

STUDI ANALISIS PERKEMBANGAN TEKNOLOGI KENDARAAN LISTRIK HIBRIDA

Dwiki Muda Yulanto¹, Henry Iskandar²

¹Universitas Negeri Medan, Indonesia.

Email: dwikimudayulanto@unimed.ac.id

²Universitas Negeri Medan, Indonesia.

Email: henryiskandar@unimed.ac.id

ABSTRAK

Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor setiap tahun tahun semakin naik. Hal tersebut akan berdampak pada konsumsi bahan bakar fosil yang berlebihan dan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, perlu kendaraan bermotor yang lebih ramah lingkungan yaitu kendaraan berbasis listrik. Salah satu yang termasuk pada kendaraan berbasis listrik adalah kendaraan listrik hibrida. Studi ini memiliki tujuan untuk memberikan pengetahuan kepada masyarakat tentang kendaraan listrik hibrida. Penelitian ini menggunakan metode survei literature dengan Systematic Literature Review (SLR). Hasil dari studi ini bahwa kendaraan hibrida listrik (KLH) merupakan kendaraan yang memiliki lebih dari satu sumber energi penggerak yaitu mesin konvensional dan mesin listrik. Kendaraan listrik hibrida dapat diklasifikasikan berdasarkan konstruksi atau konfigurasinya dan berdasarkan tingkat kehibridannya. Berdasarkan konfigurasi kendaraan listrik hibrida terbagi menjadi tiga yaitu Series Hybrid Electric Vehicle (S-HEV), Paralle Hybrid Electric Vehicle (P-HEV), dan Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle (SP-HEV). Berdasarkan tingkat kehibridannya kendaraan listrik hibrida terbagi menjadi empat yaitu Micro Hybrid, Mild Hybrid (MHEV), Full Hybrid (FHEV), dan Plug-in Hybrid (PHEV). Teknologi kendaraan listrik hibrida dapat menjadi teknologi transisi sebelum teknologi kendaraan listrik, sehingga konsumen/masyarakat dapat beradaptasi tentang elektrifikasi kendaraan bermotor.

Kata kunci: *Kendaraan Bermotor, Ramah Lingkungan, Hemat Bahan Bakar, Kendaraan Listrik Hibrida.*

ABSTRACT

The growth in the number of vehicles is increasing every year. This will have an impact on excessive fuel consumption and environmental pollution. Therefore, more environmentally friendly vehicles that use electric-based vehicles are needed. One that is included in electric-based vehicles is a hybrid electric vehicle (HEV). This study aims to provide knowledge to the public about hybrid electric vehicles. This study used a literature survey method with a Systematic Literature Review (SLR). This study yields that HEV is a vehicle that has more than one source of propulsion energy, namely internal combustion engines and electric machines. HEV can be classified based on their construction or configuration and based on their level of hybridity. Based on the configuration, HEV are divided into three, namely Series Hybrid Electric Vehicle (S-HEV), Parallel Hybrid Electric Vehicle (P-HEV), and Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle (SP-HEV). Based on the level of hybridity, HEV are divided into four, namely Micro Hybrid, Mild Hybrid (MHEV), Full Hybrid (FHEV), and Plug-in Hybrid (PHEV). HEV technology can be a transitional technology before electric vehicles so that consumers/the public can adapt to the electrification of vehicles.

Key words: *Vehicles, Environmentally Friendly, Fuel Efficient, Hybrid Electric Vehicles*

PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor setiap tahun tahun semakin naik. Menurut data dari Badan Pusat Statistik, pada tahun 2017 jumlah kendaraan bermotor mencapai 118.922.708 unit. Selanjutnya pada tahun 2018, terjadi peningkatan jumlah kendaraan bermotor sebesar 5,8% yang berarti jumlah kendaraan bermotor mencapai 126.508.776 unit. Indonesia memiliki 133.617012 unit kendaraan bermotor pada tahun 2019, angka tersebut menunjukkan adanya peningkatan sekitar 5% (BPS, 2021). Peningkatan jumlah kendaraan bermotor tersebut akan mengakibatkan terjadinya peningkatan konsumsi bahan bakar fosil yang signifikan. Jika peningkatan konsumsi bahan bakar fosil tidak disertai dengan produksi bahan bakar fosil yang lebih cepat maka hal yang ditakutkan adalah terjadinya defisit bahan bakar minyak di Indonesia. Produksi minyak bumi per Januari 2021 di Indonesia sekitar 686.000 barel per hari. Tetapi, jumlah konsumsi minyak bumi di Indonesia sekitar 1.392.000 barel per hari (KNOEMA, 2021). Angka tersebut menunjukkan bahwa adanya ketidakseimbangan antara produksi dan konsumsi.

Penyebab kerusakan lingkungan salah satunya adalah kendaraan bermotor (Roza et al., 2017). Kerusakan lingkungan yang dimaksud adalah pencemaran dari gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Emisi kendaraan bermotor mengandung berbagai senyawa kimia yang membawa dampak negative terhadap kesehatan dan lingkungan (Buanawati et al., 2017; Haryanto, 2019; Wardoyo, 2016). Jadi semakin banyak jumlah kendaraan yang menghasilkan gas buang akan berdampak pada pencemaran lingkungan khususnya pencemaran udara.

Penggunaan kendaraan berbasis listrik (KBL) dapat menjadi solusi mengurangi penggunaan kendaraan berbahan bakar fosil. Mobil listrik sebagai salah satu KBL memiliki keunggulan yaitu tidak menghasilkan gas buang sehingga bisa mengurangi pemanasan global di Indonesia (Resosudarmo et al., 2009). Pemerintah melalui Perpres No. 55 Tahun 2019 memberikan dukungan terhadap kendaraan berbasis listrik. Kendaraan Berbasis Listrik yang dimaksud yaitu mobil listrik atau *electric vehicle* (EV), mobil hibrida atau *hybrid electric vehicle* (HEV), dan Plug-in Hybrid serta termasuk juga motor listrik dan motor hibrida (Satria, 2019). Terbitnya peraturan tersebut memicu produsen kendaraan bermotor di Indonesia meluncurkan produk-produk elektrifikasinya dan dari beberapa jenis teknologi elektrifikasi yang ada, teknologi hibrida jadi yang paling banyak dipilih oleh para produsen kendaraan bermotor di Indonesia. Salah satunya adalah Toyota, yang lebih memilih teknologi hibrida untuk produknya saat ini. Alasan yang menjadi pertimbangan Toyota memilih teknologi tersebut, yaitu efisiensi bahan bakar, ramah lingkungan, infrastruktur, serta biaya perawatan (Kumparan, 2019). Selain itu, Honda juga lebih memilih teknologi hibrida. Alasan yang paling utama adalah masalah fasilitas pengisian listrik (Dahliwani, 2020).

