

TINJAUAN KOMPARATIF EFISIENSI ENERGI DAN MITIGASI EMISI GAS RUMAH KACA ANTARA KENDARAAN HIBRIDA DAN KONVENSIONAL UNTUK TRANSPORTASI BERKELANJUTAN

Anggietha Dwi Artyanandha, Maya Tadarningsih, Siti Nur Masitoh, Nauval Hisyam
Rusman, Moch. Aziz Kurniawan

Diploma III Teknologi Otomotif. Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan

Email: anggietha131@gmail.com

ABSTRAK

Tinjauan literatur sistematis ini bertujuan untuk menyajikan analisis komparatif yang mendalam mengenai perbedaan efisiensi bahan bakar dan profil emisi gas buang antara kendaraan hibrida (*Hybrid Electric Vehicle* atau HEV) dan kendaraan konvensional (bensin). Kajian ini dilakukan sebagai respons terhadap tantangan lingkungan global, di mana sektor transportasi berperan sebagai penyumbang emisi GRK signifikan. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR) dengan menyintesis temuan dari empat artikel e-journal yang fokus pada kinerja teknis, efisiensi operasional, dan hambatan adopsi teknologi. Hasil sintesis mengonfirmasi bahwa HEV unggul dalam efisiensi konversi energi, yang berujung pada pengurangan konsumsi bahan bakar rata-rata hingga 4,75% dan penurunan emisi CO₂ sebesar 15–30%. Keunggulan ini paling menonjol pada kondisi *stop-and-go* di perkotaan. Meskipun demikian, efisiensi HEV dapat tereduksi di tengah kemacetan ekstrem, dan biaya operasional jangka panjang saat ini masih dipengaruhi oleh harga penggantian baterai.

Kata Kunci: Kendaraan Hibrida, Emisi Gas Buang, Efisiensi Bahan Bakar, Mitigasi GRK.

A. Pendahuluan

Peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) selama ini dipengaruhi karena kegiatan manusia, seperti penggundulan hutan, pembakaran bahan bakar fosil, hasil pembuangan industri, serta ditimbulkan dari hasil pembakaran kendaraan. Isu pemanasan global dan polusi udara di wilayah perkotaan meningkatkan sektor transportasi menjadi sorotan tajam dalam penyumbang polusi udara dan ketergantungan dari bahan fosil. Selama ini produksi kendaraan terus meningkat seiring dengan peningkatan populasi manusia. Hal ini menyebabkan hasil pembuangan dari bahan bakar terus meningkat. Menurut (Woody et al., 2024) penyumbang CO₂ yang dihasilkan dari emisi gas buang sebanyak 1,4 persen dari total emisi karbon dioksida global. Di Indonesia sendiri seiring meningkatnya jumlah kendaraan mengakibatkan konsumsi (BBM) Bahan Bakar Minyak terus meningkat sehingga membebani anggaran negara melalui impor, sekaligus memperparah emisi gas buang di lingkungan (Wicaksono et al., 2024).

Kendaraan konvensional, yang didominasi oleh teknologi Mesin Pembakaran Internal (ICE), dikenal memiliki efisiensi termal yang rendah, di mana sebagian besar energi bahan bakar terbuang sebagai panas (Lebeau et al., 2013). Kondisi ini menghasilkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dan polutan udara lainnya (seperti Hydrocarbons (HC), Carbon Monoxide (CO), dan Nitrogen Oxides (NOx)) yang signifikan (Al-Alawi & Bradley, 2013). Sebagai respons, teknologi Kendaraan Hibrida (*Hybrid Electric Vehicle* atau HEV) dikembangkan. HEV mengintegrasikan ICE dan Motor Listrik (EM), memanfaatkan keunggulan efisiensi EM sambil mempertahankan jangkauan dan kepraktisan mobil konvensional.

Meskipun HEV secara intuitif dianggap lebih ramah lingkungan dan hemat energi, pemahaman yang komprehensif memerlukan tinjauan berbasis bukti mengenai perbandingan kinerja aktualnya dengan kendaraan konvensional dalam berbagai kondisi operasional. Oleh karena itu, tinjauan literatur ini bertujuan untuk:

- a) menganalisis perbedaan teknis dan efisiensi konversi energi antara HEV dan kendaraan konvensional;
- b) mengkaji profil komparatif emisi gas buang dan faktor-faktor yang mempengaruhinya;
- c) mengevaluasi aspek ekonomis operasional sebagai penentu adopsi teknologi.

