

# **ANALISA PENGGUNAAN MOBIL HYBRID SEBAGAI KENDARAAN HEMAT BBM DAN RAMAH LINGKUNGAN**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Sarjana**

Oleh :

**FIRMANSYAH BUDI**

**NPM: 07.813.0033**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2010**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 6/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)6/9/23

## ABSTRAK ( RINGKASAN )

Pada riset ini,yang dibahas adalah bagaimana efisiensi mobil hybrid sebagai kendaraan hemat BBM dan Ramah Lingkungan. Sistem Hybrid yang menggabungkan motor listrik dan pembakaran di mesin menghasilkan tenaga yang berasal dari dua sumber daya. Ini berarti bahwa mesin pembakar internal membutuhkan konsumsi bahan bakar lebih sedikit untuk mencapai jarak yang sama. Berarti,kendaraan Hybrid memiliki efisiensi yang lebih baik jika dibandingkan mobil konvensional. Karena konsumsi bahan bakar yang efisien, mobil hybrid mengeluarkan lebih sedikit emisi gas buang disbanding dengan mobil konvensional, dan ini yang membuat mobil hybrid lebih ramah lingkungan.



## **ABSTRACTION**

The object that studied in this research is how the efficiency of hybrid vehicle as less fuel consumption vehicle and environmently friendly. Hybrid System joining electromotor and combustion in machine yield the energy coming from two resource. This means that,internal burner machine require the slimmer fuel consumption to reach the same distance. It means,the hybrid vehicle own the better efficiency in comparison with conventional car.Because efficiency of fuel consumption,car hybrid release slimmer of gas emission throw away compared to with the conventional car dan this making environmental friendlier car hybrid.



## DAFTAR ISI

### LEMBAR PENGESAHAN

### LEMBAR ASISTENSI

### ABSTRAK

### KATA PENGANTAR..... i

### DAFTAR ISI..... iii

### DAFTAR GAMBAR..... iv

### DAFTAR TABEL..... vi

### Bab I. Pendahuluan

#### 1.1. Latar Belakang..... 1

#### 1.2. Permasalahan..... 4

#### 1.3. Batasan Masalah..... 5

#### 1.4. Tujuan Pembahasan..... 5

#### 1.5. Sistematika Penulisan..... 6

### Bab II. Tinjauan Pustaka

#### 2.1. Motor Bakar 4 Langkah..... 8

#### 2.2. Motor Bakar Otto..... 11

#### 2.3. Penggunaan Kendaraan Hybrid..... 14

#### 2.4. Prinsip Kerja Mobil Hybrid..... 19

#### 2.5. Komponen Mobil Hybrid..... 22

#### 2.6. Mekanisme Mobil Hybrid..... 30

### Bab III. Metodologi Penelitian

#### 3.1. Mobil Otto Hybrid sebagai Kendaraan Hemat BBM ..... 35

3.2. Mobil Otto Hybrid sebagai Kendaraan Ramah Lingkungan.....	37
3.3. Permodelan Model Otto.....	44

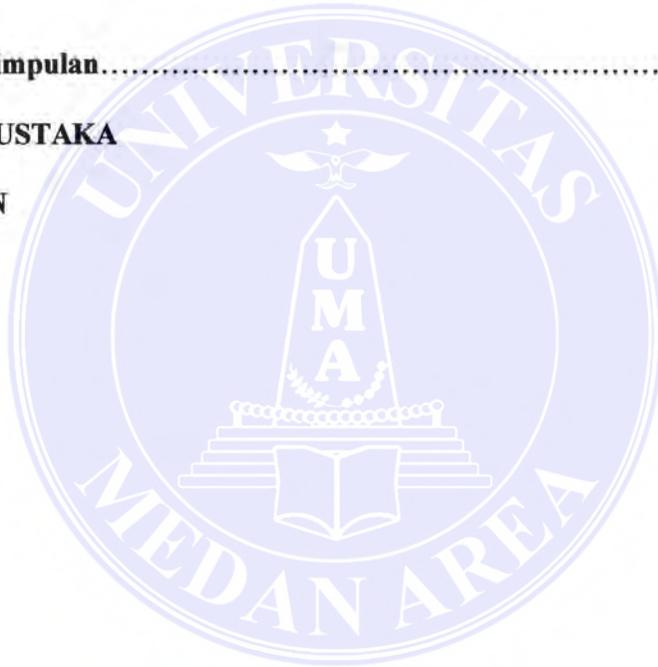
**Bab IV. Data dan Analisa Hasil Penelitian**

4.1. Perbandingan Konsumsi BBM dan Emisi Gas Buang Mobil Hybrid dan Mobil Konvensional .....	50
4.2. Pembahasan.....	54

<b>Bab V. Kesimpulan.....</b>	<b>60</b>
-------------------------------	-----------

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bahan bakar minyak pada saat ini merupakan barang yang sangat strategis dan mempunyai nilai ekonomis yang berpotensi menjadi cukup mahal. Hal ini dikarenakan bahan bakar minyak yang terkandung didalam perut bumi terus berkurang jumlahnya dan tidak dapat diperbaharui. Hampir semua sektor industri, transportasi dan pembangkit listrik menggunakan bahan bakar minyak (BBM) sebagai sumber energi. Khusus pada bidang transportasi keberlangsungan keberadaan BBM menjadi hal yang sangat penting, karena hampir seratus persen kendaraan di Indonesia ini digerakkan oleh energi dari BBM (solar, bensin, pertamax). Motor bakar diesel menggunakan solar dan motor bakar otto menggunakan bensin atau pertamax sebagai bahan bakarnya. Hal ini menjadi pertimbangan tentang bagaimana cara mengurangi pemakaian BBM secara significant atau juga menemukan bahan bakar alternatif yang dapat diperbaharui.

Emisi gas buang dari bahan bakar minyak (BBM) dapat menyebabkan lingkungan yang tidak sehat, kesehatan tubuh yang kurang baik dan lain-lain. Kondisi emisi gas buang yang dihasilkan tergantung pada pemakaian, kondisi dan teknologi mesin yang digunakan. Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan peraturan tentang ambang batas Emisi Gas Buang kendaraan bermotor yaitu pada Kepmen LH No. 35. Pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 35 Tahun 1993 Tentang : Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Pasal 2, yaitu :

(1) Kandungan CO (karbon monoksida) dan HC (hidro karbon) dan ketebalan asap pada pancaran gas buang :

- a. Sepeda motor 2 (dua) langkah dengan bahan bakar bensin dengan bilangan oktana <sup>3</sup> 87 ditentukan maksimum 4,5% untuk CO dan 3.000 ppm untuk HC;
- b. Sepeda motor 4 (empat) langkah dengan bahan bakar bensin dengan bilangan oktana <sup>3</sup> 87 ditentukan maksimum 4,5% untuk CO dan 2.400 ppm untuk HC;
- c. Kendaraan bermotor selain sepeda motor 2 (dua) langkah dengan bahan bakar bensin dengan bilangan oktana <sup>3</sup> 87 ditentukan maksimum 4,5% untuk CO dan 1.200 ppm untuk HC;
- d. Kendaraan bermotor selain sepeda motor 2 (dua) langkah dengan bahan bakar solar disel dengan bilangan setana <sup>3</sup> 45 ditentukan maksimum ekuivalen 50% Bosch pada diameter 102 mm atau 25% opasiti untuk ketebalan asap.

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor:141 Tahun 2003 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru dan Kendaraan Bermotor yang Sedang Diproduksi (*Current Production*), yaitu pada Pasal 1, ayat :

4. Kendaraan bermotor tipe baru kategori M, N, O adalah kendaraan bermotor tipe baru yang beroda 4 (empat) atau lebih dengan penggerak motor bakar cetus api dan penggerak motor bakar penyalaan kompresi sesuai dengan SNI 09-1825-2002;

6. Kendaraan bermotor yang sedang diproduksi (*current production*) kategori M, N, 0 adalah kendaraan bermotor yang sedang diproduksi yang beroda 4 (empat) atau lebih dengan penggerak motor bakar cetus api dan penggerak motor bakar penyalan kompresi sesuai dengan SNI 09-1825-2002;

Jenis bahan bakar pencemar yang dikeluarkan oleh mesin dengan bahan bakar bensin maupun bahan bakar solar sebenarnya sama saja, hanya berbeda proporsinya karena perbedaan cara operasi mesin. Secara visual selalu terlihat asap dari knalpot kendaraan bermotor dengan bahan bakar solar, yang umumnya tidak terlihat pada kendaraan bermotor dengan bahan bakar bensin.

Walaupun gas buang kendaraan bermotor terutama terdiri dari senyawa yang tidak berbahaya seperti nitrogen, karbon dioksida dan uap air, tetapi didalamnya terkandung juga senyawa lain dengan jumlah yang cukup besar yang dapat membahayakan gas buang membahayakan kesehatan maupun lingkungan. Bahan pencemar yang terutama terdapat didalam gas buang kendaraan bermotor adalah karbon monoksida (CO), berbagai senyawa hidrokarbon, berbagai oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>) dan sulfur (SO<sub>x</sub>), dan partikulat debu termasuk timbel (PB). Bahan bakar tertentu seperti hidrokarbon dan timbel organik, dilepaskan keudara karena adanya penguapan dari sistem bahan bakar. Lalu lintas kendaraan bermotor, juga dapat meningkatkan kadar partikular debu yang berasal dari permukaan jalan, komponen ban dan rem.

Setelah berada di udara, beberapa senyawa yang terkandung dalam gas buang kendaraan bermotor dapat berubah karena terjadinya suatu reaksi, misalnya dengan sinar matahari dan uap air, atau juga antara senyawa-senyawa tersebut satu sama lain. Proses reaksi tersebut ada yang berlangsung cepat dan terjadi saat

itu juga di lingkungan jalan raya, dan adapula yang berlangsung dengan lambat. Reaksi kimia di atmosfer kadangkala berlangsung dalam suatu rantai reaksi yang panjang dan rumit, dan menghasilkan produk akhir yang dapat lebih aktif atau lebih lemah dibandingkan senyawa aslinya. Sebagai contoh, adanya reaksi di udara yang mengubah nitrogen monoksida (NO) yang terkandung di dalam gas buang kendaraan bermotor menjadi nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) yang lebih reaktif, dan reaksi kimia antara berbagai oksida nitrogen dengan senyawa hidrokarbon yang menghasilkan ozon dan oksida lain, yang dapat menyebabkan asap awan fotokimi (*photochemical smog*). Pembentukan *smog* ini kadang tidak terjadi di tempat asal sumber (kota), tetapi dapat terbentuk di pinggiran kota. Jarak pembentukan *smog* ini tergantung pada kondisi reaksi dan kecepatan angin.

## 1.2 Permasalahan

Negara kita saat ini berada dalam kesulitan hidup yang semakin membebani. Berbagai daya dan upaya dilakukan pemerintah guna meningkatkan kesejahteraan rakyat, terutama pada bidang energi yang memegang peranan penting dalam kehidupan manusia. Di lain pihak pencemaran udara semakin membuat manusia menderita, mungkin suatu saat dapat terjadi krisis oksigen. Tingginya tingkat pencemaran udara merupakan masalah lain yang perlu dibahas secara serius. Dalam hal ini pemerintah telah mengizinkan mobil-mobil *hybrid* untuk diimpor masuk ke Indonesia dalam upaya mengurangi kesulitan dalam sector energi dan pencemaran udara. Pemerintah menilai bahwa dengan menggunakan mobil *hybrid* maka akan terjadi penghematan bahan bakar fosil sekitar 15%. Dapat diilustrasikan, misalnya rata-rata 1 unit mobil memiliki kapasitas penggunaan bahan bakar fosil sekitar 10 liter dalam 1 hari, maka dengan

penghematan 15%, mobil ini hanya menggunakan sekitar 8,5 liter. Dengan kata lain, terjadi penghematan sekitar 1,5 liter dalam 1 hari untuk 1 unit mobil. Kemudian jika di Indonesia ada sekitar 6 juta unit mobil, maka penghematan bahan bakar fosil dalam 1 hari akan menjadi 9 juta liter BBM. Jadi, dengan menggunakan mesin mobil jenis hybrid akan terjadi penghematan BBM yang jumlahnya cukup besar. Berdasarkan hal di atas maka diperlukan suatu kendaraan yang dapat hemat dalam mengkonsumsi BBM dan ramah lingkungan.

