

POTENSI EMISI CO₂ DARI KENDARAAN BERMOTOR DI KAWASAN UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

CO₂ EMISSION POTENTIAL FROM MOTOR VEHICLES IN THE AREA OF UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Zepanya Gladis Tabita Siregar^{1*}, Rizda Amalia Putri², Mukhlis Abdullatif³, Revieta Noor Fitri⁴,
Rini Juita Sianipar⁵, Trida Ridho Fariz⁶, Abdul Jabbar⁷

^{1,2,3,4,6,7}Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Negeri Semarang

⁵Program Studi Kimia, Universitas Sumatera Utara

¹Email corresponding: zepanyagladis23@students.unnes.ac.id

²Email: rizdaamaliaputri@students.unnes.ac.id

³Email: mukhlisabdullatif@students.ac.id

⁴Email: revietafr@student.unnes.ac.id

⁵Email: rini_sianipar6@students.usu.ac.id

⁶Email: trida.ridho.fariz@mail.unnes.ac.id

⁷Email: abduljabbar@mail.unnes.ac.id

Cara Sitasi : Z. G. T. Siregar, R. A. Putri, M. Abdullatif, R. N. Fitri, R. J. Sianipar, T. R. Fariz, and A. Jabbar, "Potensi emisi CO₂ dari kendaraan bermotor di Kawasan Universitas Negeri Semarang," *Kurvatek*, vol. 8, no. 1, pp. 55-62, 2023. doi: 10.33579/krvtk.v8i1.4017 [Online].

Abstrak — Pencemaran udara menjadiproblematika yang terus terjadi setiap tahunnya. Kendaraan bermotor saat ini merupakan penyumbang pencemaran terbesar di Indonesia dikarenakan adanya lonjakan yang kian pesat dari jumlah kendaraan bermotor dalam sepuluh tahun terakhir, lonjakan ini terjadi khususnya pada sepeda motor lonjakan 30% yang terdistribusi 70% di area perkotaan. Kendaraan bermotor sendiri merupakan salah satu sumber dari pencemaran udara yang menghasilkan emisi CO, sekitar 40-50% juga menghasilkan HC dan NO_x. Selain itu, kendaraan bermotor juga menghasilkan partikulat serta SO₂ tetapi kandungannya tidak sebesar kandungan CO, HC dan NO_x. Oleh karena itu, diperlukan pemantauan kualitas udara berupa pemantauan emisi untuk mengestimasi emisi CO₂. Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data primer dengan pengamatan kendaraan secara langsung dan untuk pengumpulan data sekunder dilakukan secara studi pustaka serta dokumentasi. Analisis data dilakukan dengan perhitungan potensi emisi CO₂. Total potensi emisi CO₂ di Jalan Taman Siswa, sekarang berdasarkan perhitungan langsung adalah sebesar 125.868,88282 g.30 menit⁻¹.km⁻¹. Jenis kendaraan di sepanjang Jalan Taman Siswa, Sekaran didominasi oleh kendaraan pribadi.

Kata kunci: Pencemaran udara, Emisi CO₂, Kendaraan bermotor, Kawasan pendidikan

Abstract — Air pollution is a problem that continues to occur every year. Motorized vehicles are currently the largest contributor to pollution in Indonesia because in the last 10 years there has been a rapid increase in the number of motorized vehicles, especially motorcycles with a 30% jump and 70% distribution in urban areas. Motorized vehicles are a source of air pollution that produces CO emissions, around 40-50% also produce HC and NO_x. In addition, motorized vehicles also produce particulate matter and SO₂, but not as much as CO, HC and NO_x. Therefore, it is necessary to monitor air quality in the form of emission monitoring to estimate CO₂ emissions. The research method used is descriptive quantitative through primary data collection by observation and secondary data collection by literature study. Data analysis was carried out by calculating the CO₂ emission potential. The total CO₂ emission potential on Taman Siswa Street, Sekaran based on direct calculations is 125,868.88282 g.30 minutes⁻¹.km⁻¹. Types of vehicles along Taman Siswa Street, Sekaran are dominated by private vehicles.

