

STATE OF THE ART SISTEM PROPULSI DAN BAHAN BAKAR OTOMOTIF

- 1) Mahasiswa Program Studi Mesin Otomotif, Universitas Muhammadiyah Magelang Jl. Bambang Soegeng Km 05 Mertoyudan Magelang
- 2) Pengajar Program Studi Mesin Otomotif, Universitas Muhammadiyah Magelang

Corresponding email ^{1*)}:
latifur229@gmail.com

Received: 15-09-2019

Accepted: 16-11-2019

Published: 28-12-2019

©2019 Politala Press.
All Rights Reserved.

Muhammad Latifur Rochman^{1*)}, Muji Setiyo²⁾

Abstrak. Makalah ini membahas perkembangan sistem propulsi dan bahan bakar otomotif. Leonardo Da Vinci pertama kali membentuk sketsa mobil tahun 1479 dan tahun 1769 tercipta Cugnot Steam Traction Engine dengan penggerak mesin uap yang merupakan cikal bakal terciptanya teknologi otomotif. Tahun 1885 Karl Benz menciptakan mesin bensin pertama yang dikenal dengan Replika Benz Motorwagen menggunakan karburator yang kemudian digantikan sistem EFI. Pada perjalanannya, sistem EFI juga mengalami evolusi. Diawali dengan Throttle Body Injector (TBI) dimana hanya menggunakan satu injektor di throttle body. Kemudian berkembang menjadi D-EFI, L-EFI dan Direct Injection. Mobil listrik pertama kali dikembangkan tahun 1832 dan mengalami kemunduran tahun 1935. Tahun 1996 sampai 1999 dikembangkan kembali mobil listrik EV1 dan merupakan awal bangkitnya industri mobil listrik. Mobil hybrid juga mengikuti perkembangan mobil listrik, dan pada tahun 1997 mobil hybrid mulai diproduksi secara massal. Sekarang, mobil listrik berkembang pada Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV), yaitu menggabungkan sistem hybrid dan mobil listrik dan Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV) yang merupakan teknologi mobil listrik masa depan dengan menggunakan hydrogen dan oksigen yang menghasilkan emisi air.

Kata Kunci : mesin uap, konvensional, electronic fuel injection, electric vehicle

Abstract. This paper discusses the development of propulsion systems and automotive fuels. Leonardo Da Vinci formed a sketch of a car in 1479 and in 1769 created the Cugnot Steam Traction Engine with a steam engine which was the forerunner to the creation of automotive technology. In 1885, Karl Benz created the first gasoline engine known as the Benz Motorwagen Replica using a carburetor which was later replaced by the EFI system. In its development, the EFI system also underwent evolution. Begins with Throttle Body Injector (TBI) which only uses one injector on the throttle body, then develops into D-EFI, L-EFI, and Direct Injection. The electric car was first developed in 1832 and suffered a setback in 1935. From 1996 to 1999 the EV1 electric car was re-developed and was the beginning of the rise of the electric car industry. Hybrid cars also follow the development of electric cars, and in 1997 hybrid cars began to be mass produced. Now, electric cars are developing in the Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV), which combines a hybrid system and an electric car and Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV) which is an electric car technology of the future by using hydrogen and oxygen that produce water emissions.

Keywords: steam engine, conventional, electronic fuel injection, electric vehicle

To cite this article at <https://doi.org/10.34128/je.v6i2.99>

1. Pendahuluan

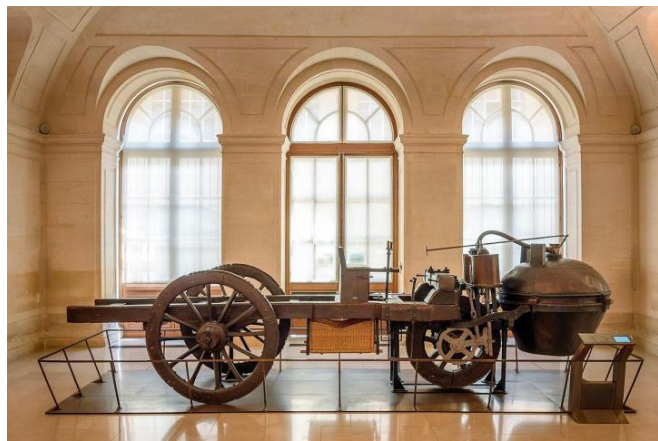
Untuk mengurangi ketergantungan terhadap minyak bumi dan mengembangkan transportasi yang berkelanjutan, banyak negara berencana untuk mengganti bahan bakar konvensional dengan bahan bakar alternatif

di masa depan [1]. Penggunaan energi listrik sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil dirasa sangat efektif karena dapat diperbarui dan dapat diperoleh dari alam sekitar [2]. Namun, pemerintah harus menyiapkan regulasi yang andal karena memerlukan biaya yang cukup besar. Jika tidak diatur dengan baik, maka perkembangan mobil listrik akan terhambat [3]. Selain energi listrik, biofuel, dan *Compressed Natural Gas (CNG)* menjadi alternatif yang sangat efektif untuk menggantikan bensin dan solar [4]–[6]. Namun demikian, penggunaan biofuel dan *CNG* sangat mengandalkan alam dan jika tidak diatur dengan baik akan menimbulkan kerusakan lingkungan yang berakibat pada meningkatnya pemanasan global. Penggunaan *fuel cell* juga membutuhkan biaya yang relatif mahal termasuk infrastruktur dan harga kepemilikan kendaraan yang masih tinggi. Untuk itu, *Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV)* menjadi salah satu alternatif yang efektif untuk saat ini dan jangka panjang sebagai transisi ke *Battery Electric Vehicle (BEV)* dan *Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)*, dan didukung oleh kebijakan pemerintah yang sesuai dengan kendaraan listrik [7], [8].