### 1.3 Batasan Masalah

Pembahasan tentang efektifitas mobil otto hybrid sebagai kendaraan hemat BBM dan ramah lingkungan adalah tentang model termodinamika, karakteristik mobil otto hybrid tersebut dan analisa pemodelan aliran udara, bahan bakar dan *implementation of the 1 time delay* dan perbandingan mobil otto hybrid dengan mobil otto konvensional.

### 1.4 Tujuan Pembahasan

Adapun tujuan pembahasan adalah sebagai berikut :

- Untuk mengetahui efektifitas mobil hybrid sebagai kendaraan hemat BBM dan ramah lingkungan
- Untuk mengetahui karakteristik mobil hybrid dibandingkan dengan mobil konvensional
- Untuk mengetahui model termodinamika mobil hybrid dan karakteristiknya dibandingkan model termodinamika non hybrid
- Untuk referensi bagi konsumen calon pembeli kendaraan dalam mempertimbangkan jenis kendaraan yang akan dibeli dengan

mempertimbangkan konsumsi bahan bakar, emisi gas buang dan harga kendaraan

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini adalah uraian tentang isi pembahasan pada skripsi yang di tulis dengan sistim bab dan sub bab yang meliputi antara lain ;

#### BAB I : PENDAHULUAN

Yang meliputi : latar belakang, pembatasan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan

#### BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Yang meliputi : Tinjauan pustaka yang berisikan tentang motor bakar 4 langkah, motor bakar otto, penggunaan kendaraan hybrid , komponen mesin hybrid dan mekanisme mesin hybrid

#### BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Yang meliputi : Efektifitas mobil otto hybrid sebagai kendaraan hemat BBM dan ramah lingkungan dan pemodelan mobil hybrid otto

#### BAB IV : DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN

Yang meliputi : Pembahasan dan model thermodinamika.

#### BAB V : PENUTUP

Yang meliputi : Kesimpulan dan saran yang dilakukan

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Motor Bakar 4 Langkah

Siklus motor 4 (empat) langkah

- Untuk tiap proses dibutuhkan 4 kali langkah torak turun naik didalam blok silinder dengan dua kali putaran poros engkol (*Crank Shafi*).
- Tersedianya satu langkah penuh untuk pemasukan dan pengeluaran.
- Pembakaran yang terjadi lebih sempurna dan motor bekerjanya lebih hemat dalam pemakaian bahan bakar.

Adapun kerugian / keuntungan pada motor 4 langkah adalah.

Keuntungan :

- Pembuangan gas hasil pembakaran dari pengertian udara sangat baik, karena masing-masing terjadi pada langkah tersendiri.
- Putaran-putaran relatif besar/tinggi.
- Panas yang di hasilkan relatif lebih kecil sehingga lebih tahan lama di jalankan.

Kerugiannya :

- Kontruksinya yang rumit dan sukar karena adanya mekanisme katup-katup serta memerlukan perawatan yang besar.
- Kurang efisiensi untuk daya yang besar
- Getaran yang lebih besar

Adapun langkah proses yang terjadi pada motor 4 langkah adalah seperti keterangan dan Gambar 2.1 a dan b, di bawah ini :

### 1. Langkah isap (*Intake Stroke*)

Pada langkah isap katup terbuka dan katup buang dalam keadaan tertutup melalui katup isap udara murni di hisap kedalam silinder, pada langkah ini torak (piston) bergerak pada titik mati atas (TMA) ketitik mati bawah (TMB).

### 2. Langkah kompresi (*Compression Stroke*)

Pada langkah ini katup isap dan katub buang dalam keadaan sama-sama tertutup, torak (piston) bergerak dari titik mati bawah ke titik mati atas. Udara murni yang dihisap kedalam silinder dimanfaatkan dengan tekanan  $10 - 20 \text{ kg/cm}^2$ .

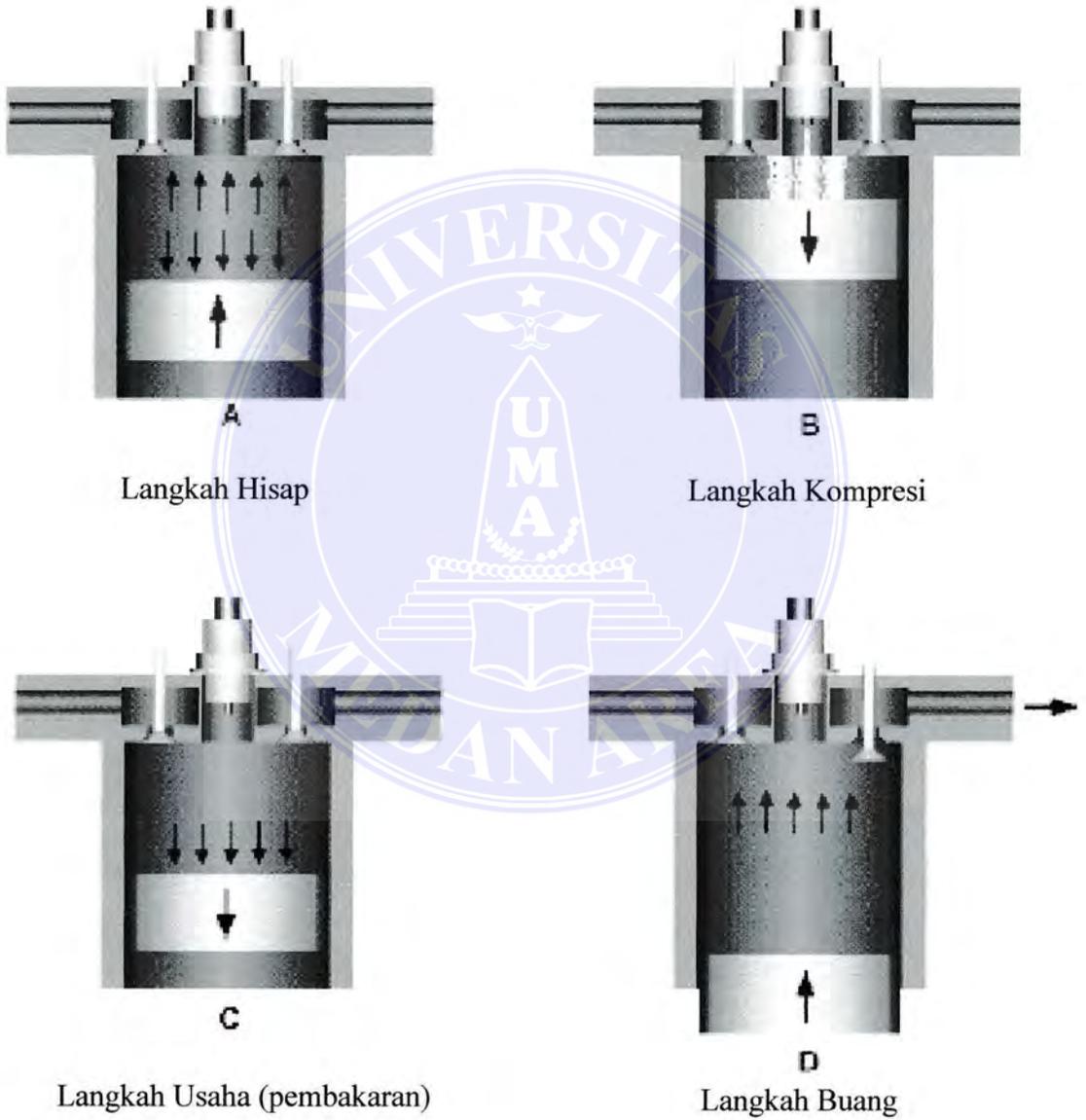
### 3. Proses pembakaran usaha (*Combustion Stroke*)

Langkah ini terjadi pada saat torak hampir mencapai titik mati atas, dalam hal ini katup buang dan katup hisap sama-sama menutup sehingga campuran bahan bakar dan udara yang sudah dimanfaatkan dibakar dengan loncatan bunga api dari busi, akibat dari pembakaran bahan bakar tersebut tekanan akan naik sementara torak menuju titik mati atas (TMA) sehingga volume ruang bakar semakin kecil dengan sendirinya tekanan akan naik dan lebih tinggi akhirnya sampai di TMA didorong kembali ke TMB oleh gas hasil pembakaran tersebut, inilah yang disebut dengan langkah kerja.

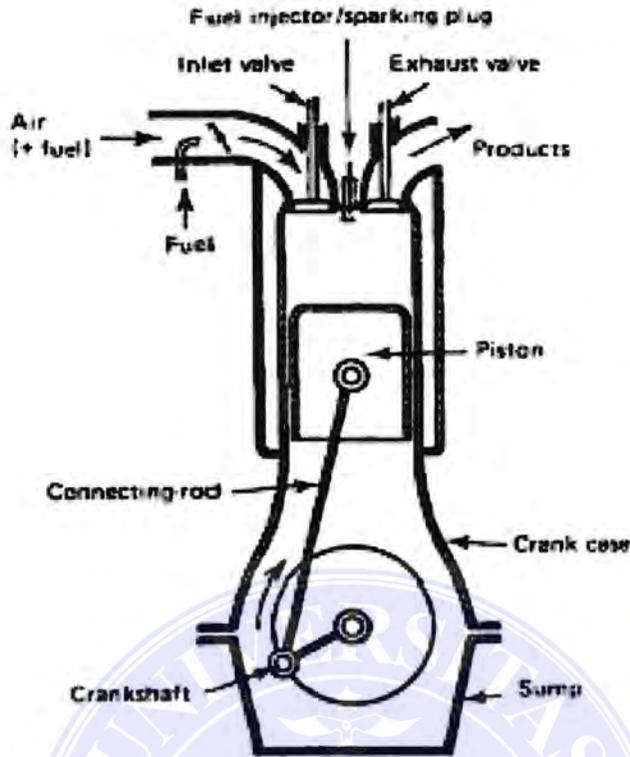
### 4. Langkah buang (*Exhaust Stroke*)

Apabila torak akan mencapai TMB maka katub buang akan terbuka, sedangkan katub isap akan tertutup dan pada saat torak mencapai akhir TMA torak akan menekan sisa gas pembakaran keluar melalui katup buang pada saat langkah buang ini akan terjadi overlapping dimana katub

masuk dan katub buang sama-sama terbuka hal ini terjadi sampai awal langkah isap dengan tujuan supaya gas bekas sisa pembakaran dapat keluar seluruhnya, kemudian pada langkah siklus berikutnya udara bahan bakar berada dalam silinder.



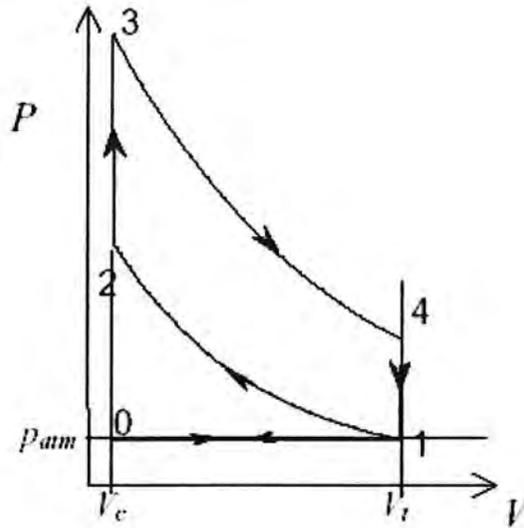
a.



