

TINJAUAN PERKEMBANGAN KENDARAAN LISTRIK DUNIA HINGGA SEKARANG

Nyoman S Kumara, I Wayan Sukerayasa

*Power Electronics, Machines, and Drives Research Group
Department of Electrical Engineering University of Udayana Bali*

Intisari

Kendaraan listrik merupakan salah satu solusi yang penting untuk mengurangi polusi dan emisi gas buang akibat penggunaan bahan bakar minyak pada kendaraan bermotor. Kendaraan listrik menggunakan motor listrik sebagai tenaga penggerak dimana ia berfungsi sebagai pengubah energi listrik yang tersimpan dalam baterai menjadi energi mekanik untuk memutar roda kendaraan.

Bidang-bidang yang secara langsung mendukung perkembangan kendaraan listrik antara lain bidang pengemudian elektrik yang meliputi teknologi motor listrik, konverter daya, sistem pengaturan berbasis prosesor digital, serta teknologi baterai sebagai penyimpan energi listrik.

Sekarang ini, keterbatasan cadangan sumber energi berbasis fosil, serta tuntutan agar kendaraan bermotor lebih ramah lingkungan dan dukungan teknologi telah mendorong hampir semua produsen kendaraan bermotor dunia kembali memusatkan perhatian pada kendaraan bermotor listrik. Tulisan ini mencoba memaparkan perkembangan kendaraan listrik dunia mulai dari sejarah hingga kondisinya saat ini. Database kendaraan listrik yang sudah diproduksi akan disajikan dalam bentuk tabel sehingga memudahkan dalam memahami perkembangan bidang kendaraan listrik.

Kata kunci: perkembangan kendaraan listrik (KL), kendaraan listrik hibrida (KLH), kendaraan listrik hibrida colok (KLHC), kendaraan emisi nol (KEN)

1. PENDAHULUAN

Teknologi kendaraan listrik telah berkembang sejak lebih dari seratus tahun yang silam. Pada awalnya, kendaraan bertenaga listrik lebih dulu populer dibandingkan dengan kendaraan berbahan bakar minyak. Bahkan kendaraan listriklah yang membantu meningkatkan popularitas kendaraan motor bakar di masyarakat. Tokoh-tokoh seperti Davenport, Edison, dan Plante adalah sebagian dari nama-nama yang penting dalam sejarah perkembangan kendaraan listrik. Perkembangan awal kendaraan listrik berdasarkan urutan waktu secara cukup lengkap dapat dilihat di [10], [21], [22], [24], dan [25].

Perkembangan kendaraan listrik dunia sebagian besar mengacu pada perkembangan bidang ini di Amerika Serikat dan beberapa negara di Eropa serta Jepang. Pada permulaan era kendaraan bermotor di Amerika Serikat sekitar tahun 1900-an, kendaraan listrik merupakan kendaraan yang jumlahnya paling banyak dibandingkan dengan kendaraan berbahan bakar minyak atau bertenaga uap. Hal ini disebabkan antara lain karena kendaraan listrik memiliki berbagai kelebihan seperti tidak bergetar, tidak mengeluarkan, serta tidak bising seperti halnya kendaraan berbahan bakar minyak. Di samping itu, proses menghidupkan kendaraan listrik jauh lebih mudah dibandingkan dengan kendaraan berbahan bakar minyak yang masih menggunakan *starter* jenis *crank*. Dan juga pada periode ini jalan raya hanya tersedia di kota saja dimana jarak tempuh relatif pendek sehingga hal ini sangat cocok dengan karakter

kendaraan listrik yang berjarak tempuh relatif pendek. Namun demikian, jika dibandingkan dengan kendaraan berbahan bakar uap, kendaraan listrik memiliki jarak tempuh yang lebih panjang, [25].

Periode ini merupakan periode awal pemunculan kendaraan listrik dalam sejarah. Pada periode pertama ini, puncak produksi kendaraan listrik di AS diperkirakan terjadi pada tahun 1912. Setelah periode ini terjadi berbagai hal penting yang menghambat perkembangan kendaraan listrik, antara lain bertambahnya ruas jalan-jalan di AS sehingga menuntut kendaraan yang berjarak tempuh lama. Kemudian penemuan *starter* listrik oleh Kettering untuk menggantikan *starter crank* sehingga meningkatkan minat publik atas kendaraan berbahan bakar minyak, [26]. Selanjutnya, penemuan cadangan minyak di negara bagian Texas menyebabkan bahan bakar minyak tersedia secara lokal dan harganya lebih terjangkau. Dari sisi teknologi pabrikan, Ford mulai memperkenalkan teknik produksi masal ban berjalan (*assembly line*) yang mampu meningkatkan produksi kendaraan bermotor, [27]. Sementara itu, dari sisi sistem kelistrikan, pada masa itu sistem kelistrikan di Amerika masih belum diatur sehingga tiap negara bagian atau wilayah memiliki sistem tegangan listrik yang berbeda yang menyulitkan proses pengisian baterai. Di samping itu juga, hanya sedikit rumah tangga yang mampu memiliki listrik di rumah sehingga pengisian baterai di rumah juga agak sulit. Hal-hal ini menyebabkan minat terhadap kendaraan listrik berkurang.

Tahun 1970 adalah tahun terjadinya krisis minyak di Amerika Serikat akibat embargo OPEC

terhadap ekspor minyak ke Amerika, [28]. Hal ini kembali memicu usaha-usaha untuk mengurangi ketergantungan Amerika Serikat akan minyak mentah impor dan munculnya pemikiran untuk mendapatkan bahan bakar alternatif untuk mengurangi polusi gas buang. Namun demikian perkembangan periode kedua ini tidak sampai memunculkan pengaruh yang besar terhadap perkembangan atau pemakaian kendaraan listrik.

Perkembangan kendaraan listrik periode ketiga adalah perkembangan yang terjadi sekarang ini yang dimulai sekitar lima belas tahun hingga dua puluh tahun terakhir. Serupa dengan dua perkembangan sebelumnya, perkembangan terakhir ini juga dipicu oleh persoalan ketersediaan sumber energi dan dampak pemakaiannya terhadap lingkungan. Pengetahuan umat manusia telah meningkat sehingga pemahaman terhadap dampak negatif pemakaian energi konvensional dalam kehidupan menjadi lebih baik terbukti dengan adanya komitmen internasional seperti Protokol Kyoto dan berbagai program internasional lain yang secara spesifik bertujuan untuk mengurangi emisi gas buang ke udara.

