

## Pemilihan Teknologi Baterai Untuk Mobil Listrik

Rusnaldy

Multidisciplinary Analysis & Design Optimization Center (MADOC)  
Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedharto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang  
Email: rusnaldy@undip.ac.id

### Abstrak

Jumlah bahan bakar minyak yang selama ini mendominasi penggunaannya pada alat transportasi seperti mobil semakin lama semakin menipis persediaannya. Untuk mengantisipasi hal tersebut, beberapa negara terutama Amerika, negara-negara di Eropa, Jepang dan China sudah mulai memperkenalkan alternatif lain pengganti bahan bakar minyak untuk mobil-mobil mereka. Indonesia juga tidak mau ketinggalan. Pemerintah juga mulai menggalakkan penelitian, pengembangan dan pembuatan mobil-mobil listrik. Dibanding dengan mobil berbahan bakar minyak, mobil listrik memiliki beberapa kelebihan, seperti lebih ramah lingkungan karena lebih tidak menimbulkan polusi, energi yang digunakan dapat berasal dari sumber yang dapat diperbarui dan lain sebagainya. Salah satu komponen penting dalam mobil listrik adalah baterai sebagai sumber energi. Teknologi baterai sudah berkembang sejak lama dan penggunaannya juga sudah sedemikian luas. Memilih teknologi baterai yang cocok dengan mobil listrik yang dibuat adalah salah satu aspek yang sangat penting, karena menyangkut pertimbangan daya, harga, volume dan berat baterai yang akan digunakan. Pada makalah ini, kemajuan pengembangan mobil listrik di dunia dan di Indonesia serta persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi oleh baterai agar dapat dipakai oleh mobil listrik akan disajikan. Beberapa teknologi baterai yang saat ini ada berikut karakteristiknya dikaji. Dan berdasarkan persyaratan-persyaratan baterai untuk mobil listrik tersebut, pemilihan teknologi baterai yang dapat digunakan untuk mobil listrik dilakukan. Dari hasil pemilihan beberapa kandidat teknologi baterai untuk mobil listrik ditampilkan dalam makalah ini.

**Keywords:** baterai, mobil listrik, karakteristik baterai, proses pemilihan teknologi baterai, kandidat baterai

### Pendahuluan

Energi dari bahan bakar fosil selama ini masih menjadi pilihan utama dalam pemenuhan kebutuhan energi manusia modern, tidak terkecuali kendaraan bermotor atau mobil. Dengan sifatnya yang tidak dapat diperbaharui serta pemakaiannya yang tiada henti menyebabkan persediaannya semakin menurun. Disamping itu, pemakaian bahan bakar dari fosil menyebabkan timbulnya persoalan pada lingkungan, terutama efek yang ditimbulkan oleh gas buang kendaraan bermotor

Untuk mengatasi persoalan-persoalan di atas, banyak negara maju berlomba-lomba mencari alternatif energi bagi mobil mereka. Salah satunya adalah mobil listrik. Indonesia juga turut serta dalam hingar bingar pembuatan mobil listrik. Presiden Susilo Bambang Yudono meminta sejumlah perguruan tinggi untuk mengembangkan mobil listrik serta menginginkan agar mobil listrik dapat diproduksi secara massal untuk memenuhi kebutuhan mobil nasional disamping untuk meminimalisir penggunaan bahan bakar dari fosil.

Ketertarikan terhadap penggunaan mobil listrik juga dimotivasi oleh emisi gas buang CO<sub>2</sub> yang sangat rendah pada mobil listrik bahkan tidak ada sama sekali bila dibandingkan dengan mobil berbahan bakar minyak. Mobil listrik menawarkan prospek pengurangan konsumsi energi bahan bakar dalam bidang transportasi dan bersamaan dengan itu juga mengurangi impor bahan bakar dari fosil, sehingga mobil listrik dapat dipandang sebagai solusi atas permasalahan-permasalahan yang timbul di seputar penggunaan bahan bakar minyak.