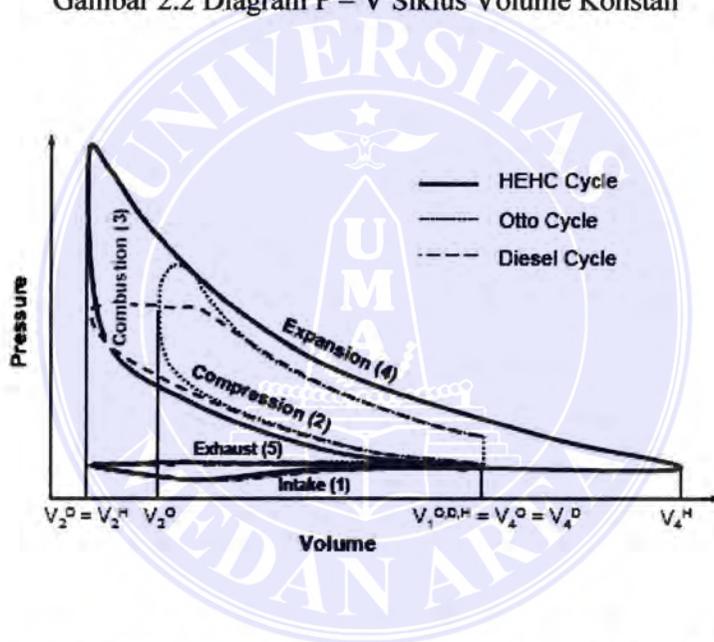
b.  
Gambar 2.1 a dan b, Proses kerja motor 4 langkah

## 2.2 Motor Bakar Otto

Pada pembahasan ini kendaraan penumpang roda empat yang memakai motor bensin, maka siklus yang digunakan adalah siklus volume konstan (Otto), dengan diagram P-V dan urutan dari siklus ini adalah pada gambar 2.2 dan 2.3 :



Gambar 2.2 Diagram P – V Siklus Volume Konstan



Gambar 2.3 Perbandingan Qualitative P-V diagrams dan langkah actual thermodynamic dari mesin Otto, Diesel dan HEHC

Proses Kerja pada seperti gambar 2.2 menurut urutan langkah :

0 - 1 : Langkah Isap

Bahan bakar dan udara masuk kedalam silinder (Proses tekanan konstan)

1 - 2 : Langkah kompresi

Campuran bahan bakar dan udara dikompresikan didalam silinder (Proses Adiabattis)

2 - 3 : Proses pembakaran

Campuran bahan bakar dan udara terbakar didalam ruang bakar (dianggap sebagai proses pemasukan kalor pada volume konstan)

3 - 4 : Langkah kerja (Ekspansi)

Berlangsung dalam proses adiabatik

4 - 1 : Proses pembuangan

Proses pembuangan kalori pada volume konstan

1 - 0 : Langkah buang

Pembuangan gas sisa pembakaran pada tekanan konstan

Menurut Toyota Indonesia dalam homepagenya [www.toyota.co.id](http://www.toyota.co.id) dijelaskan bahwa Mobil konvensional (Gambar 2.4) mengandalkan sumber tenaganya dari bahan bakar, seperti bensin, solar, atau gas untuk bergerak. Pemanfaatan mesin pembakaran internal, tenaga dari hasil pembakaran bahan bakar dimanfaatkan dan diubah menjadi gerakan, yang mampu menggerakkan mobil. Walaupun secara umum menunjukkan kinerja yang baik dengan harga

yang murah, mobil konvensional mengeluarkan emisi gas buang yang tinggi dan menciptakan polusi yang banyak dan terus menghabiskan sumber daya alam.



Gambar 2.4 Mobil konvensional

### 2.3 Penggunaan Kendaraan Hybrid

Dasar sesungguhnya kendaraan disebut sebagai kendaraan hybrid adalah jika kendaraan tersebut menggabungkan dua atau lebih sumber tenaga. Jadi sebenarnya sudah banyak orang yang memiliki kendaraan hybrid dalam konteks ini. Sebagai contoh, mo-ped (motor berpedal sepeda) memiliki karakter hybrid, karena menggabungkan tenaga dari mesin bensin dan tenaga kayuh pengendaranya. Intinya setiap kendaraan yang menggabungkan dua atau lebih sumber tenaga penggerak baik langsung ataupun tidak adalah sebuah hybrid. Sejarah kendaraan hybrid sesungguhnya berawal dari terjadinya krisis bahan bakar era tahun 1960-1970 yang semakin mengkhawatirkan, kemudian menimbulkan berbagai pemikiran tentang alternatif pengurangan konsumsi bahan

bakar. Alasan lain pengembangan kendaraan hybrid adalah untuk meningkatkan efisiensi BBM dan mengurangi emisi gas buang di udara.

Menurut Toyota Indonesia dalam homepage nya [www.toyota.co.id](http://www.toyota.co.id) dijelaskan bahwa Mobil hybrid (Gambar 2.5) menggunakan kombinasi dari motor listrik dan pembakaran di mesin, dengan memaksimalkan kekuatan dari kedua sumber daya tersebut disamping saling mengisi kekurangannya. Hasilnya adalah efisiensi konsumsi bahan bakar dengan performa yang luar biasa.

Fitur utama dari Kendaraan hybrid adalah :

- ▶ Efisiensi Bahan bakar yang lebih besar
- ▶ Emisi yang lebih rendah
- ▶ Pengurangan energi yang terbuang dan Regenerasi energi

Sistem Hybrid yang menggabungkan motor listrik dan pembakaran di mesin menghasilkan tenaga yang berasal dari dua sumber daya. Ini berarti bahwa, mesin pembakar internal membutuhkan konsumsi bahan bakar lebih sedikit untuk mencapai jarak yang sama. Berarti, kendaraan Hybrid memiliki efisiensi yang lebih baik jika dibandingkan dengan mobil konvensional.



Gambar 2.5 Mobil hybrid

Karena konsumsi bahan bakar yang efisien, mobil hybrid mengeluarkan lebih sedikit emisi gas buang dibandingkan dengan mobil konvensional, dan ini yang membuat mobil Hybrid lebih ramah lingkungan.

Energi yang biasanya terbuang menjadi panas pada saat dikendarai, pengurangan laju dan pengereman diubah sebagai tenaga listrik, yang kemudian digunakan kembali untuk memberikan tenaga ke motor elektrik. Hal ini membuat mobil Hybrid menjadi lebih efisien.

Sistem ini juga didesain seefektif mungkin dimana aki diisi dari berbagai tingkat pergerakan kendaraan. Karena mobil hybrid bersifat menghasilkan ulang (tenaga), maka ia tidak membutuhkan pengisian ulang dari sumber eksternal.

Toyota Hybrid System mengoperasikan pembakaran di mesin untuk meraih efisiensi tenaga yang optimal. Tenaga yang dihasilkan oleh pembakaran di mesin digunakan untuk menggerakkan roda secara langsung, dan tergantung dari kondisi berkendara, sebagian dari tenaga di distribusikan ke generator atau pembangkit listrik. Tenaga yang dihasilkan oleh generator atau pembangkit listrik ini kemudian digunakan untuk motor listrik dalam membantu kerja pembakaran di mesin. Dengan memberdayakan keduanya, tenaga dapat dihasilkan secara maksimal. Dengan Toyota Hybrid System yang mengoperasikan pembakaran di mesin pada saat puncak performa, tenaga yang berlebih diubah menjadi energi listrik oleh generator atau pembangkit listrik sebagai energi cadangan di aki.

Efisiensi konsumsi bahan bakar yang tinggi, ramah lingkungan karena emisi gas buang yang rendah, ketenangan yang baik, dan performa yang luar biasa serta kepuasan mengemudi adalah beberapa keuntungan dari Toyota Hybrid System. Sistem ini digunakan pada Toyota Prius, dan memberikannya keuntungan

besar. Ketika akselerasi atau percepatan mendadak dibutuhkan, seperti pada saat mendaki lereng, tenaga cadangan dari aki disuplai ke motor listrik untuk membantu tenaga mobil. Dengan pengaturan dan pemanfaatan optimal tenaga hasil pembakaran di mesin dan motor listrik, Toyota Hybrid System mampu menghasilkan tenaga yang memungkinkan Prius mencapai tingkat efisiensi yang tinggi.

Hingga saat ini kendaraan hybrid telah memperoleh banyak tanggapan positif baik dari pemerintah, maupun dari masyarakat pengguna mobil hybrid. Walaupun mendapat tanggapan positif, bukan berarti kendaraan hybrid ini dapat dengan mudah di produksi dan dipasarkan. Banyak tantangan yang harus dilalui baik oleh produsen maupun konsumen. Tantangan yang paling terlihat adalah masih mahal nya harga jual kendaraan bermesin hybrid, sehingga tidak semua konsumen tertarik untuk membelinya.

Hasil uji coba mesin hybrid secara signifikan meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mereduksi emisi gas buang. Agar bisa bermanfaat bagi kita, sebuah mobil setidaknya harus memiliki tiga standar minimum, yaitu setidaknya mampu menempuh 482 km sebelum *refueling*, mudah dan cepat dalam pengisian bahan bakar, dan senantiasa siap menghadapi situasi lalu lintas apapun. Mobil bensin mampu memenuhi standar ini, tetapi tetap memproduksi polusi yang relatif lebih besar dan cenderung boros bahan bakar. Di Kota Tokyo Jepang, truk dan bus sudah banyak yang memakai tenaga mesin sistem hybrid karena dinilai amat efisien/hemat BBM dan mengurangi polusi. Mesin listrik pada kendaraan hybrid sebenarnya hanyalah sebagai penunjang atau bisa disebut *booster*, pada mesin utama yang memakai bensin ataupun solar. Mesin listrik yang kecil pada

kendaraan jenis hybrid tak akan kuat menjalankan mobil secara normal. Perkembangan teknologi mesin hybrid memang kini semakin pesat. Begitu pula dalam pengisian ulang listriknya yang semakin canggih, cepat, dan tenaga mesin listriknya semakin besar.

Sejumlah pabrikan mobil besar, seperti Toyota, General Motors, Ford, Honda, dan Daimler terus berpacu menghasilkan mobil paling ramah lingkungan dan paling irit bahan bakar. Bahkan Toyota selangkah lebih maju ketimbang para rivalnya. Pabrikan terbesar Jepang ini menjadi pionir untuk mobil bermesin hybrid melalui Prius. Bahkan saat ini semakin banyak model Toyota yang sudah mengadopsi mesin hybrid. Toyota mengklaim dengan penjualan 1,5 juta unit mobil hybrid, perusahaan tersebut telah memberi kontribusi pada pengurangan emisi gas buang CO<sub>2</sub> sebanyak 7 juta ton dan membantu penghematan konsumsi BBM sampai 2,7 juta kiloliter. Teknologi hybrid itu kini telah digunakan TMC untuk sembilan model mobil di antaranya Estima, Crown, Alphard, Dyna, Harrier, Highlinder, Lexus GS450h, dan Camry, di samping Prius. Mobil hybrid tersebut masih bersifat pilihan, karena sampai sekarang TMC masih memproduksi berbagai model mobil dengan satu mesin. Selain Toyota, sejumlah produsen otomotif lain juga menggunakan teknologi hybrid pada sejumlah model mobil mereka, antara lain Honda, BMW, dan General Motors (GM).

Sementara itu beberapa pelaku produsen otomotif mengatakan bahwa mereka akan memulai kajian akan uji level desibel pada mobil hybrid yang nol emisi suara pada akhir tahun ini.

Tetapi mereka juga merasa kesulitan dengan isu ini karena banyaknya hal yang harus diperhatikan, seperti suara mesin, suara ban ketika mengerem mendadak,

*wind resistance*, dan *background noise*. “Banyak hal yang benar-benar kami belum pelajari sampai saat ini,” ujar Wakil Presiden Toyota Motor AS Chris Tinto yang menjadi perwakilan dari industri otomotif AS dalam pembahasan isu ini. Pada pertemuan tersebut, para peneliti memperdengarkan rekaman suara mobil hybrid dengan mobil yang bermesin konvensional. Dalam sebuah eksperimen, seorang yang normal dan ditutupi matanya dengan kain baru bisa mendengar suara mobil Toyota Prius tahun 2006 pada jarak 11 kaki atau 3,3 meter sementara ketika menggunakan mobil Honda Accord 2004 orang tersebut bisa mendengar suara mesin dari jarak 36 kaki atau 10,8 meter. Mobil berteknologi hybrid menggunakan dua motor, yaitu motor listrik dan motor bensin. Secara otomatis, mesin mobil akan menggunakan motor listrik jika kendaraan melaju dalam kecepatan rendah atau berhenti yang mengurangi penggunaan bahan bakar. Padahal mobil hibrid telah menjadi fenomena industri otomotif sejak Toyota Prius pertama kali diproduksi secara massal pada pertengahan 1990-an silam karena bisa menjadi kendaraan alternatif di tengah melambungnya harga minyak dunia dan pemanasan global. Bahkan sampai saat ini Toyota Motor Corporation telah menjual lebih dari 1 juta unit Toyota Prius di 44 negara di dunia.