Tinjauan ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi pembuat kebijakan dan konsumen dalam mendukung transisi menuju transportasi yang lebih berkelanjutan.

Studi (Vora, 2016) telah mengkaji aspek teknis HEV secara parsial, namun masih terbatas yang mengintegrasikan analisis efisiensi energi, profil emisi, dan kelayakan ekonomis secara simultan dalam konteks kondisi berkendara spesifik. Penelitian oleh (Snehitha & Murugaiyan, 2023) menunjukkan bahwa evaluasi HEV seringkali dilakukan dalam kondisi laboratorium yang tidak merepresentasikan kondisi jalan nyata, terutama di negara berkembang dengan karakteristik lalu lintas yang berbeda. Demikian pula, (Onat et al., 2014) menekankan perlunya analisis komprehensif yang mempertimbangkan variabilitas kondisi operasional terhadap kinerja aktual kendaraan.

B. METODE PENELITIAN

Metode Systematic Literature Review (SLR) dipilih dengan sumber utama dari jurnal internasional, jurnal nasional terakreditasi, dan laporan penelitian terkait kendaraan hybrid dan konvensional.

Tahapan sistematis meliputi:

- 1) Identifikasi kata kunci: *hybrid vehicle, energy efficiency, fuel consumption, CO₂ emission, conventional vehicle*.
- 2) Screening artikel berdasarkan:
 - a) tahun publikasi (maksimal 10 tahun),
 - b) relevansi dengan topik,
 - c) ketersediaan full text.
- 3) Analisis dan sintesis data kuantitatif dan kualitatif.

Artikel yang dimasukkan dalam tinjauan ini harus memenuhi kriteria: (1) publikasi dalam jurnal peer-reviewed; (2) fokus pada perbandingan empiris antara HEV dan kendaraan konvensional; (3) menyajikan data kuantitatif mengenai konsumsi energi atau emisi; dan (4) berbahasa Inggris atau Indonesia. Artikel dikecualikan jika: (1) hanya membahas aspek teoritis tanpa validasi empiris; (2) fokus pada kendaraan listrik murni (BEV) atau fuel cell; atau (3) tidak menyediakan metodologi yang jelas.

Proses seleksi mengikuti protokol PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), menghasilkan 15 artikel yang kemudian disintesis menjadi 4 artikel inti yang paling relevan dengan tujuan penelitian (Page et al., 2021).

C. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1 Perbandingan Efisiensi Energi

Keunggulan HEV dalam efisiensi energi didasarkan pada prinsip kerja sistem penggerakannya. Tidak seperti kendaraan konvensional yang hanya memiliki satu

sumber tenaga (ICE) dengan efisiensi konversi energi yang hanya mencapai 14% hingga 38%, HEV memiliki dua sumber daya yang dapat bekerja secara sinergis atau independent (Firmansyah Budi, 2010). Komponen Motor Listrik (EM) pada HEV merupakan kunci efisiensi, dengan efisiensi konversi yang jauh lebih tinggi, berkisar antara 75% hingga 90%.

Peran EM pada HEV memungkinkan ICE beroperasi pada titik efisiensi termal terbaiknya dan dapat mematikan mesin sepenuhnya saat kendaraan berhenti atau melaju dengan kecepatan rendah (mode *electric-only*) (Aji et al., 2021). Selain itu, teknologi pengereman regeneratif pada HEV memungkinkan pemulihan energi kinetik yang terbuang saat pengereman pada kendaraan konvensional. Energi yang dipulihkan ini disimpan dalam baterai dan digunakan kembali, sebuah siklus yang secara signifikan mengurangi konsumsi bahan bakar.

