

# Analisa Kinerja Traksi Pada Kendaraan Gea Konvensional Dan *Hybrid*

Teguh Yuwono dan Yohanes

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail*: yunus@me.its.ac.id

**Abstrak**— Teknologi *hybrid* merupakan teknologi yang menggunakan dua sumber tenaga penggerak yaitu mesin pembakaran dalam dan motor elektrik[1]. Teknologi *hybrid* ditujukan agar dapat menambah daya penggerak dan juga mengurangi kebutuhan bahan bakar pada kendaraan. Pada penelitian ini akan dimodelkan kendaraan GEA yang diaplikasikan teknologi *hybrid* dengan konfigurasi paralel dengan menggunakan *mechanical torque coupling* yang kemudian dilajukan pada *driving cycle standard*. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah kebutuhan daya penggerak maksimum dari kendaraan yang melaju pada *driving cycle* NEDC tipe urban adalah 17,5 kW pada 3296 rpm. Kebutuhan *torque* penggerak maksimum dari kendaraan yang melaju pada *driving cycle* NEDC tipe urban adalah 51 Nm pada 2850 rpm. Daya penggerak maksimum yang dihasilkan oleh *engine* pada kendaraan GEA konvensional adalah sebesar 16,5 kW yang terjadi pada putaran 3296 rpm. *Torque* penggerak maksimum yang dihasilkan oleh *engine* pada kendaraan GEA konvensional adalah sebesar 48 Nm yang terjadi pada putaran 2850 rpm. Daya motor untuk kendaraan GEA *hybrid* adalah sebesar 2 kW. Daya penggerak maksimum yang dihasilkan oleh *engine* pada kendaraan GEA *hybrid* adalah sebesar 18,2 kW yang terjadi pada putaran 3296 rpm. *Torque* penggerak maksimum yang dihasilkan oleh *engine* pada kendaraan GEA *hybrid* adalah sebesar 70,87 Nm yang terjadi pada putaran 2850 rpm.

**Kata Kunci**— *Driving cycle*, Kendaraan GEA, *Hybrid Paralel*

## I. PENDAHULUAN

SETIAP kendaraan yang akan digunakan di jalan raya harus memenuhi kriteria kendaraan laik jalan. Salah satu kriteria yang digunakan adalah kendaraan harus mampu dilajukan pada *driving cycle standard*. *Driving cycle standard* adalah suatu pola mengemudi standard yang menggambarkan perilaku berkemudi di jalan raya. Kendaraan GEA adalah kendaraan produksi PT. INKA yang berdaya 650 cc dengan sistem transmisi 4 percepatan. Daya mesin ini tergolong kecil untuk melajukan kendaraan melewati *driving cycle standard*. Maka diperlukan sebuah pengembangan teknologi agar kendaraan GEA ini mampu memenuhi kriteria *driving cycle standard*.

Teknologi *hybrid* merupakan teknologi yang menggunakan dua sumber tenaga penggerak yaitu mesin pembakaran dalam dan motor elektrik[1]. Dengan motor elektrik sebagai *power boosting* diharapkan dapat menambah daya penggerak pada kendaraan GEA. Kendaraan *hybrid* saat ini banyak yang menggunakan konfigurasi seri dalam menggabungkan dua sumber tenaga penggerak. Namun konfigurasi seri ini membutuhkan dimensi kendaraan yang besar dan ongkos produksi yang mahal. Dibandingkan

dengan konfigurasi seri, kendaraan *hybrid* berkonfigurasi paralel tidak membutuhkan dimensi kendaraan yang besar karena penggunaan komponen yang lebih sedikit, sehingga ongkos produksi juga akan lebih murah. Oleh karena itu *hybrid* berkonfigurasi paralel lebih cocok diaplikasikan pada kendaraan GEA. Dalam mengaplikasikan teknologi *hybrid* pada kendaraan GEA tentu memerlukan biaya yang mahal. Oleh karena itu perlu digunakan sebuah pemodelan untuk mengetahui apakah pengembangan teknologi *hybrid* paralel pada kendaraan GEA ini mampu digunakan untuk memenuhi kriteria *driving cycle standard*.