Hal itu sejalan dengan penelitian yang dilakukan Lembaga Penyelidikan Ekonomi dan Masyarakat (LPEM) Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Indonesia, ternyata masyarakat

Indonesia saat ini lebih senang untuk bisa mengendarai PHEV dibandingkan kendaraan/mobil listrik (Andika, 2020). Penggunaan mobil listrik di Indonesia masih ada beberapa kekurangan. Salah satu kekurangannya adalah masih terbatasnya tempat pengisian listrik untuk mobil listrik (Aziz et al., 2020). Oleh karena itu dibutuhkan teknologi transisi antara kendaraan listrik dan kendaraan konvensional. Perubahan teknologi yang signifikan dan instan tidak jarang memerlukan adaptasi yang sulit. Perubahan tersebut membutuhkan jembatan untuk edukasi kepada konsumen. Mobil bertenaga hibrida diyakini bisa menjadi jembatan penghubung bagi pengguna sebelum menuju mobil bertenaga listrik. Studi ini akan membahas bagaimana prinsip kerja teknologi kendaraan hibrida dan apa saja jenis-jenis kendaraan hibrida. Studi ini memiliki tujuan untuk memberikan pengetahuan kepada masyarakat tentang teknologi kendaraan hibrida. Manfaat dari studi ini adalah masyarakat lebih mengenal tentang teknologi kendaraan hibrida.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode survei literatur. Dalam pelaksanaannya menggunakan *Systematic Literature Review (SLR)*. Prosedur pengumpulan data dengan mencari literatur dari internet. Proses pencariannya menggunakan beberapa kata kunci. Kata kunci pertama yaitu "*Hybrid Electric Vehicle*". Kata kunci kedua yaitu "*Classification of Hybrid Electric Vehicles*". Hasil dari pencarian meliputi artikel jurnal, artikel pada web yang dapat dipercaya dan buku. Hasil pencarian tersebut kemudian dianalisis isinya dan selanjutnya dilakukan *filtering*. Tujuannya adalah untuk mendapatkan sumber yang paling sesuai dan paling lengkap. Langkah selanjutnya, kemudian semua artikel/buku disintesis dan diidentifikasi sehingga didapatkan kesimpulan.

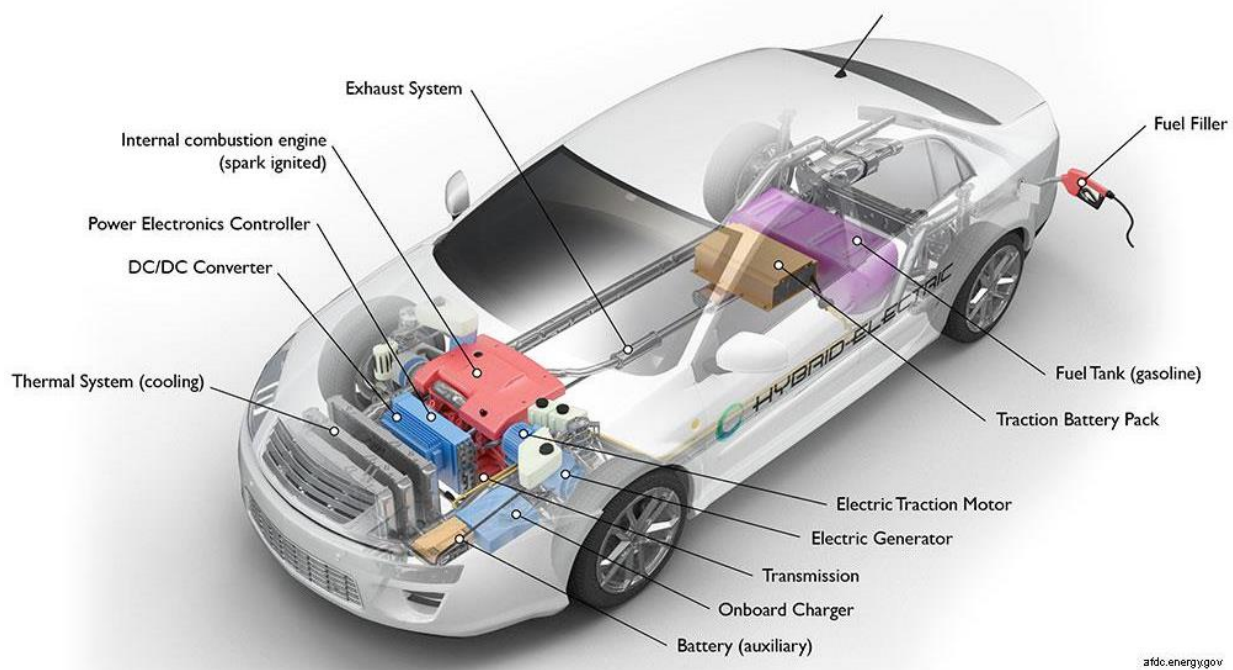
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Prinsip Dasar Kendaraan Listrik Hibrida

Kendaraan Listrik Hibrida (KLH) dalam studi ini akan menggunakan istilah yang lebih banyak dikenal yaitu *Hybrid Electric Vehicle (HEV)*. HEV menggabungkan lebih dari satu sumber tenaga pendorong untuk memberi energy sebuah kendaraan (Emadi, 2015). HEV mengkombinasikan teknologi dari *battery-operated electric vehicle (BEV)* dan *internal combustion engine vehicle (ICE)* (Erjavec, 2012). HEV mampu memberikan performa tanpa batas dengan efisiensi lebih tinggi, lebih sedikit kebisingan, lebih sedikit polusi tanpa mengubah gaya berkendara (Dhole et al, 2018). Logika penggunaan dua sumber energy pada sebuah kendaraan cukup sederhana. ICE biasanya memiliki daya yang lebih banyak daripada kebutuhan daya kendaraan saat situasi tertentu. Biasanya ICE bisa menghasilkan daya lebih dari 150 HP, namun hanya 20-40 HP yang dibutuhkan saat mode jelajah atau kecepatan konstan. Sisa tenaga hanya dibutuhkan untuk akselerasi dan saat melewati sebuah tanjakan. Motor listrik dapat memberikan daya secara instan dan tanpa mengkonsumsi bahan bakar. HEV menggunakan lebih sedikit bahan

bakar saat dalam kondisi berkendara di perkotaan dari pada kendaraan konvensional/ICE. Hal tersebut disebabkan karena ICE tidak selalu memberikan dayanya kepada kendaraan. Tenaga dari motor listrik membantu atau memberikan tenaga tambahan pada saat tersebut.

