

ANALISIS PENGGUNAAN KENDARAAN *HYBRID* DAN KONVENSIONAL SEBAGAI UPAYA PENURUNAN EMISI LINGKUNGAN

I Komang Astawidya

Teknologi Otomotif

Politeknik Transportasi Darat Bali

komangastawidya1122@gmail.com

Luh Ade Giha Ayu Wijaya

Teknologi Otomotif

Politeknik Transportasi Darat Bali

wijaya.2201010@taruna.poltradabali.ac.id

I Made Wirahadi Dananjaya

Teknologi Otomotif

Politeknik Transportasi Darat Bali

dananjaya.2201007@taruna.poltradabali.ac.id

Rahmat Ahmad

Teknologi Otomotif

Politeknik Transportasi Darat Bali

rahmat@poltradabali.ac.id

Abstract

Increased awareness of the environmental impact of the transportation sector encourages the development of alternative vehicle technologies, such as hybrid vehicles. The purpose of this study is to analyze the effectiveness of hybrid vehicles compared to conventional vehicles in reducing CO₂ emissions during the daily use cycle. The research method uses a life cycle analysis approach to compare the carbon footprint of the two types of vehicles. Data was obtained through literature studies, direct measurement of emissions, and surveys of vehicle usage patterns. The results of this study show that hybrid vehicles produce lower CO₂ emissions than conventional vehicles during daily use, especially in urban traffic conditions. However, the production process of hybrid vehicles results in higher emissions. In conclusion, hybrid vehicles provide significant benefits in reducing long-term CO₂ emissions, although it is necessary to consider the environmental impact on the production phase. These findings can be an input for policymakers in designing sustainable transportation strategies and developing environmentally friendly vehicle technology.

Keywords : Emissions, Hybrid, Conventional, CO₂, life cycle

Abstrak

Peningkatan kesadaran akan dampak lingkungan dari sektor transportasi mendorong pengembangan teknologi kendaraan alternatif, seperti kendaraan hybrid. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis efektivitas kendaraan hybrid dibandingkan kendaraan konvensional dalam mengurangi emisi CO₂ selama siklus pemakaian sehari-hari. Metode penelitian menggunakan pendekatan analisis siklus hidup untuk membandingkan jejak karbon kedua jenis kendaraan. Data diperoleh melalui studi literatur, pengukuran langsung emisi, dan survei pola penggunaan kendaraan. Hasil dari penelitian ini kendaraan hybrid menghasilkan emisi CO₂ yang lebih rendah dibandingkan kendaraan konvensional selama penggunaan sehari-hari, terutama dalam kondisi lalu lintas perkotaan. Namun, proses produksi kendaraan hybrid menghasilkan emisi yang lebih tinggi. Kesimpulannya, kendaraan hybrid memberikan manfaat signifikan dalam mengurangi emisi CO₂ jangka panjang, meskipun perlu mempertimbangkan dampak lingkungan pada fase produksi. Temuan ini dapat menjadi masukan bagi pembuat kebijakan dalam merancang strategi transportasi berkelanjutan dan pengembangan teknologi kendaraan ramah lingkungan.

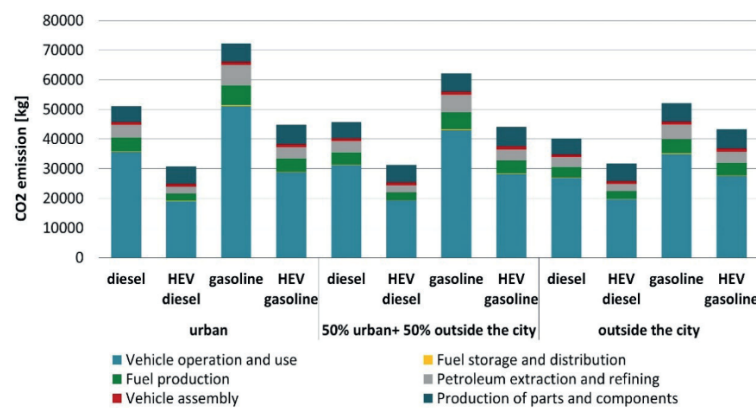
Kata Kunci : Emisi, Hybrid, Konvensional, CO₂, siklus pemakaian

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global telah menjadi salah satu tantangan terbesar yang dihadapi umat manusia di abad ke-21. Peningkatan suhu rata-rata bumi, mencairnya es di kutub, naiknya permukaan air laut, dan peristiwa cuaca ekstrem yang semakin sering terjadi merupakan bukti nyata dari dampak pemanasan global. Salah satu penyebab utama perubahan iklim ini adalah emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO₂), yang dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia.