Perkembangan kendaraan listrik saat ini telah berada pada kondisi dimana semua teknologi pendukungnya telah berkembang sangat pesat dibandingkan dengan apa yang terjadi pada periode pertama dan kedua. Sebagai contoh teknologi fabrikasi dan bahan, mesin listrik, elektronika daya dan mikroelektronika telah berkembang sedemikian pesat sehingga dapat dihasilkan komponen-komponen berspesifikasi tinggi dan dengan ukuran atau berat yang lebih kecil. Dua hal ini merupakan faktor yang sangat penting dalam perencanaan kendaraan listrik. Dalam hal motor listrik, khususnya motor sinkron magnet permanen, sudah berhasil dikembangkan motor yang motor yang kompak tetapi dengan output yang besar serta memenuhi kriteria aplikasi otomotif. Bidang elektronika daya juga berkembang sehingga dihasilkan komponen dan sistem konversi elektronik yang kompak dengan efisiensi konversi yang tinggi, handal serta tetap ekonomis. Sementara itu, perkembangan mikroelektronika telah memungkinkan penggunaan teknik kendali lanjut dalam mengatur motor listrik sehingga dihasilkan unjuk kerja yang tinggi.

Dari semua teknologi pendukung kendaraan listrik, baterai merupakan teknologi kunci dalam meningkatkan unjuk kerja kendaraan listrik khususnya dalam jarak tempuh. Dengan kondisi teknologi sekarang ini, spesifikasi baterailah yang akan menentukan apakah kendaraan listrik akan bisa dikembangkan agar memiliki jarak tempuh yang panjang. Riset dan pengembangan teknologi baterai saat ini sudah dan sedang berlangsung untuk menghasilkan baterai yang mampu memenuhi kebutuhan energi kendaraan untuk jarak tempuh 320 hingga 563 mil untuk sekali pengisian.

Keuntungan *electric vehicle (EV)* dibanding *ICE/ICEV (Internal Combustion Engine Vehicle)* antara lain tidak bising, efisiensi konversi energi yang tinggi, mengurangi pemakaian bahan bakar minyak sehingga secara langsung mengurangi gas buang ke atmosfer, serta emisi gas yang bersifat terpusat sehingga lebih bisa dikelola. Dan di masa depan saat pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan akan berkembang kendaraan listrik bisa diisi ulang dengan energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tersebut.

Dari uraian di atas dapat dilihat bahwa kendaraan listrik merupakan salah satu solusi penting untuk mengatasi persoalan yang berhubungan dengan polusi lingkungan, keterbatasan dan semakin berkurangnya persediaan bahan bakar konvensional, dan pemanasan global akibat tingginya penggunaan bahan bakar berbasis fosil dalam peralatan transportasi. Untuk itu perlu dilakukan upaya-upaya untuk mendukung perkembangan kendaraan listrik, khususnya di Indonesia, baik bagi para peneliti, mahasiswa, atau masyarakat luas sehingga pada saatnya nanti Indonesia akan lebih bisa berperan dalam pengembangan dan pemanfaatan teknologi ini.

Tujuan dari tulisan ini adalah untuk memaparkan perkembangan kendaraan listrik dunia yang meliputi latar belakang pemunculannya, teknologi pendukung, serta berbagai model kendaraan listrik yang sudah pernah diproduksi secara massal atau dipasarkan secara terbatas dari awal perkembangan kendaraan listrik hingga kondisinya saat ini.

Tulisan ini diawali dengan melakukan tinjauan terhadap sejarah perkembangan kendaraan listrik dan memperkenalkan berbagai terminologi yang digunakan dalam bidang ini. Kemudian akan dilakukan pemaparan tentang perkembangan kendaraan listrik modern dan teknologi pendukungnya. Basis data dalam bentuk tabel yang berisikan kendaraan listrik yang telah diproduksi dalam kurun tersebut akan disajikan sehingga bisa dijadikan sebagai basis data dan rujukan cepat untuk melihat perkembangan kendaraan listrik mulai dari awal hingga sekarang.

2. KENDARAAN BERTENAGA LISTRIK

Electric Vehicle (EV), selanjutnya akan diterjemahkan sebagai **Kendaraan Listrik (KL)** adalah semua jenis kendaraan penumpang yang digerakan dengan motor listrik baik seluruhnya maupun sebagian misalnya dalam sistem dengan kombinasi motor bakar. Kelompok kendaraan yang hanya digerakan oleh motor listrik disebut dengan *Battery Electric Vehicle (BEV)* yang akan diterjemahkan sebagai **Kendaraan Listrik Baterai (KLB)**. **KLB** adalah kendaraan listrik yang menggunakan baterai sebagai penyimpan energi listrik yang nantinya dikonversi menjadi energi

mekanik oleh motor listrik. Energi listrik dalam baterai ini diperoleh melalui proses pengisian dari sumber energi listrik eksternal seperti jala-jala listrik. Kelompok kedua adalah *Hybrid Electric Vehicle (HEV)* yang akan diterjemahkan sebagai **Kendaraan Listrik Hibrida (KLH)** yaitu kendaraan yang menggunakan dua sistem penggerak yaitu motor listrik dan motor bakar. Dalam KLH, motor bakar masih merupakan penggerak utama kendaraan dan motor listrik akan digunakan pada kondisi medan yang tingkat konsumsi bahan bakarnya besar seperti pada saat start, kecepatan rendah saat lalu lintas ramai, start/stop di lampu lalu lintas, dan medan berat seperti tanjakan. Tujuan utama dari kendaraan hibrida adalah untuk meningkatkan efisiensi pemakaian bahan bakar. Pada awalnya sistem pengisian baterai dalam **KLH** hanya bisa dilakukan melalui sistem internal dari kendaraan tetapi hal ini memiliki beberapa keterbatasan seperti dianggap tidak praktis karena jarak tempuh yang pendek. Untuk mengatasi hal tersebut kemudian dikembangkan kendaraan yang menggunakan sistem *Plug-in HEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV)*. **Kendaraan Listrik Hibrida Colok (KLHC)** ini adalah kendaraan listrik hibrida yang pengisian baterainya dapat dilakukan dengan mencolokkannya pada sumber energi listrik luar seperti jala-jala. Dengan sistem colok ini baterai kendaraan bisa diisi baik melalui sistem pengisian internal maupun eksternal.

