
TINJAUAN BEBERAPA MODEL MEKANISTIK TINGKAT KONSUMSI BAHAN BAKAR UNTUK DITERAPKAN PADA PROGRAM SIMULATOR MENGENAL HEMAT ENERGI SMART DRIVING

Tabah Priangkoso¹⁾ dan Nazaruddin Sinaga²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik UNWAHAS

Jl. Menoreh Tengah X/22 Sampangan, Semarang

²⁾ Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNDIP

Jl. Prof. H. Sudharto, SH., Semarang

e-mail: tabah@ymail.com

Abstrak

Program mengemudi Smart Driving merupakan simulator pelatihan mengemudi hemat energi. Program membutuhkan model yang memungkinkan simulator merepresentasikan kenyataan. Model mekanistik banyak digunakan untuk memperkirakan konsumsi bahan bakar kendaraan. Model mekanistik memperkirakan konsumsi bahan bakar sebanding dengan gaya-gaya yang melawan gerak kendaraan. Faktor yang paling menentukan besarnya konsumsi bahan bakar pada suatu pengendalian adalah perilaku berkendara. Paper mengulas tiga model mekanistik konsumsi bahan bakar kendaraan, yaitu aaMOTION, PERE (Physical Emission Rate Estimator), dan HDM-4 (Highway and Development Management-4 untuk melihat kemungkinan penerapan model pada program. Ketiga model tidak memuat seluruh perilaku berkendara. aaMOTION dan HDM-4 tidak memasukkan perilaku posisi gigi, sedangkan PERE tidak memperhitungkan perilaku stasioner ke dalam model. Sebagai model, ketiganya telah memenuhi syarat sebagai model mekanistik dan dapat digunakan sesuai kebutuhan penggunaannya, namun masih memerlukan penyempurnaan untuk digunakan sebagai model dalam program.

Kata kunci: model mekanistik, perilaku berkendara, konsumsi bahan bakar

PENDAHULUAN

Smart Driving merupakan metode berkendara yang hemat energi, ramah lingkungan, selamat dan nyaman. Di Indonesia, metode berkendara Smart Driving telah terbukti menurunkan konsumsi bahan bakar kendaraan dengan cara mengubah perilaku berkendara yang dimiliki pengemudi menjadi perilaku berkendara yang dapat memberikan efisiensi tertinggi. Penggunaan simulator sebagai sarana pelatihan untuk mengubah perilaku pengemudi banyak digunakan karena kondisi lingkungannya dapat diatur, aman, dan dapat diulang-ulang dengan biaya lebih sedikit dibanding pelatihan pada kondisi nyata (Chung, 2004). Simulator memerlukan program sebagai komponen utama perangkat lunaknya. Model tingkat konsumsi bahan bakar kendaraan digunakan sebagai salah satu komponen program simulator Smart Driving. Model yang sangat sesuai untuk diterapkan adalah model mekanistik, mengingat model mekanistik menawarkan fleksibilitas dalam penggunaannya karena dapat digunakan untuk kondisi-kondisi yang berbeda atau berubah.

Detail-detail dalam model mekanistik konsumsi bahan bakar kendaraan memungkinkan perkiraan yang lebih realistis dalam melakukan analisis. Seluruh 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 memungkinkan perubahan pada karakteristik kendaraan dan memberi kemudahan untuk disesuaikan dengan kondisi yang berbeda-beda. (Bennett & Greenwood, 2001). Selain digunakan untuk melawan hambatan gerak kendaraan, energi digunakan untuk melawan hambatan gesek komponen kendaraan seperti pada mesin dan transmisi. Energi yang diperoleh dari bahan bakar tidak seluruhnya digunakan untuk bergerak, sebagian besar energi terbuang sebagai panas, dan sebagian lagi terbuang karena kondisi *idle* (stasioner), terutama di daerah perkotaan. Model mekanistik dipandang lebih fleksibel karena memperhitungkan aspek-aspek yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar kendaraan.

Paper ini meninjau dan membandingkan tiga model mekanistik, yaitu aaMOTION, PERE (*Physical Emission Rate Estimator*), dan HDM-4 (*Highway and Development Management-4*) untuk melihat sampai seberapa jauh model-model ini mengelaborasi pengaruh parameter kendaraan, lingkungan, dan perilaku berkendara terhadap konsumsi bahan bakar.

TINJAUAN PUSTAKA

Pada kenyataannya, tidak terdapat model yang murni mekanistik. Model-model mekanistik yang ada selalu memanfaatkan hasil eksperimen dan persamaan-persamaan empirik seperti model konsumsi bahan bakar dan emisi aaMOTION (Akçelik & Besley, 2003), *Physical Emission Rate Estimator* (PERE) (Nam, 2004), maupun *Highway and Development Model* (HDM-4) (Bennett & Greenwood, 2001). Pada umumnya, model mekanistik memperkirakan laju konsumsi bahan bakar sesaat 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 sesaat. Dengan demikian, model mekanistik dapat dikatakan sesuai digunakan untuk melakukan analisis faktor-faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar secara dinamis.

Model mekanistik juga memiliki kelemahan dalam pemodelannya, yaitu tidak semua faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar kendaraan terangkum di dalam model. Banyaknya faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar kendaraan memaksa pemodel memilih faktor-faktor yang dianggap paling berpengaruh dalam konsumsi bahan bakar kendaraan. Hasilnya adalah terdapat perbedaan-perbedaan unsur dalam model mekanistik yang disusun oleh pemodel yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada kajian tiga model mekanistik berikut ini.

1. Model aaMOTION

Parameter dalam model aaMOTION adalah parameter kendaraan meliputi massa, tingkat konsumsi bahan bakar atau emisi dalam keadaan stasioner, tingkat efisiensi atau emisi. Parameter kendaraan yang digunakan dalam pemodelan konsumsi bahan bakar dan emisi ini diturunkan dengan mempertimbangkan komposisi kendaraan (persentase kilometer kendaraan untuk setiap tipe kendaraan) dengan data lebih lengkap meliputi jenis bahan bakar, daya maksimum, rasio daya terhadap berat, jumlah roda dan koefisien hambatan gelinding, luas frontal, dan koefisien seret aerodinamik. Parameter lainnya adalah parameter lalu lintas dan jalan meliputi kecepatan, percepatan dan kemiringan jalan (Akçelik & Besley, 2003).

Model ini disajikan dalam bentuk

$$\begin{aligned} & \text{untuk} \\ & \text{untuk} \end{aligned} \quad (1)$$

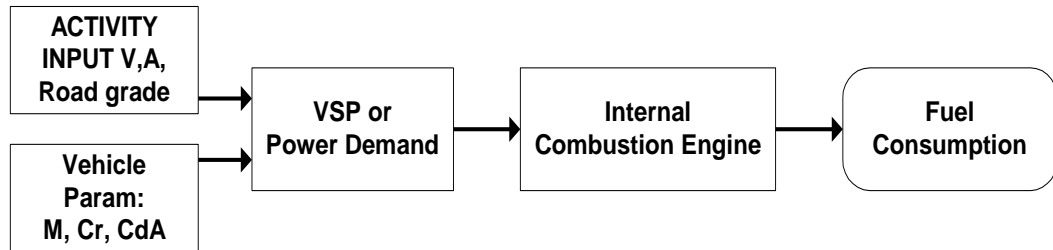
dimana T = gaya traksi total (kN), meliputi hambatan gelinding, aerodinamik, belokan, inerti dan kemiringan, m = massa kendaraan (kg), v = kecepatan sesaat (m/s), a = percepatan sesaat (m/s^2), F_{idle} = laju bahan bakar *idle* (mL/s), η = parameter efisiensi konsumsi bahan bakar per satuan energi (mL/J), dan η_a = parameter efisiensi konsumsi bahan bakar per satuan energi percepatan (mL/(kJ- m/s^2))

Tabel 1. Parameter untuk model konsumsi bahan bakar aaMOTION (Akçelik & Besley, 2003)

Parameter	Description	Unit for Fuel	Unit for Emissions	Fuel	CO	HC	NOx
	Idle fuel consumption or emission rate	mL/h	g/h	1350	50	8	2
	Efficiency parameter	mL/kJ	g/kJ	900	150	0	10
	Energy-acceleration efficiency parameter	mL/(kJ.m/s ²)	g/(kJ.m/s ²)	300	250	4	2
	Average vehicle mass for light vehicles (cars, vans)	kg	kg	1400	1400	1400	1400

2. Model PERE

Model mekanistik lainnya adalah. Model PERE (*Physical Emission Rate Estimator*) menggunakan parameter pengendalian dan kendaraan sebagai dasar menghitung kebutuhan daya untuk memperkirakan konsumsi bahan bakar. Model ini digunakan oleh EPA sebagai sub model MOVES yang digunakan untuk memperkirakan emisi kendaraan (Nam, 2005).



Gambar 1. Model PERE untuk kendaraan bermesin ICE konvensional (Nam, 2005)

Model PERE menggunakan dua parameter sebagai masukan untuk menghitung konsumsi bahan bakar, yaitu parameter kendaraan dan parameter aktivitas. Parameter kendaraan meliputi massa, koefisien hambatan gelinding, koefisien seret aerodinamik, dan luas frontal. Parameter aktivitas meliputi kecepatan, percepatan dan kemiringan jalan. Kedua parameter ini digunakan untuk menghitung kebutuhan daya yang digunakan kendaraan untuk bergerak. Parameter lain yang digunakan dalam PERE adalah parameter mesin meliputi efisiensi dan gesekan.

Persamaan yang digunakan dalam PERE adalah

(2)

dimana perbandingan ekivalen bahan bakar udara (), faktor gesekan mesin (bergantung pada kecepatan mesin), volume mesin, daya traksi yang dibutuhkan untuk bergerak, efisiensi transmisi, daya yang digunakan oleh aksesoris, tanpa AC sekitar 0,75 kW, efisiensi mesin sekitar 0,4, dan nilai kalor terendah bahan bakar sekitar 43,7 kJ/g. Harga dalam W diperoleh dari akumulasi beban jalan berupa beban inersia, kemiringan jalan, gelinding, dan aerodinamik melalui persamaan

(3)

dimana kecepatan kendaraan (m/s), percepatan kendaraan (m/s²), perhitungan faktor massa untuk massa berputar (0,1), percepatan gravitasi bumi (9,8 m/s²), kemiringan jalan, koefisien hambatan gelinding (0,009), kerapatan udara (1,2 kg/m³), koefisien hambatan aerodinamik (0,3), dan luas frontal (2,4 m²), dan massa (kg)

PERE juga memperhitungkan beban akibat gesekan mesin yang besarnya mengikuti kecepatan putaran mesin. Harga sebagai faktor gesekan mesin bensin diperoleh melalui persamaan empirik

(4)

dimana 3,283 bar, 0,000515 bar/rpm, kecepatan putaran mesin, rpm

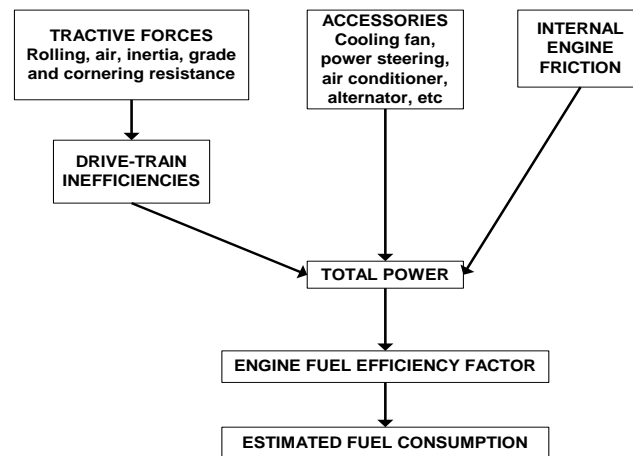
Kecepatan putaran mesin model PERE pada suatu kecepatan tertentu dipengaruhi oleh posisi gigi yang ditunjukkan dengan hubungan antara kecepatan putaran mesin dengan rasio transmisi dan kecepatan dalam bentuk

(5)

dimana kecepatan putaran mesin, rps, rasio rpm terhadap kecepatan pada gigi tertinggi, rasio gigi pada gigi tertentu kecepatan kendaraan, km/jam

3. Model HDM-4

Model lain yang lebih rumit dan menggunakan banyak data empirik adalah Highway and Development Management-4 (HDM-4). Model ini mengadopsi model *Australian Road Research Board's Model (ARFCOM)* dalam menerapkan modelnya (Bennett & Greenwood, 2001).



Gambar 2. Pendekatan ARFCOM untuk pemodelan konsumsi bahan bakar kendaraan (Bennett & Greenwood, 2001)

ARFCOM memperkirakan bahwa konsumsi bahan bakar kendaraan sebanding dengan kebutuhan daya kendaraan.

(6)

dimana tingkat konsumsi bahan bakar, daya traksi yang harus diberikan oleh mesin, daya-hilang pada mesin, dan daya yang digunakan untuk aksesoris.

Jumlah daya yang harus diberikan oleh mesin untuk menghasilkan gaya traksi dipengaruhi oleh efisiensi transmisi. Jika daya traksi positif, maka efisiensi ini memberikan tambahan daya untuk mengatasi gaya hambatan. Sebaliknya, dalam keadaan perlambatan atau pada jalan yang menurun, daya traksi dapat menjadi negatif sehingga energi kinetik dan potensial dapat digunakan untuk menggantikan dan . Efisiensi transmisi mengharuskan mesin memberikan tambahan daya, sehingga

(7)

dimana adalah daya yang dibutuhkan untuk bergerak.

Konsumsi bahan bakar terendah terjadi pada saat stasioner adalah

(8)

dimana tingkat konsumsi bahan bakar (mL/s), dan volume mesin (L).

ARFCOM menggunakan faktor efisiensi untuk menghitung penurunan efisiensi mesin.

(9)

dimana faktor efisiensi (mL/kW/s), efisiensi mesin (mL/kW/s), proporsi penurunan efisiensi pada pemakaian daya tinggi, dan daya maksimum yang dihasilkan mesin, kW, sehingga

(10)

Tabel 2. Parameter efisiensi mesin (Bennett & Greenwood, 2001)

Engine type			
Diesel	0,059	Old technology engines	0,10
	0,058	New technology engines	0,25
Petrol	0,0067		

ANALISIS DAN DISKUSI

Menurut definisinya, model adalah representasi yang diidealisasi dari kenyataan yang dikembangkan untuk menggambarkan, menganalisis, atau memahami beberapa perilaku kenyataan tersebut (Webster, 2011). Keberadaan model sangat berguna karena dapat digunakan untuk pelatihan operator, analisis keselamatan dan desain sistem keselamatan, desain proses, atau untuk mensimulasi suatu proses. Salah satu pendekatan utama dalam pembuatan model adalah model yang disusun berdasar pada faktor-faktor fisik yang mempengaruhi perilaku atau proses atau model mekanistik (Salehi, Safavi, & Seifi, 2004).

Salah satu faktor penting bagi pengguna mesin adalah konsumsi bahan bakar dan harga bahan bakar yang digunakan (Heywood, 1988), maka terdapat kebutuhan akan model untuk memperkirakan konsumsi bahan bakar kendaraan. Pada awalnya, para peneliti menggunakan data empirik kasar yang kemudian dilanjutkan dengan studi-studi eksperimental yang menghubungkan konsumsi bahan bakar dengan kondisi operasi khusus dan memodelkannya dengan pendekatan empiris. Pada masa-masa sesudahnya, konsumsi bahan bakar dimodelkan dengan menggunakan prinsip-prinsip mekanistik yang menghubungkan konsumsi bahan bakar dengan gaya-gaya yang melawan gerak (Bennett & Greenwood, 2001).

Terdapat empat kelompok parameter yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar kendaraan, yaitu kendaraan, lingkungan, pengemudi, dan kondisi lalu lintas. Parameter kendaraan berupa volume silinder, berat, ukuran dan jenis ban, bentuk aerodinamik, dan lain-lain. Parameter lingkungan berupa kemiringan jalan, arah dan kecepatan angin, kekasaran dan jenis jalan, serta ketinggian. Kondisi lalu lintas ditunjukkan oleh kecepatan, jumlah berhenti, perubahan kecepatan dan percepatan. Derajat keagresifan pengemudi juga ditunjukkan oleh perubahan kecepatan dan percepatan (Ardekani, Hauer, & Jamei, 1992).

Pada prinsipnya, ketiga model telah memasukkan pengaruh parameter-parameter yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar kendaraan ke dalam model. Konsumsi bahan bakar dihitung dari beban yang harus ditanggung oleh kendaraan. Model juga memungkinkan digunakan untuk kondisi yang berubah-ubah dengan cara memasukkan harga parameter ke dalam model. Namun demikian, ketiga model memiliki kekurangan dalam menghubungkan perilaku pengendalian dengan konsumsi bahan bakar kendaraan. Menghubungkan perilaku berkendara dengan konsumsi bahan bakar kendaraan menjadi hal penting karena perilaku berkendara paling menentukan seberapa besar konsumsi bahan bakar jika parameter lainnya memiliki harga yang tetap.

Terdapat lima jenis perilaku berkendara, yaitu kecepatan, percepatan, pengereman, stasioner (*idling*), dan posisi gigi (Smith, 1999). Model Akcelik (aaMOTION) dan HDM-4 tidak memiliki perilaku posisi gigi, sedangkan model PERE tidak memiliki perilaku stasioner. Selain itu, perilaku posisi gigi pada model PERE ditentukan dengan rasio gigi pada posisi gigi tertentu dan rasio kecepatan mesin dengan kecepatan kendaraan pada posisi gigi tertinggi. Hal ini memberikan kesulitan karena data tentang perbandingan kecepatan mesin dan kecepatan kendaraan pada posisi gigi tertinggi tidak dapat diperoleh secara mudah. Hal ini menyebabkan model menimbulkan kesulitan dalam penggunaannya karena harus melakukan pengujian untuk menemukan perbandingan tersebut, apalagi jika kendaraan penumpang tersebut masih dalam bentuk rancangan.

Tabel 3. Parameter perilaku berkendara pada ketiga model

Model	Kecepatan	Percepatan/ perlambatan	Stasioner	Posisi gigi
aaMOTION	●	●	●	
PERE	●	●		●
HDM-4	●	●	●	

Ketiga model dapat digunakan untuk memperkirakan konsumsi bahan bakar kendaraan, sesuai dengan kebutuhan penggunaannya. Kesimpulan ini dapat diambil karena model dikatakan lengkap secara ideal jika telah memuat mekanisme yang relevan, aktivitas dan keberadaan komponen, sifat-sifat, dan pengorganisasian model (Craver, 2006). Sebagai model, ketiganya telah memenuhi syarat-syarat tersebut, terbatas pada kebutuhan dimana model itu akan digunakan. Namun demikian penerapannya dalam program simulator Smart Driving masih memerlukan penyempurnaan, agar seluruh komponen perilaku berkendara termuat di dalam model.

KESIMPULAN

Model aaMOTION, PERE, dan HDM-4 telah memperhitungkan parameter kendaraan, lingkungan, dan perilaku pengendaraan, namun ketiganya tidak secara lengkap memperhitungkan perilaku berkendara. Padahal perilaku berkendara merupakan faktor terpenting yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar dalam suatu pengendaraan. Namun demikian, ketiganya dapat digunakan untuk kebutuhan-kebutuhan yang terbatas dengan kondisi-kondisi tertentu yang sesuai dengan peruntukannya, sedangkan penerapannya dalam program simulator Smart Driving masih memerlukan penyempurnaan agar seluruh komponen perilaku berkendara termuat di dalam model.

DAFTAR PUSTAKA

- Akçelik, R., & Besley, M. (2003). Operating cost, fuel consumption, and emission models in aaSIDRA and aaMOTION. *25th Conference of Australian Institutes of Transport Research (CAITR 2003)*. Adelaide.
- Ardekani, S., Hauer, E., & Jamei, B. (1992). Traffic Impact Model. In N. Gartner, C. J. Messer, & A. K. Rathi, *Traffic Flow Theory*. Fairbank Highway Research Center.
- Bennett, C. R., & Greenwood, I. D. (2001). *Modelling Road User and Environmental Effect in HDM-4*. Paris: The World Road Association (PIARC).
- Chung, C. A. (2004). *Simulation modeling handbook : a practical approach*. CRC Press LLC.
- Craver, C. F. (2006, November 3). When mechanistic models explain. *Synthese*, 153:355–376.
- Heywood, J. B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. New York: McGraw-Hill Inc.
- Nam, E. (2004). Advanced Technology Vehicle Modeling in PERE.
- Nam, E. (2005). *Advanced Technology Vehicle Modeling in PERE*. Office of Transportation and Air Quality. U.S. Environmental Protection Agency.
- Salehi, A., Safavi, A. A., & Seifi, A. R. (2004). A Hybrid Model Based Gas Power Plant Simulator. *Proceedings of 12th Iranian Conference on Electric Engineering*. Civilica.
- Smith, L. (1999). Reducing the Environmental Impact of Driving-Effectiveness of Driving Training. *Ecodrive Conference* (p. 48). Gatz, Austria: Ecodrive.
- Webster. (2011). *Model*. (Webster) Retrieved Januari 26, 2011, from www.websters-online-dictionary.org: http://www.websters-online-dictionary.org/definitions/MODEL?cx=partner-pub-0939450753529744%3Av0qd01-tdlq&cof=FORID%3A9&ie=UTF-8&q=MODEL&sa=Search#906