#### **2.4. Prinsip Kerja Mobil Hybrid**

Mesin pendorong mobil berteknologi hybrid memiliki 2 mesin yang berbeda :yaitu memiliki Satu unit mesin bensin atau diesel dan sebuah mesin elektrik atau bisa disebut juga generator. Mesin utama yang digunakan adalah mesin bensin/diesel. Namun ukurannya relatif kecil dan memiliki tenaga yang lebih kecil dibandingkan mesin mobil normal. Ketika mesin bensin/diesel bergerak dengan

putaran mesin yang relatif tinggi/berlebih saat itu pula mesin elektrik merubah energie dari perputaran mesin yang relatif tinggi/berlebih menjadi energie listrik dan selanjutnya disimpan di sebuah baterai khusus.

Energie yang berlebihan ini timbul dari mesin bensin/diesel . contoh : Pergerakan mobil pada jalan yang datar. Mesin hybrid memanfaatkan energie gerak yang dihasilkan oleh mesin bensin/diesel. Hal ini terjadi apabila pengemudi melepaskan pedal gas dan ketika menginjak pedal rem. Hal ini bisa disebut Renewable energie atau energie yang dapat didaur ulang atau dapat digunakan kembali. Apabila energie yang telah tersimpan di baterai sewaktu-waktu diperlukan secara otomatis maka energi yang tersimpan ini langsung di salurkan ke mesin elektrik dan kemudian dari mesin elektrik ini diubah menjadi energi gerak. Misalnya ketika mobil dalam keadaan menanjak atau ketika mobil ingin mendahului, oleh sebab itu Mesin Hybrid dapat di juluki mesin yang dapat berpikir. Misalnya ketika menunggu di persimpangan jalan/lampu merah, mesin bensin/diesel secara otomatis akan mati. Mesin bensin/diesel juga akan mati ketika pengereman dan ketika mesin tidak melakukan pembakaran/kompresi. Mobil hybrid tidak memerlukan tempat untuk pengisian baterai seperti telepon genggam, karena baterai akan diisi secara otomatis oleh mesin elektrik. Kedua mesin ini dapat bekerja sama dengan bantuan komputer dan sensor yang telah diprogram berdasarkan kebutuhan. Mobil Hybrid adalah mobil ramah lingkungan dan hemat energi. Adapun langkah-langkah Kerja Mobil Hybrid adalah sebagai berikut :

### Starting Off ( Start Awal )

Ketika mobil off, Hybrid Synergy Drive hanya menggunakan listrik motor, didukung oleh baterai, sedangkan gas / mesin bensin tetap tertutup. Sebuah mesin bensin tidak bisa menghasilkan torsi tinggi di kisaran rpm rendah, sedangkan motor listrik dapat - memberikan yang sangat responsif dan halus mulai.

### Mid-Speed Driving ( Kecepatan Sedang )

Sebuah mesin mobil tidak terlalu hemat energi dalam menjalankan mobil dalam kecepatan pertengahan jangkauan. Di lain pihak, sebuah motor listrik adalah energi yang efisien dalam menjalankan mobil di kisaran pertengahan kecepatan. Oleh karena itu, Hybrid Synergy Drive menggunakan energi listrik yang disimpan dalam baterai untuk menjalankan mobil di motor listrik dalam kecepatan kisaran pertengahan.

### Cruising/Recharging ( Dalam Keadaan Berjalan / Pengecasan kembali )

Sejak Hybrid Synergy Drive mengoperasikan gas / bensin mesin dalam efisiensi tinggi jangkauan, gas / mesin bensin dapat menghasilkan listrik lebih dari yang diperlukan untuk menggerakkan mobil. Dalam hal ini, kekuatan surplus dikonversi menjadi energi listrik oleh generator yang akan disimpan dalam baterai.

### Full Acceleration ( Kecepatan Penuh )

Ketika akselerasi kuat (misalnya, untuk mendaki lereng curam atau menyalip) daya dari baterai yang dipasang ke motor listrik suplemen mengambil alih kekuasaan. Dengan menggabungkan kekuatan dari gas / bensin mesin dan motor listrik, Hybrid Synergy Drive memberikan kekuatan sebanding dengan mobil yang memiliki kapasitas mesin lebih besar satu kelas.

### Deceleration/Regenerating Energy ( Penurunan Kecepatan/ Penyimpanan Energi)

Dalam pengereman atau ketika pedal gas diangkat, Hybrid Synergy Drive menggunakan energi kinetik dari mobil untuk membiarkan roda memutar motor listrik, yang berfungsi sebagai generator. Energi yang biasanya hilang sebagai gesekan panas bawah perlambatan diubah menjadi energi listrik, yang ditemukan di baterai untuk digunakan kembali nanti.

### At Rest ( Saat Diam)

Gas / Mesin bensin, motor listrik dan generator menutup secara otomatis ketika mobil berada pada keadaan diam / berhenti.

## **2.5 Komponen Mobil Hybrid**

Salah satu contoh komponen sistem mobil hybrid dari Toyota (2) 2007, terdiri dari beberapa bagian antara lain :

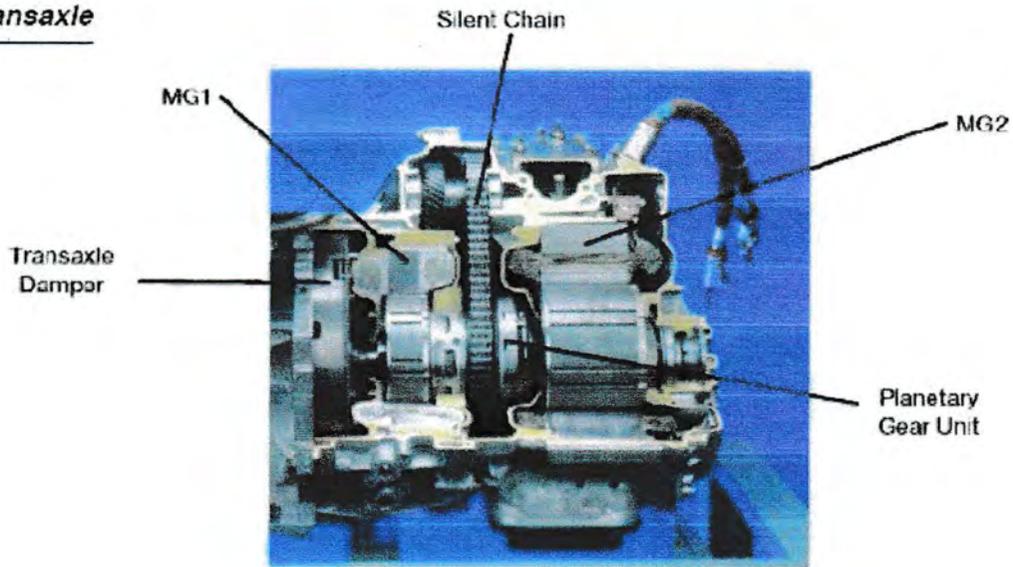
Hybrid sistem komponen termasuk :

1. Hybrid transaxle (Gambar 2.8), terdiri dari MG1, MG2 dan satu Planetary Gear Unit (Gambar 2.9)

2. 1 mesin NZ-FXE (Gambar 2.10)
3. Inverter assembly (Gambar 2.11) yang berisi inverter, satu boost converter, satu DC-AC converter, dan A/C inverter (Gambar 2.12)
4. HV ECU, ECM, inverter assembly, batre ECU dan skid kontrol ECU untuk mengontrol hybrid sistem
5. Shift positioning sensor
6. Accelerator pedal position sensor, which converts accelerator angle into an electrical signal
7. Skid kontrol ECU untuk kontrol-kontrol regenerative braking
8. ECM
9. HV batre (Gambar 2.13.)
10. Batre ECU, yang memonitor kondisi charging dari batre HV dan kontrol pengoperasian kipas pendingin
11. Servive plug, dengan shuts off sirkuit
12. SMR (*System Main Relay*) yang menghubungkan dan memutuskan high-voltage power sirkuit
13. Batre Auxiliary dengan store 12 V DC untuk kontrol sistim kendaraan

Contoh sistem mobil hybrid juga dapat dilihat pada gambar 2.6 dan gambar 2.7.

Hybrid Transaxle

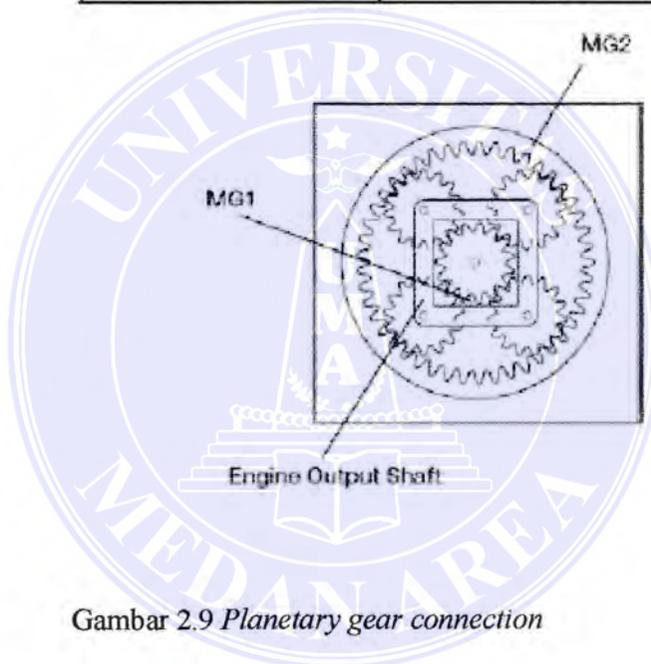


Gambar 2.8 Hybrid transaxle

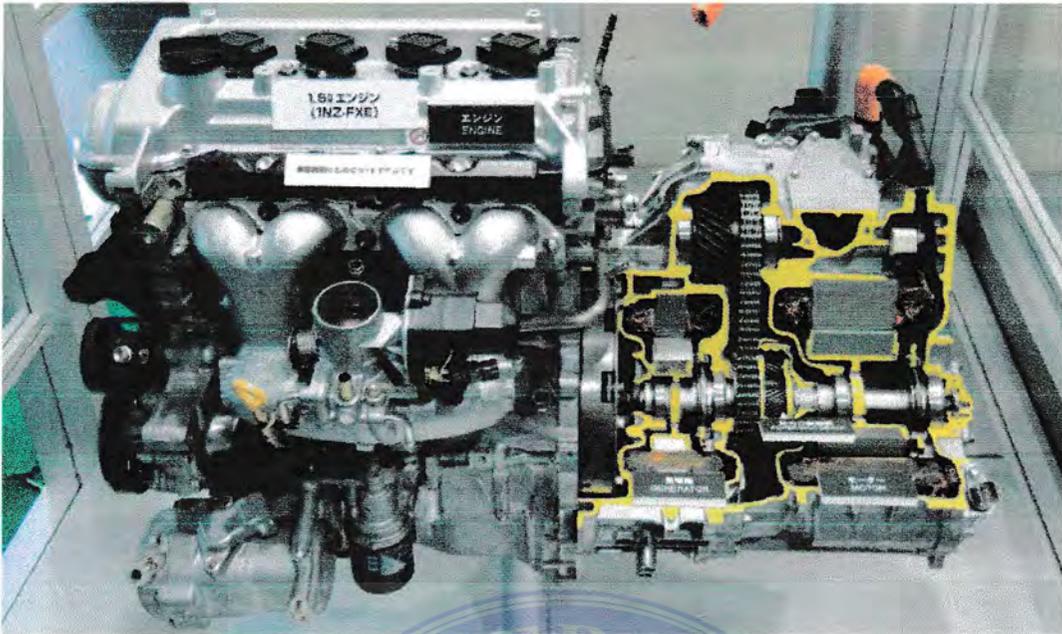
transaxle ini terdiri dari dua motor listrik yang bisa juga berfungsi sebagai generator ( Motor/Generator atau MG). Roda gigi terlihat diantara kedua generator, menggabungkan tenaga putaran kepada roda roda. Alat pembagi daya terletak diantara dua motor dan bersama dua motor menciptakan suatu type transmisi variable yang terus-menerus.

