

EFISIENSI MESIN DAN ANALISIS BIAYA TEKNOLOGI MOBIL HYBRID

Marzuki

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe
marzukiengineer@gmail.com

Abstrak

Upaya meningkatkan efisiensi pembakaran pada mesin telah menjadi subjek riset pengembangan untuk banyak perusahaan yang berhubungan dengan emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar. Melalui kombinasi lebih dari satu teknologi ke teknologi yang lain adalah salah satu cara yang sangat menjanjikan untuk meningkatkan efisiensi mesin. Teknologi ini bisa jadi teknologi hybrid yang mengkombinasikan sistem elektrik atau sistem pneumatic dengan mesin diesel atau bensin yang tersedia secara series atau paralel. Sistem elektrik akan menyimpan energi sisa ke dalam baterai dan sistem pneumatic akan menyimpan sisa energi dalam bentuk tekanan dalam tanki kompresor. Disatu sisi, ada banyak keuntungan penggunaan teknologi hybrid dalam meningkatkan efisiensi penggunaan mesin seperti, meningkatkan jarak tempuh, penghematan energi, mengurangi emisi efek rumah kaca, mengurangi pemborosan energi dan ramah lingkungan. Di sisi lain, kebutuhan biaya pemeliharaan yang lebih tinggi, orang yang ahli dalam perawatan, teknologi tinggi dalam pembuatan, waktu yang lama untuk pengisian baterai dan harga yang lebih mahal jika dibandingkan dengan mobil ekonomis dan tradisional menjadi kelemahan dari teknologi hybrid. Bagaimanapun, dengan penggunaan teknologi hybrid dapat meningkatkan efisiensi mesin dan sesuai dengan peraturan EPA (Environmental Protection Agency), dalam analisa ekonomi juga memiliki manfaat untuk pemakaian jangka panjang.

Kata kunci: Efisiensi mesin, Teknologi hybrid, jenis Paralel dan Seri, Hybrid sistem elektrik, Hybrid sistem pneumatic, Baterai.

PENDAHULUAN

Efisiensi mesin telah menjadi isu hangat dalam industri mobil sekarang ini. Hal tersebut menyebabkan banyak perusahaan mengembangkan teknologi baru untuk meningkatkan efisiensi mesin dan mengurangi efek polusi, juga untuk membuat produk ramah lingkungan. Pemahaman global dan terus meningkatnya temperatur bumi menjadi kritikan bagi industri mobil yang menggunakan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar utama. Lebih dari itu, industri mobil harus bertanggung jawab pada perubahan iklim dan efek polusi. Bagaimanapun, untuk menyelesaikan permasalahan ini, banyak perusahaan tengah meningkatkan efisiensi mesin dan mengembangkan bahan bakar alternatif yang baru.

Gagasan tentang bagaimana cara meningkatkan efisiensi pembakaran didalam mesin bisa dilakukan dengan banyak cara. Untuk saat tertentu; pertama, pengendara dapat menjalankan mobil pada kondisi pembakaran yang irit. Dengan metode ini pemakaian udara yang berlebih di dalam mesin dimana perbandingan bahan bakar dengan rasio udara (dengan massa) stoichiometric (secara kimia benar) adalah kaya. Yang kedua,

perbandingan kompresi yang lebih tinggi, dimana lebih tinggi rasio kompresi, berarti lebih tinggi tingkat efisiensi. Ketiga, menggunakan siklus Atkinson, adalah bagaimana cara membuat temperatur di dalam pembakaran lebih efektif dengan membuang lebih sedikit sisa panas melalui sistem pembuangan dan memperluas gas dingin yang terbakar. Akhirnya, dengan menjalankan mesin pada kondisi maksimum, yang menggunakan kombinasi mesin alternatif untuk menjalankan mobil bisa dilakukan dengan motor elektrik dan bensin, diesel, gas, bio diesel atau diesel.

Teknologi hybrid pada dasarnya menggunakan pendekatan "pushing-the-pistons" efisiensi hingga mencapai 35%. Ini terjadi pada beberapa mesin berpiston-besar, gerakan lambat, mesin piston digunakan pada stasiun saluran pipa compressor. Hal ini adalah karakteristik penting dari mesin yang digunakan di dalam gasoline-electric hybrid. Mesin bensin pada kendaraan gasoline-electric hybrid hanya dapat dijalankan dengan katup yang sedikit terbuka dan RPM yang bagus.

Selanjutnya, pembangkit tenaga hybrid juga mengambil sebagian dari energi kinetik (EK) kendaraan, dengan mengambil EK pada generator

elektrik (selama pengereman). Energi elektrik disimpan di dalam baterai (secara normal, EK dibuang sebagai panas didalam rem). Inverter digunakan untuk mengkonversi listrik DC dari baterai ke listrik AC yang diperlukan oleh motor elektrik dan dihasilkan oleh generator.

Bagaimanapun, teknologi hybrid adalah teknologi yang meyakinkan dan akan bermanfaat untuk diterapkan dalam mengurangi efek emisi dan meningkatkan efisiensi pemakaian bahan bakar fosil.

TEORI DASAR

Pengenalan Teknologi Mobil hybrid

Teknologi Hybrid bukanlah teknologi yang paling baru dalam mesin otomatis, sebaliknya teknologi ini telah diterapkan dalam banyak bidang. Pada awalnya, kemungkinan banyak orang memiliki suatu kendaraan hybrid pada beberapa lokasi. Layton & Nice (2000) berpendapat bahwa sepeda pedal yang dilengkapi dengan mesin adalah jenis hybrid, karena hal itu merupakan kombinasi mesin tenaga bensin dengan tenaga pedal oleh pengendaranya.

Contoh lain, lokomotif yang menarik kereta adalah hybrid diesel-electric. Beberapa kendaraan mengkombinasikan dua atau lebih sumber tenaga yang dapat secara langsung atau secara tidak langsung menyediakan tenaga dorong adalah hybrid [1].

