

## **PEMODELAN DAN SIMULASI KENDARAAN HIBRID SERI-PARALEL DENGAN CUSTOMIZED MATLAB/SIMULINK**

**Indra Chandra S, Prowoto**

Program Studi Magister Teknik Mesin – Universitas Pancasila

email : indraasti2014@gmail.com

### **ABSTRAK**

*Kendaraan hibrid merupakan salah satu jawaban dari Industri Otomotif terhadap tingginya tuntutan untuk menurunkan emisi gas buang dan penghematan pemakaian energi fosil. Dalam Penelitian ini, dirancang sebuah pemodelan kendaraan hibrid dengan konfigurasi seri-paralel dengan perangkat lunak Matlab/Simulink.*

*Untuk memodelkan sebuah kendaraan hibrid dan menganalisa kemampuan dari sebuah konfigurasi kendaraan hibrid, maka model tersebut harus mencakup kelima aspek pemodelan, meliputi dinamika kendaraan, sistem mesin dan transmisi, sistem kelistrikan, sistem kontrol dan siklus uji (drive cycle).*

*Kemampuan sebuah kendaraan hibrid dalam hal penghematan bahan bakar sangat ditentukan oleh sistem kontrol dan sistem kelistrikan yang dipilih, hal ini disebabkan pada konfigurasi ini pensuplai tenaga utama tetap pada mesin pembakaran dalam, sehingga sangat penting untuk dapat menjaga mesin beroperasi pada zona operasi yang memiliki efisiensi tinggi (high-efficiency zone) pada keseluruhan kondisi operasi.*

***Kata Kunci :** Hibrid, Matlab/Simulink, Siklus Uji, Zona Operasi.*

### **ABSTRACT**

*Hybrid vehicle is one of solution from Automotive Industries in answering the high demand of emission reduction and saving of fossil fuel. In this research, we designed a hybrid vehicle model using series-parallel configuration with Customized Matlab/Simulink software.*

*In order to model a hybrid vehicle and to analyze its performances, the model required five aspects of modeling, which cover vehicle dynamics, engine and transmission system, electrical system, control system and drive cycle.*

*Performance of hybrid vehicle in term of saving fuel mainly determined by the control system and electrical system, as in this configuration, internal combustion engine still the main power supply for whole system, it is utmost important to keep the engine operating in high-efficiency zone throughout the operating condition.*

***Keywords :** Hybrid, Matlab/Simulink, Drive Cycle , High-Efficiency Zone.*

### **PENDAHULUAN**

Sektor otomotif di Indonesia tumbuh sangat pesat dewasa ini seiring dengan meningkatnya daya beli masyarakat dan pertumbuhan ekonomi rata-rata 5,9 persen (yoy) pada rentang waktu 2007-2011. Dengan populasi mencapai 245 juta jiwa pada akhir tahun 2012, menjadikan Indonesia sebagai pasar yang sangat besar untuk produk-produk otomotif, baik roda 2 maupun roda 4. Berdasarkan proyeksi dari Gaikindo, pertumbuhan penjualan kendaraan roda 4 akan mencapai angka 14 persen per tahun dan

pada tahun 2015 total 1,5 juta kendaraan diharapkan akan terjual di Indonesia. Kondisi ini akan mengakibatkan tingginya jumlah pemakaian bahan bakar fosil yang saat ini masih menjadi bahan bakar utama kendaraan bermotor dan sekaligus makin meningkatnya emisi gas buang kendaraan ke lingkungan.