Sektor transportasi merupakan salah satu kontributor utama emisi CO₂ global. Menurut data dari International Energy Agency (IEA), sektor transportasi menyumbang sekitar 24% dari total emisi CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil. Kendaraan bermotor konvensional yang menggunakan mesin pembakaran internal berbahan bakar bensin atau diesel menjadi sumber utama emisi CO₂ di sektor ini.

Dalam upaya mengurangi dampak negatif transportasi terhadap lingkungan, industri otomotif telah mengembangkan berbagai teknologi alternatif, salah satunya adalah kendaraan *hybrid*. Kendaraan *hybrid* menggabungkan penggunaan mesin pembakaran internal konvensional dengan motor listrik, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi emisi. Namun, pertanyaan yang muncul adalah seberapa efektif kendaraan *hybrid* dalam mengurangi emisi CO₂ dibandingkan dengan kendaraan konvensional dalam siklus pemakaian sehari-hari.



Gambar 1. Emisi CO₂ selama siklus hidup kendaraan

Untuk memahami perbedaan antara kendaraan *hybrid* dan konvensional dalam konteks emisi CO₂, penting untuk terlebih dahulu memahami prinsip kerja dari kedua jenis kendaraan tersebut. Kendaraan konvensional menggunakan mesin pembakaran internal (Internal Combustion Engine / ICE) yang mengonversi energi kimia dari bahan bakar fosil (bensin atau diesel) menjadi energi mekanik untuk menggerakkan kendaraan. Proses pembakaran ini menghasilkan gas buang yang mengandung CO₂ dan polutan lainnya. Efisiensi mesin pembakaran internal umumnya berkisar antara 20-35%, yang berarti sebagian besar energi bahan bakar terbuang sebagai panas.

Sari & Widayanti (2023) mengungkapkan keunggulan utama kendaraan *hybrid* adalah kemampuannya untuk mengoptimalkan penggunaan energi. Pada kecepatan rendah atau saat berhenti, kendaraan dapat beroperasi hanya dengan motor listrik, sementara pada kecepatan tinggi atau saat membutuhkan tenaga lebih, mesin bensin akan aktif. Sistem ini memungkinkan mesin bensin beroperasi pada titik efisiensi optimalnya, mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi CO₂.

Untuk membandingkan emisi CO₂ antara kendaraan *hybrid* dan konvensional, kita perlu mempertimbangkan beberapa faktor seperti emisi langsung, emisi tidak langsung, dan siklus hidup kendaraan. Emisi langsung mengacu pada CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar selama pengoperasian kendaraan. Kendaraan *hybrid* umumnya menghasilkan emisi langsung yang lebih rendah karena konsumsi bahan bakar yang lebih efisien. Emisi tidak langsung mencakup CO₂ yang dihasilkan selama proses produksi kendaraan, termasuk pembuatan baterai untuk kendaraan *hybrid*, serta emisi yang terkait dengan produksi dan distribusi bahan bakar atau listrik yang digunakan. Analisis siklus hidup mempertimbangkan emisi total dari produksi, penggunaan, hingga pembuangan kendaraan. Perkembangan teknologi terus meningkatkan efisiensi kendaraan *hybrid*, memperluas jangkauan operasi listriknya dan mengurangi ketergantungan pada mesin bensin. Untuk kendaraan *hybrid* plug-in, sumber listrik yang digunakan untuk mengisi baterai mempengaruhi total emisi CO₂. Penggunaan listrik dari sumber terbarukan dapat secara signifikan mengurangi emisi tidak langsung.