Chris Manzie melakukan penelitian tentang nilai konsumsi bahan bakar pada *hybrid* dan *intelligent vehicle*[2]. Pada penelitian ini Chris Manzie memodelkan kendaraan melewati 3 *driving cycle* yang berbeda yaitu, US FTP, ECE EUDC, dan Australian Urban. Chris Manzie melakukan pemodelan dan menghitung nilai konsumsi bahan bakar dari *hybrid* dan *intelligent vehicle* dibandingkan dengan kendaraan konvensional untuk mendapatkan peningkatan nilai ekonomis bahan bakarnya. Dari penelitian ini didapat bahwa *hybrid vehicle* mampu menghemat penggunaan bahan bakar hingga 20% dibandingkan dengan kendaraan konvensional. Sedangkan untuk *intelligent vehicle* mampu menghemat penggunaan bahan bakar hingga 33% jika dibandingkan dengan kendaraan konvensional.

Pada tahun 2002, Hemant S. Suthar melakukan penelitian tentang nilai konsumsi bahan bakar pada suatu kendaraan dengan menggunakan transmisi otomatis dan *continuous variable transmission* dengan ratio yang dibatasi[3]. Pada penelitian kali ini dimodelkan sebuah kendaraan dengan menggunakan sistem transmisi otomatis kemudian dengan menggunakan sistem transmisi *continuous variable transmission* dengan ratio yang dibatasi yang melewati *EPA driving cycle* tipe *highway* dan urban. Dari pemodelan didapat nilai penggunaan bahan bakar untuk masing-masing transmisi dimana untuk nilai penggunaan bahan bakar untuk sistem transmisi otomatis pada saat melewati *EPA driving cycle* tipe urban adalah 22 mpg dan pada saat melewati *EPA driving cycle* tipe *highway* adalah 32 mpg. Sedangkan nilai penggunaan bahan bakar dengan sistem *continuous variable transmission* pada saat melewati *EPA driving cycle* tipe urban adalah 23 mpg dan pada saat melewati *EPA driving cycle* tipe *highway* adalah 34 mpg.

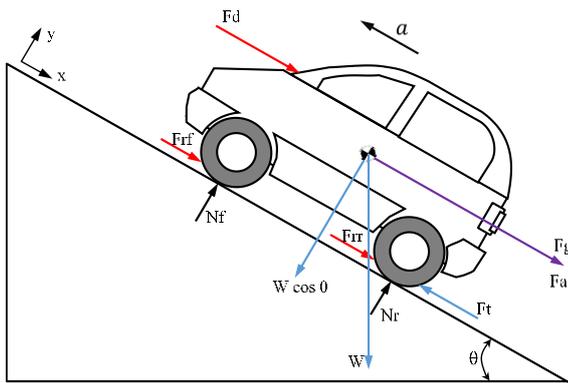
Penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui kebutuhan maksimum daya penggerak kendaraan untuk melaju pada *driving cycle* NEDC tipe urban secara *numeric* dan juga untuk mengetahui besar daya yang dihasilkan *engine* kendaraan GEA konvensional yang melaju pada *driving cycle*

NEDC tipe urban. Kemudian akan ditentukan besarnya kebutuhan daya motor listrik yang akan diaplikasikan pada kendaraan GEA *hybrid* sehingga dapat diketahui kinerja dari traksi kendaraan GEA *hybrid* yang melaju pada *driving cycle* NEDC tipe urban secara *numeric*.

II. DASAR TEORI

A. Dinamika Kendaraan

Karakteristik traksi kendaraan meliputi kemampuan kendaraan untuk dipercepat, diperlambat, dan untuk mengatasi jalan menanjak<sup>[6]</sup>. Karakteristik ini bisa didapatkan dari gaya-gaya yang bekerja pada kendaraan, meliputi gaya dorong dan gaya hambat.



Gambar. 1. Free Body Diagram Kendaraan Melaju di Jalan Menanjak

Sesuai hukum kedua Newton tentang gerak, maka berdasarkan *free body diagram* di atas dapat dibuat persamaan sebagai berikut:

$$F_t = F_a + F_d + F_g + F_{rf} + F_{rr} \tag{1}$$

Berdasarkan hasil penelitian, terungkap bahwa ada hubungan linear antara gaya *rolling resistance* ( $F_r$ ) dan berat roda ( $W_r$ ). Didefinisikan dalam persamaan berikut:

$$F_r = f_r \cdot W_r \tag{2}$$

Gaya hambat aerodinamik biasanya dirumuskan sebagai berikut.