2. Perkembangan Sistem Propulsi dan Bahan Bakar Otomotif

2.1. Mobil Pertama

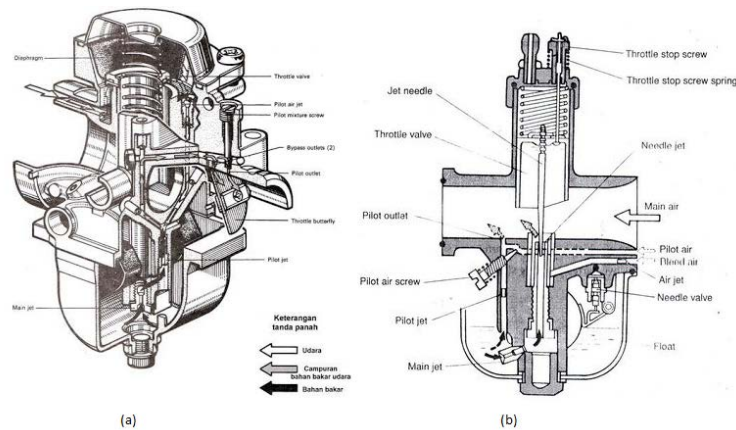
Konsep mobil pertama kali diciptakan oleh Leonardo da Vinci tahun 1478. Konsep ini belum menggunakan mesin dan masih berupa sket diatas kertas. Tahun 1769, ilmuwan Perancis Nicholas Cugnot menciptakan mobil yang bernama *Cugnot Steam Traction Engine* yang merupakan cikal bakal perkembangan mobil (Gambar 1). Kendaraan ini memiliki bobot mencapai 2 ton dan kecepatannya 4,8 km/jam. Tahun 1801 Richard Trevithick mengembangkan temuan Cugnot menjadi gerobak uap. Tahun 1784, William Murdock bekerjasama dengan James Watt meniru ciptaan Cugnot dengan menciptakan mobil sejenis dengan mesin uap juga. Pada tahun 1789 di Amerika Serikat diberikan hak paten pertama kali kepada Oliver Evans, dan hasil pembuatan Evans didemonstrasikan pertama kali pada tahun 1804, berupa kendaraan dengan tenaga uap yang sanggup melaju di darat dan juga di air, penemuan ini sekaligus menjadi kendaraan amfibi pertama yang berhasil ditemukan.



Gambar 1. *Cugnot Steam Traction Engine* [9]

2.2. Karburator

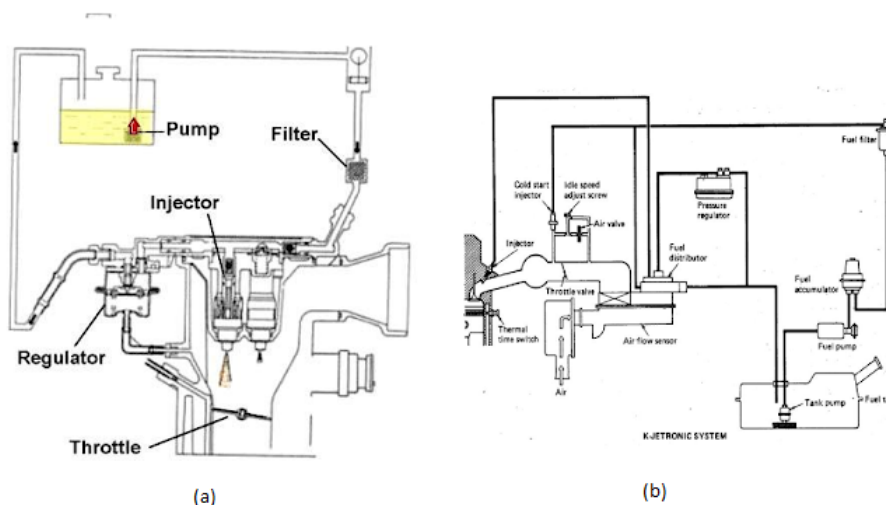
Karburator adalah sebuah alat pencampur udara dan bahan bakar untuk mesin pembakaran dalam. Karburator pertama kali diciptakan oleh Karl Benz pada tahun 1885 dan dikembangkan oleh Frederick William Lanchester sebagai orang yang pertama kali mengaplikasikan karburator pada mobil [10]. Karburator yang berkembang saat ini adalah karburator konvensional (skep) dan karburator vakum (Gambar 2). Skep pengatur jumlah bahan bakar pada karburator konvensional (katup buka tutup aliran udara) ditarik langsung oleh kabel gas. Hal ini menyebabkan tarikan gas sangat responsif dan sangat cocok digunakan pada kendaraan untuk balapan. Namun, konsumsi bahan bakarnya kurang efektif dan cenderung boros. Untuk memperbaiki sistem karburator konvensional, maka diciptakanlah sistem karburator vakum. Pengaturan bahan bakar pada sistem ini diatur berdasarkan kevakuman pada ruang bakar. Jadi, skep pada karburator vakum akan bergerak naik tidak hanya berdasarkan putaran pada pedal akselerator, namun skep akan bergerak naik berdasarkan putaran mesinnya. Karburator tipe vakum lebih irit dibandingkan karbuartor konvensional, namun tenaga yang dihasilkan kurang responsif [11], [12]. Sebagai contoh, hasil penelitian yang diujikan pada Sepeda Motor 125 cc dengan menggunakan karburator konvensional dan karburator vakum menunjukkan bahwa variabel daya tertinggi pada karburator skep dengan bahan bakar pertalite sebesar 11,02 Kw sedangkan variabel daya tertinggi pada karburator vakum adalah bahan bakar premium dengan daya sebesar 10,15 Kw. Torsi tertinggi pada karburator skep dengan bahan bakar premium sebesar 12,29 Nm. Torsi tertinggi pada karburator vakum dengan bahan bakar pertalite 11,44 Nm [13].