Dewasa ini, kebanyakan dari mobil hybrid yang berada di jalan adalah hybrid gasoline-electric, walaupun pembuat mobil Perancis, Psa Peugeot Citroën mempunyai dua mobil hybrid diesel-electric yang sedang dalam pengerjaan. Lebih dari itu, mobil hybrid merupakan mobil masa depan untuk meningkatkan efisiensi mesin dan untuk mengurangi polusi dan pemakaian bahan bakar dari fosil [2].

Tipe kendaraan hybrid

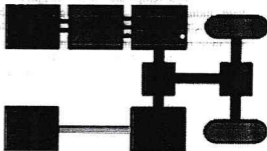
Pada dasarnya, ada dua karakteristik jenis kendaraan teknologi hybrid yang tersedia dipasar saat ini, yaitu hybrid seri dan hybrid parallel. Menurut Layton & Nice (2000), kendaraan hybrid seri berdasarkan pada susunan formasi mesin secara seri, yang diikuti kopling, motor elektrik, konverter, pengisi baterai, reservoir dan mesin generator sebagaimana terlihat pada gambar (1).



Gambar 1 Kendaraan hybrid seri

Pada awalnya, mobil hybrid seri mempunyai 4 mesin silinder yang mengitari generator. Generator akan menghasilkan tenaga untuk menjalankan motor atau mengisi baterai. Baterai akan menyimpan energi sisa pengereman dari motor. Motor elektrik akan menyediakan semua tenaga dorong. Transmisi yang serupa dengan kendaraan elektrik yang lain, motor dapat memutar cepat dengan hanya menggunakan satu gigi. Lebih dari itu, rangkaian mobil hybrid mempunyai tangki bahan bakar sebagai alat penyimpanan energi utama yang dapat memberi jarak tempuh mobil hingga 500 mil atau lebih.

Layton & Nice (2000) mendefinisikan hybrid paralel sebagai urutan formasi mesin yang diikuti oleh urutan paralel, dimana mesin dan tempat reservoir ditempatkan pada posisi kebalikan dari motor elektrik, baterai dan konverter berurutan, seperti terlihat pada gambar 2, urutan ini akan menyediakan dua jenis tenaga untuk menjalankan mobil bisa dari motor elektrik atau mesin.



Gambar 2 Kendaraan hybrid Paralel

Lebih jauh, Layton & Nice (2000) berpendapat bahwa antara mesin dan motor elektrik dapat memutar transmisi pada waktu yang sama, dan transmisi kemudian memutar roda. Motor elektrik dan baterai juga menghubungkan transmisi

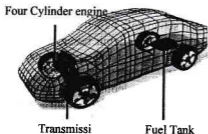
dengan bebas. Sebagai hasilnya, dalam rangkaian hybrid paralel, kedua-duanya motor elektrik dan motor gas dapat menyediakan tenaga dorong.

Perbandingan dengan rangkaian mobil hybrid, mobil hybrid paralel juga mempunyai tangki bahan bakar, baterai, 4 mesin silinder, motor elektrik dan transmisi. Tetapi motor elektrik pada umumnya lebih kecil karena tidak mempunyai tenaga untuk menggerakkan mobil dengan sendirinya. Beberapa hybrid paralel masih mempunyai transmisi konvensional, tetapi yang lainnya menggunakan teknologi yang lebih eksotis seperti CVTS (Continuously variable transmission).

Tenaga Bensin dengan Tenaga listrik

Kombinasi antara tenaga listrik dan bensin yang menggunakan baterai merupakan mobil hybrid yang paling populer sekarang ini. Pada awalnya mobil akan dijalankan dengan menggunakan baterai, terutama sekali ketika mempercepat laju kendaraan dan secara otomatis akan berubah ke mesin bensin ketika kecepatan yang lebih tinggi dibutuhkan.

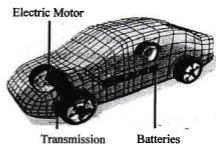
Mobil hybrid gasoline-electric seperti persilangan antara suatu mobil bertenaga bahan bakar bensin dan mobil elektris. Ada beberapa perbedaan antara mobil bertenaga bensin dan mobil elektris yang khas [1]. Mobil bertenaga gas mempunyai tangki bakar, yang menyuplai bensin ke mesin (gambar 3). Mesin kemudian memutar transmisi, yang memutar roda. Biasanya, untuk silinder mobil bertenaga bensin jenis mesinnya dapat menghasilkan lebih dari 100 hp dan beroperasi pada kecepatan sampai 8000 rpm, dimana, transmisi memungkinkan mesin untuk beroperasi di dalam kecepatan rendah ketika membiarkan mobil untuk dijalankan dengan kecepatan sampai 150 mph. Tangki bahan bakar pada umumnya memberi suplai untuk jarak tempuh mobil hingga 300 miles atau lebih.



Gambar 3 Tipe Mobil Bertenaga Bensin

Contrasting gasoline power car, an electric car has a set of batteries that provides electricity to an electric motor (figure 4).

Perbandingan bensin menggerakkan mobil, mobil elektrik mempunyai satu set baterai yang menyediakan listrik untuk motor elektrik (gambar 4).



Gambar 4 Tipe Mobil Elektrik

Motor memutar transmisi, dan transmisi memutar roda. Pada Jenis mobil tenaga bensin, transmisi dapat beroperasi dari 0 rpm sampai 15,000 rpm, kebanyakan transmisi kendaraan elektrik hanya punya satu rasio roda gigi. Sebagai tambahan, motor elektrik dapat memutar pada kecepatan 15,000 rpm dan mempunyai tenaga sampai 100 KW, membuat beberapa mobil elektrik seperti akselerasi mobil sport. Baterai sebagai alat penyimpanan energi pada umumnya memberikan suplai jarak tempuh mobil 50-100 mil [1].

Hybrid adalah solusi, itu telah dicoba dan hybrid diterapkan secara signifikan untuk meningkatkan jarak tempuh dan mengurangi emisi dari mobil bertenaga gas saat mobil elektrik melakukan perjalanan dekat ataupun jauh [1]. Ini berarti; ketika kecepatan yang lebih tinggi diperlukan mobil akan berjalan dengan mesin bensin, jika tidak mobil akan berjalan dengan motor elektrik yang menggunakan tenaga baterai. sehingga, ketika mesin sedang jalan, baterai akan terisi secara otomatis.