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A_f \tag{3}$$

Gaya hambat tanjakan jalan atau gaya turunan jalan tergantung dengan sudut kemiringan jalan dan dihitung dari gaya yang bekerja pada *centre of gravity* ( $CoG$ ) kendaraan<sup>[5]</sup>. Gaya hambat jalan dirumuskan sebagai berikut:

$$F_g = m \cdot g \cdot \sin \theta \tag{4}$$

Total masa dari kendaraan yang juga terdiri dari masa komponen-komponen yang berputar pada saat kendaraan berakselerasi merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya gaya hambat akselerasi<sup>[4]</sup>. Dimana gaya hambat akselerasi dirumuskan sebagai berikut:

$$F_a = m \cdot a \tag{5}$$

B. Drive Train Kendaraan

Untuk mendapatkan nilai torsi pada roda maka dapat digunakan persamaan berikut:

$$T_r = F_t \cdot r_{dyn} \tag{6}$$

Dimana  $r_{dyn}$  adalah jari-jari *dynamic* roda. Dengan mengasumsikan kendaraan tidak mengalami slip, maka dapat dituliskan kecepatan putaran roda kendaraan dengan persamaan berikut:

$$n_r = \frac{v}{2 \cdot \pi \cdot r_{dyn}} \cdot \frac{60}{36} \tag{7}$$

Putaran dan torsi dari roda akan diteruskan ke *drive shaft* dengan melalui *final drive gear*. Kemudian dari *drive shaft* akan diteruskan ke *gearbox*. Setelah melalui *gearbox* maka akan didapatkan torsi pada *engine* dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_{eng} = \frac{T_r}{i_e \cdot i_g \cdot i_s} \tag{8}$$

Sedangkan untuk kecepatan putaran *engine* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$n_{eng} = n_r \cdot [i_e \cdot i_g \cdot i_s] \tag{9}$$

Daya yang dikeluarkan oleh *engine* dapat dihitung dari perkalian torsi dan kecepatan putaran *engine* yang dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{eng} = T_{eng} \cdot n_{eng} \tag{10}$$

III. METODOLOGI

A. Pemodelan Traksi Kendaraan GEA Konvensional

Pada pemodelan dinamika kendaraan GEA konvensional dengan *driver logic* dibuat dengan menggunakan persamaan dasar dinamika kendaraan dan persamaan *drive train* kendaraan. Dengan input *driving cycle* NEDC tipe urban akan didapatkan kebutuhan daya kendaraan atau daya *driving cycle*. Dalam pemodelan ini akan menyertakan *driver logic* berupa pengaturan bukaan *throttle* dan pemindahan rasio transmisi pada *gearbox*. Diharapkan dengan memodelkan *driver logic* dapat memodelkan seorang pengemudi yang berjalan pada *driving cycle* NEDC tipe urban, selain itu dari pemodelan ini akan didapatkan daya yang dihasilkan oleh *engine* kendaraan GEA konvensional atau disebut daya *engine*.

B. Perhitungan Kebutuhan Daya Motor Listrik

Dengan data peta kebutuhan daya kendaraan pada saat berjalan dengan *driving cycle* NEDC tipe urban dan peta daya yang dihasilkan oleh *engine* kendaraan GEA konvensional ini maka akan ditentukan sebuah motor listrik yang dapat membantu kinerja *engine* kendaraan GEA konvensional dalam memenuhi kebutuhan daya kendaraan. Besarnya daya motor listrik didapatkan dari selisih kebutuhan maksimum daya yang harus dipenuhi dan daya maksimum yang mampu

dihasilkan oleh *engine*.

Setelah didapat nilai daya motor listrik yang akan diaplikasikan pada kendaraan GEA kemudian kembali dilakukan simulasi untuk mengetahui kinerja traksi kendaraan GEA *hybrid*

**C. Pemodelan Traksi Kendaraan GEA Hybrid**

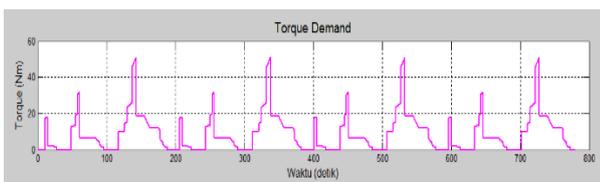
Setelah mendapatkan kebutuhan daya *engine* dan motor listrik maka akan dimodelkan traksi kendaraan *hybrid* yang menggabungkan daya *engine* dan daya motor listrik. Perlunya untuk melakukan pemodelan adalah untuk mengetahui kinerja traksi kendaraan *hybrid* terhadap kebutuhan daya penggerak dari *driving cycle*. Pemodelan traksi kendaraan *hybrid* ini berdasarkan pada aliran daya pada sistem *drivetrain* kendaraan *hybrid* dan juga *power management control* yang berdasarkan pada kebutuhan kecepatan kendaraan.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Hasil Pemodelan Kebutuhan Traksi Kendaraan**