Dalam perkembangannya kemudian muncul istilah *Zero Emission Vehicle (ZEV)* atau **Kendaraan Emisi Nol (KEN)** yaitu kendaraan yang dikategorikan sebagai kendaraan yang tidak mengeluarkan emisi gas buang. **KEN** ini dimunculkan pada saat pemerintah negara bagian California (*California Air Resources Board, CARB*) di Amerika Serikat mengumumkan penancangan upaya menekan tingkat emisi gas buang kendaraan bermotor dengan beralih pada penggunaan kendaraan listrik, [30].

3. KENDARAAN LISTRIK MODERN

Kendaraan listrik modern adalah kendaraan bertenaga listrik yang memiliki spesifikasi operasi yang tinggi seperti tenaga yang mencukupi, jarak tempuh yang optimal atau minimal 50 mil untuk sekali pengisian, setara dengan 75 km, serta nyaman untuk dikendarai baik untuk kondisi jalan kota maupun daerah yang berkontur. Sub bagian ini akan meninjau berbagai komponen utama dalam kendaraan listrik seperti sistem pengemudian, rangkaian daya dan pengatur, serta baterai.

Dalam sebuah kendaraan listrik, motor listrik adalah sumber energi mekanik atau tenaga penggerak. Energi mekanik ini dihasilkan dengan mengubah energi listrik yang tersimpan dalam baterai melalui konversi elektromagnetik. Karakteristik dari motor listrik adalah efisiensi konversi yang tinggi,

tidak bising, dan berukuran relatif kecil. Motor listrik yang digunakan dalam kendaraan listrik antara lain motor dc, motor induksi, serta motor sinkron magnet permanen (*PMSM*). Tabel 2 memperlihatkan berbagai jenis motor listrik yang digunakan dalam kendaraan listrik modern.

Rangkaian elektronika daya dan kontroler adalah perangkat elektronik yang digunakan dalam kendaraan listrik untuk mengatur energi listrik yang dialirkan menuju motor listrik sehingga diperoleh kondisi operasi yang optimum. Operasi yang dimaksud antara lain *starting*, akselerasi, *cruising*, pengereman dan *regenerative*, serta berhenti. Setiap mode operasi ini memerlukan jumlah energi yang berbeda dan agar energi yang diperlukan dapat dipenuhi secukupnya maka diperlukan pengaturan aliran energi dengan menggunakan rangkaian elektronika daya dan kontroler. Rangkaian daya yang digunakan tergantung dari motor listrik yang digunakan misalnya motor induksi dan motor sinkron akan menggunakan *inverter* sedangkan motor dc akan menggunakan *dc chopper*. Kontroler yang digunakan biasanya menggunakan sistem pengatur berbasis prosesor sinyal seperti mikrokontroler atau prosesor sinyal digital.

Teknologi pengemudian elektrik yang digunakan dalam kendaraan listrik terbagi menjadi dua jenis, yaitu pengemudian ac (*ac drive*) dan dc (*dc drive*). Sekarang ini pengemudian ac lebih banyak digunakan karena ukuran motor yang lebih kecil dibanding motor dc untuk kapasitas yang sama sehingga lebih ringan. Di samping itu, karena konstruksinya yang sederhana, motor ac hanya memerlukan pemeliharaan yang ringan. Tetapi, dari sisi biaya *ac drive* lebih mahal dibanding *dc drive* sehingga untuk aplikasi kendaraan yang sensitif terhadap harga maka *dc drive* merupakan solusi yang tepat.

Tabel 2 . Berbagai tipe motor listrik pada kendaraan listrik

Motor	Spesifikasi
Motor DC Seri (dengan dan tanpa sikat)	Daya: 3.5/3.6/4.3/40/49 kW 70 HP Tegangan DC Bus: 48/72/288 Pendingin: udara atau cair Aplikasi: EV Plus, Chrysler TEV, Clio, EV-50
Motor Induksi	Daya: 75/137 HP 40 kW Tegangan DC Bus: Pendingin: cair Aplikasi: Ecostar, Ford Ranger, Impact, EV-50
Motor Sinkron Magnet Permanen	Daya: 2/18.5/24/35/50/62/70/105/123 kW Tegangan DC Bus: 72/120/240/244/288/330/345 V Pendingin: cair Aplikasi: <i>micro car</i> hingga truck

Baterai atau aki merupakan teknologi kunci dalam meningkatkan jarak tempuh kendaraan listrik. Baterai berfungsi sebagai media penyimpanan energi listrik yang akan digunakan untuk mensuplai motor listrik selama kendaraan bergerak. Teknologi baterai sudah berkembang sehingga sekarang ini bisa dihasilkan sistem penyimpanan yang mampu memenuhi kebutuhan energi kendaraan listrik untuk jarak tempuh antara 80 s/d 160 kilometer untuk sekali pengisian. Karakteristik baterai yang ideal untuk aplikasi kendaraan listrik antara lain aman, daya besar, kapasitas yang besar, ukuran kecil dan ringan, tersedia dalam jumlah yang mencukupi, harga yang ekonomis, berumur panjang serta metode penghancuran atau *disposal* yang ramah lingkungan setelah melewati umur pakai atau bahkan bisa didaur ulang. Teknologi baterai yang sudah dikembangkan untuk kendaraan listrik antara lain baterai yang menggunakan bahan *PbA (Lead Acid)*, *Nickel Cadmium (NiCd)*, *Ni-Mh (Nickel Metal Hydride)*, dan *Li-Ion (Lithium Ion)*.