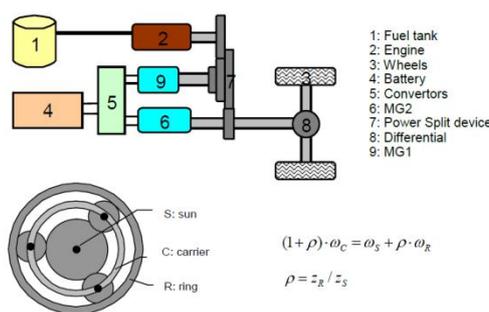
Salah satu terobosan dari industri otomotif saat ini dalam upaya mengurangi konsumsi bahan bakar serta emisi kendaraan adalah dengan memperkenalkan teknologi kendaraan hibrid. Pada kendaraan hibrid, tambahan komponen motor listrik dan baterai, memungkinkan mesin pembakaran

dalam bekerja pada hanya kondisi optimumnya dan juga terjadinya pemulihan energi pada saat proses pengereman. Namun kendala terbesar dalam mempopulerkan penggunaan kendaraan hibrid adalah faktor harga yang sangat tinggi. Hal ini dikarenakan belum adanya desain dan produksi kendaraan hibrid di Indonesia dan sistem perpajakan yang belum mendukung diberikannya insentif pada kendaraan jenis hibrid.

Pengembangan kendaraan hibrid membutuhkan biaya dan sumber daya yang sangat besar. Pemodelan dan simulasi diyakini sebagai salah satu langkah yang efektif dan efisien dalam sebuah proses pengembangan kendaraan hibrid dikarenakan tidak memerlukan prototipe fisik yang mahal.

**Landasan Teori**

Terdapat tiga jenis konfigurasi kendaraan hibrid yang umumnya dikembangkan oleh industri otomotif dewasa ini, yaitu seri, paralel dan seri-paralel. Masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangannya. Khusus untuk konfigurasi seri-paralel atau biasa dikenal sebagai konfigurasi power-split device (PSD), mampu menggabungkan keunggulan yang terdapat pada konfigurasi seri maupun paralel. Gambar 1 berikut merupakan gambaran umum konfigurasi pada sebuah kendaraan hibrid seri-paralel.



Gambar 1. Konfigurasi kendaraan hibrid seri-paralel

Kelemahan dari konfigurasi hibrid seri-paralel:

- a) Sistem yang sangat rumit, dan lebih mahal dibandingkan paralel hibrid

- b) Efisiensi dari power train transmisi sangat tergantung pada jumlah tenaga yang disalurkan pada jalur kelistrikan, dan karena beragam konversi, yang memiliki efisiensi masing-masing, berujung pada rendahnya efisiensi jalur listrik (~70%), dibandingkan pada jalur mekanikal murni yang bisa mencapai ~98%.

Keunggulan dari konfigurasi hibrid seri-paralel:

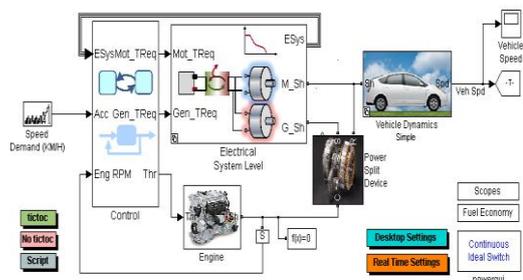
- a) Memiliki fleksibilitas maksimum untuk berganti dari tenaga listrik maupun mekanikal yang dihasilkan oleh mesin.
- b) Pemisahan penyaluran tenaga dari mesin dari kebutuhan tenaga oleh kendaraan, memungkinkan digunakannya mesin yang lebih ringan, kecil dan efisien (Miller atau Atkinson Cycle).

**Aspek Pemodelan**

Untuk mengetahui unjuk kerja sebuah konfigurasi kendaraan hibrid seri-paralel dalam sebuah pemodelan, dibutuhkan pemodelan yang mencakup kelima aspek sebagai berikut :

- 1) Dinamika Kendaraan
- 2) Mesin dan Sistem Transmisi
- 3) Sistem Kelistrikan
- 4) Sistem Kontrol
- 5) Drive Cycle (Siklus uji kendaraan)