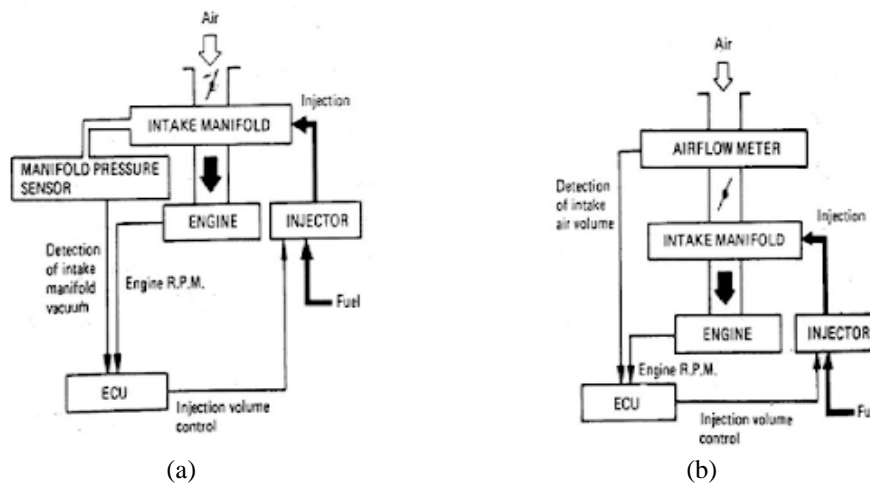
Gambar 2. (a) Karburator tipe vakum (b) Karburator tipe konvensional [14], [15].

2.3. Electronic Fuel Injection (EFI)

EFI (*Electronic Fuel Injection*) adalah sebuah sistem bahan bakar yang dalam kerjanya sampai (penyemprotan bahan bakar diruang bakar) dikontrol secara elektronik agar didapatkan nilai campuran udara dan bahan bakar yang sesuai dengan kebutuhan motor bakar. Sistem injeksi ini merupakan pilihan lain dari sistem karburator, terutama pada negara-negara yang mempunyai aturan yang ketat terhadap kondisi gas buang. Sistem injeksi berkembang berawal dari *single point injector* (Gambar 3a) atau yang biasa dikenal dengan *Throttle Body Injector* (TBI). Sistem ini menggunakan satu injektor untuk keperluan beberapa silinder yang dipasang sebelum saluran isap yaitu diatas katup throttle. Seiring berjalannya waktu, berkembanglah sistem injeksi K-Jetronik (Gambar 3b). Pengontrolan penginjeksian pada tipe ini masih dilakukan secara konvensional berdasarkan tekanan udara yang masuk pada intake manifold. Bahan bakar dari tangki bahan bakar akan dipompakan oleh pompa bahan bakar menuju keruang distributor bahan bakar. Tekanan bahan bakar pada injektor sekitar 2-3 bar. Dengan tekanan tersebut mampu membuka katup jarum pada injektor sehingga bahan bakar dapat diinjeksikan kedalam saluran masuk (*intake manifold*) secara terus menerus. Sistem injeksi K-Jetronik menggunakan tipe *Multi Point Injector* (MPI) dimana satu silinder menggunakan masing-masing satu injektor. K-Jetronik menggunakan sensor *Manifold Absolute Pressure* (MAP), *Throttle Position Sensor* (TP Sensor), dan *Engine Coolant Temperature*. Salah satu mobil yang menggunakan K-Jetronik yaitu Toyota Soluna. Perbedaan tekanan dan temperatur bahan bakar pada sistem EFI juga berpengaruh terhadap emisi yang dihasilkan [16], [17]. Untuk memaksimalkan kinerja sistem EFI, dikembangkanlah Sistem D-EFI dan L-EFI (Gambar 4). Ini merupakan penyempurnaan dari tipe K-Jetronik, dimana sistem pengontrolan kerja mesin telah diatur secara elektronik oleh ECU (*Electronic Control Unit*). Perbedaan antara D-EFI dan L-EFI terletak pada sensor pembacaan udara pada intake manifold yang digunakan untuk mengatur durasi penyemprotan bahan bakar. Pada tipe L-EFI menggunakan sensor *Air Flow Meter* atau *Mass Air Flow* (MAF) yang mengukur berdasarkan jumlah udara yang masuk pada *intake manifold*. Sedangkan pada tipe D-EFI menggunakan sensor *Manifold Absolute Pressure* (MAP) yang mendeteksi jumlah udara yang masuk berdasarkan kevakuman yang ada pada intake manifold.