Baterai dengan teknologi Timbal (*PbA*) merupakan teknologi baterai yang paling lama sehingga unjuk kerjanya sudah terbukti dan biayanya juga rendah. Namun, kelemahan utamanya antara lain adalah siklus dan umur pakainya relatif pendek, [12]. Baterai jenis ini dibedakan menjadi dua kelompok yaitu *Flooded Lead Acid (FLA)* dan *Valve Regulated Lead Acid (VRLA)*. Secara umum *FLA* harganya lebih murah dibanding *VRLA* dan *VLRA* bisa digolongkan sebagai baterai bebas perawatan dan juga lebih tahan terhadap getaran.

Baterai berbasis Nikel (*NiCd: Nickel Cadmium*) sudah dipakai cukup lama dalam satelit serta peralatan komersial lainnya. Ciri utamanya adalah kokoh, memiliki siklus yang baik, dan mampu beroperasi pada suhu rendah. Unjuk kerjanya berada di antara *PbA* dan *NiMH*. Namun karena adanya unsur Kadmium yang bersifat racun maka baterai ini secara perlahan akan diganti oleh teknologi *NiMH*.

Teknologi Nikel logam hidrida (*NiMH: Nickel Metal Hydride*) mulai dikembangkan di awal tahun 1990-an dalam produk telepon seluler dan kendaraan listrik besar. *NiMH* memiliki energi spesifik yang lebih besar dibanding kedua teknologi di atas serta berukuran lebih kecil, [12]. *NiMH* harganya relatif masih mahal.

Teknologi baterai yang menggunakan *Li-Ion (Lithium Ion)* dikembangkan pertama kali oleh Sony sekitar tahun 1991. Teknologi ini memiliki energi dan daya spesifik dua kali dibanding *NiMH*, [12] dan berkembang terus. Baterai berbasis *Li-Ion* sepertinya akan merupakan salah satu opsi penting dalam penyimpanan energi listrik pada kendaraan listrik karena unjuk kerja yang baik dan berukuran lebih kecil dari *NiMH*.

Unjuk kerja sebuah baterai sangat dipengaruhi oleh suhu. Kenaikan temperatur sebesar 13 derajat bisa mengurangi umur pakai hingga 50%, [14], [15]. Untuk menjaga agar baterai berada dalam suhu optimum maka perlu dilengkapi dengan sistem manajemen baterai yang salah satunya adalah pendinginan. Pendingin yang umum digunakan adalah pendingin cair.

4. PRODUKSI KENDARAAN LISTRIK SAMPAI SAAT INI

Seperti telah dijelaskan di bagian awal bahwa kendaraan listrik telah mengalami perkembangan yang cukup lama dan dalam kurun waktu tersebut telah diproduksi berbagai kendaraan. Berdasarkan kapasitas tempat duduk, ukuran mesin dan kecepatan, kendaraan listrik dikelompokkan ke dalam berbagai grup. Kendaraan yang telah diproduksi sangat beragam seperti kendaraan bertempat duduk tunggal, 2, 4, 5 orang hingga bus dengan kapasitas 58 penumpang dan juga *pick up* hingga truk. Kelompok-kelompok tersebut di antaranya *City Electric Vehicle CEV*, *Urban Electric Vehicle UEV*, *Neighbourhood Electric Vehicle NEH*, [11]. Sampai sekarang kebanyakan dari kendaraan ini diproduksi dan digunakan hanya secara terbatas sebagai armada transportasi perusahaan atau instansi yang sering disebut sebagai *fleet* atau digunakan sebagai kendaraan uji.

Tabel 1. menyajikan kendaraan listrik yang pernah diproduksi oleh berbagai perusahaan otomotif dunia beserta spesifikasi teknisnya. Terlihat bahwa telah terjadi perkembangan yang sangat pesat dalam beberapa tahun terakhir. Sebagai contoh, sekarang ini secara teknologi telah dimungkinkan untuk memproduksi kendaraan listrik yang berjarak panjang, hingga ratusan kilometer untuk satu kali pengisian baterai. Waktu pengisian baterai juga sudah bisa dipersingkat hingga hanya 10 menit. Dan untuk memenuhi kebutuhan mobilitas yang beragam, berbagai jenis kendaraan sudah tersedia, mulai dari *micro car* atau kendaraan satu penumpang hingga *sport utility vehicle* yaitu kendaraan dengan kemampuan jelajah yang luas dan juga nyaman untuk kebutuhan transportasi dalam kota. Kendaraan berpenumpang banyak untuk transportasi massal seperti *Allison Hybrid Bus*.