Keywords: Air pollution, CO₂ emissions, Motorized vehicles, Taman Siswa Street

I. PENDAHULUAN

Pencemaran udara merupakan sebuah fenomena yang dapat memberikan dampak buruk terhadap kesehatan maupun kegiatan sosial masyarakat. Pencemaran udara telah menjadi persoalan serius yang sedang dihadapi oleh Indonesia. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya, zat energi, dan/ atau komponen lain ke udara

ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya [1]. Pencemaran udara menjadi problematika yang terus terjadi setiap tahunnya termasuk di Indonesia [2][3]. Kendaraan bermotor merupakan penyumbang pencemaran udara terbesar di Indonesia, sebab jumlah kendaraan bermotor mengalami lonjakan sebesar 30% hingga 70% [4]. Ini membuat pencemaran udara akan semakin meningkat mengingat, kendaraan bermotor menghasilkan pencemaran udara berupa CO, HC, NO_x dan CO₂ [5][6][7][8].

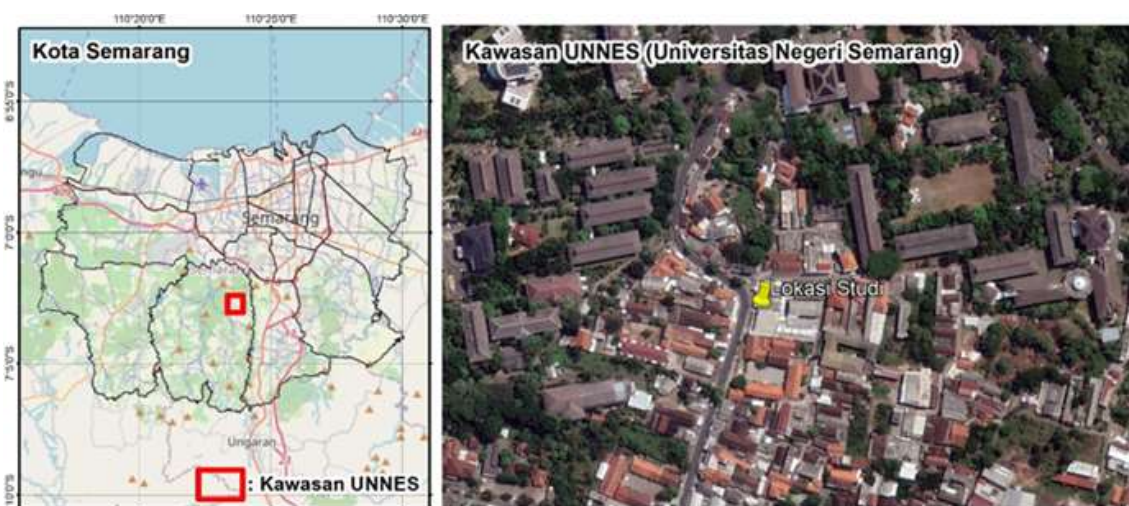
Pencemaran udara menjadi masalah serius karena memberikan dampak negatif [6]. Dampak negatif tersebut seperti menyebabkan terganggunya kesehatan manusia seperti gangguan pernapasan, jantung, kanker dan kerusakan sistem ginjal [9][2][10][3]. Selain berdampak langsung kepada kesehatan manusia pencemaran udara juga memiliki dampak kepada kerusakan lingkungan seperti perubahan iklim dan hujan asam, bahkan kerugian ekonomi [11][12][2][13][14]. Ini menjadikan perlunya dilakukan pengendalian pencemaran udara terutama yang berasal dari aktivitas kendaraan bermotor.

Guna pengendalian pencemaran udara dari kendaraan bermotor maka perlu dilakukan pemantauan kualitas udara, baik berupa pemantauan ambien dan emisi [15][16][17]. Pemantauan emisi biasanya mencakup identifikasi sumber, potensi emisi dari setiap sumber, dan informasi lingkungan. Mengestimasi emisi CO₂ diperlukan untuk menilai risiko lingkungan skala berkala. Pemantauan emisi sektor transportasi dapat menggunakan metode perhitungan jumlah kendaraan bermotor dan nantinya hasil pemantauan emisi dikelola dan disajikan dalam persentase agar mudah dibaca dan dipahami [18][19]. Berdasarkan hal tersebut penelitian bertujuan untuk mengetahui tingkat pencemaran udara yang disebabkan oleh emisi buangan kendaraan bermotor yang dilakukan dengan mengestimasi nilai CO₂, dengan lokasi yang dipilih adalah kawasan Universitas Negeri Semarang, mengingat banyaknya kendaraan yang berlalu lalang serta mempunyai tingkat kepadatan yang cukup tinggi pada jam tertentu. Selain itu, kajian pemantauan kualitas udara di kawasan pendidikan berguna untuk penyusunan kebijakan terkait pembelajaran dan tingkat kenyamanan [20][21].

