

UJI PRESTASI MESIN *DUAL FUEL* MENGGUNAKAN DIESEL ETANOL

PERFORMANCE TEST OF DUAL FUEL ENGINE USING ETHANOL DIESEL

Yanuandri Putrasari, Arifin Nur, dan Aam Muharam

Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik, LIPI
Kompleks LIPI, Gd.10, Jln. Cisit No.21/154 D, Bandung, Jawa Barat, 40135
Pos-el: yanu001@lipi.go.id/y.putrasari@gmail.com

ABSTRACT

Diesel engine is a high thermal-efficient of internal combustion engine. However, the application of diesel engine still depended on fossil fuel. This fuel has limited availability and the effect are also very dangerous especially its emission. Ethanol was used as an alternative fuel to replace fossil based of diesel fuel. The purpose of this work is to explore the performance of the dual fuel engine–ethanol diesel. The performance test was carried out by running the indirect injection engine that modified to direct injection on 1,500 rpm using four types of fuel i.e. diesel fuel, diesel mixed with ethanol 2,5%, 5%, and 10%. The results show that there was an increasing effect of engine indicated mean effective pressure (IMEP) value and brake specific fuel consumption (bsFC) reduction when the engine was operated using ethanol diesel fuel blends. The emission of hydrocarbon (HC) tends to increase, while the emission of smoke and carbon monoxide (CO) were decreased when the engine was operated using dual fuel–ethanol diesel.

Keywords: performance test, diesel engine, dual fuel, ethanol

ABSTRAK

Mesin diesel merupakan mesin pembakaran dalam yang memiliki efisiensi termal yang tinggi. Akan tetapi, pemakaian mesin diesel sampai saat ini masih mengandalkan bahan bakar minyak diesel yang berbasis minyak bumi. Bahan bakar ini, di samping persediaannya terbatas, pemakaiannya juga menimbulkan masalah berupa emisi yang berbahaya bagi lingkungan. Etanol dapat dijadikan bahan bakar alternatif untuk mengganti bahan bakar diesel. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki prestasi mesin *dual fuel* diesel etanol. Pengujian dilakukan dengan mesin injeksi tak langsung yang dimodifikasi menjadi injeksi langsung pada putaran mesin 1.500 rpm dengan variasi bahan bakar berupa minyak diesel, diesel etanol 2,5%, 5%, dan 10%. Hasil penelitian menunjukkan ada pengaruh terhadap peningkatan nilai IMEP dan penurunan *bsFC* mesin yang dioperasikan dengan pemakaian campuran bahan bakar diesel etanol. Emisi HC yang dihasilkan cenderung meningkat, sedangkan emisi *smke*, dan CO berkurang ketika mesin dioperasikan dengan campuran diesel etanol.

Kata kunci: uji prestasi, mesin diesel, *dual fuel*, etanol

PENDAHULUAN

Mesin diesel merupakan mesin yang paling efisien dari semua tipe mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) dan dapat menghasilkan torsi yang besar sehingga banyak

dimanfaatkan untuk keperluan yang sangat luas, misalnya pada bus, truk, alat berat, dan generator set.¹ Saat ini pengendalian emisi sudah menjadi hal utama dalam pengembangan mesin diesel. Penggunaan bahan bakar fosil secara simultan untuk mendukung setiap lini kehidupan manusia,

disamping akan menyebabkan perubahan iklim yang dapat memicu kerusakan lingkungan juga ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin terbatas. Perubahan iklim dapat terjadi oleh adanya efek rumah kaca akibat emisi mesin diesel yang menggunakan bahan bakar berbasis fosil. Beberapa emisi akan berkurang apabila bahan bakar fosil diganti dengan bahan bakar berbasis minyak nabati.