Thn	Kendaraan	Tipe	Spesifikasi				Penemu/Pabrik
			Kecepatan	Jarak tempuh	Jumlah penumpang	Pengisian baterai	
1835	Kendaraan listrik I	mobil rel					Thomas Davenport AS
1859	Baterai <i>Lead Acid</i> yang bisa di-isi ulang						A. Plante dan C. Faure
1891	<i>Mobil</i> listrik pertama AS	wagon	22 kpj		6 orang		William Morrison
1894	Electrobat		24 kpj				P. Salom and H.G Morris
1902	Wood Phaeton		22 kpj	28 km			
1905	Detroit Electric		32 kpj	128 km			William C Anderson AS
1947	Tama EV		35 kpj	65 km	5 orang		Nissan Corp Jepang
1964	Batronic Truck	truck	40 kpj	100 km	2500 lbs		Batronic Truck Coy
1971	Minicab EV	minivan					Mitsubishi Motor Jepang
1971	Minica Van EV	minivan					Mitsubishi Motor Jepang
1974	Sebring Citicar		48 kpj	64 km	2 orang		Sebring-Vanguard Co
1974	Elcar		72 kpj	96 km			Elcar Corporation
1975	Electric Postal Vehicle	jeep mail	80 kpj	64 km		10 jam	American Motor Coy
1979	Delica EV						Mitsubishi Motor
1981	Kurbwatt USPS	mail van	88 kpj				Grumman Olson Eng
1988	EV1	sedan coupe	128 kpj	112 km	2 orang	3 & 15 jam	General Motor Amerika
1990	Impact EV	sedan coupe	128 kpj	112 km	2 orang		General Motor
1991	BMW E1 EV	car	120 kpj	120 km	4 orang		BMW Jerman
1991	BMW E2 EV	car	120 kpj	260 km	4 orang		BMW Jerman
1991	President EV	concept car	40 kpj	96 km			Nissan Corp Jepang
1991	Cedric EV	concept car					Nissan Corp Jepang
1991	Solectria Force	sedan	112 kpj	112 km	2 orang	9 jam	Solectria Corporation
1992	EXPO EV						Mitsubishi Jepang
1993	Ford Ecostar	van	112 kpj	160 km			Ford Motor AS
1993	Chrysler TEV	van	104 kpj	128 km	5 orang		Daimler Chrysler Motor
1993	Chrysler EPIC Van EV	van					Daimler Chrysler Motor
1993	Nissan Altra EV		120 kpj	193 km			Nissan Motor Jepang
1993	EV-50	concept car	40 kpj	178 km			Toyota Jepang
1994	Libero EV						Mitsubishi Motor
1994	Avenir EV	van	115 kpj	80 km			Nissan Corp Jepang
1994	Civic HEV	city car	128 kpj	64 km	4 orang		Honda Motor AS
1995	Peugeot 106 EV	city car	88 kpj	88 km	4 orang		Peugeot Prancis
1995	Citroen AX EV	city car	88 kpj	88 km	4 orang		Citroen Prancis
1995	Renault Express EV	van					Renault Prancis
1995	Renault Master EV	van					Renault Prancis
1996	Renault Clio EV	city car	96 kpj	96 km	4 orang		Renault Prancis
1996	Chevy EV1	coupe	128 kpj	88 km	2 orang	3 jam	General Motor Amerika
1997	Prairie Joy EV		120 kpj	200 km	4 orang		Nissan Motor Jepang
1997	Toyota PRIUS HEV		121 kpj		5 orang	6.5 jam	Toyota Corp Jepang
1997	Chevy S10 EV	pick up	112 kpj	64 km		2.5 jam	General Motor Amerika
1997	RAV4 EV	pasenger car	126 kpj	130 km	5 orang	5 jam	Toyota Motor
1997	EV Plus	city car	130 kpj	210 km	4 orang	6-7 jam	Honda Motor Jepang
1998	Rnessa EV	pasenger car	120 kpj	200 km	5 orang	5 jam	Nissan Corp Jepang
1998	Altra EV	minivan	120 kpj	193 km	4 orang	5 jam	Nissan Corp Jepang
1998	MC1-EV	micro car	60 kpj	60 km	1 orang	8 jam	Mitsuoka Motor Jepang
1998	FTO EV	sedan			2 orang		Mitsubishi Motor Jepang
1998	Solectria Force EV	van		96 km	4 atau 2	8 jam	Solectria Corp
1998	Think City 1 st EV	city car	100 kpj	180 km	2 orang		PIVCO AS Norwegia
1998	Toyota e-com EV	K-car	100 kpj	100 km	2 orang	2.5 jam	Toyota Motor Jepang
1998	Ford Ranger EV	pick up	120 kpj	93 km			Ford Motor
1999	Insight HEV	sedan			2 orang	regen	Honda Motor
1999	Chrysler EPIC EV	van	128 kpj	128 km	5 orang	6 jam	Chrysler Corporation
2000	Hypermini EV	city car	96 kpj	96 km	2 orang	4 jam	Nissan Motor Jepang
2001	Honda Civic HEV	sedan			5 orang	regen	Honda Motor
2001	Eclipse EV	sedan		400 km	2 orang	3.5 jam	Mitsubishi Motor Jepang
2001	Ford Think EV	city car			2 orang		Ford Motor Company
2001	Toyota Prius HEV	sedan			5 orang	regen	Toyota Motor AS
2002	Toyota Prius HEV	sedan			5 orang	regen	Toyota Motor AS
2003	Honda Civic HEV	sedan			5 orang	regen	Honda Motor
2003	Hijet EV	minivan	100 kpj	110 km	2 atau 4	7 jam	Daihatsu Motor Jepang