### Planetary Gear Connection

Item	Connection
Sun Gear	MG1
Ring Gear	MG2
Carrier	Engine Output Shaft



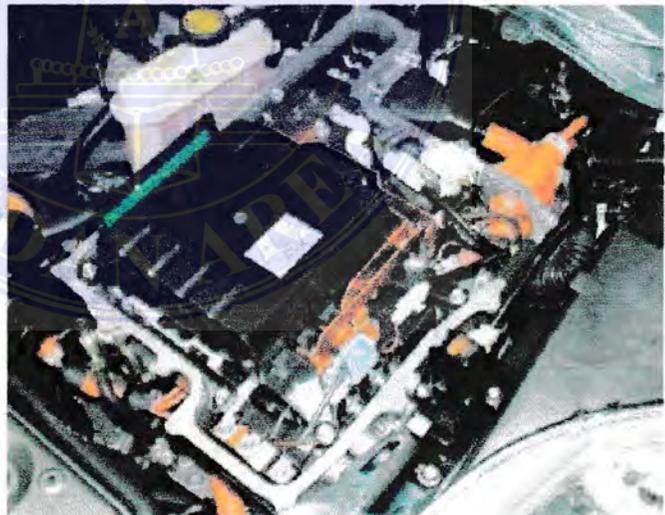
Gambar 2.9 *Planetary gear connection*



Gbr 2.10. Contoh mesin 1.5 Litre VVT-i dengan Hybrid Transaxle (Kanan)

### Inverter Assembly

('04 & later Prius)



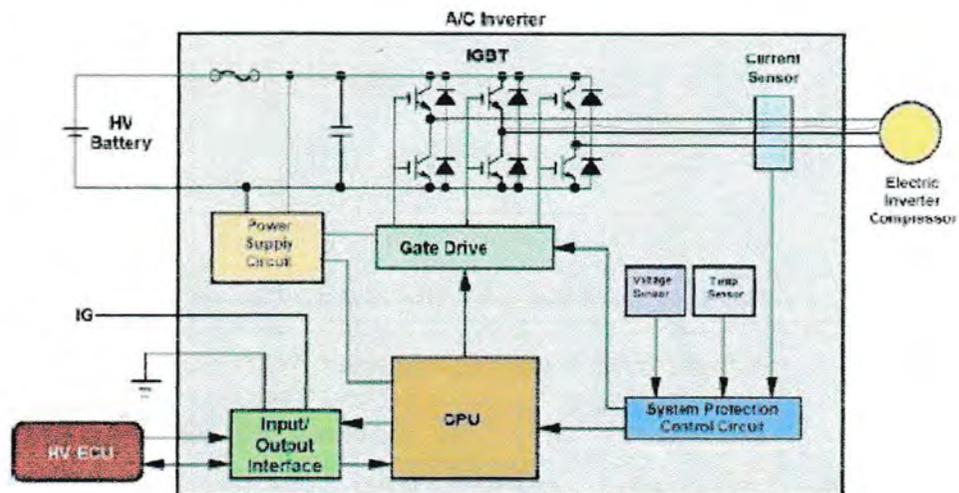


Gambar 2.11 Inverter assembly (Power Inverter)

Power Inverter (Pengubah Daya) adalah suatu alat elektronik yang memakai tegangan tinggi DC dari baterai dan mengubahnya menjadi tegangan AC yang bisa menggerakkan motor. Power Inverter (Pengubah Daya) juga mengubah kembali tegangan AC dari motor/generator ke DC untuk mengisi baterai. Alat ini terdiri dari transistor khusus yang melakukan fungsi perubahan tegangan.

## A/C Inverter

('04 & later Prius)



Gambar 2.12 A/C inverter



Gbr. 2.13. Baterai Tegangan Tinggi dengan saluran pendingin

Toyota menggunakan modul baterai NiMH dari Panasonic. Setiap modul terdiri dari 6 sel, masing-masing sel bertengan 1,2 V yang dihubungkan secara seri.

Module ini mempunyai tegangan total 7.2 V, dengan kapasitas 6.5 Ah, berat 1.04 kg, dan berukuran 19.6mm(W) x 106mm(H) x 275mm(L).

### Kemasan Baterai

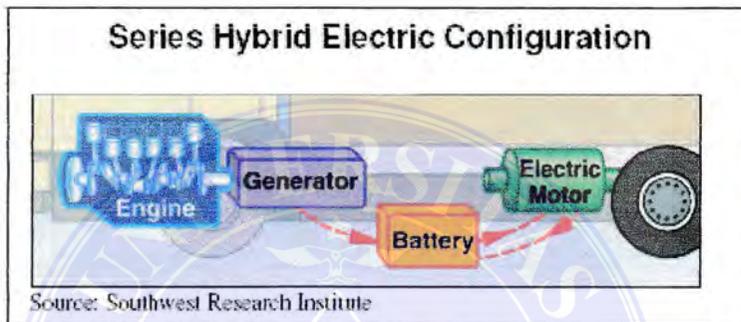
Jumlah baterai ini terdiri dari 38 modul baterai NiMH yang dihubungkan secara seri. Ini menghasilkan tegangan total 273.6 Volts dan kapasitas 6.5 Ah. Modul-modul ini disusun sisi demi sisi dan kemudian dikompres bersama-sama sehingga menjadi struktur yang padat dan tidak mudah lepas sehingga mencegah ekspansi yang berasal dari tekanan-tekanan bagaian dalam. Berat total dari baterai adalah 53.3 kg.

## **2.5 Mekanisme Mobil Hybrid**

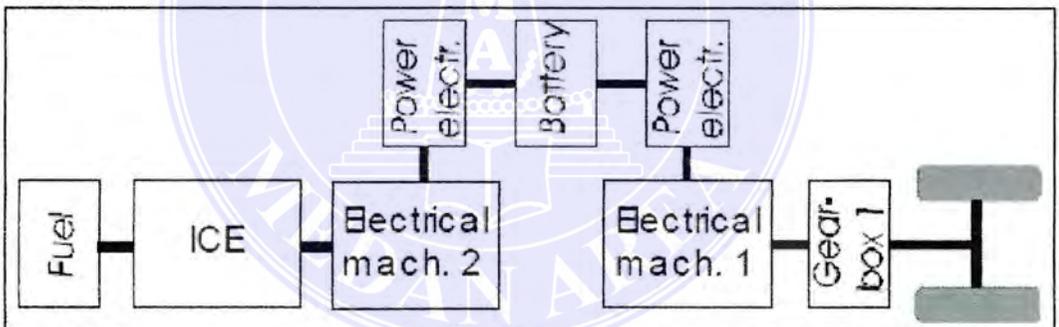
Teknologi mobil hybrid yang dipopulerkan oleh Toyota dan Honda dan lain-lain, sebagai solusi menghemat BBM dan mengatasi pencemaran lingkungan. Cara kerja mesin listrik dengan prinsip *regenerative* (isi ulang/*recharging* saat kendaraan sedang beroperasi) pada mesin hybrid, berbeda dengan mobil tenaga listrik penuh. Mobil tersebut tidak bisa mengisi ulang listriknya. Bila listriknya habis, Batterai / aki harus di-charge secara khusus dengan waktu 8 hingga 12 jam (untuk teknologi *onboard charger*). Khusus mesin hybrid, mesin listriknya bisa mengisi ulang ke aki dengan memanfaatkan energi kinetik saat mengerem (*regenerative braking*). Bahkan sebagian energi mesin dari mesin bensin/solar/biofuel saat berjalan listriknya bisa disalurkan untuk mengisi batterai/aki. Dengan sistem operasi seperti ini maka akan terjadi penghematan BBM.

Mobil hybrid menggabungkan kedua sumber tenaga, yang dapat dilakukan dengan empat cara yang berbeda yaitu:

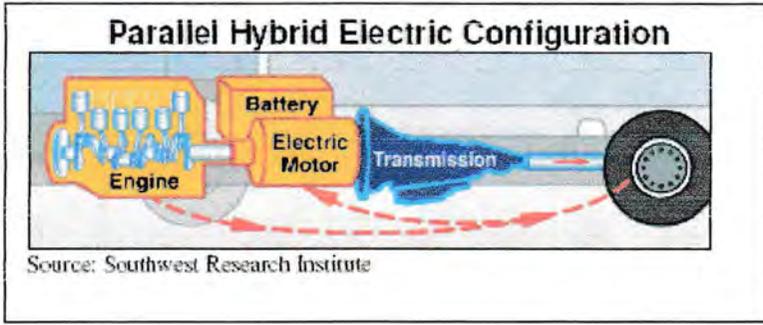
- (1) Hybrid paralel (Gambar 2.13),
- (2) Hybrid seri (Gambar 2.12),
- (3) Hybrid strigear (Gambar 2.14),
- (4) Hybrid complex (the power split hybrid "PSH") (Gambar 2.15)