Salah satu elemen terpenting dalam mobil listrik adalah baterai. Baterai merupakan sumber energi utama pada mobil listrik jenis *Battery Electric Vehicle* (BEV). Baterai mengubah energi kimia menjadi energi listrik yang digunakan untuk menjalankan mobil listrik. Begitu pentingnya peran baterai dalam mobil listrik, sehingga pemilihan baterai yang akan digunakan juga harus dilakukan secara benar karena menyangkut pertimbangan daya, harga, volume dan berat baterai yang akan digunakan. Pada makalah ini, suatu kajian melalui studi literatur tentang karakteristik beberapa teknologi baterai yang

saat ini telah ada dilakukan. Berdasar kajian tersebut dipilih beberapa kandidat teknologi baterai untuk mobil listrik. Harapannya informasi yang sedikit ini dapat dijadikan sebagai alternatif pertimbangan untuk memilih teknologi baterai bagi mobil listrik nasional.

### Teknologi Baterai Pada Mobil Listrik

Mobil listrik pertama kali dibuat pada tahun 1830-an yang menggunakan baterai yang tidak dapat di-*recharge*. Pada akhir abad ke 19, dengan diproduksinya secara massal baterai yang dapat di-*recharge*, mobil listrik mulai digunakan lebih luas lagi. Namun di awal abad ke 20, dengan ditemukan dan dikembangkannya *internal combustion engine* (IC engine), perkembangan mobil listrik menjadi terhambat. Mobil berenergi bahan bakar lebih menarik digunakan oleh manusia karena *specific energy* dari bahan bakar minyak jauh lebih besar dibanding yang dihasilkan oleh baterai. Alasan lainnya adalah karena waktu yang dibutuhkan untuk me-*recharge* baterai cukup lama, hingga beberapa jam, sementara untuk mengisi 20 liter bensin misalnya, hanya dibutuhkan waktu kurang dari lima menit. Disamping itu, harga baterai yang mahal juga menjadi pertimbangan untuk lebih memilih mobil berbahan bakar minyak. Namun demikian disamping kekurangan-kekurangan baterai di atas, mobil listrik tetap masih ada yang menggunakan sejak awal abad ke 20 karena memiliki keunggulan yang tidak dimiliki oleh mobil berbahan bakar minyak, yaitu emisi gas buang yang tidak ada serta kebisingan yang rendah (Larminie & Lowry, 2003). Pada tahun 1900, di Amerika Serikat saja terjual sebanyak 4200 mobil, 38% diantaranya adalah mobil listrik (Husain, 2005).

Saat ini hampir semua pabrik utama pembuat mobil dunia memproduksi mobil listrik. Disamping untuk dijual, juga tersedia mobil-mobil listrik untuk disewakan. Disamping mobil listrik jenis BEV, fabrikasi mobil juga mengembangkan dan membuat mobil jenis *Hybrid Electric Vehicle* (HEV), mobil jenis *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEV), dan *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* untuk mengatasi masalah yang ada pada baterai. Semua jenis mobil di atas merupakan transisi dari mobil berbahan bakar minyak ke mobil listrik yang sepenuhnya mengandalkan baterai sebagai sumber energi.

Sementara itu di Indonesia, pemerintah berencana mengembangkan mobil listrik nasional. Lembaga yang ditunjuk menjadi penanggung jawab pengembangannya adalah Kementerian Riset dan Teknologi, Kementerian Perindustrian, Kementerian Perhubungan, Kementerian BUMN dan beberapa perguruan tinggi. Walau infrastruktur energi belum disiapkan dengan baik namun pemerintah berencana memproduksi 10.000 unit pada tahun 2014

([www.bisnis.com/articles/mobil-listrik](http://www.bisnis.com/articles/mobil-listrik)).