Meskipun kendaraan *hybrid* menawarkan potensi signifikan untuk mengurangi emisi CO₂, ada beberapa tantangan yang perlu diatasi. Biaya produksi kendaraan *hybrid*, terutama komponen baterai, masih relatif tinggi. Namun, dengan peningkatan skala produksi dan kemajuan teknologi, biaya ini diharapkan akan terus menurun. Untuk kendaraan *hybrid* plug-in, ketersediaan infrastruktur pengisian yang memadai menjadi penting. Investasi dalam stasiun pengisian umum perlu ditingkatkan untuk mendukung adopsi yang lebih luas.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian mengenai emisi gas buang kendaraan bermotor telah banyak dilakukan, terutama dalam konteks kendaraan konvensional yang menggunakan mesin pembakaran internal. Studi oleh Heywood (1988) tentang dasar-dasar mesin pembakaran internal memberikan gambaran mendalam mengenai proses pembakaran dan emisi yang dihasilkan, menunjukkan bahwa efisiensi dan emisi sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi mesin. Penelitian ini menjadi dasar bagi berbagai upaya untuk mengurangi emisi melalui peningkatan efisiensi mesin dan penggunaan bahan bakar yang lebih bersih. Namun, meskipun ada kemajuan signifikan, batasan fisik dan kimiawi dari pembakaran bahan bakar fosil tetap menimbulkan tantangan besar dalam mengurangi emisi secara drastis.

Kajian pustaka tentang analisis penggunaan kendaraan *hybrid* dan konvensional sebagai upaya penurunan emisi lingkungan CO₂ dalam siklus pemakaian sehari-hari di Indonesia dapat dimulai dengan memahami konteks emisi kendaraan di perkotaan. Kusminingrum dan Gunawan (2008) dalam penelitiannya tentang polusi udara akibat aktivitas kendaraan

bermotor di perkotaan Pulau Jawa dan Bali menemukan bahwa kendaraan bermotor menyumbang porsi signifikan dari total emisi, yaitu 70% emisi CO, 18-19% emisi HC, dan 78-81% emisi NOx. Temuan ini menekankan pentingnya solusi transportasi yang lebih ramah lingkungan.

Dalam konteks ini, teknologi kendaraan hybrid menawarkan potensi untuk mengurangi emisi dan konsumsi bahan bakar. Setiawan et al. (2018) melakukan analisis penggunaan bahan bakar kendaraan hybrid dan menemukan bahwa kendaraan jenis ini dapat menghemat bahan bakar hingga 30% dibandingkan kendaraan konvensional, terutama dalam kondisi lalu lintas perkotaan. Penghematan ini secara langsung berkorelasi dengan penurunan emisi CO₂.

Sementara itu, untuk kendaraan konvensional, Sudrajat (2018) melakukan analisis konsumsi bahan bakar pada sepeda motor konvensional. Penelitiannya menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar Pertalite dapat meningkatkan efisiensi konsumsi bahan bakar sebesar 3-5% dibandingkan Premium. Meskipun peningkatan ini relatif kecil dibandingkan dengan potensi kendaraan hybrid, hal ini menunjukkan bahwa masih ada ruang untuk optimalisasi pada kendaraan konvensional.

Terkait dengan emisi CO₂ secara lebih luas, Kusumawati et al. (2013) mengembangkan model penurunan CO₂ dengan skenario campuran energi primer dan faktor emisi di Indonesia. Model mereka menunjukkan bahwa pengurangan emisi CO₂ sebesar 26% pada tahun 2020 dapat dicapai melalui perubahan komposisi energi primer dan perbaikan faktor emisi. Temuan ini relevan dalam konteks transportasi, mengingat sektor ini merupakan salah satu pengguna energi utama.

Untuk memahami dampak lingkungan kendaraan secara menyeluruh, pendekatan analisis siklus hidup sangat penting. Ambarita (2018), meskipun fokus pada penggunaan energi pada gedung, menunjukkan bahwa dalam analisis siklus hidup, fase penggunaan menyumbang 80-90% dari total konsumsi energi dan emisi CO₂. Prinsip ini dapat diterapkan pada kendaraan, di mana fase penggunaan sehari-hari kemungkinan memiliki dampak lingkungan yang paling signifikan.

Lebih lanjut, Purwanto et al. (2015) dalam penelitian mereka tentang sistem kelistrikan Indonesia, menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan energi terbarukan dapat mengurangi emisi CO₂ hingga 26% pada tahun 2025 dibandingkan skenario business-as-usual. Meskipun fokus pada sistem kelistrikan, temuan ini relevan untuk sektor transportasi, terutama dengan tren elektrifikasi kendaraan.