Beberapa strategi telah digunakan oleh teknologi mobil hybrid dan sesuai dengan persyaratan minimum tertentu. Kriteria minimum, dimana mobil harus bisa [1]:

- Dikendarai sedikitnya 300 mil (482 km) antara pengisian bahan bakar kembali.
- Pengisian bahan bakar cepat dan mudah
- Menghindari kemacetan dijalan.

Mengenai kebutuhan, mobil yang menggunakan bensin sesuai dengan kebutuhan tetapi polusi yang dihasilkan cukup besar dan biasanya jarak tempuh rendah. Mobil Elektrik, bagaimanapun, hampir tidak menghasilkan polusi, tetapi hanya dapat digunakan 50 sampai 100 mil (80 sampai 161 km) diantara pengisian [1]. Permasalahan mobil elektrik adalah sangat lambat dan merepotkan untuk pengisian kembali. Bagaimanapun, perusahaan Honda telah mengembangkan mobil bensin-electric, mengombinasikan dua susunan ini ke dalam satu sistem yang dapat membangkitkan kedua-duanya tenaga listrik dan tenaga gas untuk memecahkan masalah yang terjadi.

Struktur Gasoline-electric Hybrid

Kebanyakan dari Mobil Elektrik hybrid-gasoline terdiri dari komponen utama berikut, diantaranya adalah [1,2]:

- **Mesin bensin**

Mesin berbahan bakar bensin sama persis dengan mobil lain pada umumnya. Bagaimanapun, mesin pada hybrid lebih kecil dan penggunaannya mengedepankan teknologi untuk mengurangi emisi dan meningkatkan efisiensi.

- **Tangki Bahan bakar**

Fungsi tangki bahan bakar adalah sebagai alat penyimpanan energi untuk mesin bensin. Bensin mempunyai kerapatan energi jauh lebih tinggi dibanding dengan kinerja baterai. Sebagai Contoh, diperlukan sekitar 1,000 pon baterai untuk menyimpan energi sebanyak 1 galon (7 pon) dari bensin.

- **Motor elektrik**

Motor elektrik menjadi alat starter pertama untuk menjalankan mobil sebelum mesin bensin digunakan. Motor elektrik ini sangat mengagumkan. Menggunakan elektronika terdepan untuk menjadikan motor seperti halnya suatu generator. Sebagai contoh, ketika dibutuhkan, elektrik motor dapat menarik energi dari baterai untuk mempercepat mobil. Tetapi sebagai suatu generator, elektrik motor dapat memperlambat laju mobil dan mengembalikan energi ke baterai.

- **Generator**

Pada awalnya, generator sama dengan elektrik motor, tetapi perannya hanya untuk menghasilkan daya listrik. Digunakan kebanyakan pada kendaraan rancangan hybrid.

- **Baterai**

Baterai di dalam mobil hybrid menjadi alat penyimpanan energi untuk motor elektrik. Tidak sama dengan bensin didalam tangki bahan bakar, yang hanya dapat menggerakkan mesin bensin, motor elektrik pada mobil hybrid dapat menyimpan energi ke dalam baterai seperti halnya energi dari tanki. Baterai menerima pengisian kembali ketika mobil dijalankan dengan mesin bensin.

- **Transmisi**

Transmisi pada mobil hybrid ditampilkan pada fungsi dasar yang sama sebagai transmisi pada mobil konvensional. Beberapa hybrid, seperti Honda Insight, mempunyai transmisi konvensional, yang lain, seperti Toyota Prius berbeda sistem transmisinya.

Performa Mobil hybrid

Gambaran dasar dari mobil hybrid yang menggunakan mesin bensin jauh lebih kecil dibandingkan mobil konvensional dan oleh karena itu menjadikan konsumsi bahan bakar lebih efisien. Layton & Nice (2000) menghubungkan gagasan ini dengan mesin yang kecil, bagaimanapun, efisiensi dapat ditingkatkan dengan penggunaan yang lebih kecil, komponen lampu, dengan mengurangi banyaknya silinder dan dengan mengoperasikan mesin semakin dekat pada beban maksimumnya.

Lebih lanjut, Layton & Nice (2000) mengakui penggunaan mesin yang lebih kecil pada mobil hybrid telah menjadi beberapa alasan mengapa mesin kecil lebih efisien dibandingkan dengan yang besar;

- Mesin besar lebih berat dibanding mesin yang kecil, sehingga mobil harus menggunakan energi ekstra setiap kali menambah kecepatan atau menaiki bukit.
- Piston dan komponen internal lain lebih berat, di dalam silinder membutuhkan energi lebih setiap kali naik turun.
- Ruang silinder lebih besar, maka diperlukan bahan bakar lebih pada masing-masing silinder.
- Mesin yang lebih besar pada umumnya mempunyai silinder lebih banyak, dan masing-masing silinder menggunakan bahan bakar setiap kali mesin menyala, sekalipun mobil tidak bergerak.

Perbincangan bagaimana mungkin mesin yang lebih kecil menyediakan tenaga untuk kebutuhan mobil untuk tetap lebih bertenaga di jalan raya telah dijawab mobil hybrid. Layton & Nice (2000) menjelaskan isu ini dengan memberikan contoh; mari bandingkan mobil seperti Chevy Camaro, dengan V-8 mesin besarnya, dan mobil hybrid dengan motor gas dan motor elektrik kecilnya. Mesin di dalam Camaro mempunyai tenaga lebih dari cukup untuk dikemudikan dalam situasi apapun. Mesin di dalam mobil hybrid cukup kuat untuk di gerakkan sepanjang melintasi jalan raya, tetapi ketika mobil harus bergerak dalam keadaan cepat, atau mendaki bukit curam, memerlukan sumber tenaga yang lebih. Tenaga dapat diperoleh dari motor elektrik dan baterai. Namun demikian, tahapan di dalam sistem ini disediakan jika diperlukan tenaga ekstra.