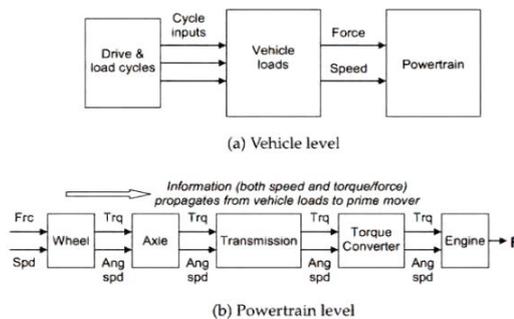
Seperti dijelaskan diatas, efisiensi total dari kendaraan sangat ditentukan oleh efisiensi jalur kelistrikan dan pada penelitian ini akan dimodelkan tiga jenis baterai untuk mengetahui seberapa besar pengaruh masing-masing jenis baterai terhadap total efisiensi kendaraan. Gambar 2 menunjukkan skema pemodelan yang dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 2. Model kendaraan hibrid seri paralel

## METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini dikembangkan sebuah program modeling kendaraan hibrid dengan konfigurasi seri- paralel menggunakan perangkat lunak Matlab/Simulink. Pendekatan modeling yang digunakan adalah metode *backward* (*The effect-cause method*). Metode ini dapat disebut juga sebagai *wheel-to-engine* atau *front-to-rear* metode yang beroperasi *backward*. Lewat sebuah siklus kecepatan/uji, maka dilakukan perhitungan gaya yang bekerja pada roda dan proses-proses kebelakangnya yang meliputi drivetrain sampai kepada sumber energi utama, yang berupa bahan bakar atau energi listrik. Adapun diagram alir dari pemodelan backward dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Metode backward modeling

Untuk dapat mengetahui kinerja kendaraan pada sistem level serta pengaruh dari masing masing komponen, maka dibuat pemodelan yang mencakup beberapa variasi sebagai berikut :

1. Dinamika Kendaraan :
  - 1.1. Model Sederhana : Tanpa memperhitungkan gesekan dan rugi-rugi sistem
  - 1.2. Model Lengkap : memperhitungkan gesekan dan rugi-rugi yang terjadi
2. Mesin dan Power Split Device
3. Sistem Kelistrikan, dalam hal ini dibagi menjadi 3 jenis baterai
  - 3.1. Ultra Capacitor
  - 3.2. Nickel Metal Hydride
  - 3.3. Fuel cell
4. Sistem Kontrol
5. Drive Cycle (Siklus uji kendaraan) : mengacu kepada siklus uji ECE-R101.

Khusus untuk kontrol sistem yang mengatur kondisi perpindahan mode penggerak, dalam penelitian ini menggunakan *ruled-based control strategy*. Hal ini didasarkan pada fakta bahwa sebagian

besar sistem kontrol kendaraan hibrid yang ada saat ini menggunakan strategi ini. Sistem kontrol harus menangani multiple-input dan sekaligus multiple objective.

Oleh karena mesin merupakan sumber daya yang utama, keseluruhan efisiensi kendaraan dapat dicapai secara realistis, jika mesin bekerja pada kondisi optimumnya. Ide ini merupakan cara yang paling mudah untuk mencapai solusi *near-optimal* dalam waktu yang cepat, walaupun tidak dapat dijamin bahwa nilai tersebut akan sangat mendekati dengan nilai optimum sesungguhnya. Untuk para insinyur yang dikejar oleh waktu, pendekatan strategi *ruled-based* merupakan pilihan aman dan terbaik.