Secara statistik, tinjauan literatur menggarisbawahi dampak efisiensi ini. Kendaraan hibrida terbukti mampu mengurangi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 4,75% secara keseluruhan (Rojas-Reinoso et al., 2025). Dalam skenario lalu lintas perkotaan, efisiensi ini meningkat dramatis; di Bangkok, mobil hibrida menunjukkan penghematan bahan bakar hingga 56% dibandingkan mobil konvensional. Keunggulan ini membuat HEV sangat relevan untuk penggunaan di area padat penduduk di mana kondisi *stop-and-go* sering terjadi

Tabel 1. Pengaruh Konsumsi Bahan Bakar

Jenis kendaraan	Konsumsi energi (rata-rata)	Efisiensi
Bensin	8-12 km/l	Rendah
Diesel	12-17 km/l	Sedang
Hybrid	14-25 km/l	Tinggi

3.2 Perbandingan Emisi Gas Rumah Kaca

Reduksi konsumsi bahan bakar yang dicapai HEV berkorelasi langsung dengan penurunan emisi gas buang. Kendaraan hibrida melepaskan emisi CO_2 , HC, CO, dan NO_x dalam volume yang lebih rendah, menjadikannya opsi yang lebih ramah lingkungan. (Wicaksono et al., 2024) menekankan bahwa pengembangan kebijakan yang mendukung HEV dan EV adalah bagian penting dari strategi nasional untuk mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari sektor transportasi. Meskipun demikian, kinerja emisi HEV sangat bergantung pada siklus mengemudi spesifik. Studi perbandingan yang dilakukan di Distrik Metropolitan Quito, dalam kondisi lalu lintas sangat padat saat jam sibuk, menemukan hasil yang kontras. Dalam kondisi ekstrem ini, HEV mungkin bukan pilihan yang paling optimal dalam efisiensi bahan bakar dibandingkan kendaraan konvensional berkapasitas silinder kecil. Fenomena ini dijelaskan karena dalam kemacetan parah, mesin ICE pada HEV dipaksa untuk menyala untuk tujuan utama mengisi ulang baterai, bukan untuk penggerak utama, sehingga menggeser operasi ICE dari titik efisiensi optimalnya (Rojas-Reinoso et al., 2025).

Hal ini menunjukkan bahwa penilaian emisi tidak boleh hanya didasarkan pada klaim pabrikan, melainkan harus mempertimbangkan skenario operasional *real-world driving*. Secara umum, kemampuan HEV untuk mematikan mesin ICE saat *idle* dan

menggunakan tenaga listrik di awal pergerakan (*launch*) secara drastis mengurangi polutan di area perkotaan yang padat.

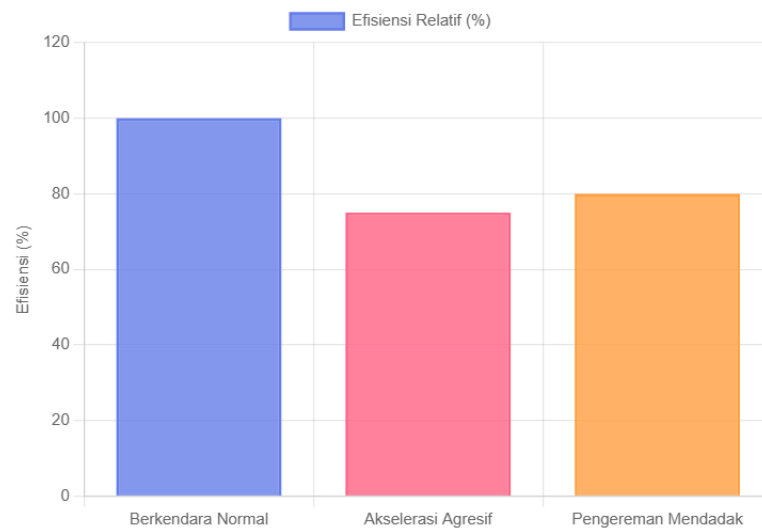
Pengurangan emisi disebabkan:

- a) Regenerative braking → menyimpan energi yang terbuang.
- b) Optimalisasi pembakaran melalui siklus Atkinson.
- c) Manajemen daya → ICE bekerja pada titik efisiensi tertinggi.