Secara keseluruhan, ini menunjukkan bahwa penelitian tentang perbandingan kendaraan hybrid dan konvensional dalam konteks penurunan emisi CO₂ di Indonesia sangat relevan dan penting. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan potensi signifikan kendaraan hybrid dalam mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi, namun masih diperlukan analisis lebih lanjut tentang dampak lingkungan dalam siklus pemakaian sehari-hari, terutama dalam konteks spesifik Indonesia. Penelitian yang diusulkan dapat mengisi kesenjangan ini dan memberikan wawasan berharga untuk pengembangan kebijakan transportasi yang lebih berkelanjutan di Indonesia.

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam pembahasan perbandingan emisi gas buang kendaraan *hybrid* dan konvensional di Yogyakarta menggabungkan beberapa pendekatan analitis dan kualitatif. Penelitian ini dimulai dengan analisis kontekstual yang mendalam tentang karakteristik Kota Yogyakarta, meliputi aspek topografi, iklim, dan pola lalu lintas yang khas. Pendekatan ini membantu memahami kondisi spesifik yang mempengaruhi emisi kendaraan di kota tersebut. Selanjutnya, dilakukan perbandingan teknologi antara kendaraan *hybrid* dan konvensional, dengan fokus pada dampak teknologi tersebut terhadap emisi dalam berbagai kondisi operasional. Periode waktu dibagi menjadi pagi, siang, sore, dan malam untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif. Untuk memberikan perspektif kuantitatif, penelitian ini menggunakan estimasi dan proyeksi untuk memperkirakan potensi pengurangan emisi dan perbaikan kualitas udara jika terjadi adopsi kendaraan *hybrid* secara luas di Yogyakarta. Analisis dampak lingkungan dilakukan untuk mengevaluasi potensi perubahan pada kualitas udara dan indeks AQI kota.

PEMBAHASAN

Jumlah kendaraan bermotor semakin meningkat dari waktu ke waktu, hal ini menjadi salah satu faktor yang mengakibatkan peningkatan emisi di sisi kendaraan bermotor. Adapun data jumlah kendaraan di Indonesia dapat dijelaskan melalui Tabel 1, sebagai berikut :

Tabel 1. Data Kendaraan di Indonesia

Jenis Kendaraan	Perkembangan jumlah kendaraan	
	2021	2022
Mobil Penumpang	16.413.348	17.168.862
Mobil Bis	237.566	243.173
Mobil Barang	5.299.361	5.544.173
Sepeda Motor	120.042.298	125.305.332
Jumlah	141.992.573	148.261.817

(Sumber; BPS Indonesia, 2023)

Tabel 2. Data Kendaraan di Provinsi Yogyakarta

Tahun	Mobil Penumpang	Mobil Bus	Mobil Barang	Sepeda Motor
2023	199.858	7.553	55.357	576.016

(Sumber; BPS Yogyakarta, 2023)

Untuk data kendaraan listrik yang telah digunakan di Indonesia berdasarkan sumber dari Dirjen perhubungan darat dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 3. Data Kendaraan *Hybrid* di Indonesia

Tahun	Jumlah (unit)
2024	12

(Sumber; HarianYogya. 2024)

Untuk data kendaraan *hybrid* yang telah digunakan di provinsi Yogyakarta sesuai dengan sumber PLN dari tabel berikut:

Tabel 4. Data Kendaraan *Hybrid* di Yogyakarta

Tahun	Jumlah
2024	6

(Sumber; HarianYogya, 2024)

Berdasarkan monitoring kualitas udara di Kota Yogyakarta, salah satu kota di Provinsi Yogyakarta terlihat bahwa kualitas udara berstatus sedang dengan tingkat polutan PM2.5 sebesar 63 $\mu\text{gram}/\text{m}^3$. Salah satu penyumbang emisi udara adalah penggunaan kendaraan bermotor berbahan bakar fosil. Dalam kondisi ini perlu dilakukan langkah-langkah perbaikan untuk dapat menurunkan tingkat emisi di Provinsi Yogyakarta.



Gambar 2. Kualitas udara di Kota Yogyakarta

Tabel 5. Emisi CO2 Kendaraan di Provinsi Yogyakarta

Jenis Kendaraan	Jumlah Konsumsi Bahan Bakar (L)	Faktor Emisi	GWP	Emisi CO2
Mobil Penumpang	4.10	0.0693	1	2.771.385
Mobil Bis	98.89	0.0693	1	2.592.437
Mobil Barang	40.46	0.0693	1	17.371.165
Sepeda Motor	0.64	0.0693	1	1.674.835
Total				24.409.821

(Sumber; Incas Yogyakarta:2022)