Pada saat berkendara di jalan raya HEV juga memiliki konsumsi lebih hemat, karena ICE yang digunakan lebih kecil dan lebih efisien. Sebagian besar HEV menggunakan ICE dengan siklus Atkinson. Siklus ini berbeda dengan siklus mesin konvensional/siklus otto pada umumnya. Mesin siklus Atkinson lebih efisien 10% daripada siklus otto/konvensional. Pada mesin dengan siklus Atkinson, terjadi penundaan penutupan katup masuk saat langkah kompresi (Taufik, 2017). Penundaan tersebut mengakibatkan ada beberapa campuran bahan bakar dan udara masuk kembali ke saluran masuk. Sehingga volume yang terkompresi lebih sedikit. Namun, sisa campuran BBM dan udara tadi masuk kembali ke silinder selanjutnya. Meskipun volume yang terkompresi lebih sedikit tetapi menghasilkan output ledakan yang sama dibandingkan dengan mesin siklus otto. Kelebihan dari Mesin Atkinson adalah memiliki efisiensi yang lebih baik., tenaga di putaran atas juga lebih ringan. Namun, mesin ini juga memiliki kekurangan yaitu torsi putaran bawah yang lebih rendah. Oleh karena itu pada HEV motor listrik memberikan tambahan tenaga pada saat akselerasi atau putaran bawah (Ortizaku, 2019).



Gambar 1. Hybrid Electric Vehicle

Energi listrik pada HEV dihasilkan oleh generator yang digerakkan oleh ICE. Energi listrik tersebut bisa digunakan untuk memutar motor listrik dan untuk mengisi baterai. HEV memiliki beberapa fitur yang bisa meningkatkan efisiensi dari sebuah kendaraan. Salah satunya adalah *system stop-start*. Saat HEV berhenti di lampu lalu lintas, ICE sementara dapat dimatikan. Kemudian dapat hidup kembali secara otomatis saat pengemudi menginjak pedal gas, melepaskan pedal rem, atau memindahkan posisi transmisi. Selain itu ada fitur *regenerative braking* yang merubah energy kinetic dari kendaraan menjadi energy listrik (Govardhan, 2017).

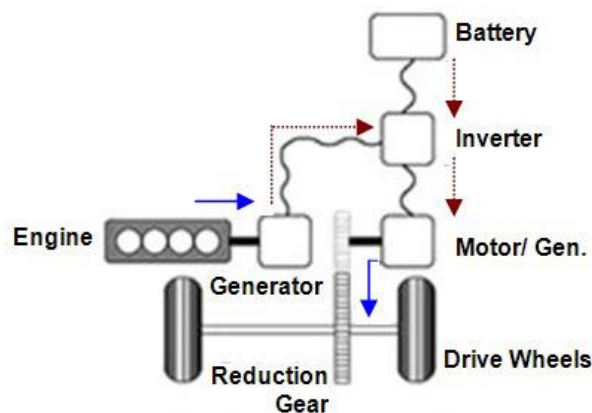
Beberapa tipe HEV dapat mengisi baterainya sendiri dari system internal dalam kendaraan tersebut. Tetapi ada HEV yang dapat dihubungkan ke jaringan listrik eksternal untuk melakukan pengisian baterai. HEV tersebut diberikan nam *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV). Jadi selain pengisian baterai dari *regerative braking mode* dan generator, HEV ini dapat diisi baterainya melalui sumber listrik eksternal.

B. Klasifikasi Kendaraan Listrik Hibrida Berdasarkan Konfigurasinya.

Berdasarkan konfigurasi Hybrid Electric Vehicle (HEV) dibedakan menjadi tiga, yaitu tipe seri, tipe parallel, dan tipe seri-paralel.

Series Hybrid Electric Vehicle (S-HEV)

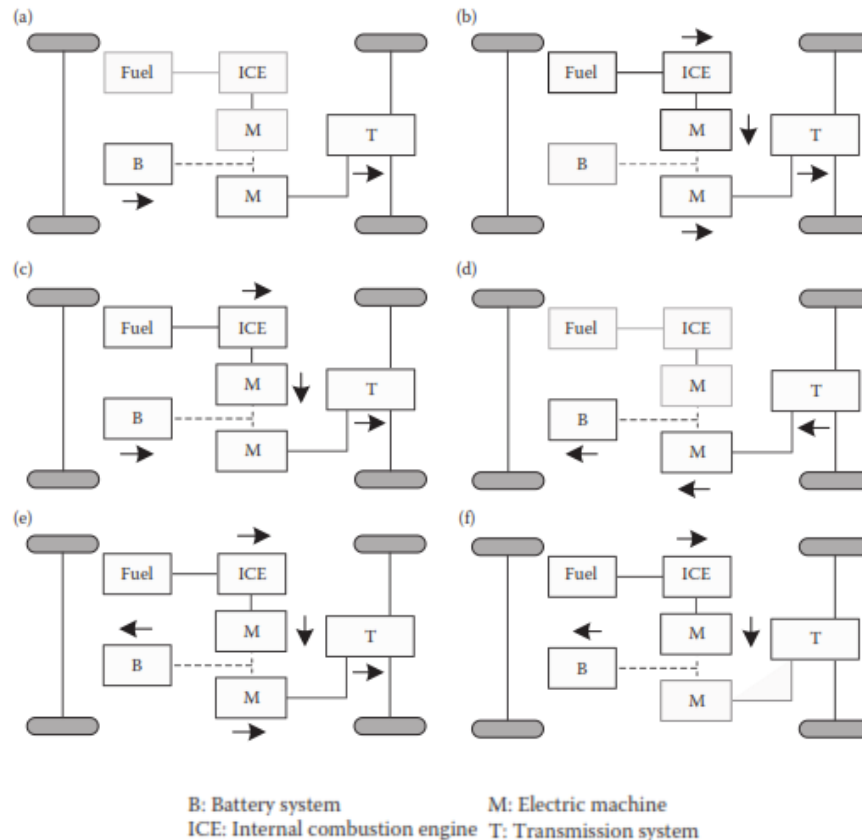
Pada tipe seri, dari dua sumber energi dalam kendaraan, hanya satu yang digunakan sebagai penggerak kendaraan (Chan & Wong, 2004). Motor listrik menjadi penggerak utama pada kendaraan hibrida tipe ini (Dhole et al, 2018). Mesin ICE yang digunakan lebih kecil dibandingkan dengan tipe lain. Hal tersebut dikarenakan ICE hanya digunakan untuk memutar generator. Generator berfungsi sebagai sumber energi listrik untuk mengisi baterai dan untuk memberikan energi listrik pada motor listrik. Generator ditempatkan secara seri dengan ICE. Generator dapat jug berperan sebagai motor listrik/motor starter pada saat menyalakan ICE (Elmadi, 2015). Generator memberikan energi listrik kepada motor listrik ketika kendaraan dalam keadaan beban besar atau dalam kondisi baterai blm dapat memberikan energi listrik kepada motor listrik. Generator memberikan energi listriknya kepada baterai saat kendaraan dalam keadaan beban kecil.