II. METODE PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini, terlebih dahulu dilakukan klasifikasi jenis kendaraan bermotor. Dilanjutkan dengan melakukan pencarian literatur mengenai faktor emisi CO₂. Setelah dilakukan penelusuran pustaka, pengumpulan data yang dilakukan yaitu dengan menggunakan data primer serta data sekunder terhadap emisi gas CO₂ di Jalan Taman Siswa yang merupakan jalan terpadat di kawasan Universitas Negeri Semarang (Gambar 1). Metode observasi langsung dan tinjauan pustaka digunakan untuk mengumpulkan data.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

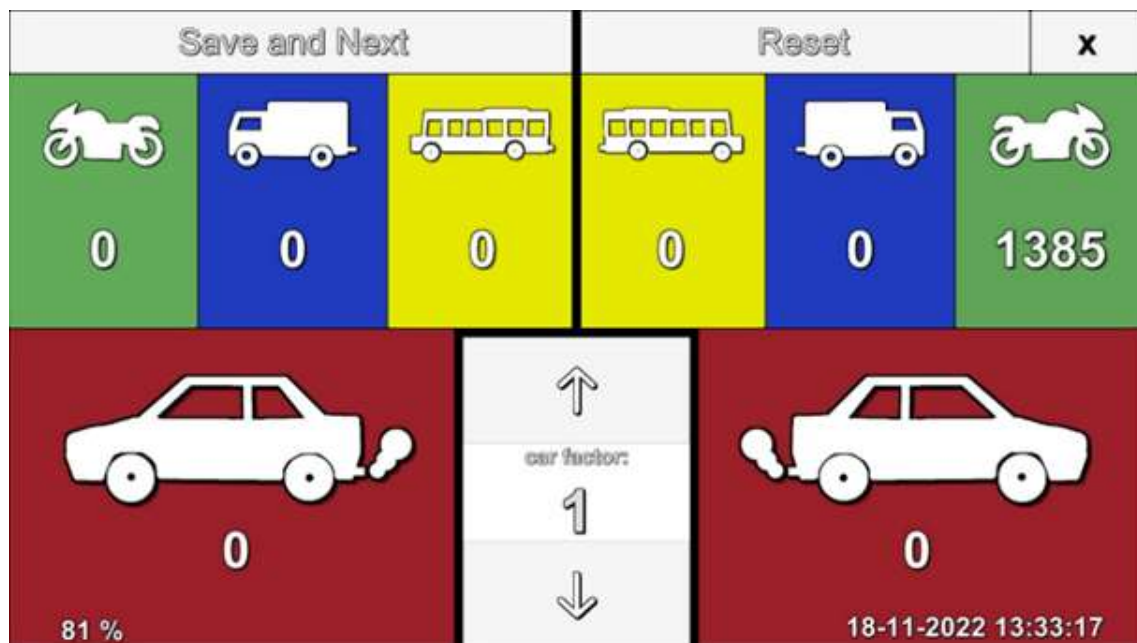
B. Sumber Data

1. Data primer

Pengumpulan data primer dalam penelitian ini meliputi pengamatan terhadap kendaraan bermotor dari masing-masing jenis kendaraan di Jalan Taman Siswa. Pengamatan dilakukan selama 30 menit (Direct Counting) untuk setiap kendaraan yang melintas di Jalan Taman Siswa dengan pengambilan data dilakukan

di tiga waktu yang berbeda dengan kepadatan lalu lintas yang cukup tinggi yaitu pagi hari pukul 09.00 WIB, siang hari pukul 13.00 WIB dan sore hari 16.00 WIB. Pengumpulan data ditunjang dengan counter digital yaitu dengan menggunakan aplikasi Traffic Counter yang dapat langsung menghitung jumlah kendaraan bermotor (Gambar 2). Aplikasi *traffic counter* merupakan alat bantu hitung jumlah kendaraan yang melintasi suatu jalan, aplikasi ini dilengkapi dengan fitur *timer* dan tanggal pelaksanaan, sehingga dapat memudahkan peneliti untuk menghitung jumlah kendaraan yang lewat. Dengan menggunakan aplikasi ini, peneliti menjadi mengetahui seberapa banyak kendaraan yang lewat, sehingga dapat menghitung potensi CO₂ yang akan dihasilkan dengan menggunakan rumus. Adapun lokasi pengambilan data primer berada di Jalan Taman Siswa tepatnya di depan Toko Mantu Lanang dengan koordinat -7.050964,110.395504 (Gambar 1).