Gambar 3. (a) Skema *single point injector* dan (b) Skema K-Jetronik

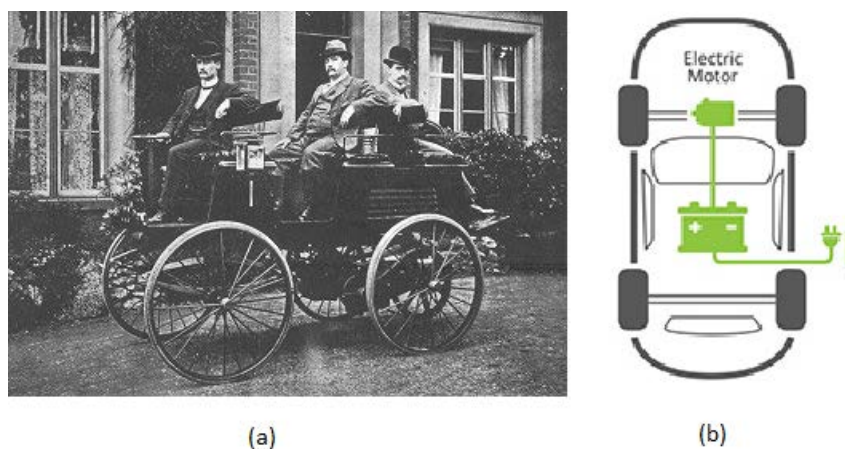


Gambar 4. (a) Skema D-EFI dan (b) Skema L-EFI

2.4. Battery Electric Vehicle (BEV)

Sekitar tahun 1832, Robert Anderson mengembangkan kendaraan pertama yang menggunakan baterai listrik sebagai penggerak. Akhir abad 18 di Amerika, William Morison menciptakan mobil listrik yang mampu menampung hingga enam orang penumpang dan melaju dengan kecepatan 22 km/jam. Mobil listrik berkembang hingga awal abad 19. Namun, pembuatan kendaraan listrik secara massal dihentikan pada tahun 1935 dikarenakan kendaraan berbahan bakar bensin lebih diminati karena harganya yang lebih murah. Mobil listrik mulai dikembangkan lagi tahun 1973 yang ditandai dengan General Motors membuat *prototype* mobil listrik. American Motor Company memproduksi jeep listrik yang digunakan kantor pos Amerika pada tahun 1975. Pada tahun 1988, General Motors bekerja sama dengan AeroVironment California membangun mobil listrik bernama EV1 dan memulai produksinya tahun 1996 hingga 1999. Pada awal abad 21, Tesla Motor memperkenalkan mobil listrik sport dengan nama Tesla Roadster pada pameran International Auto Show pada bulan November di San Fransisco. Sejak saat itu negara-negara di dunia mulai mendukung penggunaan mobil listrik yang ramah lingkungan dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil [18].

Battery Electric Vehicle merupakan kendaraan tanpa emisi yang menggunakan tenaga listrik sebagai penggerak kendaraan yang diperoleh dengan melakukan pengisian pada listrik rumah tangga (Gambar 5b). Kendaraan ini adalah alternatif dengan sumber energi yang dapat diperbarui dan sangat cocok digunakan di kota besar dengan jarak tempuh yang tidak terlalu jauh. Namun, untuk pengisian baterai sampai penuh membutuhkan waktu 3-5 jam, ukuran baterai yang besar sehingga mengorbankan ruang kabin atau bagasi, harga paket baterai yang masih sangat mahal, dan jarak tempuh yang terbatas menyebabkan kendaraan ini tidak cocok untuk perjalanan jauh. Ketika baterai habis maka harus melakukan pengisian yang lama dan menambah waktu tempuh. Selain itu, stasiun pengisian energi listrik juga masih terbatas.