Gambar 2. Series Hybrid Electric Vehicle (S-HEV)

HEV tipe seri tidak memungkinkan terjadinya koneksi secara mekanis antara ICE dan system pemindah daya. Sehingga ICE dapat bekerja secara independen dan dapat bekerja mendekati tingkat efesiensi yang lebih tinggi/puncak (Cardoso et al, 2019). Kebutuhan daya listrik pada motor listrik sama dengan kendaraan listrik (EV). Sehingga membutuhkan motor listrik yang cukup besar. S-HEV memiliki energy recovery yang lebih tinggi daripada tipe lainnya. Pada tipe ini daya pengereman regenerative dapat disimpan ke dalam baterai (Shen, Shan, & Gao, 2011).

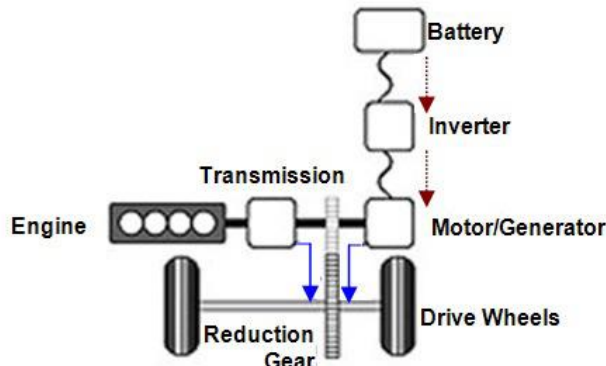
Motor listrik dapat beroperasi sebagai generator saat pengereman dan deselerasi. S-HEV memiliki enam mode operasi yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Mode Operasi S-HEV

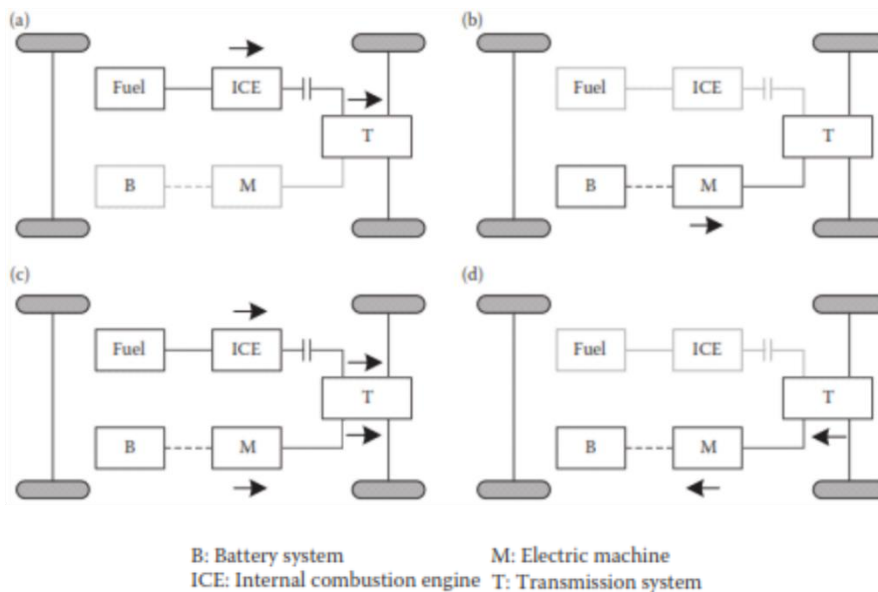
Gambar (a) menunjukkan motor listrik memberikan tenaga pada kendaraan. Gambar (b) menunjukkan ICE melalui generator memberikan energi listrik kepada motor listrik untuk menggerakkan kendaraan. Gambar (c) menunjukkan ICE/generator dan baterai memberikan daya listrik kepada motor listrik untuk menggerakkan kendaraan. Gambar (d) menunjukkan mode regenerative braking mode. Gambar (e) menunjukkan ICE/generator memberikan energi listrik kepada motor listrik, jika ada kelebihan energi listrik maka disimpan dibaterai. Gambar (f) menunjukkan ICE/generator mengisi baterai. S-HEV memiliki kelebihan sebagai berikut: (1) Tidak adanya hubungan mekanis antar ICE dan roda. (2) Hanya memiliki satu sumber torsi/tenaga sehingga dapat menyederhanakan control kecepatan. (3) Karakteristik torsi/kecepatan motor listrik menghilangkan transmisi multigear. (4) ICE dapat bekerja dalam efisiensi maksimum sehingga dapat mengurangi konsumsi bahan bakar. Sedangkan kelemahan dari S-HEV adalah: (1) Terjadi konversi energi bertingkat dari mekanis ke listrik melalui generaot dan dari listrik ke mekanis melauai motor listrik. (2) Membutuhkan dua mesin listrik yaitu generator dan motor listrik. (3) Membutuhkan baterai dan motor listrik/motor traksi yang besar.