Pengumpulan data ditunjang dengan counter digital yaitu dengan menggunakan aplikasi Traffic Counter yang dapat langsung menghitung jumlah kendaraan bermotor (Gambar 2). Aplikasi *traffic counter* merupakan alat bantu hitung jumlah kendaraan yang melintasi suatu jalan, aplikasi ini dilengkapi dengan fitur *timer* dan tanggal pelaksanaan, sehingga dapat memudahkan peneliti untuk menghitung jumlah kendaraan yang lewat. Dengan menggunakan aplikasi ini, peneliti menjadi mengetahui seberapa banyak kendaraan yang lewat, sehingga dapat menghitung potensi CO₂ yang akan dihasilkan dengan menggunakan rumus. Adapun lokasi pengambilan data primer berada di Jalan Taman Siswa tepatnya di depan Toko Mantu Lanang dengan koordinat -7.050964,110.395504 (Gambar 1).



Gambar 2. Traffic counter (alat hitung digital)

2. Data sekunder

Pengumpulan data sekunder melalui dokumentasi serta studi pustaka. Metode dokumentasi digunakan untuk mengetahui berapa banyak CO₂ yang dihasilkan oleh masing-masing jenis kendaraan bermotor. Berikut adalah data jenis kendaraan yang diamati yang dikategorikan dengan huruf A dan B.

Tabel 1. Kategori kendaraan bermotor yang diamati

Jenis Kendaraan Bermotor	Kategori
Kendaraan roda dua	A
Kendaraan roda empat atau lebih	B

C. Analisis Data

Dalam penelitian ini perhitungan potensi emisi CO₂ digunakan formula sebagai berikut [18]. Persamaan perhitungan potensi emisi gas CO₂:

$$E = n \times EF \times K \tag{1}$$

Keterangan :

E	= Jumlah emisi (g.30 menit ⁻¹ .km ⁻¹)
n	= Jumlah kendaraan (kend.30 menit ⁻¹)
EF	= Faktor emisi (g.liter ⁻¹)
K	= konsumsi bahan bakar (liter.km ⁻¹)

Dalam perhitungan potensi emisi CO₂ diperlukan data konsumsi bahan bakar, untuk memperoleh data tersebut diperlukan data jenis kendaraan dan konsumsi bahan bakarnya. Data jenis kendaraan didapatkan dari hasil survei. Sedangkan, untuk memperoleh data konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis kendaraannya digunakan metode dokumentasi. Hasil survei jenis kendaraan yang didapatkan dikali dengan data konsumsi bahan bakar dan dirata-ratakan, dari data yang diperoleh dalam satuan km.liter⁻¹, kemudian diubah menjadi satuan liter.km⁻¹. Berikut adalah tabel konsumsi bahan bakar menurut jenis kendaraan.

Tabel 2. Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Bermotor

Jenis Kendaraan	Konsumsi BBM (km.liter ⁻¹)	Konsumsi BBM (liter.km ⁻¹)
Kendaraan roda dua	5.795.439.093	0.017403
Kendaraan roda empat atau lebih	1.176.275	0.068953

III. HASIL DAN DISKUSI

Pencemaran udara dapat disebabkan berbagai faktor, salah satunya disebabkan oleh banyaknya kandungan CO₂ yang ada di udara. Salah satu sumber pencemaran udara yang menghasilkan emisi CO₂ adalah kendaraan bermotor [6]. Karena setiap tahunnya kendaraan bermotor jumlahnya terus meningkat hal ini berkontribusi pada peningkatan emisi yang dapat menyebabkan pencemaran udara. Kendaraan bermotor yang terus bertambah akan meningkatkan pemakaian bahan bakar minyak oleh masyarakat yang mana dapat membuat polusi udara yang berasal dari emisi buang kendaraan bermotor tidak dapat dipungkiri [22]. Peningkatan polusi udara dalam hal ini CO₂, sangat dipengaruhi oleh penggunaan kendaraan bermotor. Semakin tingginya tingkat penggunaan kendaraan bermotor maka semakin tinggi pula emisi gas CO₂.

A. Jumlah Kendaraan

Berdasarkan survei di jalan Taman Siswa yang dilakukan selama 30 menit dalam tiga waktu yang berbeda, jumlah kendaraan bermotor terbanyak ada pada pukul 13.00 WIB dengan kendaraan roda dua berjumlah 2.393 dan kendaraan roda empat atau lebih berjumlah 153. Rata-rata kendaraan yang melintasi jalan Taman Siswa per 30 menit yaitu untuk kendaraan roda dua berjumlah 2.302 dan untuk kendaraan roda empat atau lebih berjumlah 122.

