sabtu	190,500	17,952	10,901	241,604	99,820	75,332	9,765	182,745	828,619
Rata-rata emisi CO ₂ harian (kgCO ₂ /hari)									765,743
Emisi CO ₂ tahunan (kgCO ₂ /tahun)									279.496, 100

Berdasarkan tabel 5, jumlah emisi CO₂ kendaraan bermotor yang terdapat di Jalan Basuki Rahmat bervariasi antara 617,792 kgCO₂/hari hingga 860,817 kgCO₂/hari. Jumlah emisi CO₂ kendaraan bermotor yang terendah terjadi pada hari Minggu (hari libur), sedangkan jumlah emisi CO₂ kendaraan bermotor yang tertinggi terjadi pada hari Senin (hari sibuk awal pekan).

Pada hari Minggu, emisi CO₂ kendaraan bermotor didominasi oleh emisi CO₂ truk (6600 cc) sebesar 168,795 kgCO₂/hari (27,32 % dari total emisi CO₂ pada hari Minggu). Meskipun jumlah truk (6600 cc) yang melintas tidak sebanyak pada hari Sabtu, dominasi emisi CO₂ tersebut disebabkan karena truk (6600 cc) mengeluarkan emisi CO₂ yang tertinggi (1,395 kgCO₂) jika dibandingkan dengan jenis kendaraan lainnya. Emisi CO₂ truk (6600 cc) tersebut, sebagian besar berasal dari emisi CO₂ dalam posisi stasioner (*idle*) sebesar 0,992 kgCO₂ (71,11 % dari total emisi CO₂ truk), karena kapasitas silinder mesin truk yang tergolong besar dan durasi mesin hidup dalam posisi stasioner yang tergolong lama (2,67 menit).

Pada hari Senin, emisi CO₂ kendaraan bermotor didominasi oleh emisi CO₂ mobil keluarga/ MPV (1.400 – 2.000 cc) sebesar 294,780 kgCO₂/hari (34,24 % dari total emisi CO₂ pada hari Senin). Hal ini terjadi karena pada hari Senin, jumlah pengguna mobil keluarga/ MPV (1.400 – 2.000 cc) lebih banyak daripada hari lainnya. Pengguna mobil keluarga/ MPV (1.400 – 2.000 cc) tersebut didominasi oleh anak sekolah dan pekerja yang memulai aktivitasnya di awal pekan.

Berdasarkan tabel 5 pula, dapat diketahui bahwa rata-rata emisi CO₂ kendaraan bermotor yang terdapat di Jalan Basuki Rahmat sebesar 765,743 kgCO₂/hari, sehingga jumlah emisi CO₂ kendaraan bermotor di Jalan Basuki Rahmat dalam setahun adalah 279.496,100 kgCO₂ atau 279,496 MgCO₂.

Rekomendasi Pengelolaan Transportasi Jalan Basuki Rahmat

Optimalisasi Konsumsi BBM Kendaraan Bermotor

Konsumsi BBM suatu kendaraan bermotor dipengaruhi oleh jumlah konsumsi BBM pada mesin dan durasi penggunaan kendaraan bermotor. Berdasarkan hal tersebut, rekomendasi yang dapat diajukan untuk mengoptimalkan konsumsi BBM kendaraan bermotor, adalah:

1. Meningkatkan efisiensi konsumsi BBM pada mesin kendaraan bermotor

Konsumsi BBM tergantung dari kondisi mesin kendaraan bermotor. Semakin baik kondisi mesin, maka proses pembakarannya semakin sempurna, sehingga dapat menghasilkan tenaga gerak yang maksimal. Namun demikian, kesempurnaan proses pembakaran juga

tergantung dari jenis dan kualitas BBM serta bahan *additive* yang digunakan. Efisiensi konsumsi BBM dapat ditunjang dengan penggunaan teknologi yang dapat mengoptimalkan pasokan BBM ke ruang bakar, atau teknologi yang terkait dengan proses pembakaran di ruang bakar.