Parallel Hybrid Electric Vehicle (P-HEV)



Gambar 4. Parallel Hybrid Electric Vehicle (P-HEV)

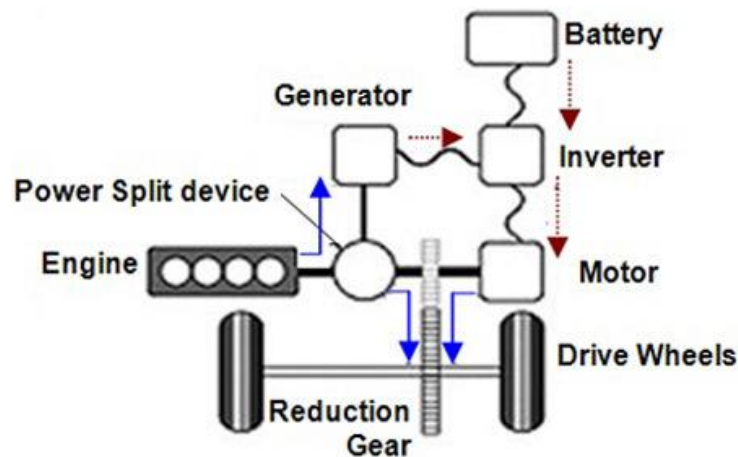
Parallel Hybrid Electric Vehicle (P-HEV) adalah tipe kendaraan hibrida yang memiliki lebih dari satu sumber tenaga yang dapat mengirimkan tenaga ke roda (Chan & Wong, 2004). Jadi ICE dan motor listrik dapat terhubung ke transmisi/roda. ICE dan motor listrik dikonfigurasi secara paralel dengan kopling mekanis (Govardhan, 2017). ICE dan motor listrik dapat menggerakkan kendaraan, secara masing-masing atau bersama-sama (Shen, Shan, & Gao, 2011). Tipe parallel ini, ICE terhubung secara mekanis ke transmisi. Motor listrik digunakan untuk memberikan tambahan tenaga saat akselerasi. Motor listrik juga dapat digunakan sebagai sumber tenaga saat kondisi idle dan starting. Hal itu tergantung pada kekuatan motor listrik yang digunakan (Cardoso et al, 2019). P-HEV hanya memiliki satu mesin listrik yang dapat berfungsi sebagai generator dan motor listrik. P-HEV memiliki baterai yang lebih kecil dibanding tipe lainnya dan membutuhkan motor traksi/motor listrik yang lebih kecil juga. P-HEV memiliki empat mode operasi yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Mode Operasi P-HEV

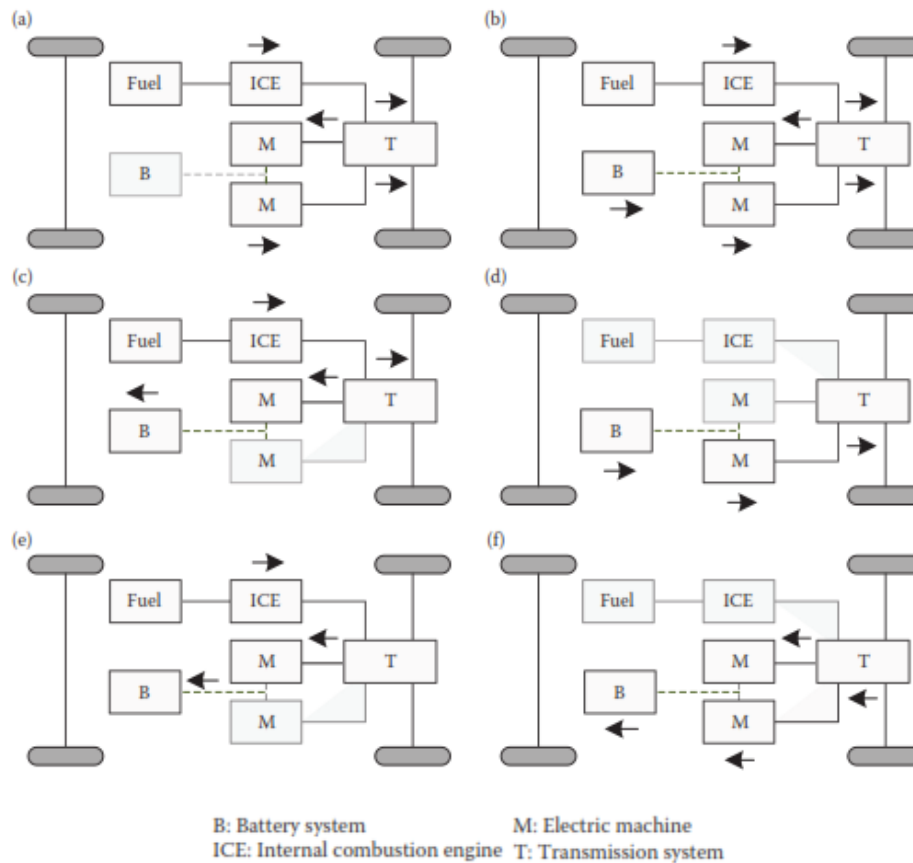
Gambar (a) menunjukkan ICE menyuplai tenaga/torsi untuk menggerakkan kendaraan. Gambar (b) menunjukkan motor listrik memberikan tenaga/torsi (medium) untuk menggerakkan kendaraan. Gambar (c) menunjukkan ICE dan motor listrik menyuplai torsi/tenaga untuk menggerakkan kendaraan. Gambar (d) menunjukkan *regenerative braking mode* pada kendaraan. Kelebihan tipe parallel adalah (1) Kemungkinan kehilangan energi lebih sedikit, karena tidak ada koversi energi yang berulang. (2) Tidak membutuhkan generator tambahan. (3) Motor traksi lebih kecil daripada tipe seri. Kelemahan tipe parallel adalah (1) Sistem lebih rumit. (2) Struktur dan control lebih kompleks. (3) Baterai tidak dapat diisi saat kendaraan berhenti, karena tidak ada generator tersendiri dan ICE tidak terpisah dari roda/transmisi.

Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle (SP-HEV)



Gambar 6. *Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle (SP-HEV)*

Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle (SP-HEV) merupakan tipe kendaraan hibrida yang paling populer. Tipe ini mengkombinasikan teknologi dari tipe seri dan tipe parallel. Jika dibandingkan dengan tipe seri, ada penambahan hubungan mekanis antara ICE dan transmisi. Jika dibandingkan dengan tipe parallel, ada tambahan generator pada tipe ini (Shen, Shan, & Gao, 2011). SP-HEV memiliki dua mesin listrik dan satu ICE (Elmadi, 2015). Dua mesin listrik yaitu satu berperan sebagai generator dan satu berperan sebagai motor listrik. Tetapi dalam kondisi tertentu dua mesin listrik tersebut dapat berperan sebaliknya. Dua mesin listrik dan sebuah ICE dihubungkan ke *drive axle* melalui *planetary gear system*. Sistem ini memungkinkan kendaraan beroperasi sebagai S-HEV dan P-HEV (Cardoso et al, 2019). Pada tipe seri-paralel ICE juga dapat digunakan untuk mengisi baterai (Govardhan, 2017). Selain dari *regenerative braking mode* dan delesi, pengisian baterai dapat juga dilakukan saat kondisi kendaraan berhenti atau saat kemacetan lalu-lintas. SP-HEV memiliki enam mode operasi yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Mode Operasi SP-HEV