Perubahan iklim dan isu lingkungan global akibat pengembangan dan penggunaan energi yang berbasis fosil menjadi pertimbangan dalam pemilihan energi alternatif pada mesin diesel. Etanol memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan dengan bahan bakar konvensional yang dapat langsung dicampur dalam tangki bahan bakar, diinjeksikan ke ruang bakar, dan dibakar dengan tujuan mengurangi emisi gas buang yang dihasilkan.² Bahan ini berasal dari sumber daya terbarukan yang tidak terbatas, yaitu berupa tanaman yang dapat tumbuh dengan baik atau biomassa yang mengandung gula, pati atau selulosa.³ Selain itu, etanol dapat dicampur dengan premium atau minyak diesel sehingga dapat membantu memperpanjang umur pasokan minyak bumi, menjamin keamanan bahan bakar yang lebih besar, dan menghindari ketergantungan pada negara-negara penghasil minyak. Tiga area yang menjadi landasan bagi penggunaan etanol sebagai bahan berbasis nabati dalam sistem kendaraan berdasar beberapa penelitian yang menurut Ubner dan Muller-Laner,⁴ adalah: (a) mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dengan melakukan pendekatan *energy balance*, (b) mengurangi emisi gas rumah kaca, dan (c) mengurangi dampak terhadap kesehatan dan kerusakan lingkungan dengan cara siklus hidup (*life cycle*).

Selain banyaknya keunggulan etanol sebagai bahan bakar pengganti ataupun pencampur bahan bakar diesel, campuran diesel etanol juga memiliki kekurangan dibandingkan dengan bahan bakar diesel. Kekurangan yang dimiliki campuran diesel etanol adalah: (a) diperlukannya aditif untuk memastikan tercampurnya kedua bahan bakar secara homogen, dan (b) campuran tersebut memiliki kemampuan pelumasan yang rendah.⁵

Beberapa penelitian telah banyak melaporkan mengenai peningkatan prestasi mesin *dual fuel*

diesel etanol dugamengenai kekurangannya.⁶⁻¹⁶ Efek dari penambahan etanol 10% dan 15% pada prestasi dan emisi dari mesin diesel injeksi tak langsung yang dilengkapi *turbocharger* dengan tekanan injeksi berbeda-beda telah dilakukan oleh Canet *et al*. Hasilnya menunjukkan dengan penambahan etanol daya mesin tereduksi dan terjadi penurunan emisi CO, *soot*, dan SO₂ tetapi emisi NO_x cenderung meningkat. Rakopoulos *et al*,⁷ telah melakukan pengujian terhadap mesin diesel konvensional enam silinder *direct injection* yang dilengkapi *turbocharger* dan *after cooler* dengan menggunakan bahan bakar diesel yang dicampur 5% dan 10% volume etanol pada 1.200 dan 1.500 rpm. Hasil yang didapatkan menunjukkan adanya penurunan emisi *smoke*, NO_x, dan CO₂ tetapi HC meningkat. Sementara konsumsi bahan bakar sedikit meningkat dengan penambahan etanol dan dari segi prestasi mesin pertambahan *brake thermal efficiency* yang sangat kecil.

Parameter prestasi mesin berupa daya P (kW) dapat dihitung dengan rumus daya¹⁷ dan konsumsi bahan bakar yang terukur dapat dikonversi menjadi $bsfc$ (g/kWh) dengan rumus $bsfc$ ⁷.

$$P = 2\pi N \cdot T \times 10^{-3} \quad (1)$$

$$bsfc = (V_{bb}/P) \times 10^3 \quad (2)$$

dimana N (rev/s) adalah putaran mesin, T (N.m) adalah torsi, dan V_{bb} (kg/h) adalah laju aliran bahan bakar.

Meskipun telah banyak literatur ataupun penelitian mengenai pemanfaatan etanol yang dicampur dengan bahan bakar diesel pada mesin *dual fuel* tetapi kelengkapan informasi mengenai pencampurannya serta variasi persentasenya mendorong untuk dilakukan penelitian lebih lanjut. Karya tulis ini bertujuan memaparkan hasil pengujian prestasi mesin dengan mode *dual fuel* diesel etanol pada campuran 2,5%, 5%, dan 10%. Mesin yang digunakan adalah mesin diesel injeksi tak langsung dua silinder yang dimodifikasi menjadi injeksi langsung. Selain prestasi, pengaruh emisi yang dihasilkan dari mesin *dual fuel* juga akan dibahas untuk kelengkapan informasi bagi peneliti ataupun akademisi yang tertarik mendalami penelitian mesin *dual fuel* diesel etanol.

