

N. SinagaJurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas
Diponegoro Semarang**T. Priangkoso**Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas
Wahid Hasyim Semarang

TINJAUAN/REVIEW MODEL EMPIRIK KONSUMSI BAHAN BAKAR KENDARAAN

Model empirik merupakan pendekatan praktis dalam pembuatan model konsumsi bahan bakar. Model-model empirik konsumsi bahan bakar kendaraan dibagi menjadi dua, yaitu model untuk daerah perkotaan dan jalan bebas hambatan. Model-model awal hanya menghubungkan konsumsi bahan bakar dengan kecepatan rata-rata. Model kemudian berkembang dengan menambahkan parameter-parameter lain yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar. Asesmen yang dilakukan menunjukkan bahwa model empirik konsumsi bahan bakar kendaraan penumpang tidak memasukkan parameter kendaraan dan parameter perilaku berkendara secara lengkap, sehingga memiliki keterbatasan keberlakuannya. Model empirik konsumsi bahan bakar kendaraan penumpang juga memiliki ketidaktepatan yang tinggi.

Kata Kunci: Bahan Bakar, Model Empirik

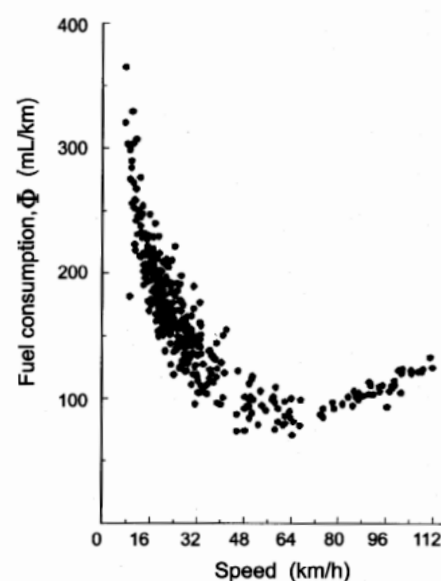
PENDAHULUAN

Model empirik oleh para pendukungnya diklaim sebagai model yang memiliki nilai praktis karena mencakup semua fenomena. Namun, oleh pendukung model mekanistik dikatakan bahwa model empirik menghasilkan perkiraan dengan akurasi yang rendah (Rai, 2006). Model empirik merupakan pendekatan praktis dalam pembuatan model konsumsi bahan bakar. Pengembangan model konsumsi bahan bakar ini menggunakan data yang dikumpulkan dari sekelompok armada kendaraan, jenis transmisi, ukuran dan tekanan ban, setelan mesin, dan temperatur yang ditentukan. Pemodelan empirik sangat bergantung pada perolehan data untuk pembuatan model dan validasi, serta dikembangkan berdasarkan pengamatan khusus pada suatu perilaku (Salehi, Safavi, & Seifi, 2004). Paper ini bertujuan untuk melakukan asesmen atas model-model empirik konsumsi bahan bakar kendaraan penumpang. Asesmen diawali dengan melakukan tinjauan pustaka untuk melihat perkembangan dan menelusur parameter-parameter yang termuat di dalamnya, kemudian dilakukan evaluasi untuk melihat keberlakuan model empirik dalam memperkirakan konsumsi bahan bakar kendaraan.

TINJAUAN PUSTAKA

Banyak penelitian telah dilakukan untuk memperkirakan tingkat konsumsi bahan bakar. Pada awalnya, para peneliti menggunakan data empirik kasar yang kemudian dilanjutkan dengan studi-studi eksperimental yang menghubungkan konsumsi bahan bakar dengan kondisi operasi

husus dan memodelkannya dengan pendekatan empiris. Pada awalnya, model empirik secara prinsip menghubungkan konsumsi bahan bakar dengan kecepatan kendaraan. Banyak studi empirik menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar (dalam L/100 km) memiliki bentuk U. Bentuk ini menunjukkan tingginya konsumsi bahan bakar pada kecepatan rendah dan tinggi. Hal ini karena pada kecepatan tinggi Konsumsi bahan bakar menjadi minimum pada kecepatan sekitar 40-60 km/jam (Bennett & Greenwood, 2001).



Gambar 1. Data konsumsi bahan bakar untuk kondisi Jalan Perkotaan dan Bebas Hambatan menggunakan Ford Fairmont 6 silinder (Ardekani, Hauer, & Jamei, 1992)

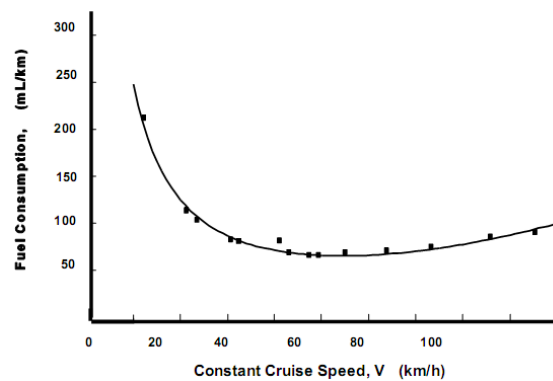
Sejumlah penelitian yang dilakukan di Inggris, Australian, dan Amerika Serikat menunjukkan jika konsumsi bahan bakar per satuan jarak tempuh pada pengendaraan perkotaan dapat didekati dengan fungsi linear dari kebalikan kecepatan rata-rata. Efek kecepatan mengambil porsi 70% dari seluruh konsumsi bahan bakar untuk pengendaraan di daerah perkotaan. Mereka menunjukkan, jika kecepatan kendaraan lebih dari 55 km/jam, maka konsumsi bahan bakar sesaat kendaraan lebih banyak dipengaruhi oleh hambatan aerodinamis. Dengan pertimbangan tersebut, para peneliti membagi kondisi lalu lintas menjadi dua yaitu perkotaan untuk kecepatan di bawah 55 km/jam dan bebas hambatan ≥ 55 km/jam. Untuk daerah perkotaan, konsumsi bahan bakar diperkirakan dengan model yang disebut sebagai Model Elemental (Ardekani, Hauer, & Jamei, 1992)

$$FC = K_1 + \frac{K_2}{v} \quad v < 55 \text{ km/jam} \quad (1)$$

dimana v merupakan kecepatan rata-rata, K_1 dan K_2 adalah konstanta model. K_1 mewakili konsumsi bahan bakar untuk mengatasi hambatan gelinding yang banyak dipengaruhi oleh berat kendaraan, dan K_2 merupakan fungsi untuk meningkatkan ketepatan model. Untuk mengelaborasi pengaruh hambatan aerodinamik, Model Elemental ini kemudian diperbaiki oleh Post et.al. dengan menambahkan v^2 sebagai efek aerodinamik yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar, sehingga menjadi (Ardekani, Hauer, & Jamei, 1992)

$$FC = K_1 + \frac{K_2}{v} + K_3 v^2 \quad (2)$$

dimana K_3 adalah konstanta model yang mewakili konsumsi bahan bakar akibat efek aerodinamik. Model ini digunakan untuk memperkirakan konsumsi bahan bakar di jalan bebas hambatan. Kalibrasi model ini dilakukan menggunakan mobil uji Melbourne University (Ford Cortina Wagon, 6 silinder, 4,1 L) menghasilkan parameter $K_1 = 15,9 \text{ mL/km}$, $K_2 = 2,52 \text{ mL/jam}$, $K_3 = 0,00792 \text{ mL-jam}^2/\text{km}^3$.



Gambar 2. Konsumsi bahan bakar pada kecepatan tetap mobil uji Melbourne University (Ardekani, Hauer, & Jamei, 1992)

Kedua model ini cocok digunakan pada kecepatan yang tunak (*steady state*), sedangkan kenyataannya, kendaraan selalu bergerak secara dinamis. Di daerah perkotaan, kendaraan sering berhenti sehingga sering berada pada kondisi stasioner. Di samping itu, kendaraan harus sering mempercepat dan mengerem untuk menyesuaikan kecepatan kendaraan dengan kecepatan lalu lintas. Untuk mengantisipasi gerak dinamik ini, Akcelik dan Bailey menawarkan model yang lain untuk mengantisipasi pengaruh percepatan terhadap konsumsi bahan bakar sesaat dan memiliki keberlakuan yang lebih luas karena dapat digunakan di daerah perkotaan maupun jalan bebas hambatan dan lebih fleksibel karena memperkirakan konsumsi bahan bakar sesaat, yaitu (Ardekani, Hauer, & Jamei, 1992)

$$FC = K_1 + K_2 v + K_3 v^3 + |K_4 a v + K_5 a^2 v| \quad (3)$$

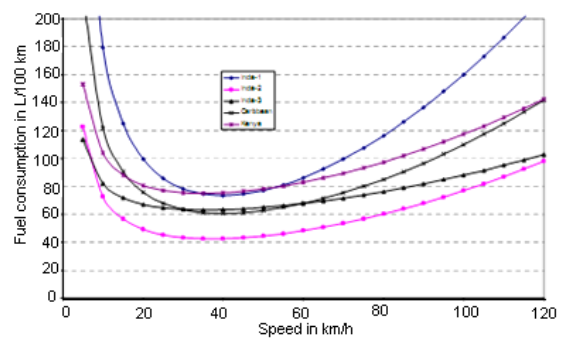
dimana K_1 adalah parameter konsumsi bahan bakar sesaat pada kondisi stasioner, K_2 adalah parameter yang mewakili konsumsi bahan bakar akibat hambatan gelinding, K_3 adalah parameter yang mewakili konsumsi bahan bakar akibat hambatan aerodinamik, K_4 dan K_5 adalah parameter yang mewakili konsumsi bahan bakar akibat percepatan positif, v dan a masing-masing adalah kecepatan dan percepatan sesaat kendaraan.

Model-model empirik ini terus berkembang dengan memasukkan parameter kondisi jalan sebagai salah satu parameter yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar kendaraan dan memiliki bentuk umum (Bennett & Greenwood, 2001)

$$FC = K_1 + \frac{K_2}{v} + K_3 v^2 + K_4 RISE + K_5 FALL + K_6 IRI \quad (4)$$

dimana K_1 sampai K_5 merupakan konstanta model dengan harga yang berbeda-beda untuk

setiap negara, *RISE* adalah tanjakan, *FALL* adalah turunan, dan *IRI* adalah kekasaran permukaan jalan. Harga-harga koefisien tercantum pada Tabel 1 dan Gambar 1 merupakan contoh efek perkiraan konsumsi bahan bakar menggunakan persamaan (4).



Gambar 3. Efek kecepatan terhadap konsumsi bahan bakar kendaraan penumpang (Bennett & Greenwood, 2001)

Tabel 1. Parameter untuk model konsumsi bahan bakar mobil penumpang dalam HDM-4 (Bennett & Greenwood, 2001)

Country	Fuel Model Coefficients						Other Variables
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	
India	10.3	1676	0.0133	1.39	-1.03	0.43	
India	21.85	504	0.0050	1.07	-0.37	0.47	+ 0.00286
India	49.8	319	0.0035	0.94	-0.68	1.39	FALL2
Caribbean	24.3	969	0.0076	1.33	-0.63		
Kenya	53.4	499	0.0059	1.59	-0.85		

Model ini mirip dengan model yang diusulkan Hine dan Sinaga (2001) yang menambahkan parameter percepatan a ke dalam model untuk perjalanan Nagreg-Cileunyi, Bandung

$$FR = 55,9 + \frac{1317,6}{v} + 0,00378 v^2 + 1,7 RISE + 1,39 FALL + 174 a \quad (5)$$

ANALISIS DAN DISKUSI

Dalam bidang sains dan engineering, terdapat dua filosofi yang berbeda dalam membuat model, yang satu pendekatan empirik dan lainnya pendekatan mekanistik. Model mekanistik dikembangkan berdasarkan pemahaman detail tentang mekanisme atau hukum yang mengatur perilaku suatu sistem, sedangkan model empirik dikembangkan berdasarkan pengamatan khusus pada suatu perilaku (Salehi, Safavi, & Seifi, 2004). Pemodelan empirik juga sangat bergantung pada perolehan data untuk pembuatan model dan validasi. Lebih jauh lagi, untuk melakukan trial and error hanya memerlukan sedikit pengetahuan terhadap proses dan memisahkan sebab-akibat antar variabel. Pendukung empirik menyatakan bahwa semakin empirik suatu model, makin memiliki nilai praktis karena mencakup semua fenomena. Pada kenyataannya, model-model empirik selalu

mengandung unsur-unsur mekanistik (Nestorov, Rowland, Hadjitodorov, & Petrov, 1999).

Model empirik memiliki kelebihan, yaitu memiliki bentuk dan struktur yang sederhana dan mudah digunakan karena memerlukan masukan yang sedikit. Pembuatan model juga lebih mudah karena hanya memerlukan data pengujian dan pengamatan tanpa mempelajari gejala dan faktor-faktor lain yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar. Hal ini yang membuat model empirik sulit untuk diterapkan pada kondisi yang berbeda-beda.

Kelemahan utama model empirik ini adalah keterbatasan keberlakuannya. Model ini memerlukan harga-harga parameter yang berbeda-beda untuk kondisi yang berbeda, sedangkan model tidak memberikan alternatif untuk memasukkan perubahan di dalam modelnya. Artinya, jika kondisinya berubah, maka harga parameter model harus ditentukan melalui serangkaian pengujian dan pengamatan. Hal menimbulkan kesulitan untuk menerapkan model pada kondisi berbeda dibanding pengujian pengamatan yang dilakukan. Dengan demikian, model empirik memiliki ketidaktepatan yang tinggi.

Model empirik konsumsi bahan bakar kendaraan pada umumnya menghubungkan parameter kecepatan sebagai variabel yang mempengaruhi

konsumsi bahan bakar. Pada model yang paling sederhana, yaitu Model Elemental pada persamaan (1), kecepatan menjadi satu-satunya parameter yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar. Model ini berkembang dengan menambahkan parameter-parameter lain yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar, sehingga pengembangannya mirip dengan pengembangan model mekanistik.

Unsur mekanistik dalam model empirik konsumsi bahan bakar sudah terlihat pada Model Elemental, dimana parameter model K_1 pada persamaan (1) dinyatakan sebagai konsumsi bahan bakar untuk mengatasi hambatan gelinding yang banyak dipengaruhi oleh berat kendaraan. Kandungan elemen mekanistik makin terlihat ketika Post et.al. menambahkan pengaruh aerodinamik pada persamaan (1) menjadi persamaan (2). Pengaruh percepatan terhadap konsumsi bahan bakar diantisipasi oleh Watson et.al. dengan menambahkan efek energi kinetik positif sebagai representasi percepatan seperti pada persamaan (3). Pengaruh parameter lain yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar terus ditambahkan pada model empirik ini. Persamaan (3) sampai dengan (5) menunjukkan kuatnya elemen mekanistik di dalam model empirik, yaitu dengan munculnya parameter percepatan dan parameter jalan berupa tanjakan, turunan, dan kekasaran permukaan jalan.

Kelemahan model ada karena kenyataannya banyak parameter yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar. Terdapat tiga parameter utama yang mempengaruhi konsumsi bahan, yaitu parameter kendaraan, parameter kondisi jalan, dan parameter perilaku berkendara. Model empirik tidak mencantumkan parameter kendaraan sama sekali dan mengasumsikan seluruh kendaraan memiliki karakter yang sama. Pada kenyataannya, setiap merek dan tipe kendaraan memiliki karakter yang berbeda satu sama lain. Model-model empirik yang mutakhir menambahkan parameter kondisi jalan sebagai parameter yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar seperti pada persamaan (4). Parameter-parameter ini adalah tanjakan, turunan, dan kekasaran permukaan jalan. Pada model Hine dan Sinaga, parameter kekasaran permukaan jalan tidak dimasukkan sebagai parameter yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar seperti terlihat pada persamaan (5). Dari lima perilaku berkendara, yaitu kecepatan, percepatan, pengereman, stasioner (*idling*), dan posisi gigi (Smith, 1999), model empirik sebanyak-

banyaknya memuat empat parameter perilaku berkendara, yaitu kecepatan, percepatan, pengereman yang diwakili oleh parameter percepatan negatif, dan stasioner.

Model-model empirik merupakan model kecepatan rata-rata yang diterapkan sebagai model makroskopik. Dalam model empirik, konsumsi bahan bakar merupakan fungsi waktu perjalanan, jarak tempuh, dan kecepatan rata-rata. Model empirik ini cocok digunakan untuk menilai dampak berbagai skema manajemen transpor makroskopik. Model hanya dapat digunakan untuk kecepatan rata-rata 50 km/jam dan tidak mencerminkan peningkatan konsumsi bahan bakar akibat peningkatan hambatan aerodinamik pada kecepatan tinggi (Akcelik, 1985). Kenyataan ini yang menyebabkan model-model empirik memberikan ketidaktepatan yang tinggi jika diterapkan secara mikroskopik. Meskipun beberapa model memasukkan parameter-parameter lain yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar, model empirik hanya dapat digunakan untuk memperkirakan konsumsi bahan bakar secara makro. Sedangkan untuk memperkirakan konsumsi bahan bakar secara mikro, yaitu pada tiap individu kendaraan, diperlukan pendekatan model yang lain yang lebih antisipatif terhadap perubahan parameter yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar.

KESIMPULAN

Model empirik konsumsi bahan bakar kendaraan memiliki keterbatasan dalam penerapannya karena menggunakan parameter yang terbatas, sehingga hanya cocok digunakan untuk kondisi makroskopik, yaitu untuk memperkirakan dampak kondisi lalu lintas tertentu terhadap konsumsi bahan bakar. Keterbatasan ini disebabkan oleh tidak lengkapnya parameter dalam model yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar, yaitu parameter perilaku berkendara dan parameter kendaraan. Hal ini menyebabkan model empirik memiliki ketidaktepatan yang tinggi karena disusun berdasarkan pada pengujian dan pengamatan pada kondisi tertentu, perlu dilakukan pengujian dan pengamatan kembali jika hendak digunakan pada kondisi yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

Akcelik, R. (1985). An Interpretation of the parameters in the Simple Average Travel Speed Model of Fuel Consumption. Melbourne: Australian Road Research.

- 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).
- Hine, J. L., & Sinaga, H. P. (2001). ARFCOM, Speed Profiles and Fuel Consumption: Result From a Congested Road in Java. 20th ARRB Conference, Managing Your Countries Assets, Melbourne, Australia, 19 - 21 March 200. International Division Transport Research Laboratory.
- Nestorov, I., Rowland, M., Hadjitorov, S., & Petrov, I. (1999). 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*, 1 (4) article 17.
- Rai, R. (2006). *Qualitative and Quantitative Sequential Sampling*. University of Texas, Faculty of the Graduate School. University of Texas.
- 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.