Gambar (a) menunjukkan ICE memberikan tenaga (medium) ke roda dan melalui generator memberikan energi listrik ke motor listrik, sehingga motor listrik juga dapat menggerakkan kendaraan. Gambar (b) menunjukkan ICE dan motor listrik bersama-sama memberikan torsi/tenaga untuk menggerakkan kendaraan. Gambar (c) menunjukkan ICE menyuplai torsi/tenaga ke roda dan melalui generator menyuplai energi listrik untuk pengisian ke baterai. Gambar (d) menunjukkan baterai menyuplai energi listrik ke motor listrik untuk menggerakkan kendaraan. Gambar (e) menunjukkan ICE melalui generator melakukan pengisian ke baterai saat kendaraan dalam keadaan berhenti/lalu lintas macet. Gambar (f) menunjukkan *regenerative braking mode* pada kendaraan tersebut. Kelebihan dari SP-HEV adalah sebagai berikut: (1) Memungkinkan kendaraan beroperasi dalam mode seri atau mode parallel. (2) Mode seri atau mode parallel dapat berkerja lebih efisien. (3) Konsumsi bahan bakar lebih hemat. Kelemahan dari tipe ini adalah: (1) Membutuhkan dua mesin listrik. (2) Sistem lebih rumit. (3) Lebih mahal daripada parallel hybrid.

C. Klasifikasi Kendaraan Listrik Hibrida Berdasarkan Tingkat Kehybridannya

Berdasarkan tingkat kehibridannya Hybrid Electric Vehicle (HEV) dibedakan menjadi empat, yaitu *Micro Hybrid*, *Mild Hybrid*, *Full Hybrid*, dan *Plug-in Hybrid*.

Micro Hybrid

Micro Hybrid memiliki tingkat kehibridan kurang dari 5% (Cardoso, 2019). Motor listrik yang digunakan berbentuk kecil, yang berfungsi sebagai starter/generator. Motor listrik digunakan untuk mematikan mesin saat kendaraan berhenti total dan menyalakan kembali saat pengemudi melepas pedal rem atau menekan pedal gas kembali. Sistem tersebut biasanya disebut *system idle-stop* atau *start-stop system* (Elmadi, 2015). Setelah bergerak, kendaraan ditenagai oleh ICE dan motor listrik tidak memberikan torsi/tenaga tambahan pada kendaraan. *Micro hybrid* meningkatkan efisiensi bahan bakar sebesar 5-10% (Govardhan, 2017). Motor listrik yang digunakan menghasilkan daya listrik sebesar 3-5 kW pada 12 Volt. Meskipun motor listrik tidak bisa menggerakkan kendaraan, tetapi energi listriknya dimanfaatkan untuk membantu aksesoris di kendaraan seperti *power steering* dan *air condition* (Vidyanandan, 2018). Beberapa *micro hybrid* memiliki kemampuan *regenerative braking*. Pada saat *regenerative braking mode* motor listrik berubah peran menjadi generator untuk mengisi baterai. Tetapi kemampuan tersebut tidak ada pada *micro hybrid* yang standar. *Micro hybrid* biasanya ditemukan pada kendaraan ringan dan cocok untuk kendaraan di perkotaan. Banyak produsen mobil menerapkan *Micro Hybrid* sebagai teknologi transisi antara mesin konvensional dan HEV. Contoh mobil yang menggunakan *micro hybrid* adalah BMW 1 & 3 series, FIAT 500 (PUR-O2), Volkswagen, Mercedes-Benz A Class (Smart Hybrid), Peugeot Citroen C3, Ford Focus and Transit, dan lain sebagainya.

Mild Hybrid (MHEV)

Mild Hybrid menggunakan motor listrik dengan daya listrik yang lebih tinggi yaitu 7-15 kW pada 60-200 Volt (Vidyanandan, 2018). Tipe ini dapat menghemat konsumsi bahan bakar sampai dengan 20% (Elmadi, 2015). *Mild Hybrid* memiliki konstruksi generator/motor dipasang secara parallel dengan ICE (Govardhan, 2017). Motor listrik tidak dapat menjadi penggerak tunggal kendaraan. Motor listrik hanya mendukung saat menyalakan mesin, *regenerative braking*, dan juga memberikan torsi tambahan saat akselerasi. Motor listrik pada tipe ini memberikan tambahan torsi/tenaga sebesar 10% dari tenaga maksimum mesin (Cardoso, 2019). *Mild hybrid*, ICE akan selalu aktif, kecuali jika kendaraan berhenti (*idle-stop system*). Baterai yang digunakan pada tipe ini lebih besar dibandingkan dengan *micro hybrid*. Contoh mobil yang menggunakan *mild hybrid* adalah Chevrolet Malibu e-Assist, Chevrolet Silveradois (hemat bahan bakar sampai 12%), Honda Escape, Honda Civic Hybrid, Honda Insight and Honda CRZ (tenaga tambahan sebesar 30% dari tenaga mesin), Mercedes-Benz S-Class, BMW 7-series Active Hybrid, dan lain-lain.

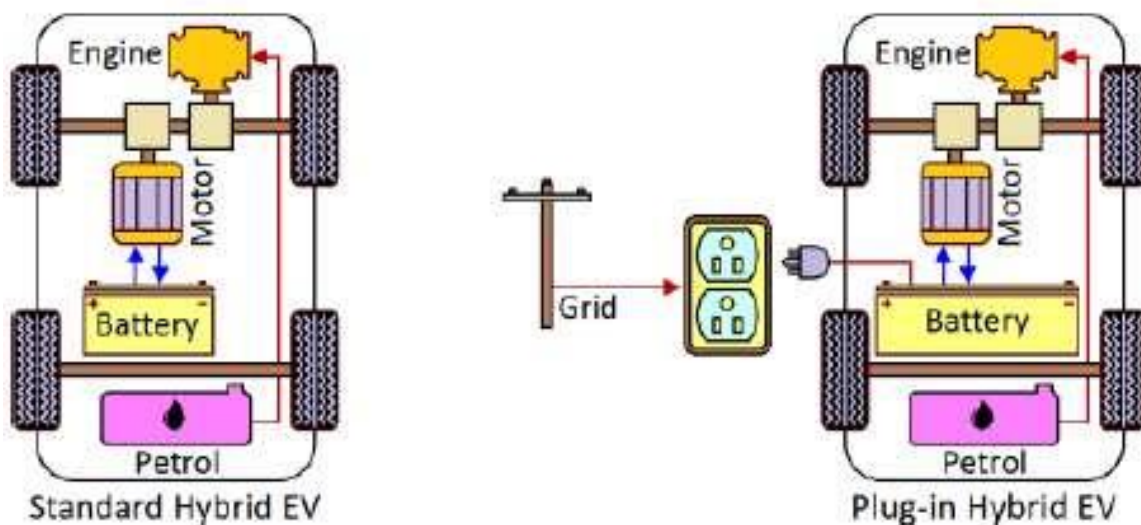
Full Hybrid (FHEV)