Perbandingan yang lain, motor gas pada mobil konvensional disediakan untuk kebutuhan maksimal (ketika menginjak gas sampai habis). Sebenarnya kebanyakan pengendara menggunakan tenaga maksimal (pedal gas maksimum) dari mesin mereka kurang dari satu persen tiap waktu [1]. Mobil hybrid menggunakan mesin jauh lebih kecil, salah satunya diukur dari semakin dekat ke tenaga rata-rata yang diperlukan dari tenaga maksimum.

Di samping mesin yang lebih kecil, yang lebih efisien, hari ini hybrid digunakan dengan banyak teknik lain untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar. Sebagian dari teknik itu akan membantu jenis mobil apapun untuk mendapatkan jarak tempuh yang lebih baik, dan beberapa hanya diperoleh dari hybrid [3]. Untuk menekan konsumsi bahan bakar, mobil hybrid dapat melakukannya;

- Mengambil energi dan menyimpannya didalam baterai
- Kadang-Kadang menutup mesin
- Mengedepankan desain aerodinamis
- Penggunaan ban yang tahan putaran rendah.
- Penggunaan bobot Material yang ringan

METODA TEKNOLOGI HYBRID

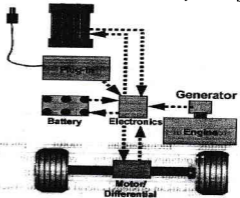
Dalam kaitannya dengan kendaraan teknologi hybrid yang mempunyai jenis paralel dan seri di dalam sistem kemudi, ada dua metoda yang sekarang ini paling terkenal yang disediakan oleh

pasar. Metodenya dapat menggunakan sistem Elektrik dan sistem pneumatik..

Sistem Elektrik

Layton & Nice (2000) mendefinisikan bahwa sistem elektrik pada kendaraan teknologi hybrid yaitu dengan menggunakan baterai sebagai tempat penyimpanan listrik. Dengan kata lain, baterai akan mengambil energi mekanik dari sistem pengereman dan menjalankan mobil. Pada awalnya baterai mempunyai generator untuk mengisi kembali baterai dan mengambil energi yang dibangkitkan sistem rem.

Suppes (2004) berargumentasi bahwa suatu pengembangan sarana angkutan baru dengan teknologi bahan bakar sel yang secara langsung menggunakan bahan bakar regenerative sel sebagai pengisi baterai, yang menyambungkan hybrid dengan pengisi sel bahan bakar baterai. Pengisian kembali baterai kendaraan sepanjang hari, ukuran dari kemasan baterai dapat dikurangi lebih dari 50 persen. Dengan jelas, gambar 5 menunjukkan sambungan kendaraan elektrik hybrid, bentuk garis putus menggambarkan arus daya listrik [4].



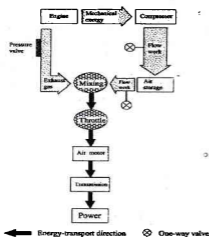
Gambar 5 Ilustrasi sambungan kendaraan Hybrid Elektrik jika baterai dan bahan bakar sel regeneratif bekerja kombinasi untuk menyediakan kebutuhan jarak tempuh dan tenaga yang dihasilkan.

Sistem Pneumatik

Beberapa karakteristik yang mendukung sistem pneumatik (Huang & Tzeng 2004) sisa energi akan disimpan ke dalam kompresor sebagai tekanan. Energi yang telah disimpan dapat digunakan lagi sebagai tenaga alternatif untuk mengemudikan mobil yang menggunakan motor pneumatik. pada awalnya, kompresor udara menggantikan generator, motor pneumatik

menggantikan motor elektrik, tekanan tinggi udara tangki menggantikan baterai, dan urutan kerja menggantikan tenaga elektris [5].

Mesin pembakaran didalam dapat digunakan untuk menjalankan kompresor udara untuk menkombinasikan mesin berbahan bakar minyak dengan kompresor udara. Udara kompresor akan menyimpan udara di tangki penyimpanan. Aliran dari udara kompresor akan dikendalikan dengan klep. Udara kompresor menjalankan motor pneumatik dan menghasilkan tenaga.



Gambar 6 Konstruksi dari Sistem Pembangkit Tenaga Hybrid Pneumatik .

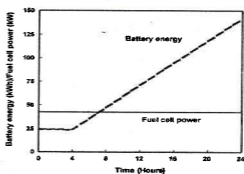
Aliran gas buang bertekanan tinggi dan temperatur juga tergabung dalam udara kompresor untuk menjalankan motor pneumatik. Kesimpulannya, Huang & Tzeng (2004) menekankan sistem pneumatik akan meningkatkan efisiensi energi di dalam sistem.

PEMBAHASAN

Analisa Biaya

Manfaat ekonomi termasuk di dalam keuntungan penggunaan teknologi hybrid di samping pengurangan emisi dan efisiensi energi. Shrestha et. al (2004) berargumentasi bahwa untuk NERT (Nitrogen Oxides Emission reduction target) perbandingan mobil hybrid dan trolley buses mempunyai biaya yang efektif. Itu berarti teknologi hybrid juga mempunyai keuntungan berdasarkan analisa ekonomi [6]. Aguiar, Brett, & Brandon (2007) meneliti studi kelayakan hybrid SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) dan baterai kendaraan ZEBRA untuk mengambil

keputusan ekonomi dalam memilih teknologi. Studi ini menyajikan perkiraan masa depan pemakaian bahan bakar yang berhubungan dengan analisa ekonomi [7]. Selanjutnya, Aguiar, Brett, & Brandon (2007) menghubungkan konsep ini dengan gambar 7 yang menampilkan kendaraan yang hanya menggunakan baterai dan kendaraan yang hanya menggunakan bahan bakar sel. Gambar menunjukkan bahan bakar tenaga sel tetap untuk tiap waktu, sedangkan energi baterai akan meningkat tajam setelah 4 jam. Dengan kata yang lain, energi baterai akan meningkat selama waktu operasi sebab baterai dapat mengambil energi dari sistem pengereman dan pengisian kembali.