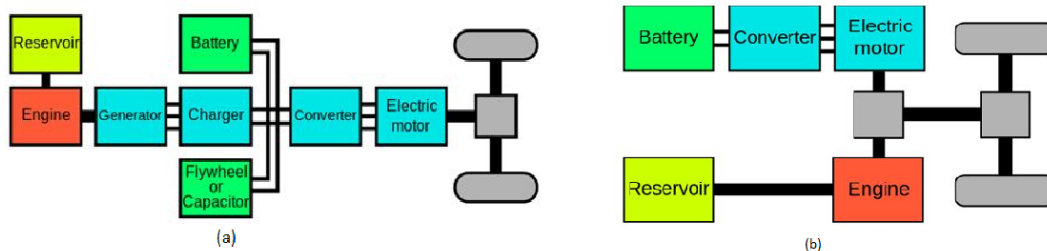


Gambar 5. (a) Mobil listrik ciptaan ilmuwan Inggris tahun 1884 dan (b) konstruksi *battery electric vehicle* [19], [20].

2.5. Hybrid Electric Vehicle (HEV)

Teknologi hybrid dikembangkan sejak awal abad 20. Pada tahun 1901, Ferdinand Porsche menciptakan hybrid pertama kali dengan memanfaatkan mesin bensin yang relatif ringan dengan baterai *lead acid* yang sangat berat pada mobil listrik ditempatnya bekerja. Mesin bensin digunakan untuk mengisi baterai yang lebih kecil dengan menghubungkannya dengan sebuah generator, sehingga dapat mengurangi bobot mobil listrik tersebut. Tahun 1905, Henri Pieper seorang insinyur Belgia menggabungkan motor dan generator tersebut, sehingga menghasilkan motor yang dapat berfungsi sebagai generator melalui satu kontrol yang dapat mengatur waktu motor berfungsi sebagai penggerak roda, dan waktu difungsikan sebagai generator, termasuk juga saat *regenerative braking*. Hak paten didapatkan tahun 1909 dari pemerintah AS. Pada tahun 1914, Hermann Lemp, seorang insinyur General Electric membuat suatu controller DC untuk mengontrol sistem diesel-elektrik pada lokomotif. Sejak saat itu, propulsi hybrid menjadi umum untuk kereta api, kapal laut dan kapal selam. Sedangkan teknologi hybrid untuk mobil baru diproduksi massal pertama kali pada tahun 1997 [21]. Toyota Prius merupakan kendaraan hybrid pertama yang diperkenalkan oleh Toyota Motor Corporation (TMC) pada tahun 1997 [22].

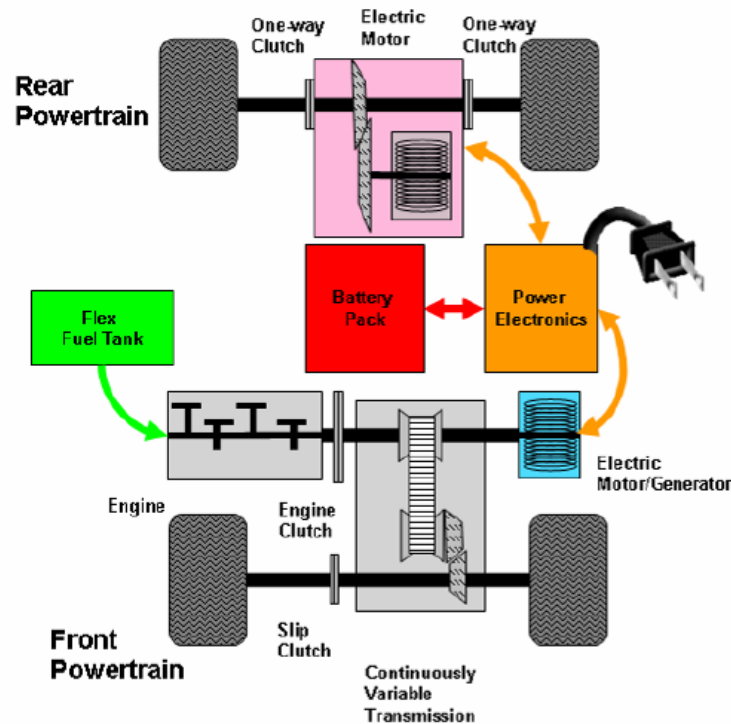
Hybrid Electric Vehicle adalah teknologi yang menggabungkan antara mesin konvensional (berbahan bakar minyak) dan *battery*. Dengan menggunakan baterai Lithium-Ion (Li-Ion) mampu memberikan performa penyimpanan listrik yang lebih optimal. Mobil Hybrid menggabungkan dua sumber tenaga dengan dua metode yang berbeda, yaitu: Hybrid paralel dan Hybrid seri (Gambar 6). Mobil hybrid tipe paralel bekerja dengan prinsip mesin konvensional dengan motor listrik yang dapat bekerja bersamaan sebagai sumber tenaga penggerak roda. Pada tipe ini, tangki dan mesin bensin terhubung langsung ke transmisi sehingga mesin bensin dan motor listrik dapat menghasilkan energi untuk menggerakkan mobil. Pada hybrid tipe seri, mesin bensin bekerja sebagai generator untuk mengisi daya baterai. Mesin bensin tidak langsung menjadi tenaga penggerak kendaraan. Secara umum, sistem kerja pada hybrid seri dimulai dari tangki bensin menuju ke mesin yang digunakan untuk memutar generator, lalu tenaga listrik yang dihasilkan didistribusikan ke baterai dan motor listrik. Pada mobil hybrid tipe seri maupun paralel, proses pengereman dapat digunakan untuk menggerakkan motor listrik yang difungsikan sebagai generator, sehingga dapat digunakan untuk mengisi daya pada baterai. Sistem ini dinamakan *regenerative braking*.