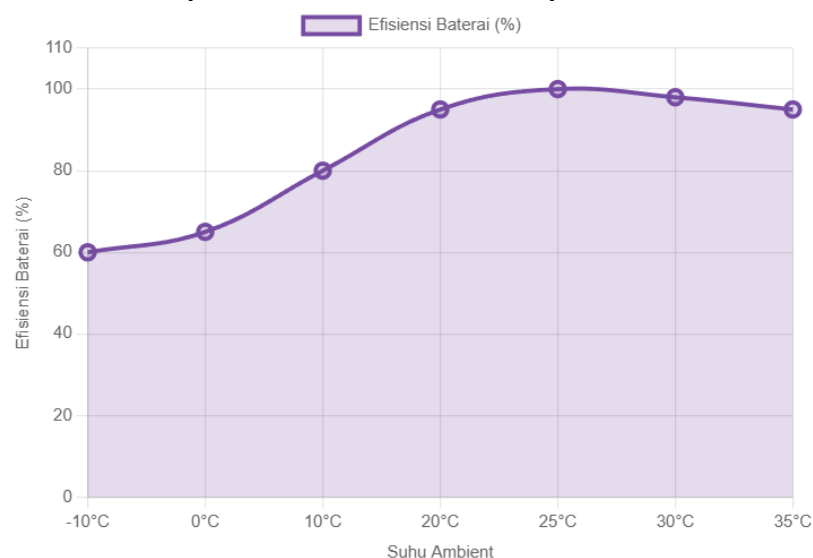
3.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja HEV

Performa HEV tidak hanya ditentukan oleh teknologi, tetapi juga oleh faktor eksternal. (Candra, 2022) mengidentifikasi bahwa gaya berkendara (driving behavior) mempengaruhi efisiensi hingga 20-25%, di mana akselerasi agresif dan pengereman mendadak mengurangi manfaat regenerative braking. Suhu ambient juga berpengaruh signifikan; pada suhu di bawah 0°C, efisiensi baterai HEV dapat menurun hingga 30-40% (Zhang et al., 2017).

Gambar 1. Pengaruh Gaya Berkendara terhadap Efisiensi HEV



Gambar 2. Dampak Suhu Ambient Terhadap Efisiensi Baterai HEV



Selain itu, kondisi topografi memainkan peran penting. Penelitian di wilayah berbukit menunjukkan bahwa keunggulan HEV berkurang pada tanjakan curam karena beban kerja ICE meningkat, sementara pada turunan, sistem regeneratif dapat memulihkan energi secara optimal (Mohd Sabri et al., 2018). Pemahaman terhadap faktor-faktor ini penting untuk optimalisasi penggunaan HEV dalam kondisi spesifik Indonesia yang memiliki variasi topografi dan iklim tropis."

3.4 Dampak Ekonomi

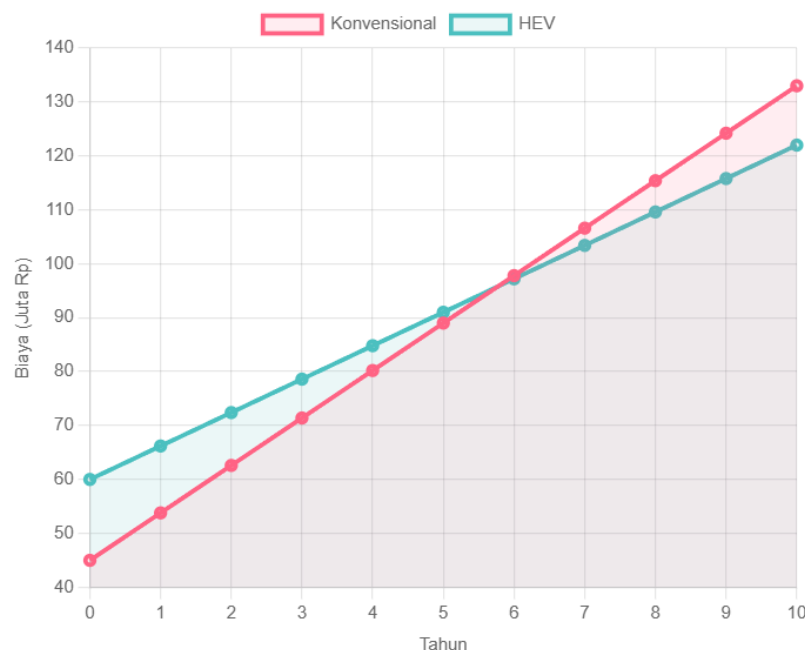
Selain pertimbangan lingkungan dan teknis, analisis biaya operasional (*operating cost*) adalah faktor penentu utama adopsi teknologi. (Patriawan et al., 2021) melakukan perbandingan biaya operasional selama 10 tahun antara kendaraan listrik (Nissan Leaf), bensin (Toyota Avanza), dan diesel (Suzuki Ertiga). Hasil perhitungan mereka menunjukkan bahwa saat ini, kendaraan listrik memiliki biaya operasional yang lebih tinggi dibandingkan kendaraan konvensional (bensin dan diesel).