Gambar 7 Pengiriman dengan mobil van ringan pada New European Driving Cycle (NEDC) waktu perjalanan rata-rata mengemudi: kendaraan hanya menggunakan energi bahan bakar baterai dan bahan bakar sel.

Tabel 1 menunjukkan parameter yang digunakan dalam analisa ekonomi yang diadopsi dari literatur, harga pasar atau harga perkiraan. Di dalam studi ini keandalan hybrid menjadi lebih baik dibanding keandalan bahan-bakar sel. Aguiar, Brett, & Brandon (2007) menghubungkan gagasan ini dengan memberi perkiraan biaya antara £ 400/kW dan £3000/ kW.

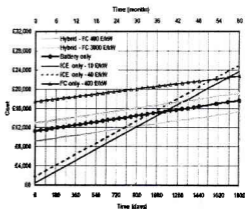
Menurut gambar 8 dan 9, dapat diasumsikan bahwa waktu operasi setiap hari adalah 6 jam dan baterai memerlukan waktu 24 jam untuk pengisian ulang. Studi dari biaya umur pakai ketahanan baterai berdasarkan biaya tetap dan biaya operasional untuk 5 tahun pemakaian kendaraan dalam hal pengiriman dengan mobil van ringan pada sumber tenaga mesin yang berbeda.

Tabel 1 Parameter yang digunakan pada analisa ekonomi teknik.

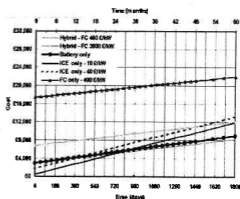
Parameter	Value
CNG price, UCCNG	£0.65 kg ⁻¹
CNG fuel duty	£0.09 kg ⁻¹
Methane energy, UEMethane	9 kWh m ⁻³
Methane density at 1 bar	0.645 kg m ⁻³
Methane consumption, Ucons, methane	0.230 m ³ h ⁻¹ kW ⁻¹
Gasoline price, UCGasoline	£0.989 L ⁻¹
Gasoline duty	£0.5019 L ⁻¹
Gasoline fuel economy (av. gasoline consumption), Ucons, gasoline	15.4 km L ⁻¹
Electricity price, UCElectricity	£0.10 kWh ⁻¹
Electricity VAT	5%
Fuel cell efficiency, η_{fuel} cell	48.4%
Battery efficiency, $\eta_{battery}$	89%
Fuel cell price range, UCfuel cell	£400–3000 kW ⁻¹
Battery price range, UCbattery	£70–305 kWh ⁻¹
ICE price range, UCICE	£10–40 kW ⁻¹
Power electronics and electric motor price, UCmotor	£11 kW ⁻¹
ICE power, PICE	42.3 kW
Average traction power required, Ptraction	5.10 kW
Average speed for NEDC drive cycle, uaverage	33.6 km h ⁻¹
Auxiliary power requirement, Pauxiliary	800 W
Maximum power requirement, Ppeak	42.3 kW
Battery power to energy ratio, PEbattery	1.8 W Wh ⁻¹

Gambar 10 menunjukkan harga baterai, pajak bahan bakar dan listrik. Sementara gambar 11 memperlihatkan harga baterai, bahan bakar tidak kena pajak dan listrik. Kedua gambar memperlihatkan pengurangan harga dari baterai hanya untuk sistem hybrid dengan faktor koreksi antara 2 dan 3,5.

Pembahasan diskusi mengenai waktu pengembalian modal untuk operasi dari hybrid bahan-bakar sel oksida padat (SOFC : Solid oxide fuel cell) baterai, dengan menggunakan pengiriman mobil van ringan dengan mengasumsi pada NEDC diatas rata-rata waktu perjalanan atau jarak tempuh dan asumsi beban sedang dalam perioda 24 jam. Hal ini menjelaskan bahwa peningkatan waktu pengemudi akan dapat mengurangi waktu pengembalian modal secara signifikan [7].

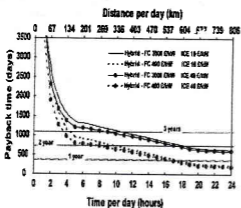


Gambar 8 Prediksi biaya tetap dan biaya operasional dengan harga baterai sekarang dan Pejak bahan bakar

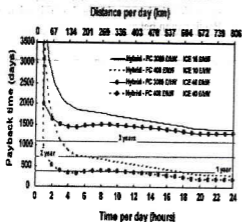


Gambar 9 Prediksi biaya tetap dan biaya-biaya operasional dengan harga volume pembuatan baterai dan bahan bakar tidak kena pajak.

Berdasarkan gambar 10 dan 11 mobil hybrid menjadi mobil ekonomis untuk pemakaian yang lama (perjalan jauh). Pengasumsian harga untuk baterai hybrid juga berhubungan dengan waktu balik modal (keuntungan). Harga asumsi baterai £400 dengan waktu mengemudi lebih dari 4 jam masing-masing setiap hari, maka waktu balik modal selalu lebih sedikit dari 3 tahun. Di sisi lain, harga asumsi baterai £ 3000 tanpa pajak maka waktu balik modal akan lebih dari 3 tahun. Perbandingan pada konsumsi dan alternatif bahan bakar seperti bahan bakar sel, kendaraan bermesin bensin, maka mobil hybrid adalah yang paling ekonomis [7].



Gambar 10 Waktu keuntungan untuk penggunaan baterai hybrid SOFC, harga baterai dan pajak bahan bakar.



Gambar 11 Waktu keuntungan untuk penggunaan baterai hybrid SOFC dan harga jual

Dapat disimpulkan, hybrid akan tetap layak meskipun kuantitas produksinya kecil atau kuantitas produksi banyak ketika pengetahuan teknologi hybrid telah familiar di masyarakat. Mobil berteknologi hybrid akan menjadi ekonomis dibanding dengan mobil hari ini karena menghasilkan emisi CO₂ lebih rendah dari peraturan pemerintah [7].

Keuntungan mobil hybrid

Walaupun keberadaan mobil hybrid masih diperdebatkan seiring dengan analisa ekonomi dan biaya jika dibandingkan dengan mobil biasa, mobil hybrid tetap saja mempunyai banyak keuntungan, diantaranya adalah ;

- Mengurangi emisi gas buang dan meningkatkan jarak tempuh.