Tabel 3. Jumlah Kendaraan Bermotor Selama 30 Menit di Jalan Taman Siswa

Jenis Kendaraan Bermotor	Waktu Pengambilan Sampel		
	09.00 WIB n (Kend.30 menit ⁻¹)	13.00 WIB n (Kend.30 menit ⁻¹)	16.00 WIB n (Kend.30 menit ⁻¹)
Kendaraan roda dua	2209	2393	2304
Kendaraan roda empat atau lebih	95	153	117

B. Perhitungan Emisi CO₂ dengan Faktor Emisi (E)

Perhitungan emisi CO₂ di jalan Taman Siswa membutuhkan data jumlah kendaraan.30 menit⁻¹ (n), Faktor emisi g.liter⁻¹ (EF), dan data konsumsi bahan bakar liter.km⁻¹ (K). Contoh perhitungan yang dilakukan yaitu pada pukul 09.00 jumlah kendaraan roda dua yang melintasi Jalan Taman Siswa adalah sebanyak 2209 kend.30 menit⁻¹, faktor emisi CO₂ untuk kendaraan berbahan bakar bensin/premium menurut IPCC 1996 sebesar 2.597,86 g.liter⁻¹, kemudian konsumsi bahan bakar jenis kendaraan roda dua adalah 0.017403 liter.km⁻¹. Sehingga potensi emisi CO₂ kendaraan roda dua pada pukul 09.00 WIB adalah:

$$\begin{aligned}
 E &= n \times EF \times K \\
 &= 2209 \text{ kend.30 menit}^{-1} \times 2.597,86 \text{ g.liter}^{-1} \times 0.017403 \text{ liter.km}^{-1} \\
 &= 99.870,1216942 \text{ g.30 menit}^{-1}.\text{km}^{-1}
 \end{aligned}$$

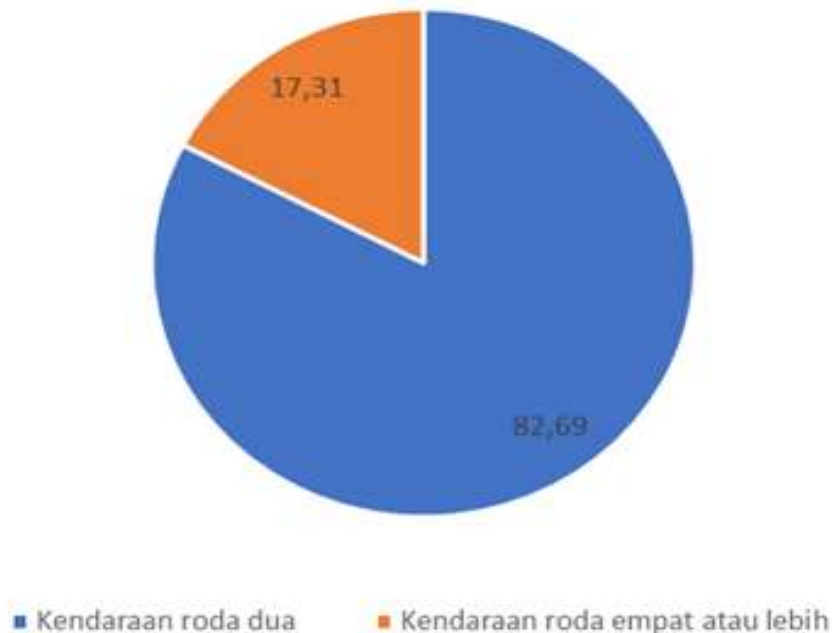
Hasil perhitungan menunjukkan jika kendaraan roda dua pada pukul 09.00 di jalan Taman Siswa memiliki potensi emisi CO₂ sebesar 99.870,1216942 g.30 menit⁻¹.km⁻¹. Dalam penelitian ini pengamatan terhadap sampel kendaraan tidak hanya dilakukan pada pukul 09.00 saja, melainkan ada waktu lain seperti pukul 13.00 WIB dan pada pukul 16.00 WIB. Adapun untuk perhitungan terhadap potensi emisi CO₂ untuk jenis kendaraan lainnya dan pada jam yang berbeda menggunakan persamaan yang sama adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Perhitungan potensi CO₂ di Jalan Taman Siswa