Full Hybrid memiliki motor listrik yang dapat menghasilkan daya sebesar 30-50 kW pada 200-600 Volt (Vidyanandan, 2018). Motor listrik dengan kapasitas sebesar itu dikarenakan kendaraan dengan tipe *full hybrid* dapat bergerak hanya dengan energi listrik saja. *Full hybrid* dapat menghemat konsumsi bahan bakar sebesar 30-50%. Selain memiliki motor listrik yang lebih besar, *full hybrid* juga memiliki kapasitas baterai yang lebih besar dibandingkan dengan tipe *micro hybrid* dan *mild hybrid* (Cardoso, 2019). Motor listrik memberikan torsi tambahan pada mesin paling sedikit 40% (Govardhan, 2017). *Full hybrid* memiliki ukuran ICE yang lebih kecil daripada

tipe yang lain. *Full hybrid* menggunakan konfigurasi seri-paralel (Reif, 2014). Kendaraan *full hybrid* dapat bekerja hanya menggunakan ICE atau hanya menggunakan listrik atau menggunakan keduanya (Elmadi, 2015). Mobil yang menggunakan *full hybrid* adalah Kia Optima Hybrid, Camry Hybrid, Ford Fusion Hybrid/Lincoln MKZ Hybrid, Ford Escape Hybrid, Ford C-Max Hybrid, Toyota Prius dan lain-lain.

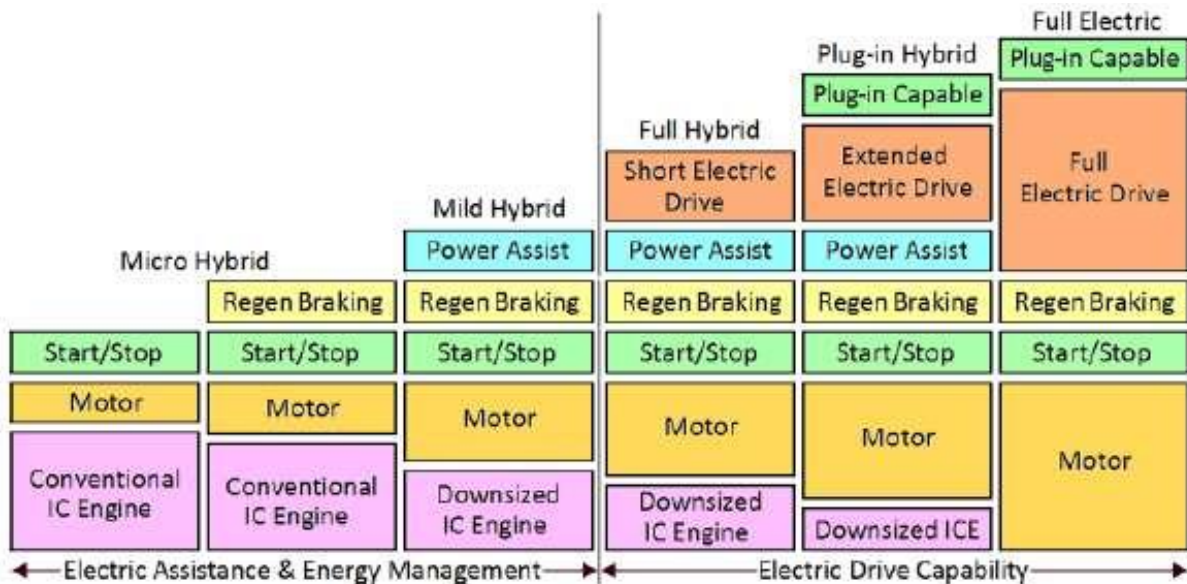
Plug-in Hybrid (PHEV)

PHEV adalah FHEV yang memiliki ICE yang lebih kecil, baterai lebih besar, dan motor listrik yang lebih besar. Baterai PHEV dapat diisi ulang dari daya eksternal (Reif, 2014). Hal tersebut berbeda dengan HEV yang lain dimana HEV yang lain baterainya diisi dengan menggunakan generator yang digerakkan mesin atau dari pengereman regeneratif. PHEV memiliki jangkauan berkendara dengan listrik (*electric driving mode*) lebih pendek dibandingkan dengan mobil listrik (*electric vehicle*). Tetapi memiliki jangkauan lebih besar (*electric driving mode*) dibandingkan dengan tipe hybrid lainnya, karena ICE/generator dapat membantu system ketika baterai habis (Vidyanandan, 2018). PHEV juga memiliki kemampuan pengereman regeneratif yang lebih tinggi dibandingkan HEV lainnya. Hal tersebut dikarenakan PHEV memiliki motor listrik yang besar (Elmadi, 2015).



Gambar 8. Perbandingan Standar HEV dan Plug-in HEV (PHEV)

Kelebihan dari PHEV ini adalah (1) efisiensi bahan bakar lebih baik daripada HEV lainnya. (2) Jangkauan berkendara dengan energi listrik lebih jauh daripada mobil listrik. (3) Biaya untuk membeli bahan bakar lebih sedikit. (4) Lebih ramah lingkungan. (5) Penyimpanan energi lebih besar. Kelemahan dari PHEV adalah (1) Harga/biaya lebih mahal. (2) Beban lebih berat. (3) Belum tersediannya stasiun pengisian cepat (*fast charging station*) sehingga waktu pengisian memakan waktu lama. Mobil yang termasuk PHEV adalah Mitsubishi Outlander PHEV, Toyota Prius PHEV, Chevrolet Volt dan lain-lain.