Dengan menurunnya konsumsi bahan bakar dari mobil merupakan jalan terbaik untuk mengurangi emisi seperti CO₂, NO_x, HC dan belerang. Pada dasarnya, polusi yang paling tinggi terjadi diantara posisi diam dan starting. Dalam kaitan dengan kondisi ini, mobil hybrid dapat mengabaikan hal ini dan dapat menyamakan dengan standar permintaan EPA. Sebagai tambahan, kebanyakan dari mobil hybrid mencapai 60 mpg (3.92 liter per 100 km) dibandingkan dengan mobil umum dimana hanya mencapai 27.5 mpg (8.55 liter per 100 km).

- Memanfaatkan energy buangan

Huang (2004) mengklaim bahwa hampir 70-80% energi pada pembakaran mesin tidak bisa di rubah untuk digunakan menjalankan mesin. Kemudian Huang menekankan agar supaya meningkatkan efisiensi mesin, peneliti dapat menghilangkan rugi tenaga atau mengurangi dengan mengusulkan teknologi baru atau mengkombinasikan teknologi yang ada, seperti mobil hybrid. Mobil hybrid dapat mengambil energi dari sistem pengereman untuk mengisi ulang kembali baterai.

Kombinasi dua teknologi yang ada adalah solusi untuk meningkatkan efisiensi mesin. Sebagai contoh, menurut Suppes (2004) dan Huang (2004), pembakaran mesin dapat berkombinasi dengan mengisi ulang baterai atau pembakaran mesin dapat berkombinasi dengan kompresor. Bagaimanapun, mobil hybrid mempunyai kemampuan mengisi ulang baterai dan menyimpan energi dari

perubahan energy mekanik ke energy listrik. Lagi pula, energi dari baterai yang telah diambil dari energi mekanis dapat digunakan sebagai energi mekanis atau energi listrik. Hal ini berarti bahwa sisa energi dapat digunakan untuk kebutuhan lain.

- **Penghematan energi**

Gagasan lain untuk meningkatkan efisiensi energi adalah usaha untuk menganalisa penggunaan mesin pada tingkatan energi yang sesuai. Mesin harus dioperasikan pada kondisi yang sesuai untuk mengurangi pemborosan energi. Prinsip dasarnya adalah mencoba untuk mendisain mesin yang berhubungan dengan kebutuhan spesifiknya. Dalam hal ini, mesin tidak akan mengkonsumsi banyak bahan bakar fosil, melainkan dapat beroperasi sesuai dengan motor listrik pada kecepatan sesuai kebutuhan. Sebagai tambahan, mobil hybrid dapat menyimpan energi pada baterai dan mengambil energi dari sistem pengereman.

Insight mempunyai garansi pemakaian selama delapan tahun dengan 80.000 mile jarak tempuh dari powertrain, meliputi baterai, dan Prius mempunyai garansi pemakaian delapan tahun dengan jarak tempuh 100.000 mile dan juga sistem hybrid dan baterai.

Kekurangan Mobil Hybrid

Pada satu sisi ada banyak keuntungan-keuntungan mobil hybrid sebagaimana telah disebutkan sebelumnya. Disisi yang lain, hybrid teknologi juga mempunyai kelemahan, terutama sekali terminologi pemeliharaan dan biaya, secara rinci diantaranya adalah ;

- **Memerlukan biaya pemeliharaan lebih tinggi dan skil dari teknisi.**

Pemeliharaan setiap komponen atau bagian unit kontrol lebih rumit. Untuk mencapai kondisi yang baik dari teknologi hybrid membutuhkan perawatan dengan kualitas tinggi. Berdasarkan alasan tersebut, biaya perawatan dan perbaikan lebih tinggi dibandingkan dengan mobil konvensional biasa. Sebagai tambahan, teknologi tingkat tinggi pada mobil hybrid memerlukan teknisi berkwalitas untuk melakukan pemeliharaan dan perbaikan. Teknisi harus mempunyai cukup ketrampilan dan pengetahuan untuk memperbaiki mobil ketika mobil mendapat gangguan.

- **Memerlukan teknologi tinggi pada pembuatan**

Pada unit produksi, produsen juga perlu meningkatkan kemampuan mereka untuk menghasilkan mobil hybrid. Keseluruhan mobil dengan teknologi hybrid memerlukan banyak unit kendali dan teknologi paling tinggi untuk menggabungkan teknologi yang benar-benar unggul pada mobil.

- **Teknologi hybrid membutuhkan waktu yang lama untuk mengisi ulang baterai**

Hingga saat ini untuk mengisi ulang baterai masih memerlukan banyak waktu. Sebagai contoh, memerlukan 24 jam pengisian untuk 6 jam penggunaan. Situasi ini juga merupakan suatu kelemahan mobil dengan teknologi hybrid.

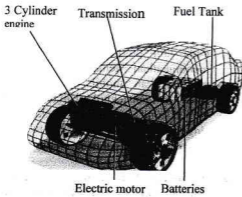
- **Harga yang lebih mahal dibandingkan mobil ekonomi dan tradisional.**

Mobil hybrid masih lebih mahal dan jumlah produksinya masih sangat terbatas. Hal ini mungkin disebabkan dari biaya investasi, inovasi dan riset teknologi hybrid.

Perusahaan Honda Hybrid

Perusahaan Honda telah meluncurkan Honda Insight, yang diperkenalkan di awal 2000 di Amerika Serikat, yang dirancang untuk mendapatkan kemungkinan jarak tempuh terbaik [1]. Sumber yang lain juga mengatakan bahwa Insight adalah mesin kecil, kendaraan ringan dua penumpang yang kecil, efisiensi tinggi motor gas [2]. Sebagai tambahan, Layton & Nice (2000) berpendapat bahwa Insight adalah rating standar terbaik jarak tempuh EPA (Environmental Protection Agency) dari mobil hybrid yang ada dipasaran.