Jenis Kendaraan Bermotor	Pukul 09.00 WIB		Pukul 13.00 WIB		Pukul 16.00 WIB	
	Emisi CO ₂ Rata-rata (g.30 menit ⁻¹ .km ⁻¹)	(%)	Emisi CO ₂ Rata-rata (g.30 menit ⁻¹ .km ⁻¹)	(%)	Emisi CO ₂ Rata-rata (g.30 menit ⁻¹ .km ⁻¹)	(%)
Kendaraan roda dua	99.870,1216942	85,4	108.188,86428894	79,79	104.165,12466432	83,25
Kendaraan roda empat atau lebih	17.017,3728551	14,6	27.406,92680874	20,21	20.958,23814786	16,75
Total	116.887,494549	100	135.595,791098	100	125.123,362812	100

Tabel 5. Perhitungan potensi rata-rata CO₂ di Jalan Taman Siswa

Jenis Kendaraan Bermotor	Kategori	Emisi CO ₂ Rata-rata (g.30 menit ⁻¹ .km ⁻¹)	(%)
Kendaraan roda dua	A	104.074,70354915	82,69
Kendaraan roda empat atau lebih	B	21.794,179270567	17,31
Total		125.868,88282	100



Gambar 3. Presentase potensi emisi CO₂ di Jalan Taman Siswa

Berdasarkan hasil perhitungan diatas potensi emisi CO₂ di Jalan Taman Siswa dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Kendaraan kategori A pada pukul 09.00 mempunyai potensi emisi CO₂ sebesar 99.870,1216942 g.30 menit⁻¹.km⁻¹ atau sebesar 85,4% dari total potensi emisi CO₂. Sedangkan kendaraan dengan kategori B mempunyai potensi emisi CO₂ sebesar 17.017,3728551 g.30 menit⁻¹.km⁻¹ atau sebesar 14,6% dari total potensi emisi CO₂ di jalan Taman Siswa pada pukul 09.00.
2. Kendaraan kategori A pada pukul 13.00 memiliki potensi emisi CO₂ sebesar 108.188,86428894 g.30 menit⁻¹.km⁻¹ atau sebesar 79,79% dari total potensi emisi CO₂. Sedangkan kendaraan dengan kategori B pada pukul 13.00 mempunyai potensi emisi CO₂ sebesar 27.406,92680874 g.30 menit⁻¹.km⁻¹ atau sebesar 21,21% dari total potensi emisi CO₂ di jalan Taman Siswa pada pukul 13.00.
3. Kendaraan kategori A pada pukul 16.00 memiliki potensi emisi CO₂ sebesar 104.165,12466432 g.30 menit⁻¹.km⁻¹ atau sebesar 83,25% dari total potensi emisi CO₂. Sedangkan kendaraan dengan kategori B pada pukul 16.00 mempunyai potensi emisi CO₂ sebesar 20.958,23814786 g.30 menit⁻¹.km⁻¹ atau sebesar 16,75% dari total potensi emisi CO₂ di jalan Taman Siswa pada pukul 16.00.

Total potensi emisi CO₂ rata-rata di jalan Taman Siswa yaitu 125.868,88282 g.30 menit⁻¹.km⁻¹, dengan 82,29% potensi emisi CO₂ berasal dari kendaraan roda dua, nilai rata-rata potensi emisi CO₂ nya yaitu 104.074,70354915 g.30 menit⁻¹.km⁻¹ serta sisanya sebesar 17,31% berasal dari kendaraan roda empat atau lebih dengan nilai rata-rata potensi emisi CO₂ sebesar 21.794,179270567 g.30 menit⁻¹.km⁻¹. Apabila terjadi peningkatan penggunaan kendaraan bermotor di jalan tersebut maka emisi CO₂ juga akan mengalami peningkatan.

Data hasil estimasi potensi emisi CO₂ menggunakan jumlah kendaraan bermotor mungkin kurang representatif, tetapi sangat efisien dan efektif untuk kajian awal. Penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena tidak membedakan jenis kendaraan roda empat, dan tidak menghitung jenis kendaraan secara langsung. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan metode wawancara dalam pengambilan data primer yaitu yang mencakup data jenis-jenis kendaraan seperti pick up, truck, bus, serta mini bus, kemudian jumlah BBM yang dikonsumsi oleh kendaraan, konsumsi BBM per km tempuh serta tahun kendaraan [3]. Penelitian selanjutnya juga disarankan untuk mengetahui perawatan kendaraan dan kapasitas mesin karena bisa mempengaruhi jumlah emisi dan membedakan jenis konsumsi bahan bakar, selain itu juga perlu membahas mengenai strategi pengurangan emisi CO₂ [23][24][25].