Gambar 9. Klasifikasi dan Fitur HEV

Gambar diatas menunjukkan beberapa macam tipe HEV dan fitur yang dimiliki tiap tipe HEV. Selain itu gambar tersebut juga menggambarkan perbandingan ukuran/kapasitas dari motor listrik, *internal combustion engine*, dan *electric drive mode*. Semakin ke kanan maka semakin besar kapasitas motor listrik yang digunakan tetapi semakin kecil kapasitas ICE yang digunakan. Kapasitas berkendara dalam mode listrik semakin ke kanan semakin besar. Jadi, puncak dari semua perkembangan kendaraan hybrid adalah kendaraan listrik (*electric vehicle*).

KESIMPULAN

Kendaraan yang memiliki sumber tenaga penggerak lebih dari satu yaitu mesin konvensional atau *internal combustion engine* (ICE) dan mesin listrik disebut kendaraan hibrida listrik atau Hybrid Electric Vehicle (HEV). Hybrid Electric Vehicle dapat diklasifikasi berdasarkan konstruksi atau konfigurasi dan berdasarkan tingkat kehibidannya. HEV berdasarkan konfigurasi terdiri dari 3 tipe yaitu *Series Hybrid Electric Vehicle* (S-HEV), *Parallel Hybrid Electric Vehicle* (P-HEV), dan *Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle* (SP-HEV). HEV berdasarkan tingkat kehibidannya terdiri dari 4 tipe yaitu *Micro Hybrid*, *Mild Hybrid* (MHEV), *Full Hybrid* (FHEV), dan *Plug-in Hybrid* (PHEV). Teknologi hybrid dapat menjadi teknologi transisi sebelum teknologi kendaraan listrik (Electric Vehicle). Tujuannya adalah mengenalkan sedikit demi sedikit tentang elektrifikasi pada kendaraan, sehingga konsumen/masyarakat dapat beradaptasi terhadap perubahan selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Andika, M.L. (2020). *Pengendara di Indonesia Lebih Senang Hybrid Dibandingkan Mobil Listrik?*. Diakses pada 16 April 2021, dari <https://oto.detik.com/mobil/d-5273196/pengendara-di-indonesia-lebih-senang-hybrid-dibandingkan-mobil-listrik>
- Aziz, M., Marcellino, Y., Rizki, I.A., Ikhwanuddin, S.A., and Simatupang, J.W. (2020). Studi Analisis Perkembangan Teknologi dan Dukungan Pemerintah Indonesia Terkait Mobil Listrik. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 22(1). 45-55.
- Buanawati, T.T., Huboyo, H.S., Samadikun, B.P. (2017). Estimasi Emisi Pencemar Udara Konvensional (Sox, Nox, Co, dan Pm) Kendaraan Pribadi Berdasarkan Metode International Vehicle Emission (Ive) di Beberapa Ruas Jalan Kota Semarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(3), 1–12.
- Cardoso, D.S., Fael, P.O., and Santo, A.E. (2019). A review of micro and mild hybrid systems. Paper dipresentasikan di *6th International Conference on Energy and Environment Research*. University of Aveiro, Portugal: Elsevier.
- Chan, C.C. and Wong, Y.S. (2004). Electric vehicles charge forward. *IEEE Power and Energy Magazine*, 2(6), 24-33.
- Dahwilani, D.M. (2020). Soal Kendaraan Listrik, Honda Sebut Indonesia Lebih Cocok Mobil Hybrid. Diakses pada 16 April 2021, dari <https://www.inews.id/otomotif/mobil/soal-kendaraan-listrik-honda-sebut-indonesia-lebih-cocok-mobil-hybrid>
- Dhole, P.A., Kumbhalkar, M.A., Jadhav, G.V., and Dalwai, A.S. (2018). Recent Trends in Transportation Technology as Hybrid-Electric Vehicle: A Review. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 8(2), 4-8.
- Elmadi, A. (2015). *Advanced Electric Drive Vehicle*. Florida: CRC Press
- Erjavec, J. (2012). *Hybrid, Electric, & Fuel-Cell Vehicle*. USA: Delmar
- Govardhan, O.M. (2017). Fundamentals and Classification of Hybrid Electric Vehicles. *International Journal of Engineering and Techniques*, 3(5), 194-198.
- Haryanto, J.T. (2019). Pemetaan Insentif Fiskal Bagi Pengembangan BBM Berkualitas di Indonesia. *Warta Penelitian Perhubungan*, 27(5), 311–322.
- Kumpanan. (2019). *Alasan Mobil Hybrid Cocok dengan Indonesia*. Diakses pada 16 April 2021, dari <https://kumpanan.com/kumpananoto/alasan-mobil-hybrid-cocok-dengan-indonesia-1sT2md30221/full>
- Ortizaku. (2019). Mengenal Mesin Atkinson Cycle, Apa Perbedaannya dengan Mesin Biasa (Otto)? Diakses pada 17 April 2021, dari <https://www.ortizaku.com/index.php/Otomotif/mengenal-mesin-atkinson-cycle-apa>
- Reif, K. (2014). *Fundamentals of Automotive and Engine Technology*. Germany: Springer.

- Resosudarmo, B.P., Nurdianto, D.A., and Yusuf, A.A. (2009). *Greenhouse Gas Emission in Indonesia: The Significance of Fossil Fuel Combustion*. Palembang: Sriwijaya University Press.
- Roza, I.D., Ibrahim, I., Nggeboe, F. (2017). Penerapan Asas Pertanggungjawaban Mutlak (Absolute Liability) Dalam Undang Undang Nomor 32 Tahun 2009 Terhadap Perusakan Dan Pencemaran Lingkungan Di Indonesia. *Legalitas:Jurnal Hukum*, 1(5), 132–202.
- Satria, G. (2019). *Ini Penyebutan Mobil dan Motor Listrik di Perpres Kendaraan Listrik*. Diakses pada 16 April 2021, dari <https://otomotif.kompas.com/read/2019/08/15/155637815/ini-penyebutan-mobil-dan-motor-listrik-di-perpres-kendaraan-listrik>
- Shen, C., Shan, P., and Gao, T. (2011). A Comprehensive Overview of Hybrid Electric Vehicles. *International Journal of Vehicular Technology*, 2011, 1-7.
- Taufik. (2017). VLOG TECH TALK : Kenalan Dengan Mesin Atkinson. Diakses pada 17 April 2021, dari <https://tmcblog.com/2017/05/13/vlog-tech-talk-kenalan-dengan-atkinson-cycle-engine/>
- Vindyanandan, K.V. (2018). Overview of Electric and Hybrid Vehicles. *A House Journal Of Corporate Planning*, 32, 7-14.
- Wardoyo, A.Y.P. (2016). *Emisi Partikulat Kendaraan Bermotor dan Dampak Kesehatan*. Surabaya: Universitas Brawijaya Press.