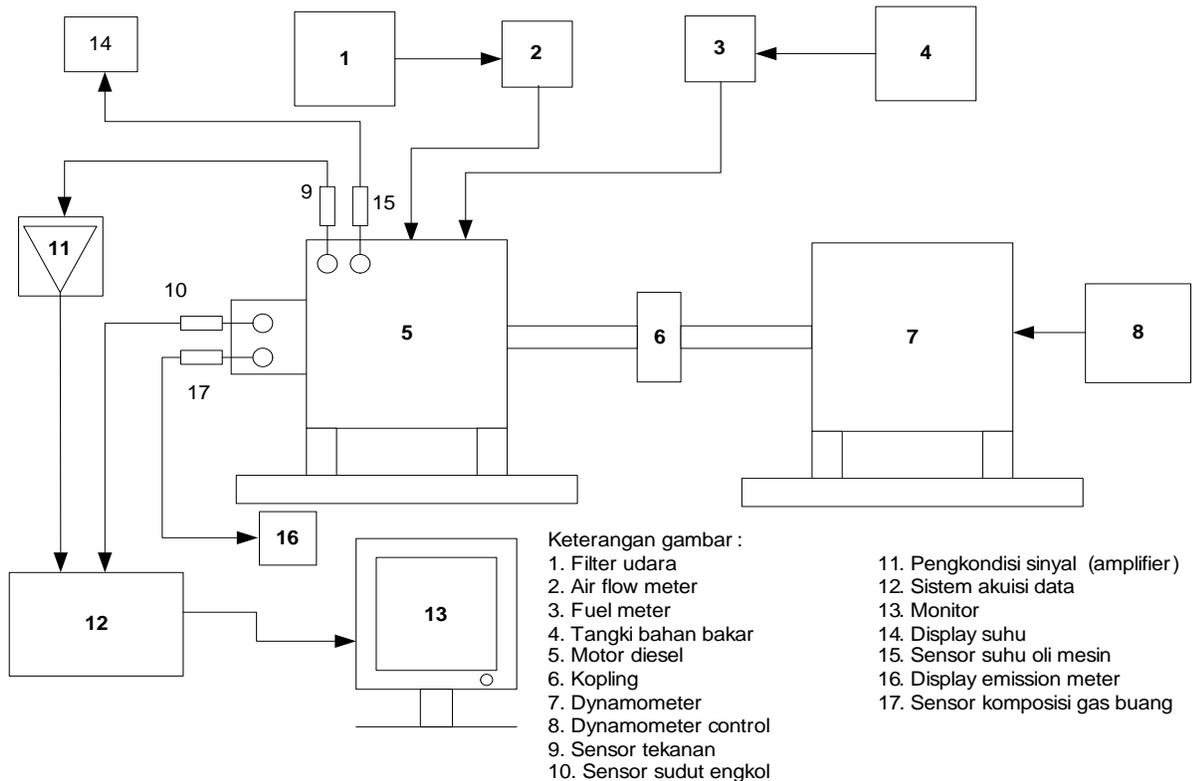
METODE PENELITIAN

Instalasi mesin pengujian

Pengujian dilakukan dengan menempatkan mesin diesel pada *engine test bed* jenis *eddy current dynamometer*, memasang *fuel balance*, *emission meter*, *smokemeter* serta memasang beberapa sensor tekanan dan sensor temperatur pada *intake* dan *exhaust manifold*. Mesin diesel yang diuji dihubungkan dengan *eddy current dynamometer* untuk pengaturan putaran dan beban, *fuel balance*

digunakan untuk mengukur konsumsi bahan-bakar, dan konsumsi udara masuk diukur dengan *hotwire anemometer*. Sementara pengukuran tekanan IMEP digunakan sensor tekanan dan sensor sudut engkol. Skematik diagram instalasi mesin pengujian ditampilkan pada Gambar 1. Mesin diesel yang diujikan adalah mesin diesel dua silinder *indirect injection* yang dimodifikasi menjadi *direct injection* dengan spesifikasi seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Persiapan bahan bakar



Gambar 1. Skematik Diagram Instalasi Mesin Pengujian

Tabel 1. Spesifikasi Mesin Penguji

Tipe	Diesel 4 Langkah
Jumlah katup	4
Sistem pengisian udara	Pengisian alamiah
Jumlah silinder/tipe	2/Vertikal
Volume (cc)	1.630 cc
Diameter x langkah	95 x 115 mm
Rasio kompresi	19 : 1
Torsi maksimum	96,9 Nm pada 1.500 rpm
Daya maksimum	13,5 kW pada 1.500 rpm
Sistem bahan bakar	<i>Indirect injection</i> termodifikasi menjadi <i>Direct Injection</i> , 195 bar