Gambar 6. (a) konstruksi hybrid seri (b) konstruksi hybrid paralel [21]

2.6. Plug-In Hybrid Electric Vehicle

Jika pada mobil listrik tidak setetespun menggunakan minyak, seperti Tesla di Amerika Serikat membutuhkan waktu pengisian baterai yang lama antara 3-5 jam sampai penuh, ukuran baterai yang besar sehingga mengorbankan ruang kabin atau bagasi, harga paket baterai yang masih sangat mahal, dan jarak tempuh yang terbatas. Maka, *Plug-In Hybrid* menggabungkan kelebihan-kelebihan pada mobil listrik dengan hybrid (Gambar 7). *Plug-In Hybrid* merupakan kendaraan paling efektif untuk berkendara jarak jauh dengan *budget* yang lebih sedikit. Ketika daya baterai telah habis, akan otomatis berpindah ke mode hybrid. Salah satu kendaraan *Plug-In Hybrid* (Toyota Prius) menggunakan baterai lithium-ion berkapasitas besar, dikombinasikan dengan peningkatan efisiensi pada sistem plug-in hybrid menghasilkan jarak tempuh (mode berkendara Electric Vehicle/motor listrik) sejauh 68,2 kilometer dan kecepatan mode mobil listrik maksimum 135 kilometer per jam [23].



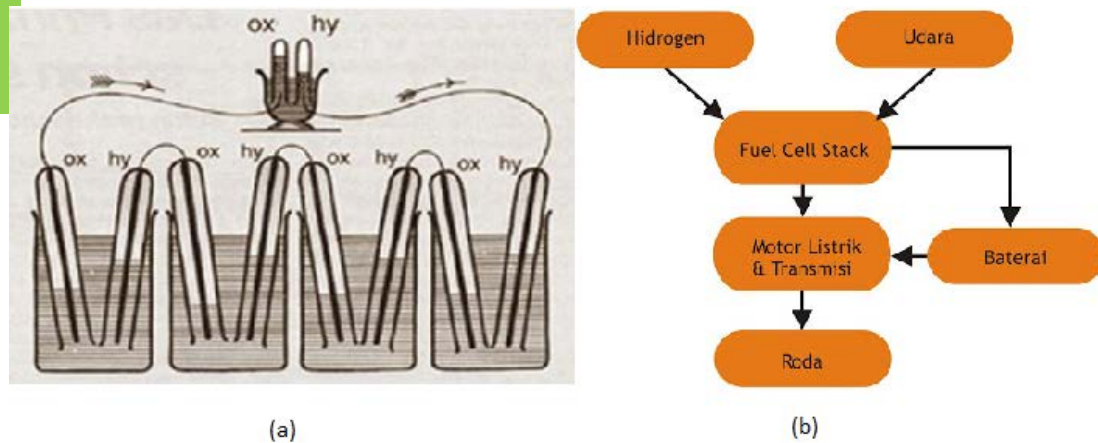
Gambar 7. Konstruksi Plug-In Hybrid Electric Vehicle [24].

2.7. Fuel Cell Electric Vehicle

Kendaraan listrik pada umumnya memperoleh tenaga listrik dari proses pengecasan. Namun, pada kendaraan ini menggunakan perubahan energi kimia hidrogen yang dikonversi menjadi tenaga listrik pada fuel cell stack. William Grove menemukan sel elektrokimia pertama tahun 1839 dan yang kedua tahun 1844 yang merupakan perintis *Fuel Cell*. Karena kurangnya jaringan listrik pada saat itu, William Grove menciptakan “*gas voltaic battery*” yang mirip dengan baterai konvensional pada komposisi dan tujuannya, namun secara keseluruhan berbasis pada pembangkitan listrik dan menjadi perintis *Fuel Cell*. *Fuel cell* yang dibuatnya terdiri atas elektrolit asam, keping platina serta tabung gas hidrogen dan oksigen, dan menggunakan prinsip reaksi balik terbentuknya air, dimana hidrogen dan oksigen akan bereaksi dalam larutan asam dan menghasilkan air dan listrik dengan arus sebesar 12 ampere dan tegangan 1,8 volt. Sel ini kemudian disebut sebagai Grove’s Battery atau batere Grove atau sel Grove. Ia mempublikasikan proses penelitiannya di *Philosophical Magazine*.