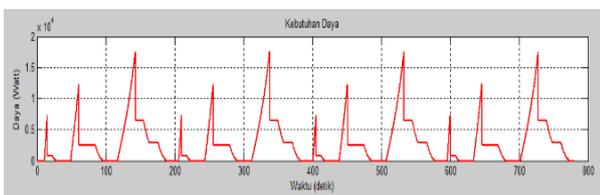
Dalam pemodelan ini *driving cycle* NEDC tipe urban dijadikan sebagai parameter awal dalam menghitung besarnya kebutuhan daya penggerak kendaraan GEA

Berikut hasil pemodelan kebutuhan torsi penggerak pada *driving cycle* NEDC tipe urban:



Gambar. 2. Kebutuhan Torque Kendaraan GEA

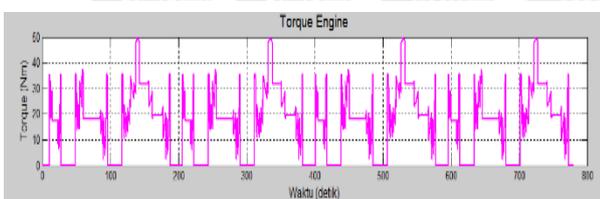
Grafik berwarna magenta adalah kebutuhan *torque* dalam Nm kendaraan GEA untuk melaju pada *driving cycle* NEDC tipe urban. Selain didapat kebutuhan torsi, dari pemodelan juga dapat diketahui kebutuhan daya. Berikut adalah grafik kebutuhan daya kendaraan yang melaju pada *driving cycle* NEDC tipe urban:



Gambar. 3. Hasil Simulasi Kebutuhan Daya Penggerak

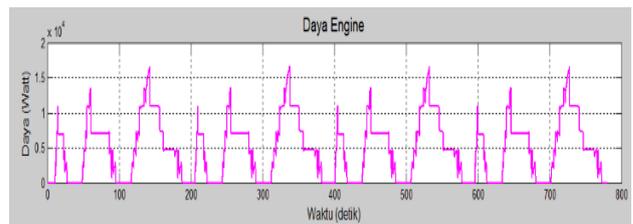
**B. Hasil Pemodelan Traksi Kendaraan GEA Konvensional**

Dengan mengetahui *engine throttle map* dari kendaraan GEA konvensional kita dapat mengetahui berapa besarnya *torque* yang dikeluarkan *engine* pada putaran dan bukaan *throttle* tertentu sebagai berikut:



Gambar. 4. Hasil Simulasi Torque Engine Kendaraan GEA Konvensional

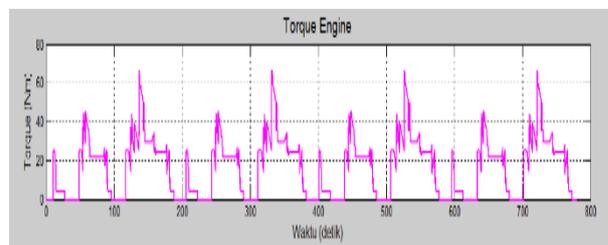
Dengan mengetahui *torque* yang dihasilkan oleh *engine* sehingga dengan menggunakan persamaan (10), didapatkan peta daya yang dihasilkan oleh *engine* kendaraan GEA konvensional sebagai berikut:



Gambar. 5. Hasil Simulasi Daya yang Dihasilkan Engine Kendaraan GEA Konvensional

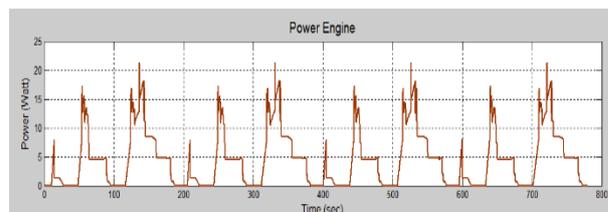
**C. Hasil Pemodelan Traksi Kendaraan Hybrid**

*Hybrid electric system* yang digunakan pada pemodelan dinamika kendaraan GEA ini digunakan sebagai *power boosting* agar kendaraan dapat berjalan sesuai dengan *driving cycle* NEDC tipe urban. Berikut hasil simulasi torsi kendaraan GEA *hybrid* yang melaju pada *driving cycle* NEDC tipe urban:



Gambar. 6. Hasil Simulasi Torque Engine Kendaraan GEA Hybrid

Grafik berwarna magenta adalah *torque* yang dihasilkan kendaraan GEA *hybrid* dalam Nm untuk melaju pada *driving cycle* NEDC tipe urban. Sehingga dengan menggunakan persamaan (10) didapat daya yang dikeluarkan *engine hybrid* sebagai berikut:



Gambar. 7. Hasil Simulasi Daya yang Dihasilkan Engine Kendaraan GEA Hybrid

Sehingga dari hasil simulasi yang telah dilakukan dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel. 1. Hasil Simulasi Pemodelan Dinamika Kendaraan GEA

Tipe	T <sub>Max</sub> (Nm)	n <sub>Tmax</sub> (rpm)	P <sub>Max</sub> (kW)	n <sub>Pmax</sub> (rpm)
Kebutuhan <i>Driving Cycle</i>	51	2850	17,5	3296
GEA Konvensional	48	2850	16,5	3296
GEA Hybrid	70,87	2850	18,2	3296

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa dari pemodelan dinamika kendaraan GEA konvensional dan *hybrid* pada *driving cycle* NEDC tipe urban pada program matlab simulink dapat disimpulkan bahwa:

1. Kebutuhan daya penggerak kendaraan untuk melaju pada *driving cycle* NEDC tipe urban adalah:
  - a. Daya maksimum sebesar 17,5 kW yang terjadi pada putaran 3296 rpm.
  - b. Torque maksimum sebesar 51 Nm yang terjadi pada putaran 2850 rpm.
2. Daya *engine* yang dihasilkan kendaraan GEA konvensional yang melaju pada *driving cycle* NEDC tipe urban adalah:
  - a. Daya maksimum sebesar 16,5 kW yang terjadi pada putaran 3296 rpm.
  - b. Torque maksimum sebesar 48 Nm yang terjadi pada putaran 2850 rpm.
3. Daya motor listrik yang akan diaplikasikan pada kendaraan GEA hybrid adalah sebesar 2 kW.
4. Pengaplikasian teknologi *hybrid* pada kendaraan GEA konvensional mampu membantu kendaraan GEA memenuhi kriteria *driving cycle* NEDC tipe urban dengan menghasilkan daya penggerak sebagai berikut:
  - a. Daya maksimum sebesar 18,2 kW yang terjadi pada putaran 3296 rpm.
  - b. Daya motor listrik yang akan diaplikasikan pada kendaraan GEA hybrid adalah sebesar 2 kW.

## LAMPIRAN

### Spesifikasi Kendaraan GEA

$m$	: 1500 Kg	Massa kendaraan penuh
$W$	: 6474,6 N	Berat kendaraan
$A_f$	: 2,5 m <sup>2</sup>	Luas frontal kendaraan
$C_d$	: 0,79	Koefisien drag Kendaraan
$\rho$	: 1,9kg/m <sup>3</sup>	Massa jenis udara
$r_{dyn}$	: 0,264m	radius dinamik roda

### Data Transmisi Kendaraan GEA

$I_s$	: 1,6
ratio moving off element kendaraan	
$I_g$	: [4 2,8 1,8 1,0257]
ratio gearbox kendaraan	
$I_e$	: 4,01
ratio final gear kendaraan	

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada laboratorium Otomotif Jurusan Teknik Mesin ITS yang telah banyak mendukung kelancaran penelitian kali ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mi,Chris.Masrur,Abdul,M.Gao,David,W.2011. **Hybrid Electric Vehicle Principles and Applications with Practical Perspectives First Edition**.USA:John Willey & Sons
- [2] Manzie,Cris.Watson,H.Halgamuge,S.2007.**Fuel Economy Improvements for Urban Driving: Hybrid vs. Intellegent Vehicle**.The University of Melbourne
- [3] Suthar,Hemant.S.2002.**Vehicle Simulations of Fuel Economy for an Automatic Transmission and Ratio Limited Continuously Variable Transmission**.Rochester Institute of Technology
- [4] Naunheimer,H, dkk.**Automotive Transmissions Fundamentals, Selection, Design, and Application Second Edition**.German:Springer
- [5] Ehsani, Mehrdadi, dkk. 2010.**Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles Fundamentals, Theory, and Design Second Edititon**. USA:CRC Press LLC
- [6] Sutantra,I Nyoman, dkk. 2010.**Teknologi Otomotif Edisi Ke-Dua**.Surabaya:Guna Widya
- [7] <http://www.tireliquidators.net/drivetrain.htm>
- [8] Rizky,Mohamad,F.2013.**Analisa Kinerja Sistem Transmisi Pada Kendaraan Multiguna Pedesaan untuk Mode Pengaturan Kecepatan Maksimal Pada Putaran Maksimal dan Daya Maksimal Engine**.Surabaya:Insititut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya