

MODEL MEKANISTIK UNTUK MEMPERKIRAKAN KONSUMSI BAHAN BAKAR KENDARAAN

T. Priangkoso

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Wahid Hasyim
Semarang
Jl Menoreh Tengah X/22
Semarang

Model mekanistik memiliki keunggulan dibanding model empirik, yaitu pada fleksibilitas penggunaannya. Model mekanistik konsumsi bahan bakar digunakan untuk memperkirakan laju konsumsi bahan bakar dengan kemungkinan keadaan perilaku pengendaraan, lingkungan, kendaraan yang berbeda-beda berdasarkan beban jalan yang terdiri dari beban aerodinamik, beban akibat hambatan gelinding, percepatan inersia, dan beban gravitasi. Model mekanistik ini menggunakan teknik lumped parameter untuk menyederhanakan persamaan yang digunakan. Mengingat kesederhanaannya, model ini tidak dapat digunakan untuk melakukan assesment teknologi kendaraan.

Kata kunci : *model mekanistik, beban, lumped parameter*

Pendahuluan

Kendaraan bermotor menjadi pengguna bahan bakar minyak terbesar di Indonesia. Lebih dari setengah konsumsi bahan bakar minyak digunakan oleh kendaraan bermotor sebagai sarana transportasi darat. Hal ini juga menyebabkan kendaraan bermotor menjadi penyumbang gas rumah kaca yang harus diperhitungkan.

Intensitas lalu lintas semakin lama semakin padat sehingga menyebabkan penurunan efisiensi konsumsi bahan bakar (Saboo, et al.). Kondisi ini menyebabkan perkiraan konsumsi bahan bakar kendaraan sulit untuk dilakukan pada kondisi sebenarnya di lapang. Salah satu alternatif untuk memperkirakan konsumsi bahan bakar kendaraan adalah dengan menggunakan model.

Pemodelan konsumsi energi bahan bakar kendaraan telah lama menjadi perhatian para peneliti, terutama untuk memperkirakan tingkat konsumsi bahan bakar kendaraan. Pemodelan menjadi hal penting dalam perencanaan pengeluaran bahan bakar bagi armada angkutan, perencanaan lalu lintas, atau mengatur strategi pengendaraan.

Pemodelan Mekanistik

Model hubungan konsumsi bahan bakar dengan perilaku berkendara dibedakan menjadi dua macam, yaitu model empirik dan model mekanistik (Bennett, et al., 2001).

Model empirik merupakan hasil eksperimen baik di laboratorium maupun di lapang. Model empirik merupakan pendekatan praktis dalam pembuatan model konsumsi bahan bakar.

Model empirik memiliki keterbatasan yaitu sulit untuk digunakan untuk menentukan

konsumsi bahan bakar secara lebih akurat karena tidak memperhitungkan karakteristik kendaraan dan perilaku pengendaraan. Faktor-faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar pada model empirik terbatas pada kecepatan kendaraan dan kondisi jalan, sehingga tidak dapat digunakan untuk memperkirakan konsumsi bahan bakar agar mendekati keadaan sebenarnya yang selalu berubah-ubah. Model-model empirik tersebut dan model-model sejenisnya digunakan hanya untuk memperkirakan konsumsi bahan bakar saat kendaraan bergerak dalam arus lalu lintas sebagai dasar perencanaan lalu lintas secara global.

Model mekanistik memperkirakan konsumsi bahan bakar sebanding dengan gaya-gaya yang melawan gerak kendaraan. Jumlah dan arah semua gaya yang melawan gerak kendaraan akan menentukan tingkat konsumsi bahan bakar. Model mekanistik memiliki keunggulan-keunggulan dibanding model empirik, yaitu lebih fleksibel. Model mekanistik memungkinkan perubahan pada karakteristik kendaraan dan memberi kemudahan untuk disesuaikan dengan kondisi yang berbeda-beda (Bennett, et al., 2001).

Laju konsumsi bahan bakar sesaat sering digunakan untuk memperkirakan konsumsi bahan bakar pada kondisi non-steady baik pada daerah perkotaan maupun jalan bebas hambatan. Model ini memasukkan percepatan dan kecepatan sesaat serta kondisi *idle* untuk memperkirakan konsumsi bahan bakar kendaraan.

Model-model mekanistik memungkinkan penggunaan model pada keadaan yang berubah-ubah sesuai dengan perilaku pengendaraan, termasuk memperhitungkan karakteristik kendaraan.

Pemodelan mekanistik juga memiliki kelemahan. Meskipun telah berusaha memasukkan berbagai faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar, tetap saja terdapat faktor-faktor yang tidak terliput di dalam model. Sebaliknya, pemodelan empirik, meskipun hanya dapat digunakan pada kondisi yang tertentu, meliputi semua faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar.