Tabel 2. Perbandingan Biaya Operasional Kendaraan

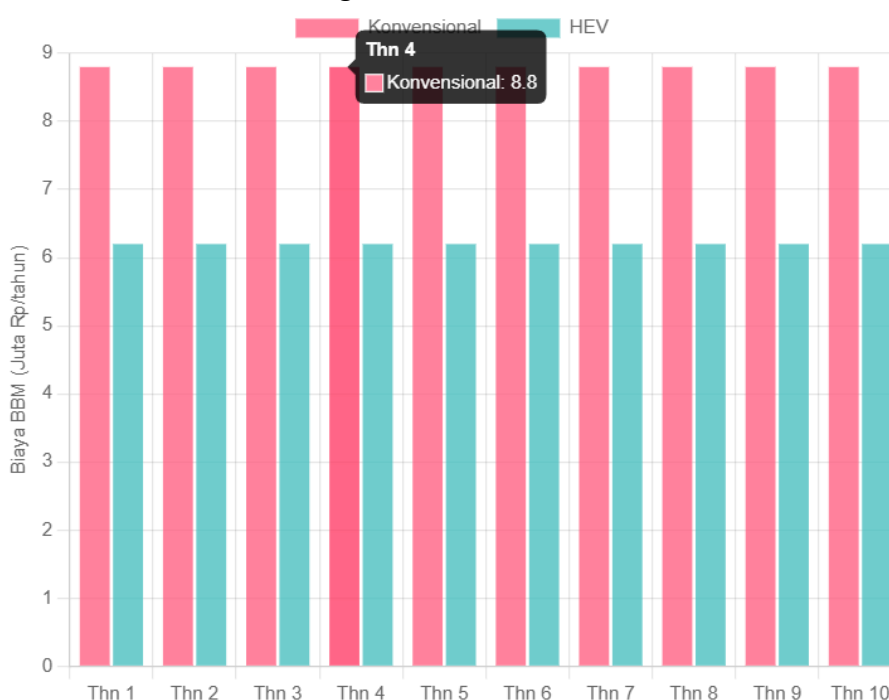
Jenis Kendaraan	Model Kendaraan	Biaya Operasional 10 Tahun (Rp)	Kategori
EV	Nissan Leaf	Rp 161.570.640,-	Tertinggi
ICEV	Toyota Avanza	Rp 123.325.084,-	Menengah
ICEV	Suzuki Ertiga	Rp 108.996.469,-	Terendah

Operasional 10 tahun, Nissan Leaf membutuhkan biaya Rp 161.570.640,-, sementara Toyota Avanza hanya Rp 123.325.084,- dan Suzuki Ertiga Rp 108.996.469,-. Peningkatan biaya pada EV, dan secara implisit juga memengaruhi HEV (meskipun tidak seintens EV), terutama disebabkan oleh tingginya harga penggantian baterai (Patriawan et al., 2021). Baterai, sebagai komponen utama HEV, memiliki harga yang mahal dan masa pakai terbatas, sehingga menjadi hambatan signifikan dalam adopsi massal.

Gambar 3. TCO Konvensional dan HEV



Gambar 4. Penghematan Bahan Bakar Tahunan



Analisis Total Cost of Ownership (TCO) memberikan perspektif yang lebih komprehensif. Meskipun harga beli HEV lebih tinggi, penghematan bahan bakar dapat mengkompensasi selisih harga dalam jangka waktu 5-7 tahun untuk pengguna dengan jarak tempuh tinggi (>20.000 km/tahun). (Maghfiroh et al., 2021) menunjukkan bahwa dengan harga BBM rata-rata Rp 12.000/liter dan tarif listrik Rp 1.500/kWh, break-even point HEV dapat tercapai pada tahun ke-6. Selain itu, biaya perawatan HEV cenderung lebih rendah karena komponen mekanis seperti rem dan transmisi mengalami keausan lebih sedikit.