Thn	Kendaraan	Tipe	Spesifikasi				Penemu/Pabrik
			Kecepatan	Jarak tempuh	Jumlah penumpang	Pengisian baterai	
2003	Allison Hybrid Bus HEV	bus			58 orang		Allison Transmission
2004	Chevy Silverado HEV	pick up truck					General Motor
2004	Toyota Prius HEV	sedan			5 orang	regen	Toyota Motor AS
2005	PIVO EV	concept car		78 mil	3 orang		Nissan Corp Jepang
2005	Ram Hybrid HEV	pick up					Dodge Amerika
2005	Mariner Hybrid HEV	SUV					Mercury
2005	Ford Escape HEV	SUV			5 orang	regen	Ford Motor
2005	Honda Accord HEV	sedan			5 orang	regen	Honda Motor
2005	Saturn Vue HEV	SUV				regen	General Motor
2005	Convoy88	micro car	55 kpj	50 km	1 orang	8 jam	Mitsuoka Motor Jepang
2005	Elexceed RS	micro car	70 kpj	60 km	1 orang	8 jam	Zero Sports Corp
2005	Toyota Prius HEV	sedan			5 orang	regen	Toyota Motor AS
2006	Highlander HEV	SUV			7 orang	regen	Toyota Motor
2006	Lancer Evo MIEV	sedan	180 kpj	250 km	5 orang		Mitsubishi Motor Jepang
2006	Saturn Aura Green HEV	sedan			5 orang		GMC
2006	Chevy Malibu HEV	sedan			5 orang	regen	General Motor
2006	Honda Civic HEV	sedan			5 orang	regen	Honda Motor
2006	Honda Accord HEV	sedan			5 orang	regen	Honda Motor
2006	Silverado HEV	truck				regen	UQM + US Air Force
2006	Toyota Prius HEV	sedan			5 orang	regen	Toyota Motor
2006	RX400H HEV	SUV			5 orang	regen	Lexus
2006	Highlander HEV	SUV			7 orang		Toyota Motor
2007	ZAP-X EV	concept car	249 kpj	560 km		10 menit	ZAP Corp
2007	Saturn Vue Green HEV	SUV			8 orang		General Motor
2007	Think City 5 th EV	city car	100 kpj	170 km	2 orang	9.5 jam	Think Global AS
2007	Ford Escape HEV	SUV			5 orang	regen	Ford Motor
2007	Nissan Altima HEV	sedan			5 orang	regen	Nissan Motor
2007	Chevrolet Tahoe HEV	SUV			7 orang	regen	Chevrolet
2007	Yukon Hybrid HEV	SUV			7 orang	regen	GMC
2007	Chevrolet Equinox HEV	SUV			4 orang		Chevrolet
2007	Toyota Camry HEV	sedan			5 orang	regen	Toyota Motor
2007	Tribute Hybride HEV	SUV			5 orang		Ford + Mazda
2007	BMW Active X6 HEV	SUV					BMW Jerman
2008	Vue Green Line HEV	SUV			5 orang		General Motor
2008	Cadillac Escalade HEV	SUV			7 orang	regen	General Motor
2008	Ford Fusion HEV	sedan			5 orang		Ford Motor
2008	Milan Hybrid HEV	sedan			5 orang		Mercury
2008	Ford Escape HEV	SUV			5 orang	regen	Ford Motor
2008	Hyundai Accent HEV	sedan			5 orang		Hyundai Motor
2008	Kia Rio Hybrid HEV	sedan			5 orang		Kia Motor
2008	Mercedes S-Class HEV	sedan					Mercedes
2008	Audi Q7 Hybrid	SUV			7 orang		Audi
2008	Toyota Prius 3 rd HEV	sedan			5 orang	regen	Toyota Motor
2008	Silverado Hybrid HEV	pick up					Chevrolet
2008	Siera Hybrid HEV	pick up					GMC
2008	Highlander HEV	SUV			7 orang	regen	Toyota Motor
2008	Mercury Mariner HEV	SUV			5 orang	regen	Ford Motor
2008	Altima Hybrid HEV	sedan			5 orang		Nissan Motor
2008	iMIEV EV	city car	130 kpj	160 km	4 orang	0.5/ 6.5 jam	Mitsubishi Motor Jepang
2008	Phoenix EV	SUV	153 kpj	160 km	4 orang	0.1/ 6 jam	Phoenix Motorcar AS
2008	Phoenix Truck EV	truk	153 kpj	160 km	4 orang	0.1/ 6 jam	Phoenix Motorcar AS
2008	BMW Active X6 HEV	SUV					BMW Jerman

Keterangan:
EV (Electric Vehicle), HEV (Hybrid Electric Vehicle)
Kpj = kilometer per jam, km = kilometer, SUV (sport utility vehicle), regen (regenerative)

..

5. KENDARAAN LISTRIK DI MASA DEPAN

Sekarang ini pemahaman masyarakat, khususnya di negara maju, terhadap hubungan antara gaya hidup dan kualitas lingkungan semakin baik. Kondisi ini sangat positif untuk mendukung perkembangan industri kendaraan listrik.

Agar teknologi kendaraan listrik ini bisa bersaing dengan kendaraan bermotor konvensional maka harus memiliki spesifikasi yang dimiliki oleh kendaraan bermotor biasa dan berbagai kelebihan yang berkaitan dengan penggunaan motor listrik. Sebagai contoh, kendaraan bermotor biasa sudah didukung oleh jaringan distribusi bahan bakar yang sangat luas sehingga konsumen tidak pernah merasa khawatir akan kehabisan bahan bakar. Untuk kendaraan listrik hal ini bisa dilakukan dengan menyediakan stasiun pengisian baterai umum (SPBU) yang lokasinya ditentukan berdasarkan jarak tempuh kendaraan listrik dan ketersediaan energi listrik.

Dari sisi pengemudian elektrik, teknologi *ac drive* akan semakin banyak digunakan dibandingkan *dc drive* khususnya sistem yang menggunakan motor sinkron magnet permanen. Hal ini karena berbagai keunggulan motor dengan magnet permanen seperti ukuran yang fleksibel karena ketersediaan bahan magnet kuat seperti *rare-earth magnet*.

Ke depan proliferasi kendaraan listrik akan sangat tergantung dari perkembangan teknologi baterai karena jarak tempuh yang merupakan tantangan kendaraan listrik sangat dipengaruhi oleh kemampuan baterai. Ke depan, baterai untuk kendaraan listrik diharapkan akan mampu menyimpan kebutuhan energi untuk mencapai jarak tempuh 320 hingga 564 kilometer untuk sekali pengisian. Salah satu teknologi yang sedang dalam taraf pengembangan antara lain penggunaan teknologi *nano* dalam super kapasitor. Teknologi ini dikembangkan oleh *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* dimana *carbon nano tube CNT* digunakan untuk membangun kapasitor sebagai penyimpan energi dengan spesifikasi yang lebih baik dari teknologi *NiMH*, [20].

6. RINGKASAN

Dalam tulisan ini telah diuraikan perkembangan kendaraan listrik dari sejarah hingga kondisinya saat ini. Perkembangan kendaraan listrik mengalami pasang surut yang dipicu oleh fluktuasi suplai minyak dunia. Keterbatasan cadangan sumber energi konvensional serta dampak pemakaiannya terhadap lingkungan merupakan faktor-faktor utama berkembangnya teknologi kendaraan listrik.

Sekarang ini, fenomena pemanasan global sudah semakin dipahami yang menuntut upaya manusia untuk secara nyata mengurangi emisi karbon ke dalam atmosfer bumi. Kemudian, isu keterbatasan

cadangan sumber daya alam sudah melewati batas geografis dan politik sebuah negara dimana sudah mengacu kepada prinsip sumber daya planet bumi secara keseluruhan. Bahwa cadangan sumber daya alam di perut planet bumi jumlahnya terbatas untuk itu manusia perlu menggunakannya secara arif.

Kendaraan listrik merupakan salah satu solusi yang sangat penting dalam upaya penyelamatan lingkungan dan pengelolaan sumber alam secara berkelanjutan. Hal ini dimungkinkan karena teknologi pendukung kendaraan listrik telah berkembang sedemikian rupa sehingga telah berhasil dibuat kendaraan listrik yang handal, ekonomis, serta memiliki tingkat kenyamanan yang sama dengan kendaraan bermotor konvensional dan bahkan teknologi kendaraan listrik memiliki spesifikasi operasi yang lebih baik di bandingkan kendaraan bermotor konvensional.