2. Mengoptimalkan kapasitas mesin kendaraan bermotor

Konsumsi BBM juga tergantung dari kapasitas mesin. Semakin tinggi kapasitas mesin, semakin tinggi pula konsumsi BBM-nya. Oleh karena itu, diperlukan inovasi-inovasi baru agar dapat dihasilkan mesin berkapasitas kecil yang hemat energi, tetapi menghasilkan tenaga yang cukup besar.

3. Meminimalkan terjadinya *idle time*

Idle time adalah waktu kendaraan bermotor dalam kondisi mesin hidup, tetapi kecepatannya hanya 0 – 10 km/jam, khususnya pada saat menunggu nyala hijau pada 3 (tiga) lampu APILL (Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas) di Jalan Basuki Rahmat. Jika *idle time* dapat diminimalkan, maka konsumsi BBM juga dapat dihemat.

Minimalisasi Emisi Kendaraan Bermotor

Rekomendasi untuk mengurangi emisi kendaraan bermotor, adalah:

1. Pengendalian emisi kendaraan bermotor, dapat dilakukan dengan cara:
 - a. Memperketat ambang batas dan kontrol emisi kendaraan bermotor.
 - b. Mengefektifkan sistem Pengujian Kendaraan Bermotor/ PKB (kelaikan jalan dan persyaratan teknis kendaraan umum), melalui penerapan mekanisme pengawasan, pemantauan dan evaluasi kinerja PKB secara konsisten.
 - c. Pengujian kendaraan bermotor tipe baru sesuai standar EURO-2.
 - d. Perawatan, pengembangan dan penggunaan teknologi yang dapat mereduksi emisi kendaraan bermotor.
 - e. Pelaksanaan sistem disinsentif dengan penambahan nilai pajak untuk membatasi jumlah kendaraan bermotor penghasil emisi tinggi, dan sistem insentif dengan pengurangan nilai pajak untuk kendaraan bermotor emisi rendah.

2. Penyediaan bahan bakar yang ramah lingkungan

Kualitas bahan bakar merupakan salah satu komponen penting untuk meminimalkan emisi kendaraan bermotor. Kualitas bahan bakar yang baik, misalnya pertalite tanpa timbal, solar bersulfur rendah, biodiesel dan BBG dapat mengurangi emisi kendaraan bermotor. Semakin baik kualitas bahan bakar, maka semakin sedikit pula emisi yang dikeluarkan dari proses pembakarannya.

3. Pembatasan usia kendaraan. Umur efisien dari mobil adalah 10 tahun, sedangkan umur efisien dari sepeda motor adalah 5 tahun.

Memperbaiki Perilaku Berkendara (*Driving Behaviour*)

Perilaku pengendara yang kurang benar dalam mengemudikan kendaraan bermotornya sangat mempengaruhi jumlah konsumsi BBM. Perilaku pengendara tersebut, misalnya penggunaan gigi persneling yang tidak sesuai dengan kecepatan yang direkomendasikan, mengemudikan kendaraan bermotor dengan kejutan dan menyentak pedal gas. Perilaku pengendara tersebut apabila tidak diikuti dengan perawatan kendaraan yang baik, akan mengeluarkan emisi yang tinggi.

Berdasarkan hal tersebut, rekomendasi yang dapat diajukan untuk memperbaiki perilaku berkendara, adalah memperbaiki/ meningkatkan disiplin pengendara, salah satunya dengan mengurangi variasi kecepatan ketika berkendara di jalan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan. Pertama, emisi CO₂ setiap jenis kendaraan bermotor di Jalan Basuki Rahmat (kecuali sepeda motor) didominasi oleh emisi CO₂ pada posisi stasioner. Hal ini terjadi karena jumlah BBM yang dibakar pada posisi stasioner lebih banyak daripada ketika bergerak. Semakin banyak BBM yang dibakar, maka emisi CO₂ yang dikeluarkan juga semakin banyak. Posisi stasioner terjadi ketika kendaraan sedang berhenti di APILL atau saat menaikkan dan/ atau menurunkan penumpang dan/ atau barang di titik-titik lokasi sepanjang Jalan Basuki Rahmat.