Pemerintah mengakui bahwa komponen paling krusial dalam produksi mobil listrik yakni baterai masih belum berkembang industri pembuatannya, sehingga untuk itu masih harus dilakukan impor baterai dari negara lain.

Perkembangan mobil listrik tidak terlepas dari perkembangan teknologi baterai yang digunakan. Baterai dapat mengubah energi kimia yang terkandung di dalam material aktifnya langsung menjadi energi listrik melalui sebuah reaksi elektrokimia oksidasi-reduksi (redoks). Untuk baterai yang dapat di-*recharge* maka proses kebalikannya yang terjadi. Fungsi dari baterai adalah untuk menyimpan energi. Energi yang tersimpan dalam baterai tergantung dari voltase dan muatan listriknya. Beberapa parameter-parameter utama yang dapat menyatakan karakteristik dan performan baterai adalah (Larminie & Lowry, 2003 & Linden & Reddy, 2002): voltase, kapasitas muatan, energi yang tersimpan, *specific energy*, *energy density*, *specific power*, dan efisiensi.

Mobil listrik yang telah dibuat atau sedang dalam tahap pengembangan memiliki tipe dan ukuran yang berbeda-beda, sehingga pemilihan teknologi baterai yang benar akan sangat menentukan performan dari mobil listrik saat digunakan. Mobil listrik memerlukan baterai yang memiliki karakteristik (Besenhard, 1999): (1) *specific energy* dan *energy density* yang tinggi agar dapat menempuh jarak yang cukup jauh; (2) *power density* yang tinggi untuk akselerasi; (3) siklus hidup yang lama dengan sedikit perawatan; (4) biaya yang rendah.

Gerssen-Gondelach dan Faaij menguji beberapa jenis teknologi baterai dalam hal performan, pengaruhnya terhadap lingkungan dan ekonomi (Gerssen-Gondelach & Faaij, 2012). Salah satu kesimpulan yang dihasilkan oleh mereka adalah bahwa untuk memaksimalkan performan dan kompetisi dari mobil listrik (BEV) untuk jangka pendek dan lama, *specific power*, efisiensi dan harga baterai adalah parameter paling penting yang harus dimiliki oleh baterai untuk digunakan pada mobil listrik. Namun Gerssen-Gondelach kurang memperhitungkan pengaruh berat baterai terhadap performan mobil listrik. Baterai yang terlalu berat selain menyebabkan perlunya ruang yang banyak untuk menempatkan baterai juga menyebabkan mobil listrik tidak dapat digunakan untuk jarak jauh, terutama untuk mobil jenis truk. Untuk memperbesar jarak tempuh perlu menambah baterai lagi, sehingga struktur tambahan perlu ditambahkan pada mobil untuk menopang baterai-baterai tersebut. Berat baterai akan mempengaruhi jarak yang dapat ditempuh oleh mobil listrik [Zhan, 2009]. Zhan juga mengatakan bahwa *specific energy* adalah karakteristik yang utama agar mobil bisa digerakkan

oleh baterai. Sehingga kelima karakteristik baterai tersebut penulis jadikan sebagai landasan untuk memilih baterai yang cocok bagi mobil nasional. Dari sekian banyak baterai yang beredar di pasaran, baterai yang digunakan untuk mobil listrik adalah sebagai berikut (Husain, 2005):

1. Lead-acid (Pb-acid)
2. Nickel-cadmium (NiCd)
3. Nickel-metal-hydride (NiMH)
4. Lithium-ion (Li-ion)
5. Lithium-polymer (Li-poly)
6. Sodium-sulfur (NaS)
7. Zinc-air (Zn-air)