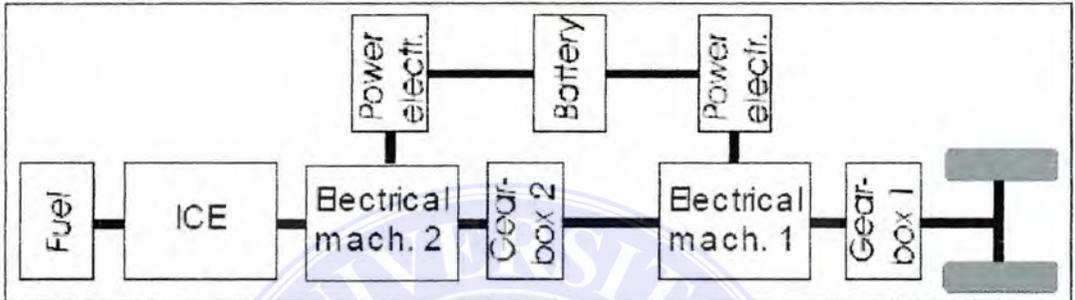
Series



Gambar 2.14 Hybrid seri

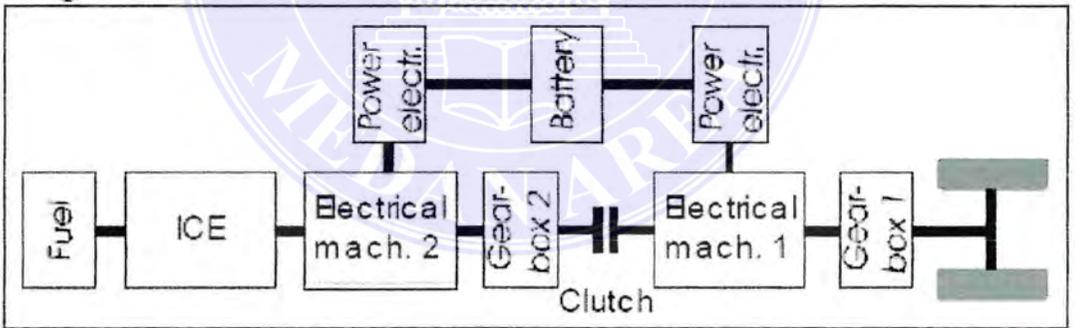


Parallel



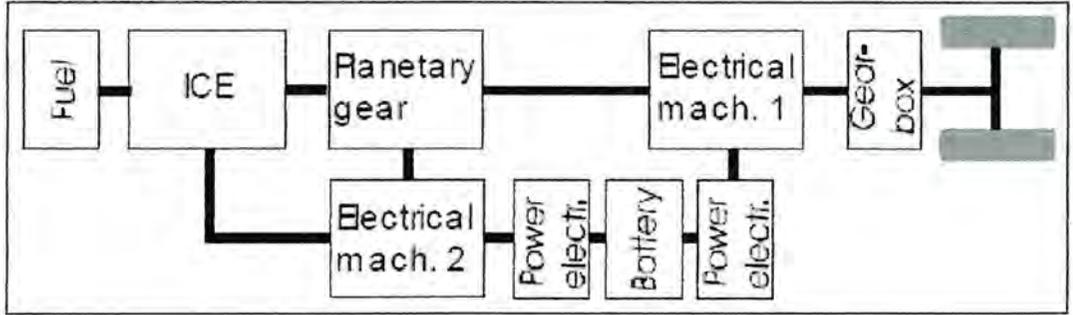
Gambar 2.15 Hybrid Paralel

Strigear



Gambar 2.16 Hybrid strigear

## Powersplit



Gambar 2.17 Hybrid powersplit

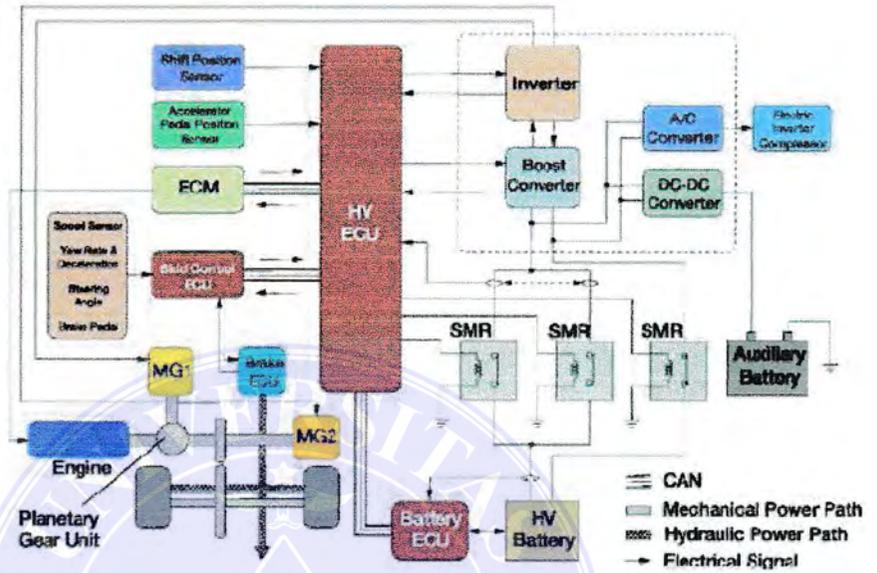
Hybrid paralel memiliki tangki BBM yang menyuplai bensin ke mesin. Hybrid tipe ini juga memiliki baterai yang menyuplai tenaga listrik ke mesin elektrik. Baik mesin bensin maupun mesin elektrik dapat menggerakkan transmisi pada saat bersamaan, dan selanjutnya transmisi akan menggerakkan roda. Pada tipe ini tangki bensin dan mesin gas terhubung ke transmisi secara independen yang mengakibatkan baik mesin elektrik dan mesin gas dapat menghasilkan tenaga pendorong.

Berbeda dengan hybrid paralel, pada hybrid seri mesin bensin bekerja sebagai generator yang berfungsi sebagai pembangkit baterai atau tenaga motor elektrik yang menggerakkan transmisi. Mesin bensin tidak pernah langsung menjadi tenaga penggerak kendaraan. Sistem kerja pada hybrid series dimulai dari tangki bensin menyuplai bensin ke mesin gas yang selanjutnya menyuplai tenaga ke generator, lalu tenaga yang dihasilkan generator didistribusikan ke baterai dan mesin elektrik. Energi pada baterai sendiri selain dari generator, juga dihasilkan saat terjadi pengereman. Tenaga dari mesin elektrik kemudian menggerakkan transmisi dan selanjutnya menggerakkan roda.

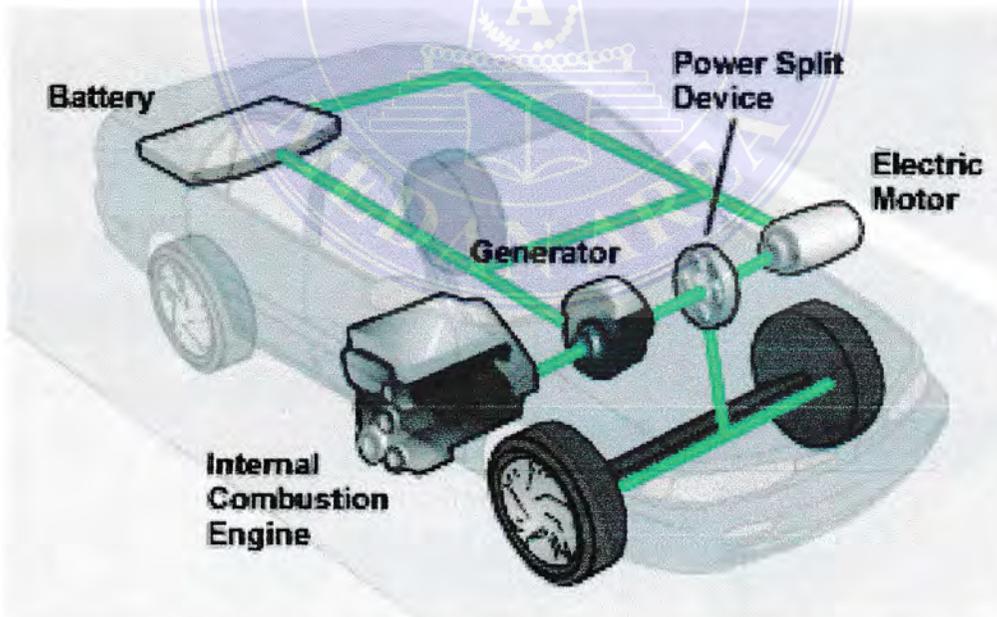
Salah satu diagram sistem kontrol hybrid dapat dilihat seperti pada gambar

2.16.

**Hybrid Control System Diagram**



Gambar 2.18 Diagram sistem kontrol hybrid



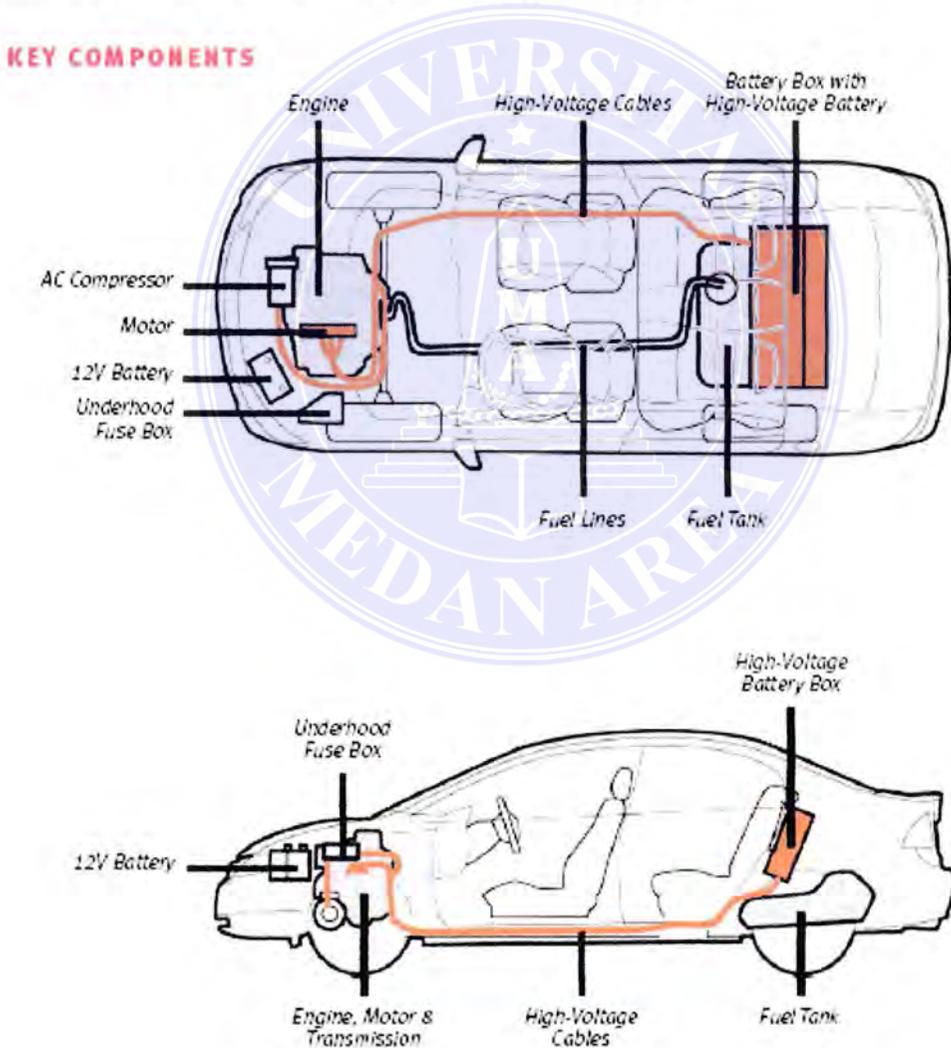
Gbr. 2.19. Blok Diagram Mobil Hybrid ( Saat Terpasang Di Kendaraan)

### BAB III

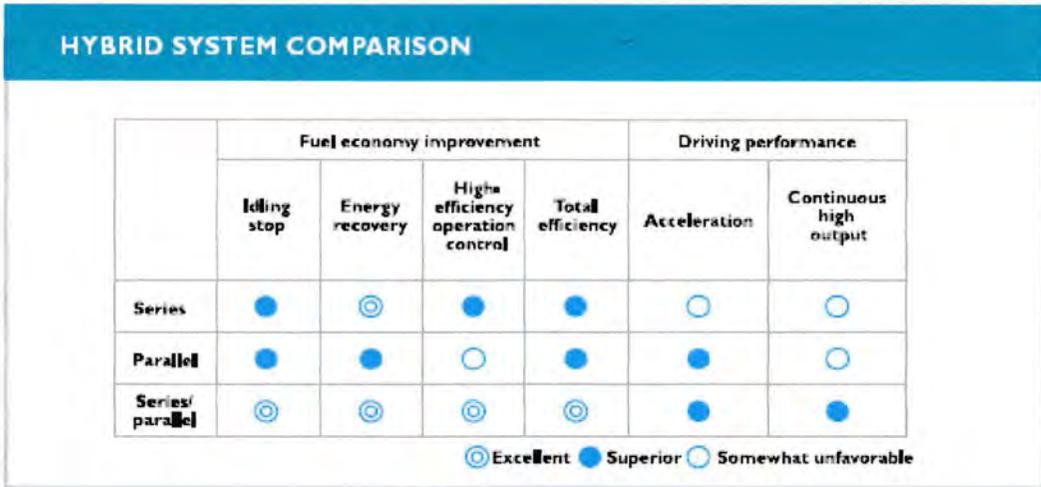
## EFEKTIVITAS MOBIL HYBRID

### 3.1 Mobil Otto Hybrid Sebagai Kendaraan Hemat BBM

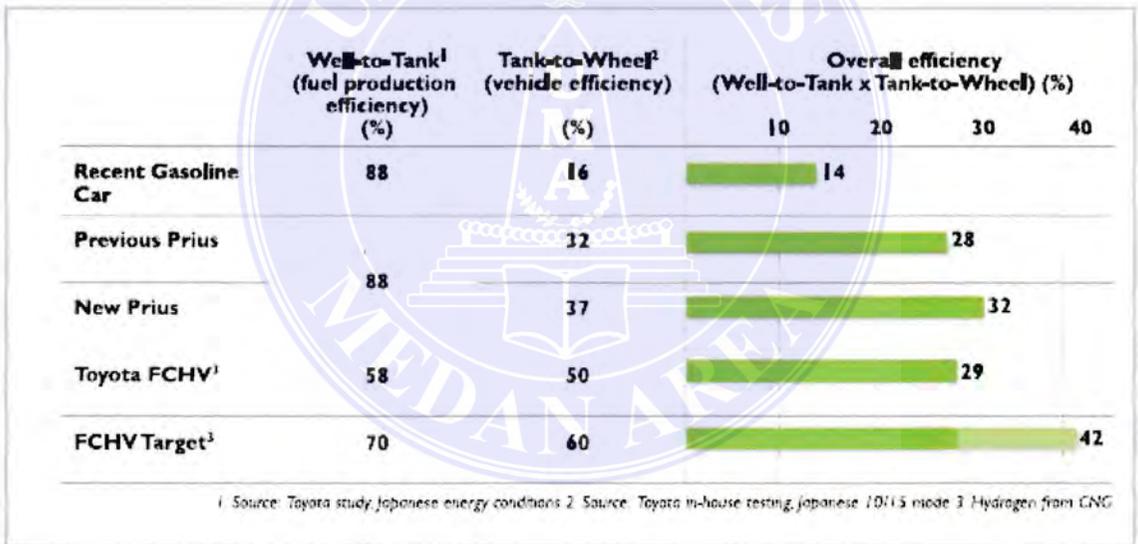
Produk mobil hybrid hemat BBM adalah seperti produksi Honda yaitu Civic Hybrid (Gambar 3.1) (Honda (2006) dan produksi Toyota. Perbandingan sistem hybrid dalam perbaikan efisiensi dan pemakaian BBM dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan 3.3 berdasarkan produksi hybrid Toyota.