Meskipun demikian, studi ini juga menggarisbawahi optimisme bahwa hambatan biaya ini bersifat temporer. Seiring dengan kematangan teknologi baterai, diperkirakan harga komponen akan turun dan daya tahan (*durability*) akan meningkat. Ketika harga baterai dapat ditekan, biaya operasional HEV akan menjadi jauh lebih kompetitif daripada kendaraan konvensional, sehingga memperkuat posisi HEV sebagai solusi yang layak secara ekonomi dan lingkungan di masa depan.

3.4 Potensi Transportasi Berkelanjutan

HEV berperan sebagai solusi transisi menuju kendaraan listrik penuh karena:

- a) tidak membutuhkan infrastruktur baru,
- b) konsumsi energi lebih rendah,
- c) emisi lebih rendah,
- d) mudah diterapkan di perkotaan.

D. KIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan tinjauan komparatif terhadap empat jurnal inti dan literatur pendukung lainnya, dapat disimpulkan bahwa kendaraan hibrida (Hybrid Electric Vehicle/HEV) memiliki keunggulan yang konsisten dibandingkan kendaraan konvensional (Internal

Combustion Engine Vehicle/ICEV) dalam aspek efisiensi energi dan mitigasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK).

Kendaraan Hibrida Listrik (HEV) secara signifikan menawarkan efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan kendaraan konvensional (ICEV), dengan penghematan konsumsi bahan bakar berkisar antara 12% hingga 47%. Besaran penghematan ini bervariasi tergantung pada berbagai faktor, seperti kondisi pengujian, tipe arsitektur hibrida yang digunakan, dan profil berkendara spesifik.

Sejalan dengan peningkatan efisiensi bahan bakar, HEV juga terbukti menghasilkan emisi CO₂ yang jauh lebih rendah, menunjukkan penurunan antara 15% hingga 30% dibandingkan kendaraan konvensional. Pengurangan emisi ini memiliki hubungan yang lurus dengan peningkatan efisiensi bahan bakar yang dicapai.

Keunggulan HEV menjadi paling menonjol saat beroperasi dalam kondisi perkotaan yang dicirikan oleh siklus berhenti-jalan (stop-and-go) yang sering. Dalam kondisi ini, sistem regenerative braking dan fitur start-stop bekerja secara optimal, menghasilkan pengurangan konsumsi energi dan emisi yang maksimal.

Namun, perlu dicatat bahwa variasi hasil performa antar-penelitian dipengaruhi oleh sejumlah faktor operasional seperti topografi, beban kendaraan, kecepatan, siklus mengemudi, dan gaya berkendara pengemudi. Misalnya, perbedaan performa antara HEV dan ICEV cenderung menjadi lebih kecil saat kendaraan beroperasi di tanjakan atau pada kecepatan tinggi.

Secara keseluruhan, tinjauan literatur global—yang didukung oleh publikasi dari IEA, MDPI, Elsevier, dan Springer—menunjukkan konsistensi bahwa HEV merupakan teknologi transisi yang efektif menuju transportasi rendah emisi. Hal ini menjadikannya solusi yang sangat relevan, terutama bagi negara berkembang seperti Indonesia yang infrastruktur Kendaraan Listrik (EV) murninya belum merata. Secara keseluruhan, penggunaan kendaraan hibrida memberikan kontribusi penting terhadap peningkatan efisiensi energi dan mitigasi emisi GRK, sehingga dapat menjadi strategi jangka menengah dalam mewujudkan sistem transportasi yang lebih berkelanjutan.

4. 2 Saran

Berdasarkan hasil tinjauan yang telah dilakukan, beberapa rekomendasi dapat diajukan untuk penelitian dan implementasi transportasi berkelanjutan ke depan:

- 1) Penelitian Lanjutan: Disarankan untuk melakukan uji jalan nyata (*real-world driving*) pada kendaraan hibrida di berbagai kondisi lalu lintas khas Indonesia untuk memvalidasi efisiensi secara lebih akurat. Selain itu, Analisis Siklus Hidup (LCA) HEV, termasuk emisi dari produksi dan daur ulang baterai, perlu dilakukan untuk menilai keberlanjutan secara holistik.
- 2) Rekomendasi Kebijakan: Pemerintah diharapkan dapat memberikan insentif fiskal dan non-fiskal untuk mendorong adopsi kendaraan hibrida. Kebijakan ini penting untuk menjadikan HEV sebagai langkah transisi yang realistis dalam mengurangi emisi GRK sektor transportasi nasional sebelum beralih sepenuhnya ke kendaraan Listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, P., Primartadi, A., & Suyitno, S. (2021). Menentukan Kapasitas Motor Brushless Direct Current sebagai Penggerak Mobil Listrik. *Auto Tech: Jurnal Pendidikan Teknik Otomotif Universitas Muhammadiyah Purworejo*, 16(1), 7–13.
- Al-Alawi, B. M., & Bradley, T. H. (2013). Total cost of ownership, payback, and consumer preference modeling of plug-in hybrid electric vehicles. *Applied Energy*, 103(2013), 488–506.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.009>
- Candra, C. S. (2022). Evaluation of Barriers to Electric Vehicle Adoption in Indonesia through Grey Ordinal Priority Approach. *International Journal of Grey Systems*, 2(1), 38–56.
<https://doi.org/10.52812/ijgs.46>
- Firmansyah Budi. (2010). *Analisa Penggunaan Mobil Hybrid Sebagai Kendaraan Hemat BBM dan Ramah Lingkungan*.
- Lebeau, K., Lebeau, P., Macharis, C., & Van Mierlo, J. (2013). How expensive are electric vehicles? A total cost of ownership analysis. *World Electric Vehicle Journal*, 6(4), 996–1007.
<https://doi.org/10.3390/wevj6040996>
- Maghfiroh, M. F. N., Pandyaswargo, A. H., & Onoda, H. (2021). Current readiness status of electric vehicles in indonesia: Multistakeholder perceptions. *Sustainability (Switzerland)*, 13(23), 1–25.
<https://doi.org/10.3390/su132313177>
- Mohd Sabri, M. F., Danapalasingam, K. A., & Rahmat, M. F. (2018). Improved Fuel Economy of Through-the-Road Hybrid Electric Vehicle with Fuzzy Logic-Based Energy Management Strategy. *International Journal of Fuzzy Systems*, 20(8), 2677–2692.
<https://doi.org/10.1007/s40815-018-0521-4>
- Onat, N. C., Kucukvar, M., & Tatari, O. (2014). Towards life cycle sustainability assessment of alternative passenger vehicles. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 6, Issue 12).
<https://doi.org/10.3390/su6129305>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Bmj*, 372.
<https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Patriawan, D. A., Putra, J. H., & Setyono, B. (2021). Analisis Perbandingan Biaya Operasional antara Kendaraan Listrik, Bensin dan Diesel Institut Teknolgi Adhi Tama Surabaya, Fakultas Teknologi Industri. *Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan I*, 128–135.
<https://ejurnal.itats.ac.id/senastitan/article/viewFile/1681/1444>
- Rojas-Reinoso, E. V., Anacleto-Fernández, M., Utreras-Alomoto, J., Carranco-Quiñonez, C., & Mata, C. (2025). Comparative Study of Fuel and Greenhouse Gas Consumption of a Hybrid Vehicle Compared to Spark Ignition Vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, 16(1).
<https://doi.org/10.3390/wevj16010004>
- Snehitha, M., & Murugaiyan, V. (2023). A Review on Technologies and Challenges of Electric Vehicle in India. *Ijert*, 12(02), 53–58. www.ijert.org
- Vora, A. P. (2016). *Modeling the impact of battery degradation within lifecycle cost based design optimization of heavy-duty hybrid electric vehicles*.
https://docs.lib.purdue.edu/open_access_dissertations

- Wicaksono, S. A., Huboyo, H. S., & Samadikun, B. P. (2024). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Kendaraan Listrik di Pulau Jawa sebagai Upaya Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(1), 8133–8139.
- Woody, M., Adderly, S. A., Bohra, R., & Keoleian, G. A. (2024). Electric and gasoline vehicle total cost of ownership across US cities. *Journal of Industrial Ecology*, 28(2), 194–215.
<https://doi.org/10.1111/jiec.13463>
- Zhang, S., Xiong, R., & Sun, F. (2017). Model predictive control for power management in a plug-in hybrid electric vehicle with a hybrid energy storage system. *Applied Energy*, 185, 1654–1662.
<https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2015.12.035>