**Karakteristik Baterai**

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, parameter yang akan dijadikan sebagai karakteristik performan teknologi baterai untuk mobil listrik pada makalah ini adalah *specific energy* (SE), *specific power* (SP), efisiensi baterai (Ef.), harga baterai dan berat baterai. *Specific energy* adalah jumlah energi listrik yang tersimpan untuk setiap kilogram berat baterai, dengan satuan Wh/kg. Jika kapasitas energi yang dibutuhkan baterai dalam sebuah mobil listrik diketahui (Wh), kemudian dibagi dengan *specific energy* (Wh/kg) maka perkiraan berat baterai yang dibutuhkan akan diperoleh. *Specific power* adalah jumlah daya yang diperoleh untuk setiap kilogram berat baterai dengan satuan W/kg. Beberapa baterai memiliki *specific energy* yang sangat baik, namun memiliki *specific power* yang rendah, yang artinya baterai tersebut mampu menyimpan banyak energi tetapi hanya dapat mengeluarkannya dengan perlahan-lahan. Atau dengan kata lain mobil listrik dapat dijalankan dengan sangat lambat untuk jarak yang cukup jauh. Sementara efisiensi yang dimaksud disini adalah *discharge/charge cycle* pada baterai.

Cukup sulit memperoleh data kelima karakteristik baterai tersebut pada satu baterai. Namun dengan sedikit keburuntungan, akhirnya penulis menemukan data-data yang lengkap dalam satu hasil penelitian, sehingga data-data tersebut dijadikan sebagai bahan untuk melakukan proses pemilihan baterai dan data tersebut dapat dilihat pada tabel 1 (Vyas dkk., 1997).

Dari tabel 1 tersebut, kemudian dibuat grafik untuk setiap karakteristik untuk kesepuluh baterai (Gambar 1-5). Kemudian dari grafik-grafik tersebut dipilih lima baterai terbaik (harga tertinggi atau terendah). Peringkat satu hingga lima diberi nilai berturut-turut 5, 4, 3, 2 dan 1, lihat tabel 2 untuk contoh perhitungan nilai. Baterai yang tidak masuk lima besar untuk setiap karakteristik diberi nilai nol. Total nilai dari masing-masing baterai untuk setiap karakteristik dapat dilihat pada Gambar 6.

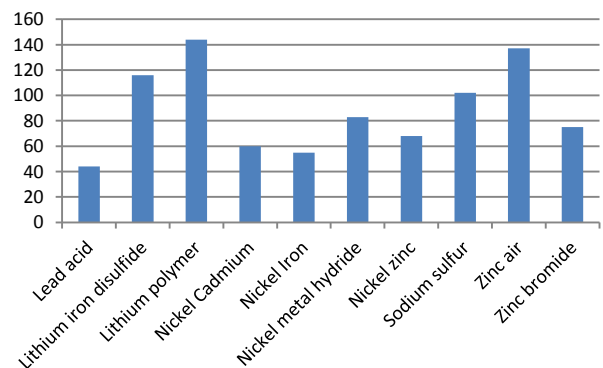
**Tabel 1.** Karakteristik 10 baterai yang digunakan untuk mobil listrik

Baterai	SE (Wh/kg)	SP (W/kg)	Ef.	Harga (\$/kWh)	Berat (kg)
Lead acid	44	190	740	179	1610
Lithium iron disulfide	116	209	698	664	358
Lithium polymer	144	167	876	406	276
Nickel Cadmium	60	199	1428	517	930
Nickel Iron	55	140	1294	482	1115
Nickel metal hydride	83	184	1177	426	568
Nickel zinc	68	180	570	587	764
Sodium sulfur	102	153	829	339	438
Zinc air	137	108	568	387	312
Zinc bromide	75	110	704	576	732

**Tabel 2.** Contoh cara memberi nilai untuk 5 peringkat terbaik untuk karakteristik *specific energy*

Peringkat	Baterai	Nilai
1	Lithium polymer	
2	Zinc air	
3	Lithium iron disulfide	
4	Sodium sulfur	
5	Nickel metal hydride	