Pada kendaraan hibrid, daya kerja dapat disediakan oleh mesin maupun motor. Pada saat kebutuhan daya masih rendah, dan kondisi SOC dari baterai masih sangat tinggi, maka motor bekerja sendiri untuk mensuplai tenaga pada kendaraan. Seiring meningkatnya kecepatan kendaraan, maka daya yang dibutuhkan juga semakin meningkat, atau SOC dari baterai pun sudah rendah, maka mesin akan bekerja untuk mensuplai daya pada kendaraan. Generator sendiri bekerja untuk menstart kendaraan bersama-sama dengan motor. Daya mesin akan di pisah oleh sistem PSD, pada kondisi operasi tertentu. Sebagian daya diteruskan untuk menggerakkan kendaraan lewat ring gear. Dan sebagian daya yang lain menggerakkan generator untuk mengisi baterai dan/atau disuplai langsung ke motor. Dengan kata lain, walaupun mesin mensuplai keseluruhan daya pada tahapan ini, tenaganya dipisahkan dan disalurkan lewat dua jalur, yaitu lewat ring gear ke roda dan ke generator untuk motor. Pada kebutuhan daya terus meningkat, maka mesin bisa bekerja pada daerah operasinya yang tidak efisien. Untuk kasus ini, maka motor dapat menyediakan tenaga cadangan untuk menjaga mesin tetap bekerja pada kondisi efisiensi yang tinggi (sepanjang baterai mampu mensuplai tenaga ke motor).

Pada saat kendaraan mengalami perlambatan, sistem kontrol *regenerative* memerintahkan motor untuk bekerja sebagai generator dan mengisi baterai. Sistem rem normal (gesekan) digunakan apabila gaya rem yang dibutuhkan melebihi kapasitas dari motor maupun baterai. Tabel 1 merupakan

rangkuman dari sistem kontrol yang diterapkan pada model ini.

Tabel 1. Sistem kontrol Ruled-Based

Kondisi	Mesin	Motor	Generator
$P_d < 0$ Braking	Off	Min( $P_d, P_{mmax}$ )	Off
$P_d < P_{ev}$ w/o charging	Off	$P_d$	Off
$P_{ev} < P_d < P_{emax}$ Or w/ charging	$P_d(+P_{ch})$	$P_g(-P_{ch})$	$P_e-Pr$
$P_d > P_{emax}$	$P_{emax}$	$P_g+P_{batt}$	$P_e-Pr$

Dimana ;

a)  $P_d$  = driver demand power

b)  $P_{mmax}$  = motor regenerative maximum power

c)  $P_{ev}$  = electric vehicle boundary power

d)  $P_{ch}$  = battery charging demand power

e)  $P_g$  = generator generated power

f)  $Pr$  = power transferred from engine to ring gear

g)  $P_e$  = engine output power

h)  $P_{emax}$  = maximum engine output power

i)  $P_{batt}$  = battery output power

## HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui unjuk kerja dan efek dari masing-masing komponen, khususnya perubahan dari baterai, maka dilaksanakan serangkaian simulasi. Hasil simulasi seperti pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Rangkuman hasil simulasi model

Urutan Simulasi	Model Kendaraan		Model Baterai		Waktu Simulasi (detik)	Konsumsi Bahan Bakar (km/l)	Improve ment terhadap baseline (%)
	Simple	Full	Ultra Capacitor	Nickel Metal H Fuel Cell			
1	o		o		110.9386	39.17	-
2	o			o	101.0678	39.50	0.85
3	o			o	194.992	39.92	1.89
4		o	o		125.2418	37.01	-
5		o		o	115.1752	37.36	0.91
6		o		o	197.6159	37.78	2.04

Dari simulasi seperti tertera pada tabel 2 diatas, beberapa bahasan yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut :

1) Pemodelan kendaraan hibrid dengan konfigurasi seri-paralel dengan pendekatan *backward* dapat dijalankan baik, dimana siklus uji ECE-R101 mampu disimulasikan dengan baik dan dari *power demand* yang ditentukan oleh siklus uji maka didapatkan seberapa besar konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan.

2) Faktor pemodelan dinamika kendaraan akan menentukan hasil simulasi kebutuhan bahan bakar walaupun menggunakan siklus uji yang sama. Pemodelan sederhana, akan menghasilkan waktu simulasi yang lebih singkat dan juga sekaligus konsumsi bahan bakar yang lebih rendah.