Bahan bakar yang diujikan adalah diesel 100% (diesel), diesel dengan campuran etanol 2,5% (E2,5%), 5% (E5%), dan 10% (E10%). Bahan bakar diesel didapatkan dari PTPertamina dengan merek dagang *biosolar*, yaitu campuran diesel 95–97,5% dan biodiesel 2,5–5%. Etanol dengan kemurnian 99,6% dan surfaktan berupa sorbitan methyl ester merek *SPAN 80* didapatkan dari penyuplai bahan kimia umum.

Perbandingan sifat-sifat antara bahan bakar diesel 100% dan etanol 99,6% diperlihatkan pada Tabel 2 berdasar data dari Rakopoulos *et al.*⁷ Bahan bakar campuran diesel etanol disiapkan dengan cara mengaduk sesuai dengan takaran yang diinginkan pada mesin pengaduk dengan putaran 250 rpm selama 15 menit. Hal ini dimaksudkan supaya didapatkan campuran yang homogen. Untuk menjaga kestabilan campuran digunakan tambahan surfaktan 1% dari volume total campuran.

Pelaksanaan pengujian

Pengujian dilakukan mengacu pada standar laboratorium ISO 17025,¹⁸ standar uji emisi ISO 8178,¹⁹ yang diadopsi menjadi SNI 097118 [1] 1-2005,²⁰ serta peraturan lingkungan hidup Nomor 5 Tahun 2006,²¹ dan standar pengujian diesel berupa ISO 3046-1:2002.²² Mesin dijalankan pada putaran 1.500 rpm dengan menggunakan bahan

bakar uji dengan variasi pembebanan 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 Nm. Kemudian parameter yang diukur pada setiap pengondisian mesin pada saat dioperasikan meliputi tekanan IMEP, konsumsi bahan bakar, konsumsi udara, temperatur oli, temperatur udara masuk dan gas buang, temperatur air pendingin baik masuk maupun keluar radiator, emisi CO, HC, dan *smoke*. Pengambilan data dilakukan dua kali dalam sekali pengujian untuk konsumsi bahan bakar dan nilai IMEP.

Setiap alat ukur dan sensor telah terkalibrasi dengan baik dan masing-masing memiliki ketepatan dan ketidakpastian pengukuran sesuai dengan spesifikasinya. Ketepatan dan ketidakpastian pengukuran ataupun perhitungan dalam penelitian ini ditampilkan pada Tabel 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh campuran diesel etanol terhadap nilai IMEP

Gambar 2 menunjukkan pengaruh campuran etanol terhadap nilai IMEP yang diplot dalam grafik IMEP terhadap beban. Pada Gambar 2 tampak grafik menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu seiring dengan bertambahnya beban bertambah pula nilai IMEP. Nilai IMEP tertinggi didapatkan pada campuran bahan bakar

Tabel 2. Sifat-sifat Bahan Bakar Diesel dan Etanol

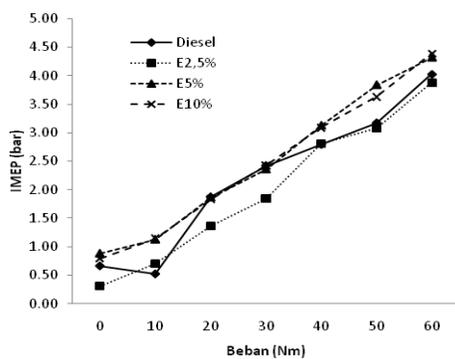
Sifat-sifat Bahan Bakar	Bahan Bakar Diesel	Etanol
Kepadatan pada 20°C, kg/m ³	837	788
Angka setana (<i>Cetane number</i>)	50	5-8
Viskositas kinematik pada 40°C, mm ² /s	2,6	1,2
Tegangan permukaan pada 20°C, N/m	0,023	0,015
Nilai kalor bawah, MJ/kg	43	26,8
Kapasitas kalor spesifik, J/kg°C	1850	2100
Titik didih	180-360	78
Oksigen, % berat	0	34,8
Kalor laten penguapan, kJ/kg	250	840
<i>Bulk modulus of elasticity</i> , bar	16000	13200
Rasio bahan bakar udara stoikiometrik	15,0	9,0
Berat molekul	170	46