Kedua, jumlah unit setiap jenis kendaraan bermotor yang melintas di Jalan Basuki Rahmat bervariasi antara 983 unit/hari hingga 1.388 unit/hari. Jumlah unit kendaraan bermotor yang terendah terjadi pada hari Minggu (hari libur), sedangkan jumlah unit kendaraan bermotor yang tertinggi terjadi pada hari Senin (hari sibuk awal pekan). Pada hari Senin, jumlah pengguna jalan khususnya anak sekolah dan pekerja lebih banyak jika dibandingkan dengan hari lainnya, sehingga jumlah unit kendaraan pribadi yang digunakan dan kendaraan umum yang dioperasikan menjadi lebih banyak pula.

Kendaraan bermotor yang melintas di Jalan Basuki Rahmat didominasi oleh sepeda motor sedang (125 cc). Dominasi jumlah sepeda motor sedang (125 cc) yang terendah terjadi pada hari Minggu, sedangkan dominasi jumlah sepeda motor sedang (125 cc) yang tertinggi terjadi pada hari Jumat. Pada hari Jumat, jam istirahat bagi anak sekolah dan pekerja lebih panjang daripada hari lainnya, sehingga menyebabkan penggunaan sepeda motor sedang (125 cc) di Jalan Basuki Rahmat menjadi meningkat.

Ketiga, jumlah emisi CO₂ kendaraan bermotor yang terdapat di Jalan Basuki Rahmat bervariasi antara 617,792 kgCO₂/hari hingga 860,817 kgCO₂/hari. Jumlah emisi CO₂ kendaraan bermotor yang terendah terjadi pada hari Minggu (hari libur), sedangkan jumlah emisi CO₂ kendaraan bermotor yang tertinggi terjadi pada hari Senin (hari sibuk awal pekan). Pada hari Minggu, emisi CO₂ kendaraan bermotor didominasi oleh emisi CO₂ truk (6600 cc). Meskipun jumlah truk (6600 cc) yang melintas tidak sebanyak pada hari Sabtu, dominasi emisi CO₂ tersebut disebabkan karena truk (6600 cc) mengeluarkan emisi CO₂ yang tertinggi jika dibandingkan dengan jenis kendaraan lainnya. Emisi CO₂ truk (6600 cc) tersebut, sebagian besar berasal dari emisi CO₂ dalam posisi stasioner (*idle*) karena kapasitas silinder mesin truk yang tergolong besar dan durasi mesin hidup dalam posisi stasioner yang tergolong lama.

Pada hari Senin, emisi CO₂ kendaraan bermotor didominasi oleh emisi CO₂ mobil keluarga/ MPV (1.400 – 2.000 cc), karena jumlah pengguna mobil keluarga/ MPV (1.400 – 2.000 cc) lebih banyak daripada hari lainnya. Pengguna mobil keluarga/ MPV (1.400 – 2.000 cc) tersebut didominasi oleh anak sekolah dan pekerja yang memulai aktivitasnya di awal pekan. Rata-rata emisi CO₂ kendaraan bermotor yang terdapat di Jalan Basuki Rahmat sebesar 765,743 kgCO₂/hari, sehingga jumlah emisi CO₂ kendaraan bermotor di Jalan Basuki Rahmat dalam setahun adalah 279.496,100 kgCO₂ atau 279,496 MgCO₂.

Berdasarkan kesimpulan di atas, masyarakat bersama Pemerintah Kabupaten Bojonegoro melalui Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Perhubungan dan dinas terkait lainnya, sebaiknya gencar melakukan sosialisasi optimalisasi konsumsi BBM kendaraan bermotor, melalui peningkatan efisiensi konsumsi BBM pada mesin kendaraan bermotor, pengoptimalan kapasitas mesin kendaraan bermotor dan meminimalkan terjadinya *idle time*. Selain itu, juga

perlu diadakan sosialisasi untuk mengurangi emisi kendaraan bermotor, melalui pengendalian emisi kendaraan bermotor, penyediaan bahan bakar yang ramah lingkungan, dan pembatasan usia kendaraan. Terakhir, Pemerintah Kabupaten Bojonegoro perlu mengadakan sosialisasi peningkatan perilaku berkendara (*driving behaviour*) melalui perbaikan disiplin pengendara, salah satunya dengan cara mengurangi variasi kecepatan ketika berkendara di jalan.