3) Faktor pemilihan baterai, juga akan sangat menentukan hasil simulasi kebutuhan bahan bakar. Baterai Ni-MH memberikan hasil konsumsi bahan bakar yang paling besar jika dibanding kedua model baterai yang lain, yaitu *ultra capacitor* dan *fuel cell*. Hal ini tentunya dipengaruhi oleh karakteristik *charge and discharge* dari baterai itu sendiri. Dan dalam hal ini baterai Ni-MH memiliki karakteristik *discharge* yang lebih besar dibandingkan dengan kedua jenis baterai yang lain.

4) *Rule-based* kontrol strategi dapat dijalankan dimodelkan dengan baik dengan menggunakan *stateflow*, dan proses optimasi dapat dijalankan dengan lebih cepat walaupun memang tidak ada garansi bahwa nilai yang diambil sudah sangat mendekati nilai optimum sebuah sistem kendaraan hibrid.

5) Model ini dapat digunakan untuk mempelajari sebuah kendaraan hibrid dengan konfigurasi seri-paralel dan pengaruh masing masing komponen terhadap unjuk kerja kendaraan yaitu berupa konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan untuk menyelesaikan sebuah siklus uji (*drive cycle*).

## KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dibuat sebuah program modeling dari sebuah kendaraan hibrid dengan konfigurasi seri-paralel dengan perangkat lunak Matlab/Simulink. Simulasi dapat dijalankan secara sistem level, dimana sebagai input digunakan siklus uji kendaraan sesuai dengan standar ECE-R101 yang juga digunakan oleh pemerintah Indonesia saat ini untuk menguji kendaraan baru yang akan dipasarkan.

Dari simulasi dapat diketahui performansi sebuah kendaraan hibrid dengan konfigurasi komponen tertentu, yaitu berupa besaran konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan oleh kendaraan untuk menyelesaikan satu siklus uji.

Modul modeling juga dapat mengakomodasi perubahan konfigurasi pada sistem kendaraan, dalam hal ini sistem dinamika kendaraan dan konfigurasi baterai yang digunakan.

Sistem kontrol, pemilihan komponen listrik, menjadi dua hal yang sangat penting dalam mendesain kendaraan hibrid seri-paralel. Hal ini dikarenakan sumber daya utama tetap pada mesin pembakaran dalam yang digunakan, dan upaya untuk menjadi agar mesin tetap bekerja pada daerah operasi dengan efisiensi yang tinggi akan menentukan seberapa besar konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan oleh kendaraan hibrid tersebut.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- 1) Alliance for Telecommunications Industry Solutions, Hybrid (2006-05-02), [http://www.atis.org/tg2k/\\_hybrid.html](http://www.atis.org/tg2k/_hybrid.html).
- 2) Alaküla, Mats, professor at the department of Industrial Electronics and Automation at Lund University of Technology
- 3) Jonasson, Karin, Control of Hybrid Electric Vehicles with Diesel Engines(2006-06-12)
- 4) European Community under the 5th Framework Program - Investigation on Storage Technologies for Intermittent Renewable Energy Evaluation and Recommended R&D Strategy – (2003, updated 2005)
- 5) Ming Qian, “Sliding Mode Controller Design for ABS System”, Master Thesis, Poly Technic Institute and State University
- 6) J.Y. Wong, “Theory of Ground Vehicles”, Third edition, United States of America, John Wiley & Sons. Inc., 2001
- 7) Gao, D.W.;Mi, C.;Emadi, A., “Modeling and Simulation of Electric Hybrid Vehicles”, Proceedings of the IEEE, Vol.95, issue 4, p.p. 729-745, April 2007
- 8) Grewe, T., Conlon, B., and Holmes, A., “Defining the General Motors 2-Mode Hybrid Transmission,” SAE paper no. 2007-01-0273, 2007
- 9) Ahn, K., Cho, S., Cha, S., “Optimal Operation of the Power-split Hybrid Electric Vehicle Powertrain,” Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D: Journal of Automobile Engineering, 225(5), pp. 789-800, 2008.