Berbagai jenis kendaraan listrik telah diproduksi, dari mobil satu penumpang hingga bus berkapasitas 58 orang. Kendaraan untuk penggunaan dalam kota hingga *sport utility van* dan bahkan *sport coupe* juga sudah diproduksi. Daftar kendaraan listrik yang disurvei dalam penelitian ini selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.

7. REFERENSI

- [1] Phoenix Motorcar, **Phoenix Sports Utility Truck (SUT) Specifications**, Phoenix Motorcar, Amerika Serikat, 2008
- [2] Phoenix Motorcar, **Phoenix Sports Utility Van (SUV) Specifications**, Phoenix Motorcar, Amerika Serikat, 2008
- [3] Urano., T., Kaneshige, K., Hayakawa, H., Sugiura, K., **Shikoku Electric Vehicle Week 2003**, Mitsubishi Motors Technical Review, No. 16, 2004, hal 100 – 102, Jepang, 2003
- [4] Letendre, S., Perez, R., Herig, C., **Battery Powered Electric Drive Vehicles Providing Buffer Storage for PV Capacity Value**, NREL Laboratory, Golden, USA
- [5] Pesaran, A.A., Vlahinos, A., Burch, S.D., **Thermal Performance of EV and HEV Battery Modules and Packs**, Center for Transportation Technologies and Systems, NREL, Colorado, AS
- [6] Ridley, R., **The Future of The Electric Car**, Ridley Engineering Inc, UK, APEC 2006 Plenary Presentation, 2006
- [7] Swaroop, R., **1999 Daimler Chrysler EPIC NiMH Charging Systems Study**, Technical Progress Report, October 1999, EPRI, California, AS
- [8] Riezenman, M.J., **Engineering the EV Future**, Spectrum IEEE, Vol 35, Issue 11, Nov 1999, hal 18-20, IEEE, Amerika, 1999
- [9] IEA, **Electric Vehicle: Technology, Performance, and Potential**, International

- Energy Agency, OECD Publication, Perancis, 1993
- [10] INL, **The History of Electric Vehicle**, Idaho National Laboratory, on line www.inl.org, diakses Oktober 2008
- [11] Cready, E., Lippert, J., Pihl, J., Weinstock, I., Symons, P., Jungst, R.G., **Technical and Economic Feasibility of Applying Used EV Batteries in Stationary Application**, Sandia National Laboratories, California, Amerika, 2003
- [12] Rivers, D.D., **Rechargeable Battery Technology Overview**, American Electric Vehicles Inc (AEV), Oct, 2007
- [13] Handa, K., Yoshida, H., **Development of Next Generation Electric Vehicle "i-MiEV"**, New Technologies, Mitsubishi Motors Technical Review, No 19, pp. 66 – 70, 2007
- [14] Jones, C., **Electric Vehicle Batteries**, Electric Auto Association PSRJC DET 193, North Bay Chapter, America, Oktober 2004
- [15] C&D Technologies, **Valve Regulated Lead Acid Battery: Life Expectancy and Temperature**, online, C&D Technologies Inc, USA
- [16] Nispel, M., Williamson, A., **Key Factors for Maintaining battery Performance**, on line version from Power Quality Magazine, March/April 1999
- [17] Early electric, **The Early Electric Car Site**, on line www.earlyelectric.com, diakses Desember 2008
- [18] Gordon, J., **Nissan To Sell Electric Vehicle in 2010**, on line, www.auditorial.autos.msn.com, diakses 25 Feb 2009
- [19] Honda Corporation, **Timeline Automobiles**, on line www.world.honda.com, diakses 1 Desember 2008
- [20] Signorelli, J., Schindall, J., Kassakian, J., **Carbon Nanotube Enhanced Double layer Capacitor**, MIT Laboratory for Electromagnetic and Electronics Systems, on line, diakses 3 Maret 2009
- [21] ETC – EVAA, **Electric Vehicle Community Market Launch Manual: Vol 1 General Policy Consideration Level**, Electric Transport Coalition and Electric Vehicle Association of America, 1995
- [22] ETC – EVAA, **Electric Vehicle Community Market Launch Manual: Vol 2 The EV-Ready Community Infrastructure Planning and Deployment**, Electric Transport Coalition and Electric Vehicle Association of America, 1995
- [23] Santini, D.J., **Status of Hybrid Light Duty Vehicles in the US Mid decade 2000 – 2010**, Annex 1 Expert Meeting of Hybrid and Electric Vehicle Technologies and Programs, Rome, 2005
- [24] VEVA, **A Brief history of Electric Vehicle**, on line at www.veva.ca, diakses 24 Feb 2008
- [25] US Dept of Energy, **The History of Electric Cars**, on line www.energy.gov, diakses 7 Feb 2008
- [26] IEEE History Center, **Charles F Kettering 1876-1958**, on line www.ieee.org, diakses 1 Pebruari 2008
- [27] IEEE Global History Network, **Henry Ford**, on line www.ieeeahn.org, diakses 2 Maret 2008
- [28] EAA, **Electric Vehicle History**, Electric Auto Association, on line www.eaev.org, diakses 1 Pebruari 2008
- [29] Fairley, P., **California To Rule on Fate of Evs**, IEEE Spectrum, Vol 44, issue 11, Nov 2007, Hal 10 – 12
- [30] Autocar, **Audi Q7 Hybrid Postponed**, on line www.autocar.co.uk, diakses Juli 2008
- [31] Posawatz, T., **The Electrification of Automobiles**, EPRI Summer Seminar Presentation, Electric Power Research Institute - General Motor, Juli 2008
- [32] Larson, J., **EV Infrastructure Basics and Broader Grid Implications**, Presentation of Infrastructure Innovation Panel, AFVI National Conference and Expo 2007, Pacific Gas and Electric Company
- [33] Hermance, D., **Toyota ZEV Technologies Updates**, Toyota Technical Center
- [34] Toyota, **Toyota Prius HEV Fleet Testing Sheet**, US Dept of Energy
- [35] Fleet, B., Li, J.K., Gilbert, R., **Situation Analysis of the Current State of Electric Vehicle Technology**, Electric Vehicle Technology Roadmap Visioning Meeting, June 26, 2008
- [36] Solares, R., Argueta, J., **1999 Toyota RAV4 EV Inductive: Performance Characterization**, Southern California Edison, Oktober 1999
- [37] Tolbert, M. L., Peng, F.Z., Habelter, T.G., **Multilevel Inverters for Electric Vehicle Applications**, WPET 98, Dearborn, Michigan, Oktober 1998
- [38] Matzusawa, S., **Kanagawa EV Promotion Measures**, Kanagawa EV Promotion Council, Governor of Kanagawa, Jepang
- [39] HEPCO, **HEPCO Group Environmental Policies and Promotional Structure**, Hokaido Electric Power Company, Nov 2004, Jepang
- [40] Gilbert, R., Perl, A., **Grid Connected Vehicles as the Core of Future Land Based Transport System**, Energy Policy, Juni 2006
- [41] Ehsani, M., Rahman, K.M., Bellar, M.D., Severinsky, A., **Evaluation of Soft Switching for EV and HEV Motor Drive**, Proceedings of IEEE Industrial Electronics Conference, 1997
- [42] Staines, C.S., Cilia, J., **The Design of an Electric Vehicle (EV) for Malta**, Dept of Electrical Power and Control Engineering University of Malta, May 2002