IV. KESIMPULAN

Dari data perhitungan di atas dapat dijelaskan potensi emisi CO₂ yang berada di Jalan Taman Siswa, Sekaran pada tahun 2022 sebagai berikut:

1. Kendaraan bermotor kategori A atau kendaraan roda dua menghasilkan potensi CO₂ sebesar 104.074,70354915 g.30 menit⁻¹.km⁻¹ atau 82,29% dari total potensi emisi CO₂ di Jalan Taman Siswa, Sekaran.
2. Kendaraan bermotor kategori B atau kendaraan roda empat atau lebih menghasilkan potensi CO₂ sebesar 21.794,179270567 g.30 menit⁻¹.km⁻¹ atau 17,31% dari total potensi emisi CO₂ di Jalan Taman Siswa, Sekaran.

Total potensi emisi CO₂ di Jalan Taman Siswa, Sekaran berdasarkan perhitungan langsung sebesar 125.868,88282 g.30 menit⁻¹.km⁻¹. Jenis kendaraan di sepanjang Jalan Taman Siswa, Sekaran didominasi oleh kendaraan pribadi, namun kendaraan bermotor roda dua (sepeda motor) dengan bahan bakar bensin adalah kendaraan sebagai penyumbang emisi CO₂ terbanyak yang beroperasi di sepanjang Jalan Taman Siswa, Sekaran. Menjelang jam sibuk yaitu dimulai dari pukul 13.00 WIB adalah waktu terbanyak untuk penyebaran emisi CO₂ dari kendaraan bermotor yang turut mempengaruhi kualitas lingkungan dengan potensi emisi kendaraan roda dua yaitu sebesar 108.188,86428894 g.30 menit⁻¹.km⁻¹ (79,79%) dan kendaraan roda empat atau lebih sebesar 27.406,92680874 g.30 menit⁻¹.km⁻¹ (21,21%). Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa emisi CO₂ di Jalan Taman Siswa, Sekaran dipengaruhi oleh banyaknya volume kendaraan dan emisi faktor tiap jenis bahan bakar kendaraan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. P. Wardoyo, *Emisi partikulat kendaraan bermotor dan dampak kesehatan*, Universitas Brawijaya Press, 2016.
- [2] J. Abidin, F. Artauli Hasibuan, K. Kunci, P. Udara and D. Gauss, "Pengaruh dampak pencemaran udara terhadap kesehatan untuk menambah pemahaman masyarakat awam tentang bahaya dari polusi udara," *Pros. Semin. Nas. Fis. Univ. Riau IV*, no. September, pp. 1–7, 2019, [Online]. Available: <https://snf.fmipa.unri.ac.id/wpcontent/uploads/2019/09/18.-OFMI-3002.pdf>.