REFERENSI

- Alongi, D. M. (2012). Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management*, 3(3), 313–322.
- Ambarsari, D. N., Sari, K. E., dan Maulid, C. (2019). Emisi CO₂ Kendaraan Bermotor Kawasan Alun-Alun Kota Batu. *Planning for Urban Region and Environment*, 8(1), 183-194.
- Fardiaz, S. (1992) Polusi Air dan Udara. Yogyakarta: Penerbit Kanisius. 147.
- Hairiah, K. dan Rahayu, S. (2007). Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. *World Agroforestry Centre*. 77.
- Hairiah, K. dan Rahayu, S. (2007). Petunjuk Praktis Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. Bogor: World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Unibraw, Indonesia. 17, 19, 28, 29, 30, 47.
- Heriyanto, N. M., dan Samsudin, I. (2019). Struktur Tegakan dan Stok Karbon di Ruang Terbuka Hijau PT Toyota Motor Manufacturing di Sunter dan Karawang. *Buletin Kebun Raya*, 22(2), 59–66.
- Iqbal, M., Sasmita, A., Andrio, D. (2017). Prediksi Emisi Karbon Dioksida Dari Kegiatan Transportasi Di Kecamatan Bukit Raya Kota Pekanbaru. *JOM FTEKNIK*, 4(2), 1-3.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2024). Transportasi Umum Massal Indonesia Menuju Zero Emission.
- Nugraheni, D. S., Putri, R. A., Rini, E. F. (2018). Kemampuan Tutupan Vegetasi RTH Dalam Menyerap Emisi CO₂ Sektor Transportasi di Kota Surakarta. *REGION Jurnal Pembangunan Wilayah dan Perencanaan Partisipatif*, 13(2), 182-198.
- Purnomoasri, R. A. D., Yuono, T., Sumina, Utama, F. D., L. (2023). Analisis Emisi CO dan CO₂ pada Simpang Bersinyal Bejen Kabupaten Karanganyar. *Journal of Tropical Environmental Research*, 25(1), 24–33.
- Rahendaputri, C. S., Maria, M., Fausia, R. N. (2020). Kajian Beban Emisi Pencemar Udara (NO_x, CO, HC, PM₁₀, SO₂, CO₂) Sektor Transportasi Darat di Lingkungan Institut Teknologi Kalimantan Berdasarkan Jam Sibuk dengan Metode TIER 2. 59-70.
- Retnowaty, S. F., Saputri, O., Elsie, Wahyu. (2014). Analisa Laju Pertumbuhan Emisi CO₂ Kota Pekanbaru Dengan Menggunakan Powersim. *Jurnal Photon*, 4(2), 59-66.
- Rulianti, F., Devi, R., Mela, R., Mulyadi, dan Hidayat, M. (2018). Estimasi Karbon (Estimasi Stok Karbon) pada Pohon di Kawasan Hutan Primer Pegunungan Deudap Aceh Besar. *Prosiding Seminar Nasional Biotik 2018*, 246–258.
- Saadah, N. (2002). Gangguan Kenyamanan Lingkungan Beberapa Terminal di DIY Oleh Tingkat Pencemaran Karbondioksida dan Hubungannya Dengan Kenaikan Suhu. Yogyakarta: Tesis. Universitas Gadjah Mada.
- Sastrawijaya, A. T. (2009). Pencemaran Lingkungan. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta. 202.
- Tuah, N., Sulaeman, R., dan Yoza, D. (2017). Penghitungan Biomassa dan Karbon di Atas Permukaan Tanah di Hutan Larangan Adat Rumbio Kabupaten Kampar. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Pertanian Universitas Riau*, 4(1), 1–10.
- Wardhana, W. A. (2004). Dampak Pencemaran Lingkungan (Edisi Revisi). Yogyakarta: Penerbit Andi. 36.