**Specific Energy (Wh/kg)**

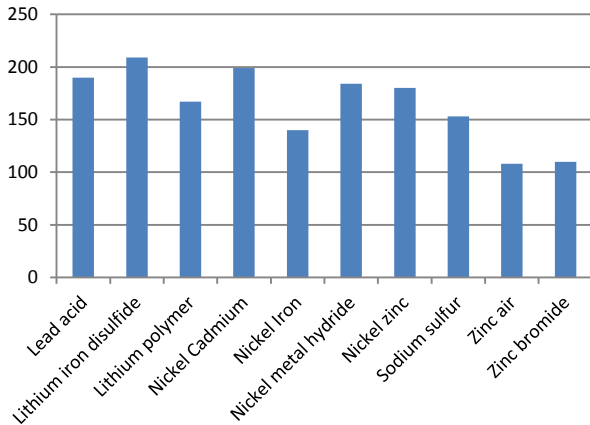


**Gambar 1.** *Specific energy* dari 10 baterai

Pada gambar 1 terlihat bahwa baterai *lithium polymer* memiliki nilai *specific energy* yang paling besar dibanding dengan baterai-baterai yang lain. Setelah itu berturut-turut baterai *zinc air*, *lithium iron disulfide*, *sodium sulfur* dan *nickel metal hydride*. Untuk nilai *specific power*, baterai dari jenis lithium ion memiliki nilai yang terbesar (lihat gambar 2). Baterai jenis nickel memiliki efisiensi yang sangat baik bila dibandingkan dengan baterai jenis lainnya, seperti terlihat pada gambar 3. Sementara itu baterai *lead acid* yang memang sudah sejak lama dikenal dan digunakan pada kendaraan bermotor memiliki harga jual yang paling rendah dibanding dengan baterai lainnya, sementara baterai *lithium iron disulfide* adalah baterai yang paling mahal diantara 10 baterai untuk digunakan

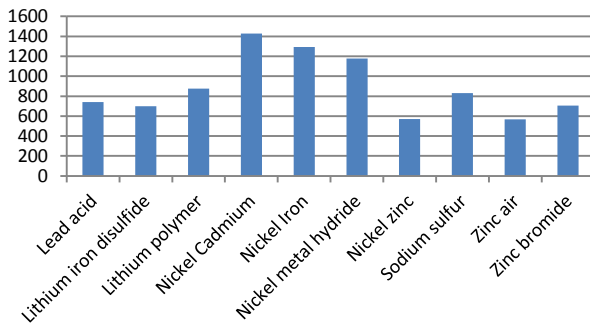
pada mobil listrik (lihat gambar 4).

**Specific Power (W/kg)**



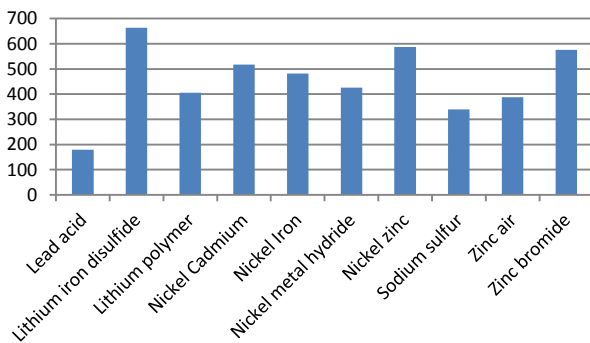
**Gambar 2.** Specific power dari 10 baterai