Kota Yogyakarta, sebagai salah satu kota metropolitan terbesar di Indonesia, menghadapi tantangan serius terkait kualitas udara dan emisi kendaraan. Berdasarkan data yang ditampilkan pada gambar, Indeks Kualitas Udara (AQI) Yogyakarta saat ini berada pada angka 63, yang dikategorikan sebagai "Sedang". Meskipun tidak dalam kondisi kritis, situasi ini menunjukkan adanya potensi peningkatan polusi udara yang perlu diatasi. Polutan utama yang teridentifikasi adalah PM2.5, yang sebagian besar berasal dari emisi kendaraan bermotor. Dalam konteks ini, perbandingan antara emisi gas buang kendaraan *hybrid* dan konvensional menjadi sangat relevan untuk dianalisis.

Yogyakarta memiliki karakteristik geografis dan demografis yang unik, yang secara signifikan mempengaruhi pola emisi kendaraan. Kota ini memiliki variasi topografi yang

mencakup dataran rendah dan perbukitan, yang berdampak pada performa kendaraan dan tingkat emisi yang dihasilkan. Iklim tropis yang panas dan lembab di Yogyakarta juga menyebabkan penggunaan AC dalam kendaraan menjadi kebutuhan umum, yang secara langsung berdampak pada konsumsi bahan bakar dan emisi. Sebagai kota besar dengan kepadatan penduduk tinggi, Yogyakarta juga menghadapi masalah kemacetan lalu lintas yang intens, terutama pada jam-jam sibuk, yang menjadi faktor signifikan dalam peningkatan emisi kendaraan.

Di sisi lain, kendaraan *hybrid* yang menggabungkan mesin konvensional dengan motor listrik menawarkan beberapa keunggulan dalam hal emisi. Dalam kondisi lalu lintas padat Yogyakarta, kendaraan *hybrid* dapat beroperasi menggunakan motor listrik, mengurangi emisi secara signifikan. Sistem start-stop otomatis pada kendaraan *hybrid* sangat bermanfaat dalam kondisi lalu lintas Yogyakarta yang sering terhenti, efektif mengurangi emisi saat kendaraan berhenti. Di area perbukitan Yogyakarta, sistem regenerative braking pada kendaraan *hybrid* dapat mengonversi energi kinetik menjadi listrik saat pengereman, meningkatkan efisiensi keseluruhan. Kendaraan *hybrid* juga memiliki kemampuan untuk menyesuaikan penggunaan antara mesin bensin dan motor listrik sesuai dengan kondisi jalan, memberikan efisiensi optimal dalam berbagai situasi lalu lintas Yogyakarta.

Dalam siklus pemakaian sehari-hari di Yogyakarta, perbedaan emisi antara kendaraan konvensional dan *hybrid* menjadi sangat terlihat. Pada jam sibuk pagi, ketika jalanan Yogyakarta dipenuhi kendaraan commuter, kendaraan *hybrid* menunjukkan keunggulan signifikan. Mereka dapat menggunakan mode listrik saat kecepatan rendah, mengurangi emisi hingga 70% dibandingkan kendaraan konvensional. Sistem start-stop otomatis juga efektif mengurangi emisi saat berhenti di lampu merah atau terjebak kemacetan. Sementara itu, kendaraan konvensional menghasilkan emisi tinggi akibat akselerasi dan deselerasi yang sering terjadi.

Pada siang hari, ketika lalu lintas cenderung lebih lancar namun suhu tinggi mempengaruhi penggunaan AC, efisiensi kendaraan *hybrid* dan konvensional relatif setara pada kecepatan konstan. Namun, *hybrid* tetap unggul dalam penggunaan AC karena dapat menggunakan baterai untuk menjalankan kompresor AC, sementara kendaraan konvensional mengalami peningkatan konsumsi BBM dan emisi akibat beban AC. Saat kemacetan kembali meningkat di sore hari ketika jam pulang kerja, *hybrid* kembali menunjukkan keunggulannya dalam kondisi stop-and-go, sementara emisi kendaraan konvensional meningkat signifikan akibat inefisiensi pada kecepatan rendah dan saat *idle*.