Pada jenis kendaraan *Fuel Cell Vehicle* terdapat sebuah perangkat yang bernama *Fuel Cell Stack*. Fungsi perangkat ini adalah sebagai tempat terjadinya reaksi elektrokimia antara Hidrogen dengan oksigen yang terdiri atas sebuah anoda, katoda dan elektrolit. Didalam elektrolit terjadi reaksi kimia antara ion Hidrogen dengan Ion oksigen yang menghasilkan listrik, air dan panas. Reaksi ini terjadi pada suhu 80°C. Listrik yang dihasilkan digunakan untuk memutar motor atau mengisi tegangan baterai sesuai dengan kondisi kendaraan. Ketebalan setiap sel bahan bakar sekitar 2 mm. Setiap 1 sel ini dapat menghasilkan beda potensial hanya 1 volt saja. Karena bentuknya yang menumpuk, maka perangkat ini dinamakan *Fuel Cell Stack* (sel bahan bakar yang menumpuk).

Fuel Electric Vehicle merupakan kendaraan *zero emission* dan emisi yang dihasilkan berupa air yang dapat diminum. Karena tidak memerlukan pengisian baterai kendaraan ini sangat cocok untuk perjalanan jauh maupun dekat. Kendaraan ini masih berupa konsep seperti Toyota FCV *Concept* dan Honda FCV *Concept*.



Gambar 8. (a) Konsep Fuel Cell William Grove (b) Aliran kerja Fuel Cell [25], [26].

3. Pembahasan

Meskipun teknologi penggerak kendaraan telah berkembang sampai saat ini, mesin konvensional masih banyak digunakan sampai saat ini, seperti juga di Indonesia. Setiap generasi memiliki kelebihan dan kekurangan yang menyertainya. Oleh karena itu, Tabel 1 berikut menyajikan komparasi dari generasi ke generasi yang tersedia secara komersial saat ini.

Tabel 1. Komparasi perkembangan teknologi Sistem Propulsi dan Bahan Bakar Otomotif

No	Jenis Kendaraan	Sumber Energi Penggerak	Kelebihan	Kekurangan
1	Mobil Pertama	Mesin Uap	Sebagai awal mula terciptanya kendaraan	Ukurannya sangat besar dan kecepatannya sangat rendah
2	Mesin konvensional (Karburator)	Bahan bakar fosil (bensin)	Tenaga yang dihasilkan lebih besar, perawatannya lebih mudah	Emisi yang dihasilkan buruk, boros bahan bakar.
3	<i>Electronic Fuel Injection</i>	Bahan bakar fosil (bensin)	Lebih hemat bahan bakar, emisi lebih baik	Perawatannya rumit dan tenaga yang dihasilkan lebih kecil
4	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>	Bahan bakar fosil (bensin) dan energi listrik	Lebih ramah lingkungan, hemat bahan bakar	Perawatan rumit, harganya lebih mahal
5	<i>Battery Electric Vehicle</i>	Energi listrik yang dihasilkan dari pengecasan	Ramah lingkungan dan cocok untuk perjalanan jauh	Harga yang masih mahal dan regulasi di Indonesia yang masih perlu disesuaikan
6	<i>Plug-In Hybrid Electric Vehicle</i>	Bahan bakar fosil (bensin) dan energi listrik (pengecasan)	Lebih ramah lingkungan, hemat bahan bakar	Perawatan rumit, harganya lebih mahal, stasiun pengisian baterai yang terbatas
7	<i>Fuel Cell Electric Vehicle</i>	Energi listrik yang dihasilkan dari hidrogen	Ramah lingkungan (<i>zero emission</i>)	Harga hidrogen yang masih sangat mahal

Dari awal berkembang, terdapat tujuh jenis propulsi dan bahan bakar otomotif. Secara umum dapat dibagi menjadi dua kelompok utama yaitu sumber energinya murni bensin dan kombinasi bensin dengan listrik. Pada penggerak kendaraan berbahan bakar bensin dan listrik emisi yang dihasilkan lebih ramah lingkungan dan penggunaan bahan bakar yang lebih sedikit.

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis, ditemukan bahwa perkembangan teknologi penggerak kendaraan mengikuti perkembangan teknologi dan tuntutan emisi yang ramah lingkungan. Sistem karburator memiliki output tenaga yang lebih besar tetapi emisi yang dihasilkan merusak lingkungan. Untuk mengatasi hal ini dikembangkan sistem *Electronic Fuel Injection* dengan emisi yang lebih ramah lingkungan. *Hybrid Electric Vehicle* juga dikembangkan untuk menekan emisi dengan mengembangkan energi listrik. Namun, perawatan dan harga kendaraannya lebih mahal. *Plug-In Hybrid Electric Vehicle* adalah terobosan untuk meminimalisir emisi dengan sangat baik. Kapasitas yang lebih besar menyebabkan kendaraan ini mampu berjalan pada mode elektrik lebih lama. Hal ini menekan ketergantungan penggunaan bahan bakar fosil sebagai penggerak kendaraan. *Plug-In Hybrid electric Vehicle* juga dikembangkan menjadi *Battery Electric Vehicle* merupakan kendaraan *zero emission* yang cocok digunakan untuk kendaraan dalam kota. *Fuel Cell Electric Vehicle* adalah sistem propulsi kendaraan paling maju dengan *zero emission* yang tenaga listriknya dihasilkan dari hidrogen. Kendaraan ini sangat cocok digunakan baik dalam kota maupun luar kota yang tidak memerlukan pengisian namun terkendala harga hidrogen masih sangat mahal.

