

## Pengembangan Model Persamaan Konsumsi Bahan Bakar Efisien Untuk Mobil Penumpang Berbahan Bakar Bensin Sistem Injeksi Elektronik (EFI)

Nazaruddin Sinaga<sup>1</sup>, S. J. Purnomo<sup>2</sup> dan A. Dewangga<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Efisiensi dan Konservasi Energi, Jurusan Teknik Mesin, FT Universitas Diponegoro  
Jalan Prof. Soedharto, Semarang 50275

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tidar Magelang  
Jl. Kapten S. Parman 39 Potrobangsari, Magelang Utara 56116  
Email: nazarsinaga@undip.ac.id

### Abstrak

Salah satu masalah yang timbul untuk dapat mengemudi secara efisien adalah bahwa pengemudi sulit untuk mengetahui kondisi operasi kendaraan yang memberikan tingkat konsumsi bahan bakar yang minimum. Oleh karena itu perlu dikembangkan suatu metoda untuk dapat dengan mudah mengetahui kondisi operasi yang efisien ini. Dalam makalah ini akan dikemukakan hasil penelitian untuk memperoleh persamaan sederhana yang dapat digunakan untuk memperkirakan kecepatan kendaraan yang memberikan tingkat konsumsi bahan bakar yang minimum. Dengan hasil penelitian ini pengemudi kendaraan dapat memperkirakan dengan mudah pada kecepatan berapa sebaiknya kendaraan dioperasikan. Penelitian dilakukan di dalam laboratorium dan di jalan bebas hambatan dengan melibatkan 7 jenis mobil penumpang berbahan bakar bensin dengan sistem injeksi elektronik (EFI). Pengukuran berbagai kondisi kendaraan serta konsumsi bahan bakar dilakukan dengan sistem akuisisi data menggunakan engine scanner dengan memvariasikan kecepatan kendaraan dan posisi gigi transmisi. Selanjutnya data hasil pengukuran diolah secara statistik dan dicari kecenderungannya, serta dibandingkan dengan beberapa hasil yang terdapat di dalam literatur. Dari analisis data ini diperoleh 7 buah persamaan untuk setiap kendaraan, yang merupakan fungsi dari konsumsi bahan bakar terhadap kecepatan kendaraan. Penggabungan 7 persamaan ini menghasilkan persamaan konsumsi bahan bakar efisien yang berlaku umum, yaitu:  $FC = 0,0025 V - 0,2983 V + 12,421$  dengan factor korelasi  $R^2 = 91,05\%$ . Berdasarkan perbandingan dengan dengan hasil sebelumnya dari literatur dapat disimpulkan bahwa kecenderungan fungsi persamaan konsumsi bahan bakar efisien untuk kendaraan sistem EFI ini mempunyai bentuk yang paling sederhana. Dengan adanya persamaan ini maka pengemudi dapat mengetahui dengan mudah pada kecepatan berapa sebaiknya menjalankan kendaraannya. Namun demikian untuk meningkatkan ketelitian persamaan konsumsi bahan bakar ini masih diperlukan pengujian dan pengukuran terhadap berbagai merk dan tipe mobil.

**Keywords:** model, konsumsi, bahan bakar, efisien, mobil penumpang

### Pendahuluan

Penggunaan bahan bakar minyak (BBM) pada kendaraan bermotor di Indonesia dihadapkan pada masalah makin tingginya volume impor serta tingginya beban biaya subsidi bahan bakar ini, yang kian memberatkan Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara. Pada tahun 2011, peranan bahan bakar minyak dalam konsumsi energi final di Indonesia mencapai 47,6% dari seluruh konsumsi energi. Adapun sektor transportasi menyerap 37,68% dari seluruh konsumsi energi final. Sektor transportasi mengkonsumsi bahan bakar minyak sebesar 45,77 juta kilo liter atau 72,7% dari seluruh konsumsi BBM di Indonesia. Adapun sektor transportasi darat menyerap 91% dari

seluruh konsumsi BBM sektor transportasi, atau 66,2 % dari seluruh konsumsi BBM di Indonesia (Kementerian ESDM, 2013). Adapun realisasi subsidi BBM pada tahun 2011 sebesar 41,8 juta kilo liter dengan nilai subsidi 142,92 triliun rupiah (E. Legowo, 2012). Dengan demikian sektor transportasi jalan menjadi salah satu pemakai anggaran negara terbesar.

Salah satu upaya yang relatif mudah dilakukan untuk menurunkan tingkat konsumsi bahan bakar pada kendaraan bermotor adalah dengan mengoperasikan kendaraan secara efisien. Pendekatan efisiensi ini sebenarnya dapat dilakukan dari dua sisi, yaitu dari sisi karakter kendaraan dan dari sisi cara berkendara atau mengemudi. Salah satu masalah yang timbul untuk dapat mengemudi secara efisien adalah bahwa pengemudi sulit

untuk mengetahui kondisi operasi kendaraan yang memberikan tingkat konsumsi bahan bakar yang minimum. Pada beberapa mobil ada yang dilengkapi dengan indicator konsumsi bahan bakar dalam satuan km/liter. Tapi pada kebanyakan mobil, peralatan tersebut tidak tersedia, apalagi pada mobil dengan system karburator. Sebagai alternative solusi maka perlu dikembangkan suatu model persamaan yang dapat digunakan dengan mudah untuk memperkirakan kondisi operasi yang efisien ini.

Tingkat konsumsi bahan bakar sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya kecepatan, putaran mesin, posisi gigi, beban mesin, setting mesin (engine map), beban mesin (Heywood, 1988 dan Kroon, 2006). Penelitian yang dilakukan oleh Sinaga dkk (2011) menunjukkan bahwa pada berbagai posisi gigi terdapat nilai kecepatan yang memberikan konsumsi bahan bakar minimum. Selanjutnya Sinaga (2011) menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar minimum terjadi pada posisi gigi tertinggi dan pada kisaran putaran mesin 2000 rpm. M. G. Lee et. al (2011) mengusulkan model persamaan untuk memprediksi konsumsi bahan bakar berdasarkan parameter putaran mesin dan output dari throttle position sensor (TPS) dengan menggunakan auto scanner OBD II. Mereka mengusulkan model persamaan berikut :

$$FC = p00 + p10x + p01y + p20x^2 + p11xy + p02y^2 \quad (1)$$

Dimana x dan y adalah variable input rpm dan TPS dengan nilai  $p00 = 1,5248 e^4$ ;  $p10 = 1,9195 e^{-7}$ ;  $p01 = -1,0673 e^{-5}$ ;  $p20 = 1,2693 e^{-10}$ ;  $p11 = -9,6700 e^{-10}$  dan  $p02 = 6,0900 e^{-7}$  dan koefisien determinasi sebesar 71%.

Persamaan yang diusulkan oleh M. G. Lee et. al (2011) ini memang bentuknya sudah sederhana, akan tetapi memerlukan parameter TPS yang sulit diukur, kecuali dengan menggunakan *engine scanner*. Oleh karena saat ini masyarakat Indonesia belum terbiasa menggunakan engine scanner, maka masih diperlukan upaya untuk mencari persamaan yang dapat digunakan untuk memprediksi kondisi yang memberikan konsumsi bahan bakar yang terendah (paling hemat), tetapi mudah diaplikasikan. Oleh karena itu dalam makalah ini akan diuraikan tentang penelitian yang dilakukan oleh Penulis dan kawan-kawan dalam upaya mencari persamaan tersebut.

### Metoda dan Peralatan yang Digunakan

Penelitian ini diawali dengan studi literatur

tentang berbagai aspek yang terkait dengan kinerja motor bakar bensin dengan system injeksi bahan bakar elektronik (EFI), dan juga aspek kinerja kendaraan yang sedang bergerak. Tujuan studi literatur ini untuk menentukan parameter kondisi operasi kendaraan yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar. Selanjutnya dipelajari model-model persamaan untuk menentukan konsumsi bahan bakar yang pernah diusulkan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Untuk memverifikasi jenis parameter yang berpengaruh dominan terhadap konsumsi bahan bakar maka dilakukan pengukuran konsumsi bahan bakar dan berbagai parameter operasi lainnya dengan menggunakan engine scanner. Pengujian dilakukan di atas dinamometer chassis dan di jalan raya.

Pada penelitian ini digunakan 7 (tujuh) unit mobil penumpang berbahan bakar bensin premium dengan berbagai merek dan tipe kendaraan. Dalam penelitian ini masing-masing mobil diidentifikasi dengan nama kendaraan A, B, C, D, E, F dan G dengan spesifikasi kendaraan seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Sebelum melakukan pengujian seluruh kendaraan dikembalikan ke kondisi standar (dilakukan tune-up). Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis secara statistik untuk dicari korelasinya. Untuk keperluan analisis maka seluruh data diverifikasi dengan cara melakukan pengujian beberapa kali. Dari analisis ini kemudian ditetapkan beberapa parameter utama yang memiliki pengaruh kuat terhadap nilai konsumsi bahan bakar. Berdasarkan parameter terpilih tersebut selanjutnya dicari persamaan regresi yang memiliki kesalahan terkecil dengan menggunakan metoda Least Square.

Tabel 1 Spesifikasi kendaraan penelitian

Kendaraan		A	B	C
Tipe		3ZR-FE DOHC Dual VVT-i	K3-VE DOHC VVT-i	SOHC
Kapasitas silinder	cc	1,987	1,298	1497
Jumlah silinder		4 silinder segaris	4 silinder segaris	4 silinder segaris
Jumlah katup		16	16	16
Diameter x langkah	mm	80,5 x 97,6	72,0 x 79,7	73 x 89,4
Tenaga maksimum	PS/rpm	153 / 5.600	92 / 6.000	88 (120) / 6600
Torsi maksimum	kg.m/rpm	21,3 / 4.400	12,2 / 4.400	14,8 (145) / 4800
Sistem bahan bakar		EFI	EFI	PGM - FI
Bahan bakar		Bensin tanpa timbal	Bensin tanpa timbal	bensin tanpa timbal
Kapasitas tangki bahan bakar	liter	55	45	42

Kendaraan		D	E	F
Tipe		HBSMT	K12M DOHC	1NZ-FE DOHC VVT-i
Kapasitas silinder	cc	1498	1,197	1,497
Jumlah silinder		4 silinder segaris	4 silinder segaris	4 silinder segaris
Jumlah katup		16	16	16
Diameter x langkah	mm	78,0 x 78,4	73,0 x 71,5	75,0 x 84,7
Tenaga maksimum	PS/rpm	76 (103) / 6000	85 / 6.000	109 / 6.000
Torsi maksimum	kg.m/rpm	135 (13,76) / 4000		14,5 / 4.200
Sistem bahan bakar		ECFI	Injection	EFI
Bahan bakar		Bensin tanpa timbal		Bensin tanpa timbal
Kapasitas tangki bahan bakar	liter	42,8	43	42

Kendaraan		G
Tipe		INZ-FE
Kapasitas silinder	cc	1.497
Jumlah silinder		4 silinder segaris
Jumlah katup		16
Diameter x langkah	mm	75,0 x 84,7
Tenaga maksimum	PS/rpm	109 / 6.000
Torsi maksimum	kg.m/rpm	14,4 / 4.200
Sistem bahan bakar		EFI
Bahan bakar		Bensin tanpa timbal
Kapasitas tangki bahan bakar	liter	42

### Peralatan yang Digunakan

Alat ukur utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah engine scanner OBD II merk Palmer dan Launch X431. Engine scanner Palmer sebenarnya lebih mudah digunakan karena langsung terhubung secara real time dengan computer laptop, seperti diperlihatkan pada Gambar 1 di bawah. Alat ini dihubungkan ke mobil melalui soket OBD II yang terdapat di bawah *dash board*. Adapaun penggunaan engine scanner Launch X431, seperti ditunjukkan pada Gambar 2, disebabkan karena tidak semua mobil yang diukur kompatibel dengan engine scanner Palmer. Scanner Launch X431 ini tidak terhubung secara real time ke komputer laptop. Data hasil pengukuran disimpan di dalam sebuah kartu memori (SD Card) yang dapat dibaca oleh komputer. Pengujian di laboratorium dilakukan di atas sebuah chassis rol, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2 Engine scanner Launch X431



Gambar 3 Chassis roll



Gambar 1 Auto scanner OBD II Palmer

### Hasil dan Pembahasan

Data yang diperoleh dari pengujian setiap kendaraan diolah dan dianalisis untuk mencari kecenderungan hubungan suatu parameter terhadap konsumsi bahan bakar. Berdasarkan hasil studi literature dan analisis data secara statistik ditetapkan bahwa parameter utama yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar adalah posisi gigi, putaran mesin, kecepatan kendaraan, posisi throttle, dan beban mesin. Dengan memilih data-data pada beban mesin yang sama maka jumlah parameter yang berpengaruh dapat direduksi menjadi 4 yaitu posisi gigi, putaran mesin, kecepatan kendaraan dan posisi throttle. Data kondisi yang memberikan konsumsi bahan bakar minimum untuk masing-masing kendaraan ditunjukkan pada Tabel 2 hingga Tabel 8.

Tabel 2 Kondisi optimum pada mobil-A

KONDISI OPTIMUM					
Posisi gigi	1	2	3	4	5
Konsumsi bahan bakar (km/l)	8.80	16.95	18.66	23.71	25.11
Putaran mesin (rpm)	1420.93	2195.15	2651.38	2546.63	1863.16
Posisi throttle (%)	14.71	16.47	17.65	17.75	16.47
Kecepatan (km/jam)	12	30	52	69	60

Tabel 3 Kondisi optimum pada mobil-B

KONDISI OPTIMUM					
Posisi gigi	1	2	3	4	5
Konsumsi bahan bakar (km/l)	9.58	17.43	24.08	26.05	31.67
Putaran mesin (rpm)	2352.54	1805.26	2314.51	2224.04	2129.26
Posisi throttle (%)	28.33	20.33	23.30	23.72	22.49
Kecepatan (km/jam)	14	20	38	50	57

Tabel 4 Kondisi optimum pada mobil-C

KONDISI OPTIMUM					
Posisi gigi	1	2	3	4	5
Konsumsi bahan bakar (km/l)	8.70	15.62	20.17	24.53	27.79
Putaran mesin (rpm)	2389	2281	2611	2396	2376
Posisi throttle (%)	15.30	16.90	16.90	16.50	20.40
Kecepatan (km/jam)	20	35	54	64	80

Tabel 5 Kondisi optimum pada mobil-D

KONDISI OPTIMUM					
Posisi gigi	1	2	3	4	5
Konsumsi bahan bakar (km/l)	10.50	18.35	19.60	26.51	32.15
Putaran mesin (rpm)	1252.5	1402.75	2091.5	1686.5	1789.75
Posisi throttle (%)	14.12	14.90	18.04	16.86	16.86
Kecepatan (km/jam)	10	20	42	45	60

Tabel 6 Kondisi optimum pada mobil-E

KONDISI OPTIMUM					
Posisi gigi	1	2	3	4	5
Konsumsi bahan bakar (km/l)	11.75	20.59	27.39	34.98	36.20
Putaran mesin (rpm)	1943	1696	2062	2480	2334
Posisi throttle (%)	23.40	19.10	20.76	26.45	24.66
Kecepatan (km/jam)	14	23	42	70	80

Tabel 7 Kondisi optimum pada mobil-F

KONDISI OPTIMUM					
Posisi gigi	1	2	3	4	5
Konsumsi bahan bakar (km/l)	13.96	21.48	25.36	31.30	33.55
Putaran mesin (rpm)	2058.5	1496.75	2403	2497.5	2258.5
Posisi throttle (%)	20.00	18.82	21.18	21.57	35.00
Kecepatan (km/jam)	16	20	50	69	75

Tabel 8 Kondisi optimum pada mobil-G

KONDISI OPTIMUM					
Posisi gigi	1	2	3	4	5
Konsumsi bahan bakar (km/l)	11.88	15.66	25.36	29.21	35.89
Putaran mesin (rpm)	1465.5	1978	2543.75	2670.25	2094.5
Posisi throttle (%)	17.65	19.22	20.39	21.18	20.78
Kecepatan (km/jam)	12	26	50	69	65

Pada aplikasi praktis berkendara, dalam situasi normal, terdapat hubungan khusus antara posisi gigi, kecepatan dan putaran mesin. Dalam keadaan normal, pemindahan gigi dilakukan pada putaran mesin yang sesuai, yaitu pada kondisi dimana mesin tidak mengalami knockin dan tidak menderu. Berdasarkan anggapan ini maka terdapat korelasi antara kecepatan kendaraan dengan putaran mesin. Dengan demikian, pengaruh parameter putaran mesin dapat dimasukkan ke dalam parameter kecepatan kendaraan. Adapun analisis terhadap relasi antara konsumsi bahan bakar terhadap posisi throttle menunjukkan hubungan yang tidak konsisten untuk kendaraan yang berbeda. Oleh karena itu parameter yang dipilih untuk membentuk model persamaan konsumsi bahan bakar dalam penelitian ini adalah posisi gigi dan kecepatan kendaraan. Untuk mengeliminasi pengaruh parameter posisi gigi maka model ini diasumsikan berlaku pada pengendaraan yang normal, dimana terdapat hubungan yang unik antara kecepatan kendaraan optimum terhadap posisi gigi. Dengan demikian jumlah parameter independen dalam penelitian ini dapat direduksi lagi menjadi hanya kecepatan kendaraan.

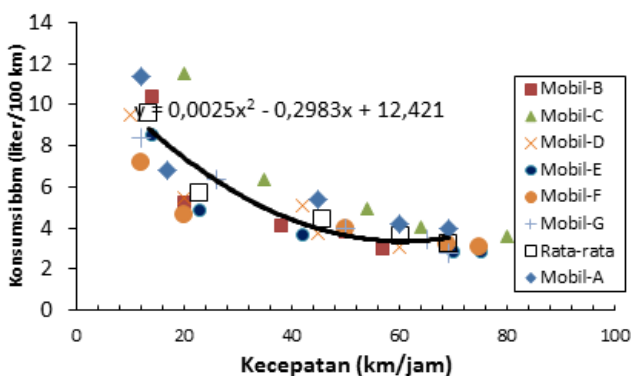
Pada Gambar 3 ditunjukkan plotting data kecepatan pada tingkat konsumsi bahan bakar minimum. Penggabungan seluruh data kondisi optimum ini menghasilkan persamaan regresi berikut:

$$FC = 0,0025 V - 0,2983 V + 12,4210 \quad (2)$$

Dimana FC = konsumsi bahan bakar (liter/100 km) dan V = kecepatan kendaraan (km/jam). Pada persamaan regresi tersebut factor korelasi  $R^2 = 91,05\%$ .

Model persamaan ini selanjutnya diuji dengan melakukan pengujian terhadap sebuah kendaraan yang berjalan secara normal. Perbandingan antara hasil pengukuran dan perhitungan dengan menggunakan persamaan di atas ditunjukkan pada Tabel 9 di bawah. Dari table tersebut terlihat bahwa model persamaan yang diusulkan ini memiliki rentang kesalahan  $\pm 7,9\%$ . Hasil ini cukup baik mengingat manfaat persamaan untuk memprediksi kecepatan kendaraan optimal, yang memberikan konsumsi bahan bakar terendah. Pada pengujian tersebut diperoleh tingkat konsumsi bahan bakar minimum adalah pada posisi gigi-5 pada kecepatan 65 km/jam. Adapun hasil perhitungan kecepatan yang memberikan konsumsi bahan bakar minimum, dengan menggunakan persamaan (2) di atas, adalah 59,7 km/jam. Berarti terdapat perbedaan sebesar 14,7%.

Hal yang perlu diperhatikan disini adalah bahwa model persamaan yang diusulkan ini belum dapat diberlakukan secara umum pada setiap kendaraan. Pada penelitian ini hanya digunakan 7 unit mobil penumpang berbahan bakar bensin premium, dengan kapasitas silinder 1500 – 2000 CC dengan yang bekerja berdasarkan sistem EFI yang dikendalikan oleh electronic control unit (ECU). Selain itu pengambilan data dilakukan dengan mengemudikan kendaraan secara normal dan halus. Adapun jalan yang digunakan adalah jalan tol dalam kota Semarang. Bentuk persamaan yang diusulkan ini relative lebih sederhana dibandingkan dengan persamaan yang diusulkan oleh M. G. Lee et. al, karena hanya melibatkan parameter kecepatan kendaraan saja. Meski demikian, keberlakuan persamaan ini harus diuji untuk berbagai jenis kendaraan lainnya yang memiliki manajemen mesin yang bervariasi dan juga dengan kapasitas silinder yang lebih bervariasi. Karena setiap kendaraan memiliki karakter yang berbeda, dapat diduga bahwa persamaan korelasi ini sebaiknya diterapkan secara terpisah untuk setiap kendaraan, yaitu dengan mencari nilai koefisien/konstanta pembentuk persamaan kuadrat.



Gambar 3 Regresi linier persamaan korelasi

Tabel 9 Hasil pengujian model persamaan

V (km/j)	FCU l/100 km)	FCH (l/100 km)	Selisih
20	7	7,455	-6,50%
30	5,4	5,722	-5,96%
40	4,2	4,489	-6,88%
50	3,9	3,756	3,69%
60	3,4	3,523	-3,62%
70	3,5	3,79	-8,29%
80	4,7	4,557	3,04%
90	6,3	5,824	7,56%
100	7,3	7,591	-3,99%

### Kesimpulan

Pada penelitian ini telah didapatkan korelasi yang sederhana untuk memprediksi kecepatan optimum kendaraan. Persamaan ini berlaku untuk kendaraan berbahan bakar bensin premium dengan sistem EFI yang dikendalikan oleh ECU. Faktor korelasi persamaan yang diusulkan ini adalah 91,5% yang merupakan korelasi data gabungan 7 jenis mobil penumpang. Untuk pengembangan lebih lanjut perlu diteliti kendaraan-kendaraan lainnya dengan variasi kapasitas silinder yang lebih luas.

### Referensi

1. Kementerian ESDM, Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2012, Jakarta, (2013)
2. E. Legowo, Kebijakan Pengaturan BBM Bersubsidi, Workshop IIEE, GSI & IISD, Pengendalian BBM Bersubsidi: Persiapan Implementasi dan Mitigasi Dampak Negatifnya, Jakarta, (2012).
3. J.B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill Book Company, Singapore, (1988)
4. M. Kroon, Ecodriving the Cool, Safe and Cleanest Driving Style for Saving Fuel Principles and Practice, IEA Workshop Cooling Cars with Less Fuel, Paris, (2006).
5. N. Sinaga, T. Priangkoso, D. Widayana, dan K. Abdurrohman, Kaji Eksperimental Pengaruh Beberapa Parameter Berkendaraan Terhadap Tingkat Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Penumpang Kapasitas Silinder 1500 – 2000 CC, SNTTM X, Malang, (2011).
6. N. Sinaga, Pengujian Teknik Mengemudi Hemat Energi Pada Kendaraan Penumpang Untuk Mendukung Program Smart Driving di Indonesia, SNTTM X, Malang, (2011).
7. M. G. Lee, Y. K. Park, K. K. Jung and J. J. Yoo, *Estimation of Fuel Consumption using In-Vehicle Parameters*, International Journal of u- and e- Service and Technology, Vol. 4, No. 4, pp. 37 – 46, December, (2011)