Pada kenyataannya, model empirik juga melibatkan model mekanistik, demikian pula sebaliknya, model mekanistik mengandung model empirik (Nestorov, 1999). Paper ini memilih pemodelan mekanistik untuk pemodelan konsumsi bahan bakar dengan pertimbangan bahwa model mekanistik lebih fleksibel karena dapat disesuaikan dengan berbagai keadaan atau faktor-faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar kendaraan.

Pemodelan konsumsi bahan bakar

Pemodelan konsumsi bahan bakar secara mekanistik menggunakan beban jalan (*road load*) yang terdiri dari daya untuk mengatasi hambatan aerodinamik, gelinding (*rolling*), inersia, dan gravitasi sebagai input untuk memperoleh tingkat konsumsi bahan bakar. Parameter-parameter yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar disusun dalam *lumped parameter*. Dengan menggunakan *lumped parameter*, model menjadi sederhana (wikipedia.org). Meskipun menjadi sederhana, pemodelan ini cukup mewakili atribut pengendaraan kendaraan.

Daya yang harus diberikan oleh mesin kendaraan adalah

$$P_{road} = P_a + P_r + P_i + P_g \quad (1)$$

dimana P_{road} adalah beban jalan, P_a adalah beban aerodinamik, P_r adalah beban gelinding, P_i adalah beban inersia, dan P_g adalah beban gravitasi karena tanjakan.

Beban aerodinamik disebabkan oleh tahanan aerodinamik akibat kendaraan "menerjang" udara. Asumsi yang digunakan adalah udara lingkungan yang dilewati oleh kendaraan dalam keadaan tidak bergerak, sehingga kecepatan relatif yang terjadi besarnya sama dengan laju kendaraan. Beban aerodinamik kendaraan besarnya

$$P_a = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot A \cdot v^3 \quad (2)$$

dimana P_a adalah beban aerodinamik, ρ adalah kerapatan udara, C_D adalah koefisien tahanan aerodinamik, A adalah luas frontal kendaraan, dan v adalah laju kendaraan.

Beban gelinding terjadi karena kontak ban kendaraan dengan jalan. Besarnya hambatan gelinding dipengaruhi oleh besarnya koefisien hambatan gelinding (*rolling resistance coefficient*) yang dipengaruhi oleh jenis jalan yang dilalui kendaraan dan berat kendaraan. Besarnya beban gelinding adalah

$$P_r = C_R \cdot m \cdot g \cdot v \quad (3)$$

dimana P_r adalah beban akibat hambatan gelinding, C_R adalah koefisien hambatan gelinding, m adalah massa total kendaraan, g adalah percepatan gravitasi bumi, dan v laju kendaraan.

Beban inersia terjadi ketika kendaraan melakukan percepatan. Komponen-komponen kendaraan yang berputar memberikan beban karena percepatan putaran. Besarnya beban inersia diberikan oleh persamaan

$$P_i = k \cdot m \cdot a \cdot v \quad (4)$$

dimana P_i adalah beban inersia, k adalah faktor yang berkaitan dengan inersia, m adalah massa total kendaraan, a adalah percepatan, dan v adalah laju kendaraan.

Beban gravitasi terjadi ketika kendaraan melewati jalan yang menanjak. Besarnya beban gravitasi adalah

$$P_g = m \cdot g \cdot z \cdot v \quad (5)$$

dimana P_g adalah beban gravitasi, m adalah massa total kendaraan, g adalah percepatan gravitasi bumi, z adalah kemiringan jalan, dan v laju kendaraan.

Besarnya daya yang harus diberikan oleh mesin harus dapat mengatasi seluruh beban jalan. Besarnya konsumsi bahan bakar sangat bergantung pada efisiensi konversi energi dari bahan bakar menjadi energi mekanis melalui pembakaran dalam silinder dan efisiensi transmisi daya dari mesin ke roda.

Total daya yang harus diberikan oleh mesin adalah

$$P_e = \frac{P_{road}}{\eta_{tr}} \quad (6)$$

dimana P_e adalah daya yang harus diberikan mesin, P_{road} adalah beban jalan, dan η_{tr} adalah efisiensi transmisi daya dari mesin ke roda.

Karena daya mesin diperoleh dari konversi energi bahan bakar, maka besarnya daya yang dihasilkan oleh mesin dipengaruhi oleh laju konsumsi bahan bakar dan efisiensi mesin dalam mengkonversi energi bahan bakar menjadi energi mekanis. Dengan demikian laju konsumsi bahan bakar adalah

$$FC = \frac{P_e}{\eta_e \cdot LHV} \quad (7)$$

dimana FC adalah laju konsumsi bahan bakar, P_e daya yang dihasilkan mesin, η_e efisiensi mesin dalam mengkonversi energi bahan bakar menjadi energi mekanis, dan LHV adalah nilai kalor bahan bakar terendah.