**Efficiency**



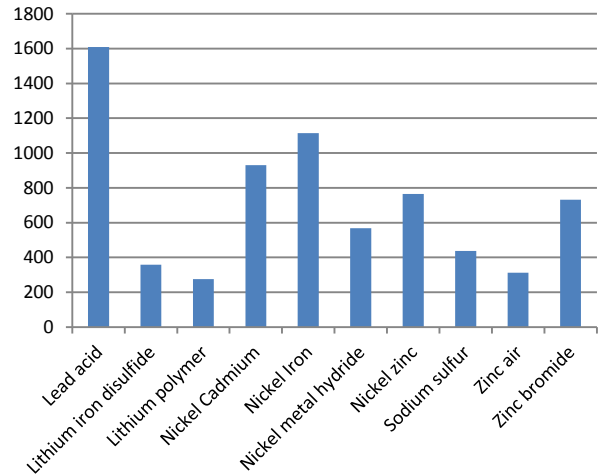
**Gambar 3.** Efisiensi dari 10 baterai

**Harga (\$/kWh)**



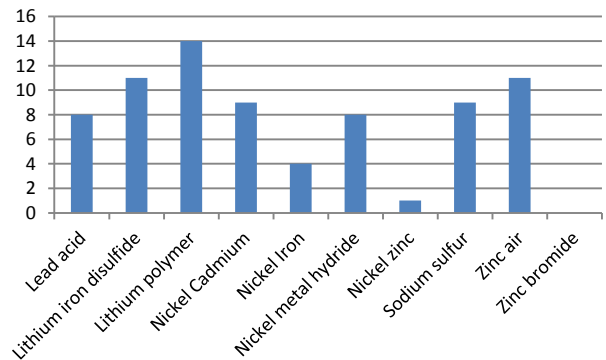
**Gambar 4.** Harga jual 10 baterai

**Berat (kg)**



**Gambar 5.** Berat 10 baterai

**Total Nilai**



**Gambar 6.** Total nilai peringkat baterai untuk setiap karakteristik

Dari 10 baterai, baterai jenis lithium (*lithium polymer* dan *lithium iron disulfide*) dan *zinc air* memiliki berat yang paling ringan diantara sepuluh baterai yang dikaji, hal ini jelas menjadi salah satu pertimbangan utama dalam memilih baterai (lihat gambar 5).

Pada gambar 6, terlihat bahwa dari lima karakteristik baterai yang dikaji, baterai *lithium polymer*, *lithium iron disulfide* dan *zinc air* menduduki peringkat tertinggi sebagai kandidat baterai untuk mobil listrik.

**Kesimpulan**

Untuk digunakan sebagai sumber energi mobil listrik, teknologi baterai harus memiliki karakteristik tertentu yang mampu meningkatkan performan mobil listrik. Dari sekian banyak karakteristik yang dimiliki oleh baterai, *specific power*, *specific energy*, efisiensi, harga

dan berat baterai diyakini dapat meningkatkan performan dan kompetisi dari suatu mobil listrik. Dan dari sepuluh teknologi baterai yang dikaji, tiga baterai dapat dijadikan sebagai kandidat untuk digunakan pada mobil listrik.

### **Ucapan Terima kasih**

Penulis mengucapkan terima kasih pada Jurusan Teknik Mesin Undip yang telah memberikan dukungan untuk mempresentasikan makalah ini di SNTTM XI di UGM Yogyakarta.

### **Referensi**

Besenhard, J. O. Handbook of Battery Materials. Wiley-VCH, 1999

Gerssen-Gondelach, S. J. & Faaij, A. P. C. Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term. Journal of Power Sources 212 pp 111-129, 2012

Husain, I. Electric & Hybrid Vehicles – Design Fundamentals. CRC Press, 2005

Larminie, J & Lowry, J. Electric Vehicle Technology Explained. John Wiley & Sons, Ltd, 2003.

Linden, D & Reddy, T.B. Handbook of Batteries. McGraw-Hill, 3rd edition, 2002

Vyas, A.D., Ng, H.K., Santini, D.J., Anderson, J. L. Batteries for Electric Drive Vehicle: Evaluation of Future Characteristics and Costs Through a Delphi Studi. Proceeding of SAE International Spring Fuels and Lubricants Meeting, Detroit, USA, 1997

[www.bisnis.com/articles/mobil-listrik](http://www.bisnis.com/articles/mobil-listrik) diakses 26 September 2012

Zhan, W. Requirement Development for Electrical Vehicles Using Simulation Tools. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, Vol II, San Fransisco, USA, 2009