- [43] Yoo-Eup, H., Seong-In, M., **Evaluation Technology of Characteristics for EV-Size Batteries**, Battery Technology Team, Kore Electrotechnology Research Institute, Korea
- [44] Wang, L., **Hybrid Electric Vehicle Design Based On A Multi-Objective Optimization Evolutionary Algorithm**, Texas A & M University, 2005
- [45] Gokdere, L.U., Benlyazid, K., Santi, E., Brice, C.W., Dougal, R.A., **Hybrid Electric Vehicle with Permanent Magnet Traction Motor: A Simulation Model**, Proceedings of IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC'99), pp 502-504, Wasington, Amerika Serikat, 1999
- [46] Gui-Jia, S., Cuningham J.P., Tang, **A Reduced-Pardt, Triple-Voltage DC-DC Converter for Electric Vehicle Power Management**, PESC 2007
- [47] IEEE, **Plug-In Electric Hybrid Vehicles: Position Statement**, IEEE-USA Board of Directors, 15 June 2007
- [48] Lhomme, W., Bouscayrol, A., Barrade, P., **Simulation of a Series Hybrid Electric Vehicle based on Energetic Macroscopic Representation**, L2EP Lille France, LEI Ecole Polytechnique Federale de Lausanne Switzerland
- [49] Tur, O., Ustun, O., Tuncay, R.N., **Application Note on Regenerative Braking of Electric Vehicles as Antilock Braking System**, Scientific and Technologic Research Council of Turkey
- [50] Zhang, C., Bai, Z., Cao, B., Lin, J., **Simulation And Experiment of Driving Control System for Electric Vehicle**, International Journal of Information and Systems Sciences, Vol 1, No 3-4, halaman 283-292
- [51] Andresen, T., Dale, J., **A Proposal for an IT-mediated Urban Electric Vehicle System**, Oktober 2006
- [52] Chau, K.T., Wong, Y.S., Chan, C.C., **EVSIM A PC Based Simulation Tool for an Electric Vehicle Technology Course**, University of Hongkong
- [53] Chwei-Sen, W., Stielu, O.H., Covic, G.A., **Design Considerations for A Contactless Ellectric Vehicle Battery Charger**, IEEE Transaction On Industrial Electronics, Vol 52, No 5, h 1308 – 1314, Oktober 2005
- [54] Hori, Y., Toyoda, Y., Tsuruoka, Y., **Traction Control of Electric Vehicle**, University of Tokyo
- [55] Liukkonen, M., Hentunen, A., Suomela, J., Kyyra, J., **Functional Simulation of Power Electronics Components in Series-Hybrid Machinery for the needs of OEM**, NORPIE/2008 Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics, June 2008
- [56] Boyali, A., Demirci, M., Acarman, T., Guvemc, L., Kiray, B., Yildirim, M., **A Simulation Program for a Four Wheel Drive Parallel Hybrid Electric Vehicle and its Use in Rule Based Controller Developemnt and Implementation**, University of Turkey, Istambul Technical University
- [57] Takau, L., Round, S., **Design of A Switched Reluctance Motor for An Electric Vehicle**, Department of Electrical and Computer Engineering University of Canterbury
- [58] Chau, K.T., Wang, Z., **Overview of Power Electronics Drives for Electric Vehicles**, HAIT Journal of Science and Engineering B, Volume 2, Issues 5-6, hal 737-761, Holon Academic Institute of Technology, 2005
- [59] Thountthong, P., **Control of Fuel Cell/Bateery Hybrid Source for Electric Vehicle Applications**, ECTI Transactions on Electrical Engineering, Electronics and Communications, Vol 5, No. 2, 2007
- [60] Douglas, H., Pillay, P., **Sizing Ultracapacitors for Hybrid Electric Vehicles**, IEEE, 2005
- [61] Doll, C., **Innovation in Vehicle Technology The Cas of Hybrid Electric Vehicles**, DIME International Conference Innovation Sustainability and Policy, September 2008
- [62] Murai, Y., Ishikawa, H., Lipo, T.A., **New Series Resonant DC Link Inverter For Electric Vehicle Drives**, IEEE 1994
- [63] Nobels, T., Deprez, W., Pardon, Stevens, S., Viktorin, O., Driesen, J., Keybus, J.V.D., Belmans, R., **Design of a Small Personal Electric Vehicle as an Educational Project**, Dept Elektrotechniek, Kaholieke Universiteit Leuven, Belgia
- [64] Jeon, S., Lee, J., Jeong, S., Lim, T., **Hyundai Supercapacitor Fuesl Cell Hybrid Electric Vehicle**, Hyundai Motor Kia Corporation