Honda Insight adalah suatu penyederhanaan dari hybrid paralel dengan menggunakan sistem "Integrated motor assist" atau sistem motor cadangan terintegrasi, dikarenakan mempunyai motor elektrik gabungan ke mesin pada titik di mana roda gila biasanya bekerja [1]. Selanjutnya, Insight mempunyai sistem konvensional, transmisi manual lima kecepatan atau otomatis (CVT : Continuously variable transmission). Gambar 12 menunjukkan layout Honda Insight.



Gambar 12 Layout Honda Insight

Pada dasarnya, Honda Insight mempunyai tangki bahan bakar dengan kapasitas 10.6 galon memberikan jarak tempuh Insight lebih dari 600 mil dengan baterai yang terbuat dari logam nikel. Baterai ini akan menyimpan cukup energi untuk beberapa akselerasi sulit. Sebagai tambahan, transmisi umumnya adalah konvensional dan transmisi manual lima kecepatan atau CVT. Honda Insight juga mempunyai motor elektrik yang dapat menyumbang ekstra 13 hp ketika diperlukan. Kemudian, 3 mesin silinder dengan 1 liter akan menghasilkan 67 hp pada 5,700 rpm.

Ada banyak keuntungan dari Honda Insight, antara lain adalah:

- Mendukung dan membantu mesin bensin untuk menyediakan tenaga ekstra ketika mobil sedang mempercepat atau memanjat suatu bukit.
- Menyediakan beberapa pengereman regenerative untuk mengambil energi selama pengereman (sistem energi recovery).
- Menghilangkan Start Mesin

Bagaimanapun, Insight mencapai rata-rata jarak tempuh standar EPA dari 60 mpg/city dan 66 mpg/highway. Juga, dengan tambahan tenaga yang diberikan oleh motor elektrik yang kecil, sistem ini bisa mempercepat Insight dari 0 hingga 60 mph dalam 11 detik. Untuk memungkinkan mendapatkan jarak tempuh terbaik, Honda menggunakan semua teknik efisiensi, sebagian dari teknik itu adalah sebagai berikut [1, 3]:

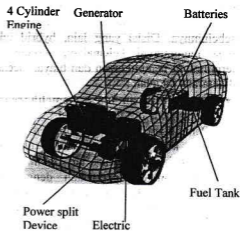
- Pengurangan berat/beban.
- Menggunakan mesin kecil dan efisien.
- Mengedepankan design Aerodinamis (teardrop).

Satu hal menarik pada Insight adalah transmisi manual yang terpisah dari motor dan mesin dengan kopling (clutch). Ini berarti jika pengemudi menyukai menempatkan kopling pada posisi netral ketika mobil langsam mau berhenti, pengemudi tidak perlu melakukan pengereman. Agar supaya pengambilan energi ketika pengemudi menjalankan mobil perlahan, mobil harus tetap dalam posisi masuk gigi kecepatan.

Perusahaan Toyota Hybrid

Toyota Prius berasal Jepang yang diluncurkan dipenghujung tahun 1997. Layton & Nice (2000) mengatakan bahwa Toyota Prius dirancang khusus untuk mengurangi emisi gas buang di wilayah perkotaan. Untuk mencapai tujuan ini, Toyota telah merancang suatu hybrid powertrain paralel dengan "Toyota Hybrid Sistem" (THS). Kemudian sistem ini dikembangkan dari kebaikan hybrid seri, yang mana hasilnya sesuai dengan standar "California's super ultra low emissions vehicle (SULEV)"[3].

Pada dasarnya, Toyota Prius adalah sedan empat pintu dengan lima tempat duduk, dan powertrain mampu untuk menggerakkan mobil untuk kecepatan diatas 15 mph (24 kph) dengan hanya memakai tenaga elektrik sendiri. Hal ini akan membebankan kontribusi untuk perjalanan dan jarak tempuh di kota dan di jalan raya atau tol. Lebih dari itu, Prius telah dinobatkan menjadi mobil Amerika Utara pada tahun 2004.



Gambar 13 Layout Toyota Prius

Berbeda dengan Honda Insight, Toyota lebih fokus pada penggerak utama untuk mencapai target rendah emisi dan jarak tempuh. Berat Prius

2,900 pon (1,315 kg) dan mempunyai interior yang luas. Gambar 13 memperlihatkan layout Toyota Prius.

Toyota Prius mempunyai baterai logam nikel hybrid yang dapat menghasilkan 21 kilowatt tenaga, tangki bahan bakar dengan volume 11.9 galon yang dapat menjangkau lebih dari 500 mil, dinamo motor dapat menghasilkan 67 hp dan 295 lb-ft tenaga putaran dari 0 sampai 1,200 rpm yang dapat dijalankan pada 1,200 hingga 1,540 rpm. Sebagai tambahan, generator sebagai motor gas dapat mengkonversi ke daya listrik untuk mendorong motor mengisi ulang baterai. Empat mesin silinder dengan 1.5 liter dapat menghasilkan 76 hp pada kecepatan hanya 5,000 rpm. Lagipula, Power Split menghubungkan mesin, generator dan motor bersama-sama. Hal inilah yang dimaksud CVT.

Layton & Nice (2000) berpendapat bahwa ada dua cara Prius untuk mengoptimalkan efisiensi dan mengurangi emisi, yaitu:

- **Mesin bekerja dengan beban dan kecepatan efisien**

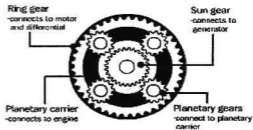
Prius dapat menambah kecepatan sekitar 15 mph (24 kph) sebelum menggunakan mesin bensin. Mesin hanya start sekali ketika mesin telah melewati suatu kecepatan tertentu membutuhkan sekali ketika start ketika mesin dihidupkan.

- **Power split dengan menggunakan CVT**

Power split pada Prius memberikan keandalan mesin untuk menahan beban pating efisien dari kecepatan rata-rata secara tepat. Keunggulan sistem transmisi ini merupakan integrasi dari mesin bensin, motor elektrik dan penggunaan generator secara bersama-sama. Hal ini mengijinkan mobil untuk beroperasi seperti suatu hybrid seri atau hybrid paralel. Sehingga, oleh karena power split membolehkan generator untuk menghidupkan mesin, mobil tidak memerlukan suatu stater lagi.