Dengan menggunakan persamaan (1) sampai (7), model konsumsi bahan bakar kendaraan dapat dituliskan sebagai

$$FC = \left(\frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot A \cdot v^3 + C_R \cdot m \cdot g \cdot v + k \cdot m \cdot a \cdot v + m \cdot g \cdot z \cdot v \right) / (\eta_{tr} \eta_e LHV)$$

D. Diskusi

Model mekanistik yang dihasilkan sangat sederhana. Parameter-parameter yang digunakan mewakili parameter pengendalian, lingkungan, dan kendaraan itu sendiri. Parameter pengendalian diberikan oleh laju dan percepatan kendaraan, parameter lingkungan diberikan oleh kondisi jalan yang dipresentasikan dengan koefisien hambatan gelinding dan kecepatan relatif udara yang memberikan beban aerodinamik. Faktor kondisi jalan juga diberikan oleh kemiringan jalan yang menghasilkan beban gravitasi.

Parameter kendaraan diberikan oleh massa total kendaraan, koefisien inersia, koefisien aerodinamik dan luas frontal kendaraan.

Penyederhanaan laju bahan bakar yang dikonsumsi mesin tidak dapat akurat karena hanya dipresentasikan dengan satu koefisien saja. Padahal, banyak faktor yang mempengaruhi efisiensi konversi energi dari bahan bakar menjadi energi mekanis, di

antaranya bukaan katup trotoar, temperatur dan kelembaban udara lingkungan, maupun sistem penyalaan bahan bakar (Heywood, 1988).

Hal inilah yang disebut sebagai kelemahan pemodelan mekanistik dibanding pemodelan empirik. Penganut pemodelan empirik menyatakan bahwa semakin empirik suatu model maka model makin mendekati kenyataan karena seluruh fenomena terliput di dalamnya. Tetapi pemodelan mekanistik memiliki kemampuan lebih baik dalam melakukan perkiraan. (Nestorov, 1999).

Seperti dinyatakan sebelumnya, tidak ada model yang murni empirik maupun mekanistik. Kedua pemodelan ini satu sama lain saling melengkapi. Keunggulan pemodelan empirik adalah dapat mencakup seluruh fenomena, tetapi hanya berlaku untuk kondisi tertentu, sehingga jika kondisi berubah, maka model yang dihasilkan tidak berlaku.

Model mekanistik memungkinkan penyesuaian model untuk kondisi-kondisi yang berbeda. Pada model mekanistik konsumsi bahan bakar kendaraan, parameter-parameter perilaku pengendalian, lingkungan, maupun kendaraan dapat diubah sesuai dengan kebutuhan. Banyak parameter yang digunakan dalam model ini menggunakan hasil empirik seperti koefisien hambatan gelinding, koefisien hambatan aerodinamik, efisiensi transmisi, dan lain-lain.

Dengan demikian, model ini dapat digunakan untuk mewakili model konsumsi bahan bakar kendaraan. Hanya saja, mengingat sederhananya model, model ini tidak dapat digunakan untuk melakukan *assessment* teknologi kendaraan. Model ini hanya dapat digunakan untuk memperkirakan konsumsi bahan bakar.

Kesimpulan

Model mekanistik konsumsi bahan bakar cukup mewakili fenomena-fenomena yang terjadi dalam pengendalian kendaraan. Model ini juga cukup fleksibel karena dapat digunakan pada perilaku pengendalian, lingkungan, dan kendaraan yang berbeda-beda. Tetapi, model ini tidak dapat digunakan untuk melakukan *assessment* teknologi kendaraan karena kesederhanaan model.

Daftar Pustaka

- Sabooi Y, Farzaneh H, *Model for developing an eco-driving strategy of a passenger vehicle based on the least fuel consumption*, Applied Energy (2009), doi:10.1016/j.apenergy.2008.12.017
- Bennett, C., R., Greenwood, I., D., *Modelling road user and environmental effects in HDM-4*,

- volume SEVEN, The World Road Association (PIARC), 2001.
- Nestorov, I., et.al., Empirical Versus Mechanistic Modelling: Comparison of an *Artificial Neural Network to a Mechanistically Based Model for Quantitative Structure Pharmacokinetic Relationships of a Homologous Series of Barbiturates*, AAPS Pharmsci 1999; 1 (4) article 17 (<http://www.pharmsci.org>)
- Heywood, J.B., *Internal Combustion Engine Fundamental*, McGraw Hill Inc., 1988.
- Lumped* parameter, http://en.wikipedia.org/wiki/Lumped_parameter, 2009.