Gambar 3.1 Mobil hybrid



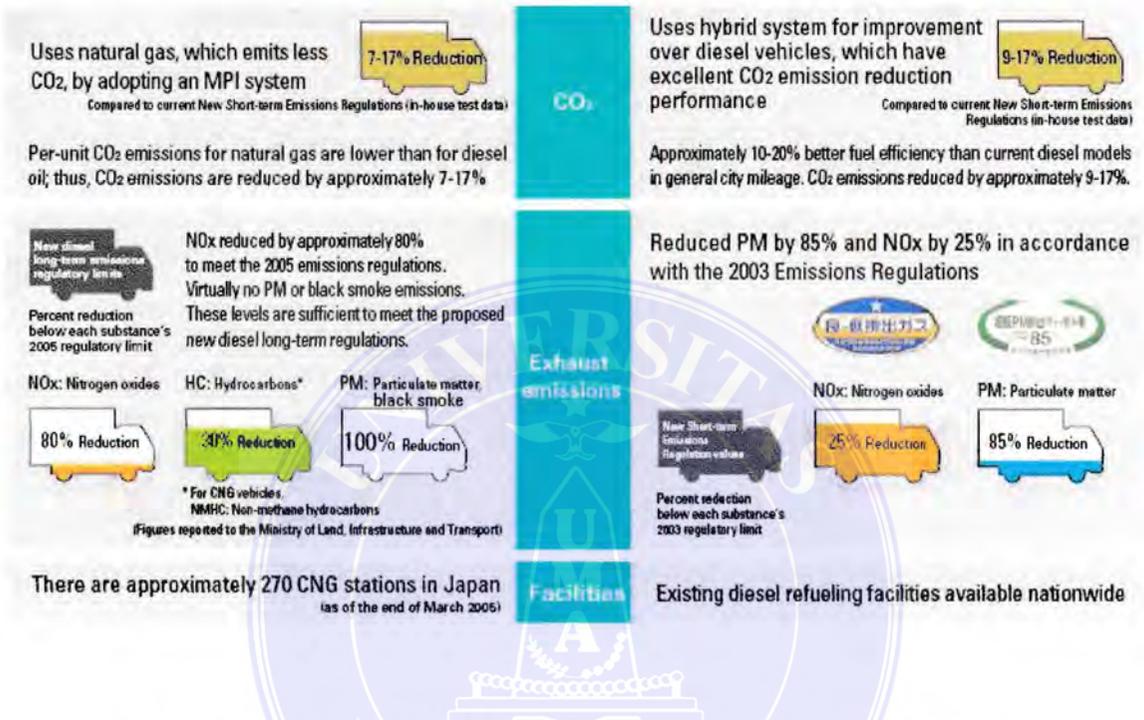
Gambar 3.2 Perbandingan sistem hybrid (Toyota (1), 2007)



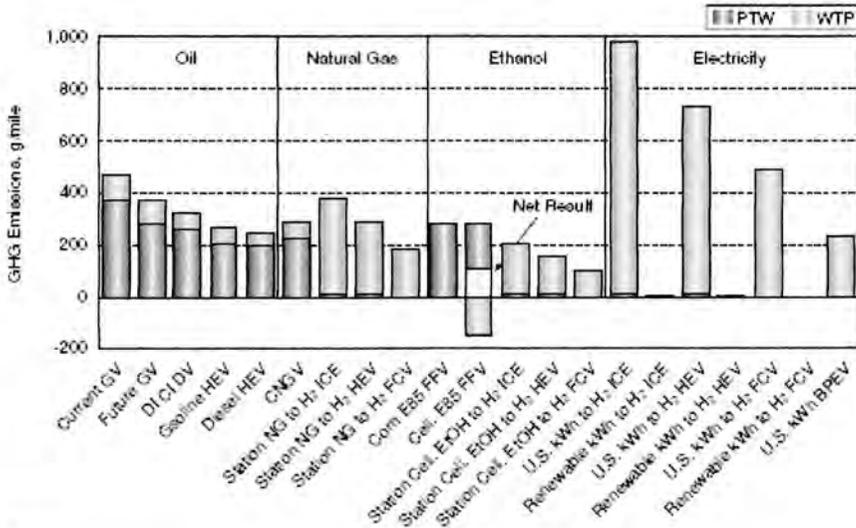
Gambar 3.3 Perbandingan pemakaian BBM

### 3.2 Mobil Otto Hybrid Sebagai Kendaraan Ramah Lingkungan

Mobil Otto hybrid sebagai kendaraan ramah lingkungan (rendahnya emisi gas buang yang dihasilkan) dapat dilihat pada gambar 3.4, 3.5 dan flow chart emisi pada Gambar 3.6 dibawah ini.



Gambar 3.4 Perbandingan CO<sub>2</sub> dan emisi gas buang (Isuzu, 2005)



Notes

- BPEV : battery-powered electric vehicle
- CNGV: compressed natural gas vehicle
- DI/CI/DV: direct-injection compression-ignition diesel vehicle
- E85 : a mixture of 85% ethanol and 15% gasoline (by volume)
- FCV : fuel-cell vehicle
- FFV : flexible fuel vehicle
- GV : gasoline vehicle
- HEV : hybrid electric vehicle
- ICE : internal combustion engine
- NG : natural gas
- PTW : pump-to-wheels
- WTW : well-to-wheels
- WTP : well-to-pump

Gambar 3.5 Perbandingan konsumsi BBM dan emisi berdasarkan jenis BBM



9.0%, electricity & heat 24.6% dan selebihnya adalah lain-lain seperti kimia, semen, iron & steel, building.

### 3.2.1 Dampak Emisi Gas Buang Terhadap Kesehatan

Menurut A. Tri Tugaswati (2000) Senyawa-senyawa di dalam gas buang terbentuk selama energi diproduksi untuk menjalankan kendaraan bermotor. Beberapa senyawa yang dinyatakan dapat membahayakan kesehatan adalah berbagai oksida sulfur, oksida nitrogen, dan oksida karbon, hidrokarbon, logam berat tertentu dan partikulat. Pembentukan gas buang tersebut terjadi selama pembakaran bahan bakar fosil-bensin dan solar didalam mesin. Dibandingkan dengan sumber stasioner seperti industri dan pusat tenaga listrik, jenis proses pembakaran yang terjadi pada mesin kendaraan bermotor tidak sesempurna di dalam industri dan menghasilkan bahan pencemar pada kadar yang lebih tinggi, terutama berbagai senyawa organik dan oksida nitrogen, sulfur dan karbon. Selain itu gas buang kendaraan bermotor juga langsung masuk ke dalam lingkungan jalan raya yang sering dekat dengan masyarakat, dibandingkan dengan gas buang dari cerobong industri yang tinggi. Dengan demikian maka masyarakat yang tinggal atau melakukan kegiatan lainnya di sekitar jalan yang padat lalu lintas kendaraan bermotor dan mereka yang berada di jalan raya seperti para pengendara bermotor, pejalan kaki, dan polisi lalu lintas, penjaja makanan sering kali terpajan oleh bahan pencemar yang kadarnya cukup tinggi. Estimasi dosis pajanan sangat tergantung kepada tinggi rendahnya pencemar yang dikaitkan dengan kondisi lalu lintas pada saat tertentu.

Keterkaitan antara pencemaran udara di perkotaan dan kemungkinan adanya resiko terhadap kesehatan, baru dibahas pada beberapa dekade belakangan ini. Pengaruh yang merugikan mulai dari meningkatnya kematian akibat adanya *episod smog* sampai pada gangguan estetika dan kenyamanan. Gangguan kesehatan lain diantara kedua pengaruh yang ekstrim ini, misalnya kanker pada paru-paru atau organ tubuh lainnya, penyakit pada saluran tenggorokan yang bersifat akut maupun khronis, dan kondisi yang diakibatkan karena pengaruh bahan pencemar terhadap organ lain seperti paru, misalnya sistem syaraf. Karena setiap individu akan terpajan oleh banyak senyawa secara bersamaan, sering kali sangat sulit untuk menentukan senyawa mana atau kombinasi senyawa yang mana yang paling berperan memberikan pengaruh membahayakan terhadap kesehatan.

Bahaya gas buang kendaraan bermotor terhadap kesehatan tergantung dari toksisitas (daya racun) masing-masing senyawa dan seberapa luas masyarakat terpajan olehnya. Beberapa faktor yang berperan di dalam ketidakpastian setiap analisis resiko yang dikaitkan dengan gas buang kendaraan bermotor antara lain adalah :

- Definisi tentang bahaya terhadap kesehatan yang digunakan
- Relevansi dan interpretasi hasil studi epidemiologi dan eksperimental
- Realibilitas dari data pajanan
- Jumlah manusia yang terpajan
- Keputusan untuk menentukan kelompok resiko yang mana yang akan dilindungi
- Interaksi antara berbagai senyawa di dalam gas buang, baik yang sejenis maupun antara yang tidak sejenis

- Lamanya terpajan (jangka panjang atau pendek)

Pada umumnya istilah dari *bahaya terhadap kesehatan* yang digunakan adalah pengaruh bahan pencemar yang dapat menyebabkan meningkatnya resiko atau penyakit atau kondisi medik lainnya pada seseorang ataupun kelompok orang. Pengaruh ini tidak dibatasi hanya pada pengaruhnya terhadap penyakit yang dapat dibuktikan secara klinik saja, tetapi juga pada pengaruh yang pada suatu mungkin juga dipengaruhi faktor lainnya seperti umur misalnya.

Telah banyak bukti bahwa anak-anak dan para lanjut usia merupakan kelompok yang mempunyai resiko tinggi di dalam peristiwa pencemaran udara. Anak-anak lebih peka terhadap infeksi saluran pernafasan dibandingkan dengan orang dewasa, dan fungsi paru-paru nya juga berbeda. Para usia lanjut masuk di dalam kategori kelompok resiko tinggi karena penyesuaian kapasitas dan fungsi paru-paru menurun, dan pertahanan imunitasnya melemah. Karena kapasitas paru-paru dari penderita penyakit jantung dan paru-paru juga rendah, kelompok ini juga sangat peka terhadap pencemaran udara.

Berdasarkan sifat kimia dan perilakunya di lingkungan, dampak bahan pencemar yang terkandung di dalam gas buang kendaraan bermotor digolongkan sebagai berikut :

1. Bahan-bahan pencemar yang terutama mengganggu saluran pernafasan, termasuk dalam golongan ini adalah oksida sulfur, partikulat, oksida nitrogen, ozon dan oksida lainnya.
2. Bahan-bahan pencemar yang menimbulkan pengaruh racun sistemik, seperti hidrokarbon monoksida dan timbel/timah hitam.

3. Bahan-bahan pencemar yang dicurigai menimbulkan kanker seperti hidrokarbon.
4. Kondisi yang mengganggu kenyamanan seperti kebisingan, debu jalanan dan lain-lain.

### 3.2.2 Dampak Emisi Gas Buang Terhadap Lingkungan

Tidak semua senyawa yang terkandung di dalam gas buang kendaraan bermotor diketahui dampaknya terhadap lingkungan selain manusia. Beberapa senyawa yang dihasilkan dari pembakaran sempurna seperti  $\text{CO}_2$  yang tidak beracun, belakangan ini menjadi perhatian orang. Senyawa  $\text{CO}_2$  sebenarnya merupakan komponen yang secara alamiah banyak terdapat di udara. Oleh karena itu  $\text{CO}_2$  dahulunya tidak menepati urutan pencemaran udara yang menjadi perhatian lebih dari normalnya akibat penggunaan bahan bakar yang berlebihan setiap tahunnya. Pengaruh  $\text{CO}_2$  disebut efek rumah kaca dimana  $\text{CO}_2$  di atmosfer dapat menyerap energi panas dan menghalangjalanya energi panas tersebut dari atmosfer ke permukaan yang lebih tinggi. Keadaan ini menyebabkan meningkatnya suhu rata-rata di permukaan bumi dan dapat mengakibatkan meningginya permukaan air laut akibat melelehnya gunung-gunung es, yang pada akhirnya akan mengubah berbagai siklus alamiah.

Pengaruh pencemaran  $\text{SO}_2$  terhadap lingkungan telah banyak diketahui. Pada tumbuhan, daun adalah bagian yang paling peka terhadap pencemaran  $\text{SO}_2$ , dimana akan terdapat bercak atau noda putih atau coklat merah pada permukaan daun. Dalam beberapa hal, kerusakan pada tumbuhan dan bangunan disebabkan karena  $\text{SO}_2$  dan  $\text{SO}_3$  di udara, yang masing-masing membentuk asam sulfit dan

asam sulfat. Suspensi asam di udara ini dapat terbawa turun ke tanah bersama air hujan dan mengakibatkan air hujan bersifat asam. Sifat asam dari air hujan ini dapat menyebabkan korosif pada logam-logam dan rangka -rangka bangunan, merusak bahan pakian dan tumbuhan.

Oksida nitrogen, NO dan NO<sub>2</sub> berasal dari pembakaran bahan bakar fosil. Pengaruh NO yang utama terhadap lingkungan adalah dalam pembentukan *smog*. NO dan NO<sub>2</sub> dapat memudahkan warna dari serat-serat rayon dan menyebabkan warna bahan putih menjadi kekuning-kuningan. Kadar NO<sub>2</sub> sebesar 25 ppm yang pada umumnya dihasilkan adari emisi industri kimia, dapat menyebabkan kerusakan pada banayak jenis tanaman. Kerusakan daun sebanyak 5 % dari luasnya dapat terjadi pada pemajanan dengan kadar 4-8 ppm untuk 1 jam pemajanan. Tergantung dari jenis tanaman, umur tanaman dan lamanya pemajanan, kerusakan terjadi dapat bervariasi. Kadar NO<sub>2</sub> sebesar 0,22 ppm dengan jangka waktu pemajanan 8 bualan terus menrus, dapat menyebabkan rontoknya daun berbagai je nis tanaman.

### 3.3 Pemodelan Mobil Hybrid Otto

Dasar untuk model ini adalah data yang telah dikumpulkan selama pengukuran stationary. Diperlukan data dari torsi, aliran udara, aliran bahan bakar dan emisi-emisi.

Model-model simulasi dapat dikategorikan kedalam tiga bagian utama:

- Model aliran udara. Bagian ini terdiri dari throttle, Saluran Masuk, Badan Mesin D (Gerakan Pompa dari Piston) E dan Saluran Keluar.

- Model aliran bahan bakar. Bagian ini terdiri dari injeksi bahan bakar dan sebuah dinding model yang basah..
- Model control bahan bakar D loop tertutup E dimana I dideteksi dengan sebuah I -sensor yang mempunyai ketetapan waktu.

### 3.3.1 Model Aliran Udara (*The Air Flow Model*)

Peter Strandh (2002) membahas bahwa tujuan dari bagian model ini adalah untuk menghitung aliran mass dari suatu mesin. Ini adalah hasil dari ketiga bagian:

- Throttle, yang mengontrol jumlah udara yang dilewatkan kedalam saluran masuk. Massa mengalir melalui throttle diatur dengan perbedaan tekanan dan daerah throttle.
- Gerakan pompa piston. Untuk menentukan massa yang mengalir kedalam silinder, massa jenis didalam saluran masuk harus diketahui.
- Saluran Masuk, yang terdiri dari bagian utama, massa udara didalam saluran. Ketika massa udara diketahui, keduanya massa jenis dan perbedaan tekanan untuk Throttle diketahui.

#### Throttle

Throttle mengendalikan jumlah udara yang dilewatkan kedalam saluran masuk. Persamaan yang menggambarkan sebuah aliran kompresibel menggunakan pembatasan area. Ketika ada perbedaan tekanan, akan ada aliran melalui Throttle yang diatur oleh zat gas, pembatasan area dan rasio tekanan, lihat Persamaan 3.3.

Ada dua persamaan yang menggambarkan aliran massa. Pertama adalah digunakan untuk critical pressure ratio, dan yang lain digunakan untuk sub critical

pressure ratio. Suatu rasio tekanan kritis maksudnya bahwasanya kecepatan didalam Throttle adalah kecepatan sonic. Berdasarkan hukum gas ideal, rasio tekanan kritis adalah digunakan dengan Persamaan 3.1, dimana  $P$  adalah rasio tekanan dan  $k$  adalah rasio dari panas spesifik.

$$\Pi = \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

Nilai  $k$  untuk udara adalah 1.4 dan ini memberi suatu rasio tekanan kritis dari 0.5283. Ketika rasio tekanan adalah kritis maka Equation 3.2 yang digunakan, otherwise Equation 3.3.

$$m_{th} = \frac{C_D A_{th} P_a}{\sqrt{RT}} k^{1/2} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}}$$

$$m_{th} = \frac{C_D A_{th} P_a}{\sqrt{RT}} \left( \frac{P_m}{P_a} \right)^{\frac{1}{k}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \left[ 1 - \left( \frac{P_m}{P_a} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}$$

Dimana:

$C_D [-]$  = koefisien discharge

$K [-]$  = rasio panas specific

$R [kJ/(kg * K)]$  = gas konstan

$T [K]$  = temperatur gas

$A_{th} [m^2]$  = area throttle

$\Pi [-]$  = rasio tekanan

Badan Mesin ditinjau sebagai sebuah pompa pemindah dengan aliran volume sebagai sebuah fungsi dari kecepatan mesin ( $\omega$ ) and efisiensi volumetrik ( $\eta_v$ ), lihat Persamaan 5.4. Aliran massa udara yang memasuki ruang mesin ditentukan dengan massa jenis ( $\rho$ ) didalam saluran masuk persamaan 5.5.

$$V = \eta_v \frac{V_{engine} * \omega}{4\pi}$$

$$m_{engine} = \rho * V(\omega)$$

Dimana :

$V_{engine} [m^3]$  = langkah mesin (*engine displacement*)

$\omega$  [rad/s] = kecepatan mesin (*engine speed*)

$\eta_v [-]$  = efisiensi volumetric

$V [m^2/s]$  = Aliran volume yang melalui mesin

$P [kg/m^3]$  = berat jenis

$m_{engine} [kg/s]$  = aliran udara yang melalui mesin

### 3.3.2 Suplai Bahan Bakar (*The Fuel Supply*)

Aliran udara yang instan pada titik kerja yang berbeda dihitung dengan model udaral. Pada aliran udara mesin yang sesungguhnya, informasi dapat diambil dengan sensor yang diletakkan sebelum throttle, atau itu dapat dihitung dengan metode kecepatan berat jenis. Dengan metode ini, aliran udara dihitung dari tekanan dan temperatur dalam saluran secara bersama dengan rumus efisiensi volumetrik.

Dalam model, aliran bahan bakar adalah telah dihitung dari menggunakan aliran udara pada dua titik yang berbeda, baik pada throttle untuk simulasi, pengukur aliran massa atau pada saluran masuk bagian luar untuk simulasi kecepatan berat jenis.

### Kendali $\lambda$ Loop Tertutup

Dalam persamaan 5.14, istilah  $f(\lambda_{meas})$  adalah kontrol tertutup dari  $\lambda$ . Itu menentukan apakah nilai  $\lambda_{meas}$  diatas atau dibawah 1. Jika nilai  $\lambda$  adalah dibawah itu akan menurunkan aliran udara sampai nilai menjadi tinggi. Ada batasan pada amplitudo untuk mencegah itu agar tidak turun terlalu jauh.

### Wall Wetting

Pada kasus ideal bahan bakar akan langsung menuju dari injektor ke dalam silinder. Bagaimanapun, bagian dari bahan bakar yang diinjeksikan kedalam saluran akan menempel pada dinding. Ini disebut juga sebagai *wall wetting*. Efek dari Wall wetting dapat juga berasal dari aliran balik yang menempati selama gerakn mauk pertama dan selama periode overvalve katup. Pada kasus ini bahan bakar telah diinjeksikan pada *inlet valve* untuk dimasukan kembali kedalam saluran.

### 3.3.3 Implementation dari penundaan waktu $\lambda$ time delays

Nilai global lambda didalam mesin berasal dari rasio aliran massa kedalam mesin dan aliran massa dari bahan bakar yang masuk kemesin. Sehubungan untuk mengimplementasikan kontrol  $\lambda$  loop tertutup, respon dari sensor  $\lambda$  harus disimulasikan. Bagian berikut menggambarkan bagaimana ini bekerja.

### Engine body delay

Pertama, Dalam hal bahan bakar dan udara terletak didalam mesin untuk durasi dari suatu langkah mesin ( $t_{engine}$ ), yang mana adalah fungsi dari kecepatan mesin ( $\omega$ ). Ini adalah waktu dari satu siklus mesin (4 Tak) seperti ditunjukkan dalam persamaan 5.16.

$$t_{engine} = \frac{120}{\omega [rpm]} = \frac{4\pi}{\omega [rad/s]}$$

$$V_{plug\ flow} = \int_{t-d(t)}^t q(s) ds$$

Dimana : t = waktu

s = jarak

q = segment volume



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Pada pembahasan pada bab-bab terdahulu dapat disimpulkan bahwa :

1. Mobil hybrid dapat menjadi salah satu solusi dalam memperlambat habisnya cadangan minyak nasional dan dunia
2. Mobil hybrid sangat efektif untuk hemat dalam konsumsi BBM dan ramah lingkungan
3. Karakteristik mobil hybrid lebih baik dari mobil konvensional
4. Mobil hybrid memenuhi dalam hal ambang batas emisi yang ditetapkan pemerintah dan dunia (standard Euro)
5. Pemodelan termodinamika dan lainnya dapat dibuat variasi yang lebih banyak untuk dapat mengetahui karakteristik yang lebih tepat dari mesin hybrid

#### 5.2 Saran

Pada skripsi ini penulis memberi saran kepada peneliti selanjutnya bahwa Hasil pemodelan termodinamika dan simulasi mobil hybrid dapat di bandingkan dengan percobaan experimental sehingga dapat diketahui nilai karakteristik yang lebih ideal.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Tri Tugaswati (2000) Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor dan Dampaknya Terhadap Kesehatan, Jakarta
- Ben Sorensen (2007), On the road performance simulation of hydrogen and hybrid cars, Roskilde University, Denmark, <http://mmf.ruc.dk/energy>
- Honda (2006), Emergency Response Guide for Hybrid Vehicles, American Honda Motor Co., Inc.  
[http://www.wikipedia.org/mobil\\_listrik](http://www.wikipedia.org/mobil_listrik)
- Isuzu (2005), New Environmentally-Friendly Products, Isuzu Environment & Social Report 2005
- Joseph J. Romm dan Andrew A. Frank (2006), Hybrid Vehicles, Scientific American, Inc., USA
- Kazuo Okamoto (2003), Environmental and Social Report 2003, Toyota, Japan
- Makalah Kendaraan Hybrid Alternatif Transportasi Masa Depan dari situs e-learning UGM
- Nikolay Shkolnik dan Alexander C. Shkolnik (2005), High Efficiency Hybrid Cycle Engine, Proceedings of ICEF 2005, ASME Internal Combustion Engine Division, Ottawa, Canada
- Peter Strandh (2002), Combustion Engine Models for Hybrid Vehicle System Development, Division of Combustion Engines Department of Heat and Power Engineering Lund Institute of Technology, Lund, Sweden
- Susan A. Shaheen dan Timothy E. Lipman (2007), Reducing Greenhouse Emission and Fuel Consumption, IATSS Research Vol. 31 No. 1, 2007

Toyota (1) (2007), A Guide to Hybrid Synergy Drive, Toyota Motor Corporation,

[http:// www.toyota.jp/en](http://www.toyota.jp/en)

Toyota (2) (2007), Hybrid System Operation, Toyota Technical Training

Toyota (3) (2007), Toyota Camry Hybrid 2007 Model Emergency Response  
Guide, Toyota Motor Corporation

Toyota Indonesia, [www.toyota.co.id](http://www.toyota.co.id)