Daftar Pustaka

- [1] M. Achtnicht, G. Bühler, and C. Hermeling. (2012). "The impact of fuel availability on demand for alternative-fuel vehicles," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 17, no. 3, pp. 262–269.
- [2] A. Hasan. (2007). "Aplikasi sistem fuel cell sebagai energi ramah lingkungan di sektor transportasi dan pembangkit," *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 8, no. 3, pp. 277–286.
- [3] M. T. Afif and I. A. P. Pratiwi. (2015). "Analisis perbandingan baterai lithium-ion, lithium-polymer, lead acid dan nickel-metal hydride pada penggunaan mobil listrik - review," *Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 95–99.
- [4] E. Setiawati and F. Edwar. (2012). "Sebagai Alternatif Bahan Bakar Mesin Diesel (Technology Processing of Biodiesel From Used Cooking Oil By Microfiltration and Transesterification Techniques As an Alternative Fuel of Diesel Engine) 1) 2)," *Jurnal Riset Industri*, vol. VI, no. 2, pp. 117–127.
- [5] I. G. Wiratmaja. (2010). "Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 145–154.
- [6] R. M. Susanto and M. Setiyo. (2018). "Natural Gas Vehicle (NGV): Status Teknologi dan Peluang Pengembangannya," *Automotive Experiences*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6.
- [7] I. C. Setiawan. (2019). "Policy Simulation of Electricity-Based Vehicle Utilization in Indonesia (Electrified Vehicle - HEV, PHEV, BEV and FCEV)," *Automotive Experiences*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8.
- [8] J. L. Hafner and A. J. Schurr. (2011). "Plugin hybrid electric vehicle with V2G optimization system.
- [9] A. Pratnyawan and R. D. Rachmanta. (2018). "Cugnot, Mobil Pertama di Dunia dengan Bentuk Absurd - HiTekno.com," *hitekno.com*.
- [10] InterSPORT. (2018). "Belum Tahu Sejarah Karburator? Coba Cek Dulu Disini, Bro!," *InterSport*.
- [11] F.Yosi and Aant. (2010). "Ayo Pahami Perbedaan Karakter Karbu Vakum Dan Manual - GridOto.com," *otomotifnet.com*.
- [12] Karis. (2011). "Karbu Konvensional, Vakum atau Injeksi?," *rideralam.com*.
- [13] Effendi and Hermawan. (2018). "Pengaruh variasi jenis karburator dan jenis bahan bakar terhadap performa sepeda motor 125 CC," *Simki-Techsain*, vol. 2, no. 6, pp. 1–10.
- [14] Amrie Muchta. (2017). "Materi Karburator Motor Paling Detail (Pengertian, Fungsi, Komponen ,Cara Kerja) - AutoExpose," *AutoExpose*.
- [15] Novanda ST. (2012). "Cara Kerja Sistem Karburator Vaccum/Vakum | Seputar Sepeda Motor," *freecharz.blogspot.com*.
- [16] H. Nurrohman, B. Susanto, and N. Widodo. (2018). "Studi Eksperimen Variasi Tekanan Bahan Bakar Terhadap Emisi pada Mesin EFI," *Automotive Experiences*, vol. 1, no. 2, pp. 53–57.
- [17] E. Suryono, I. H. A. Nagoro, and D. Y. S. Wicaksana. (2018). "Analisis Temperatur Bahan Bakar pada Reaktor Hydrocarbon Crack System Terhadap Hasil Emisi Engine 4A-FE," *Automotive Experiences*, vol. 1, no. 3, pp. 58–63.
- [18] Ila Sean. (2018). "Sejarah Perkembangan Mobil Listrik Dunia dari Tahun ke Tahun," *covesia.com*.
- [19] Rebecca Matulca. (2014). "The History of the Electric Car | Department of Energy," *Departement of energy*.
- [20] Hawaiian Electric, "Electric Vehicle Basics | Hawaiian Electric," *Hawaiian Electric Company*.
- [21] Achmad Nur Husaini. (2015). "Prinsip Kerja Mobil Hybrid," *insinyoer.com*.
- [22] Mike Milikin. (2010). "Worldwide Prius Cumulative Sales Top 2M Mark; Toyota Reportedly Plans Two New Prius Variants for the US By End of 2012 - Green Car Congress," *Green Car Congress*.
- [23] Wawan Priyanto. (2018). "Begini Rasanya Menjajal Toyota Prius PHEV di Jakarta - Otomotif Tempo.co,"

- tempo.co.*
- [24] A. Shabashevich *et al.* (2019). "Consumer ready plug-in hybrid electric vehicle," *SAE International*, p. 3, Aug.
- [25] Arif darmawan. (2014). "Sejarah Awal Fuel Cell | arifdarmawan," *arif darmawan*.
- [26] Mas Oto. (2019). "Apa Itu Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV), Dan Bagaimana Cara Kerjanya Pada Kendaraan ? - lks otomotif," *lks otomotif*.