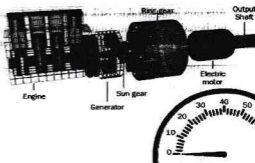
Gambar 14 menggambarkan generator yang dihubungkan ke pegas matahari dari sistem transmisi, dan mesin dihubungkan pada planetary. Kecepatan dari *ring gear* tergantung pada tiga komponen, sehingga mereka semua harus bekerja sama terus menerus untuk mengendalikan kecepatan keluaran. selanjutnya, apapun

kecepatan motor elektrik dan putaran *ring gear* menentukan kecepatan dari mobil.



Gambar 14 Sistem transmisi Honda Prius

Ring gear dari *powertrain* dihubungkan pada motor elektrik, maka putaran motor akan memutar *powertrain* (gambar 15). Karena *ring gear* berputar, planet ikut berputar, menyebabkan pegas matahari dan generator juga berputar. Seperti akselerasi mobil, generator memutar pada kecepatan yang diinginkan hingga mesin mati. Sebagai tambahan, ketika kecepatan mencapai 40 mph (64 kph) mesin bensin akan hidup. Generator seiring akan berubah kecepatannya, karena memosisikan planetary untuk memutar dan starting mesin. Lagipula, ketika mesin sedang beroperasi, mesin berada dalam suatu kecepatan konstan sedang generator bervariasi kecepatannya untuk memenuhi keluaran kecepatan dengan motor elektrik.



Gambar 15 Komponen Power Split Honda Prius

Lebih jauh, mengenai pemeliharaan dan jasa pelayanan, kedua-duanya Honda dan Toyota memberikan waktu jaminan yang lama pada komponen hybrid mereka. Toyota Insight telah memberikan jaminan *powertrain* dan baterai selama 8 tahun atau 80.000 mil perjalanan, dan Honda Prius memberikan jaminan 100.000 mil

perjalanan untuk baterai dan sistem hybrid. Baterai dan Motor pada mobil ini tidak memerlukan pemeliharaan apapun hingga habis umur pakai dari mobil. Bagaimanapun, untuk menggantikan baterai setelah jaminan berakhir, akan membutuhkan biaya puluhan juta rupiah.

Sebagai tambahan, mesin tidak memerlukan perawatan apapun dibandingkan mobil lain, sebab kedua-duanya hybrid mempunyai pengereman regeneratif, bantalan rem lebih sedikit longgar diakhir dibandingkan kebanyakan mobil. Bagaimanapun, mendapatkan tenaga hybrid gabungan tentunya lebih rumit dibandingkan penggunaan tenaga bensin langsung atau tenaga listrik langsung.

KESIMPULAN

Efisiensi mesin dengan menggunakan teknologi hybrid meningkat dengan kemampuan menjalankan mobil pada kecepatan maksimum yang dibutuhkan. Sejalan dengan meningkatnya efisiensi mesin, mobil hybrid juga dapat mengurangi efek emisi rumah kaca dan lebih ramah lingkungan dikarenakan menggunakan baterai.

Ada beberapa teknologi yang berkembang pada teknologi hybrid seperti sistem elektrik yang mana dapat menyimpan sisa energi mesin ke dalam baterai dan sistem pneumatik yang dapat menyimpan sisa energi dalam bentuk tekanan kedalam tangki kompressor.

Ada dua jenis karakteristik mobil hybrid yang saat ini beredar dipasaran yaitu dengan rangkaian seri dan paralel. Namun teknologi hybrid memerlukan teknisi atau orang ketrampilan tinggi untuk pemeliharaan, membutuhkan banyak biaya untuk memperbaiki sensor pada mobil dan masih memerlukan waktu yang lama untuk mengisi baterai, akan tetapi lamanya ketahanan baterai telah mendapat jaminan dari perusahaan pembuat. Bagaimanapun, teknologi hybrid telah memberikan banyak manfaat terhadap efisiensi mesin dan peraturan EPA untuk menjadi mobil masa depan.

Perbandingan pada konsumsi dan alternatif bahan bakar seperti bahan bakar sel, kendaraan bermesin bensin, maka mobil hybrid adalah yang paling ekonomis untuk pemakaian yang lama, begitu juga dengan (perjalan jauh). Harga baterai yang mahal akan memberikan memberikan waktu

balik modal antara 3 sampai 3,5 tahun. Sehingga akan sangat menguntungkan pada penggunaan waktu yang lama.

DAFTAR PUSTAKA

1. Layton, J & Nice, K 2000, 'How hybrid cars work', Howstuffworks, Viewed 20 April 2007, <<http://auto.howstuffworks.com/hybrid-c.htm>>.
2. 'Grab some pavement with the Insight: the hybrid that paved the way' 2005, Honda Company, Viewed 10 May 2007, <<http://automobiles.honda.com/moYear=2005>>.
3. 'Toyota Hybrid synergy drive: the heart and soul of the whole hybrid movement' 2007, Toyota company, Viewed 10 May 2007, <<http://www.toyota.com/prius>>.
4. Suppes, GJ 2004, 'Plug-in hybrid with fuel cell battery charger', Science Direct, Viewed 20 April 2007, <<http://www.Sciencedirect.com/journal/html>>.
5. Huang, KD, & Tzeng, SC 2004, 'Development of a hybrid pneumatic-power vehicle', Science Direct, Viewed 20 April 2007, <<http://www.Sciencedirect.com/journal/x.html>>.
6. Shrestha, RM, Anandarajah, G, Adhikari, S, Jiang, K & Songli, Z 2004, 'Energy and environmental implications of NOx emission reduction from the transport sector of Beijing: a least-cost planning analysis', Science Direct, Viewed 20 April 2007, <<http://www.Sciencedirect.com/journal/html>>.
7. Aguiar, P, Brett, DJL & Brandon, NP 2006, 'Feasibility study techno-economic analysis of an SOFC/battery hybrid system for vehicle applications' ScienceDirect, Viewed 20 April 2007, <<http://www.Sciencedirect.com/journal/html>>.