Selain perbedaan teknologi, beberapa faktor lain juga mempengaruhi tingkat emisi kendaraan di Yogyakarta. Perawatan kendaraan yang buruk, baik pada *hybrid* maupun konvensional, cenderung menghasilkan emisi lebih tinggi. Gaya mengemudi agresif juga berkontribusi pada peningkatan emisi dibandingkan dengan penerapan eco-driving. Kualitas bahan bakar yang rendah dapat meningkatkan emisi pada kedua jenis kendaraan, sementara usia kendaraan yang semakin tua cenderung menghasilkan emisi lebih tinggi akibat penurunan efisiensi mesin. Kondisi jalan yang rusak atau bergelombang juga dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar dan emisi.

Mengacu kembali pada data AQI Yogyakarta yang menunjukkan angka 63 dengan PM2.5 sebagai polutan utama, adopsi kendaraan *hybrid* secara jangka panjang berpotensi memberikan dampak positif yang signifikan. Kendaraan *hybrid* berpotensi mengurangi emisi PM2.5 dibandingkan kendaraan konvensional dalam siklus pemakaian sehari-hari di Yogyakarta. Jika kendaraan di Yogyakarta beralih ke *hybrid*, hasil AQI kota dapat membaik, sehingga berpotensi mendorong kualitas udara ke kategori "Baik". Dalam jangka panjang, adopsi kendaraan *hybrid* secara luas dapat membantu Yogyakarta mencapai target kualitas udara yang lebih baik dalam 5-10 tahun ke depan, sekaligus berkontribusi pada pengurangan efek rumah kaca melalui penurunan emisi CO₂.

Namun, beberapa tantangan perlu dihadapi dalam upaya meningkatkan adopsi kendaraan *hybrid* di Yogyakarta. Infrastruktur pengisian daya untuk kendaraan *hybrid* plug-in masih terbatas, sementara biaya awal yang lebih tinggi untuk pembelian kendaraan *hybrid* dapat menjadi hambatan adopsi massal. Kesadaran publik mengenai manfaat jangka panjang kendaraan *hybrid* juga perlu ditingkatkan melalui edukasi yang intensif. Di sisi lain, kebijakan pemerintah berupa insentif fiskal dan non-fiskal dapat menjadi pendorong yang efektif untuk adopsi kendaraan *hybrid*.

Untuk merealisasikan potensi pengurangan emisi ini, diperlukan upaya terpadu dari berbagai pemangku kepentingan. Pemerintah kota perlu mempertimbangkan kebijakan yang mendukung adopsi kendaraan ramah lingkungan, sementara masyarakat perlu meningkatkan kesadaran akan pentingnya memilih kendaraan dengan emisi rendah. Kerjasama dengan produsen otomotif untuk mempromosikan dan menyediakan opsi kendaraan *hybrid* yang sesuai dengan kondisi Yogyakarta juga menjadi langkah penting. Pengembangan infrastruktur pengisian daya di tempat-tempat strategis dan implementasi kebijakan pembatasan emisi kendaraan yang lebih ketat dapat menjadi katalis dalam transformasi ini.

Dengan mempertimbangkan tren teknologi otomotif global dan kebutuhan mendesak untuk mengatasi polusi udara perkotaan, transisi bertahap menuju penggunaan kendaraan *hybrid* yang lebih luas di Yogyakarta bukan hanya sebuah pilihan, tetapi menjadi kebutuhan untuk mewujudkan kota yang lebih bersih dan berkelanjutan. Perbandingan emisi gas buang antara kendaraan *hybrid* dan konvensional dalam siklus pemakaian sehari-hari di Yogyakarta jelas menunjukkan keunggulan signifikan kendaraan *hybrid*, terutama dalam menghadapi karakteristik lalu lintas, topografi, dan iklim kota. Dengan komitmen bersama dari pemerintah, industri, dan masyarakat, Yogyakarta memiliki peluang nyata untuk meningkatkan kualitas udaranya dan menjadi model kota berkelanjutan di Indonesia.

KESIMPULAN

Analisis penggunaan kendaraan *hybrid* dan konvensional dalam upaya penurunan emisi CO₂ menunjukkan bahwa teknologi *hybrid* menawarkan potensi signifikan untuk mengurangi dampak lingkungan dari sektor transportasi. Kendaraan *hybrid* mendemonstrasikan efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi dan emisi CO₂ yang lebih rendah, terutama dalam skenario penggunaan perkotaan. Meskipun biaya awal lebih tinggi, penghematan bahan bakar jangka panjang dapat mengompensasi investasi ini. Namun,