- [3] N. Nurdjanah, "Emisi CO₂ akibat kendaraan bermotor di Kota Denpasar," *J. Penelit. Transp. Darat*, vol. 16, no. 4, pp. 189–202, 2014.
- [4] I. Ismiyati, D. Marlita and D. Saidah, "Pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor," *J. Manaj. Transp. Logistik*, vol. 1, no. 3, p. 241, 2014, doi: 10.54324/j.mtl.v1i3.23.
- [5] E. G. Sari, M. Sofwan and others, "Carbon dioxide (CO₂) emissions due to motor vehicle movements in Pekanbaru City, Indonesia," *J. Geosci. Eng. Environ. Technol.*, vol. 6, no. 4, pp. 234–242, 2021.
- [6] D. Y. Damara, I. W. Wardhana and E. Sutrisno, "Analisis dampak kualitas udara karbon monoksida akibat kegiatan car free day menggunakan program Caline4 dan Surfer," *J. Tek. Lingkungan*, vol. 6, no. 1, pp. 1 – 14, 2017.
- [7] Y. Ruslinda, H. Gunawan, F. Goembira, and S. Wulandari, "Pengaruh jumlah kendaraan berbahan bakar bensin terhadap konsentrasi timbal (Pb) di udara ambien Jalan Raya Kota Padang," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Lingkungan*, II, p. 162, 2016.
- [8] K. Zhang and S. Batterman, "Air pollution and health risks due to vehicle traffic," *Sci. Total Environ.*, vol. 450, pp. 307–316, 2013.
- [9] K. A. Sanchez et al., "Urban policy interventions to reduce traffic emissions and traffic-related air pollution: Protocol for a systematic evidence map," *Environ. Int.*, vol. 142, p. 105826, 2020.
- [10] T. Xia, M. Nitschke, Y. Zhang, P. Shah, S. Crabb and A. Hansen, "Traffic-related air pollution and health co-benefits of alternative transport in Adelaide, South Australia," *Environ. Int.*, vol. 74, pp. 281–290, 2015.
- [11] A. P. Heriyanti, P. Purwanto, H. Purnaweni and T. R. Fariz, "Greenhouse gas emissions and biogas potential from livestock in rural Indonesia," *J. Pendidik. IPA Indones.*, vol. 11, no. 1, pp. 35–46, 2022.
- [12] H. E. Sadia, F. Jeba, M. Uddin, A. Salam and others, "Sensitivity study of plant species due to traffic emitted air pollutants (NO₂ and PM_{2.5}) during different seasons in Dhaka, Bangladesh," *SN Appl. Sci.*, vol. 1, no. 11, pp. 1–9, 2019.
- [13] L. Wang et al., "Taking action on air pollution control in the Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) region: progress, challenges and opportunities," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, no. 2, p. 306, 2018.
- [14] C. Gusnita, "Polusi udara kendaraan bermotor sebagai bentuk kejahatan tanpa korban," *Sisi Lain Realita*, vol. 1, no. 2, pp. 47–58, 2016.
- [15] T. V. Damayanti and R. E. Handriyono, "Monitoring kualitas udara ambien melalui stasiun pemantau kualitas udara Wonorejo, Kebonsari dan Tandes Kota Surabaya," *ENVITATS (Environmental Eng. J. ITATS)*, vol. 2, no. 1, pp. 11–18, 2022.
- [16] S. Sumarlin, W. Ndibale, L. Utu and K. Sari, "estimasi emisi kendaraan bermotor dan tampilan lumut kerak untuk memprediksi paparan traffic-related air pollution pada sekolah dasar di Kota Kendari," *J. Serambi Eng.*, vol. 6, no. 1, 2021.
- [17] M. B. Marinov, I. Topalov, E. Gieva and G. Nikolov, "Air quality monitoring in urban environments," in *2016 39th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, pp. 443–448, 2016.
- [18] Y. N. K. Sudarti, "Analisis potensi emisi CO₂ oleh berbagai jenis kendaraan bermotor di jalan raya kemantren kabupaten sidoarjo analysis of potential CO₂ emissions by various types of motorized vehicles on highway kemantren sidoarjo regency," *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, vol. 9, pp. 70–75, 2022.
- [19] F. D. Permatasari, S. Hadisusanto and E. Haryono, "Emisi CO₂ kendaraan bermotor periode kebijakan pembatasan sosial berskala besar (studi kasus: ruas jalan di Jakarta Pusat)," *Ecolab*, vol. 15, no. 1, pp. 31–44, 2021, doi: 10.20886/jklh.2021.15.1.31-44.
- [20] L. Z. A. Rahmawati, T. Hartanto, F. H. Tiaraningrum, S. D. Zulfani, A. Jabbar and T. R. Fariz, "Perbandingan kualitas udara dalam ruang gedung di FMIPA berdasarkan arah sinar matahari," in *Proceeding Seminar Nasional IPA, 2022*, pp. 134–141.
- [21] C. Stenson et al., "The impact of traffic-related air pollution on child and adolescent academic performance: a systematic review," *Environ. Int.*, vol. 155, p. 106696, 2021.
- [22] S. Syahrui and A. Ghofur, "Penggunaan kuningan sebagai bahan catalytic converter terhadap emisi gas buang dan performa mesin Suzuki Shogun Axelo 125," *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 4, no. 2, pp. 67–78, 2019.
- [23] D. Muziansyah, R. Sulistyorini and S. Sebayang, "Model emisi gas buangan kendaraan bermotor akibat aktivitas transportasi (studi kasus: terminal pasar bawah Ramayana Kota Bandar Lampung)," *Journal Rekayasa Sipil Dan Desain*, vol. 3, no. 1, pp. 57–70, 2015.
- [24] A. M. Sutrisno, H. S. Huboyo and E. Sutrisno, *Kajian prediksi beban emisi pencemar udara (Tsp, NO_x, SO₂, HC, dan CO) dan gas rumah kaca (CO₂, CH₄, dan N₂O) sektor transportasi darat di kota Surakarta dengan metode top down dan bottom up*, Diponegoro University.

- [25] Sofaniadi, Safrinal, P. Purwanto and B. Riyanto, "Potential For CO2 emissions in transportation sector and reduction strategies analysis related to greenhouse gas in Semarang," *Ecodevelopment*, vol. 4, no. 2, 2022.



©2023. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).