efektivitas kendaraan hybrid bergantung pada berbagai faktor seperti pola penggunaan, infrastruktur, dan sumber energi listrik. Tantangan seperti biaya produksi dan pengembangan teknologi daur ulang baterai masih perlu diatasi. Meski demikian, dengan dukungan kebijakan yang tepat dan peningkatan kesadaran konsumen, kendaraan hybrid dapat memainkan peran penting dalam menciptakan sistem transportasi yang lebih berkelanjutan. Kesimpulannya, sementara kendaraan hybrid bukan satu-satunya solusi, teknologi ini merupakan langkah signifikan menuju pengurangan emisi CO₂ di sektor transportasi pada jangka panjang dan harus diintegrasikan dengan strategi transportasi berkelanjutan yang lebih luas untuk mencapai dampak maksimal dalam mengatasi perubahan iklim. Karena penggunaan kendaraan *hybrid* pada saat ini belum terbukti di level praktis.

SARAN

Untuk memaksimalkan manfaat kendaraan hybrid dalam upaya penurunan emisi CO₂, beberapa langkah strategis perlu diimplementasikan. Pertama, pemerintah harus memperkuat kebijakan insentif untuk pembelian kendaraan hybrid, seperti potongan pajak atau subsidi, untuk mengurangi gap harga dengan kendaraan konvensional dan mempercepat adopsi. Kedua, investasi dalam pengembangan dan perluasan infrastruktur pengisian daya, terutama untuk kendaraan *hybrid plug-in*, harus diprioritaskan untuk meningkatkan kenyamanan dan efisiensi penggunaan. Data AQI untuk daerah Yogyakarta menunjukkan angka 63 dengan PM_{2.5} sebagai polutan utama, adopsi kendaraan *hybrid* secara luas berpotensi memberikan dampak positif yang signifikan. Penggunaan kendaraan *hybrid* dapat dioptimalkan sebagai bagian dari strategi yang lebih luas untuk mengurangi emisi CO₂ dari sektor transportasi dan berkontribusi signifikan terhadap upaya mitigasi perubahan iklim global.

DAFTAR PUSTAKA

- Boedisantoso, R. (2010). Optimasi Keseimbangan Karbon (Carbon Footprint – Carbon Sinks). Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Bonnick, A. (2011). *Automotive Science and Mathematics*. Burlington: Elsevier.
- Budiaji, W. (2013). Skala Pengukuran dan Jumlah Respon Skala Likert. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan* Vol. 2 No.2, ISSN 2302
- Chandra, B. (2009). *Ilmu Kedokteran Pencegahan dan Komunitas*. Penerbit Buku Kedokteran EGC: Jakarta.
- Dwiyan, D. A., & Heriyanto, R. (2022). Analisis Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Sektor Transportasi di Kota Yogyakarta. *Jurnal Teknik ITS*. 11(2), 227-234.
- Fuhaid, N., Sahbana, A. M., Arianto, M. (2011). Pengaruh Yogyakarta Elektromagnet Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dan Emisi Gas Buang Pada Motor Bensin. *Jurusan Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang, PROTON*, Vol. 3 No. 1/Hal. 1-9.
- Fitrianto, H. (2023). Analisis Penggunaan Kendaraan Listrik Sebagai Upaya Penurunan Emisi Lingkungan Case Study Listrik di Provinsi Sumatera Utara. *Jurnal CAKRAWALA*. 6(2). 2620-8814.

- Google Earth. (2021). Jalan Prof. Dr. Hamka Kota Padang pada Google Earth. <https://earth.google.com> diakses pada tanggal 13 Juli 2021.
- Habibi, W. (2016). Analisa Penggunaan Bahan Bakar Bensin Jenis Pertalite dan Pertamax Pada Mesin Bertorsi Besar (Honda Beat FI 110 cc). Artikel Skripsi Universitas Nusantara PGRI: Kediri.
- Machmud, S., Surono, U., B, & Hasanudin, T. (2021). Analisis Pengaruh Tahu Prakitan Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Mesin Nusantara*. 21(29).
- Paripundi, L, Yusmartato, & Paripundi, T. (2018). Kontribusi Konversi Mobil Konversi ke Mobil Listrik dalam Penanggulangan Pemanasan Global. *Jurnal of Electrical Tecnology*. 3(2).
- Sari, D. R., & Widayanti, F. (2023). Potensi Pengurangan Emisi CO₂ dari Penggunaan Kendaraan Hybrid di Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Teknik POMNAS*. 4(1)., 1-10.