Sumber: Rakopoulos *et al.*⁷

E5% kemudian diikuti oleh E10% sedangkan nilai terendah didapatkan dari mesin yang menggunakan bahan bakar E2,5%. Dalam hal ini, dengan penambahan campuran etanol menyebabkan kenaikan tekanan nilai IMEP karena nilai setana etanol yang lebih rendah menyebabkan proses pembakaran awal berlangsung lebih lambat sehingga kemudian lebih banyak bahan bakar pada fase pencampuran awal, selanjutnya akan menghasilkan tekanan maksimum ruang bakar yang lebih tinggi.⁵

Tabel 3. Ketepatan dan Ketidakpastian Pengukuran dan Perhitungan

Pengukuran	Ketepatan
Kepadatan soot	$\pm 1 \text{ g/m}^3$
CO	$\pm 5 \%$
HC	$\pm 20 \text{ ppm}$
Putaran	$\pm 5 \text{ rpm}$
Torsi	$\pm 0,2 \text{ Nm}$
Hasil perhitungan	Ketidakpastian (%)
Laju volume bahan bakar	± 2
Daya	± 1
Konsumsi bahan bakar spesifik	$\pm 1,5$
Efisiensi	$\pm 1,5$



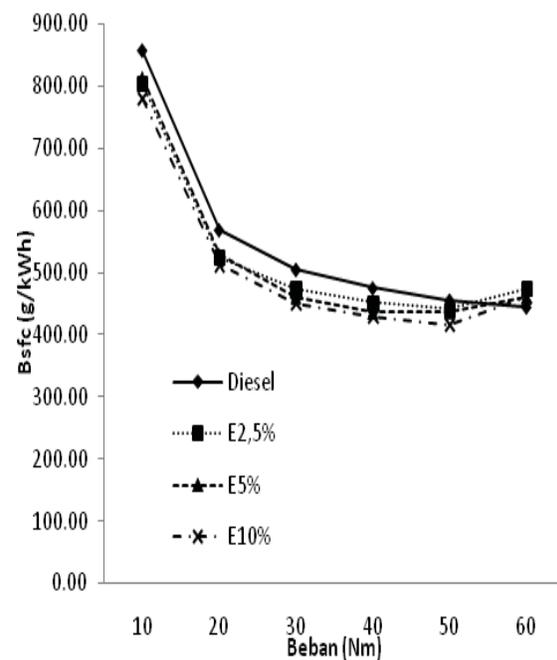
Gambar 2. Pengaruh Campuran Diesel Etanol terhadap Nilai IMEP

Pengaruh campuran diesel etanol terhadap konsumsi bahan bakar spesifik (*bsfc*)

Bsfc dapat dihitung dengan rumus daya (Persamaan 1)¹⁷ dan rumus *bsfc* (Persamaan 2).⁷ Pengaruh pengujian mesin *dual fuel* berbahan bakar diesel murni, campuran etanol E2,5%, E5%, dan E10% terhadap *bsfc* ditampilkan pada Gambar 3. Semua grafik menunjukkan tipe kecenderungan yang

sama, yaitu dengan bertambahnya beban semakin berkurang jumlah bahan bakar yang diperlukan. Hal ini sesuai dengan apa yang dihasilkan dalam penelitian Ajavet *al.*²³

Dari grafik tampak *bsfc* tertinggi didapatkan dari mesin berbahan bakar diesel murni dan *bsfc* terendah didapatkan dari mesin *dual fuel* berbahan bakar E10%. Dapat dikatakan bahwa dengan penambahan campuran etanol dapat menurunkan jumlah konsumsi bahan bakar atau mesin lebih irit. Hal ini sangat berbeda dengan hasil penelitian terdahulu,⁷⁻⁸ yaitu dengan pertambahan rasio campuran etanol seharusnya menunjukkan kenaikan nilai *bsfc*. Kenaikan nilai *bsfc* pada mesin *dual fuel* dengan campuran diesel etanol dapat terjadi karena nilai *lower heating value* (LHV) setiap satuan massa dari bahan bakar etanol adalah lebih rendah daripada bahan bakar diesel.



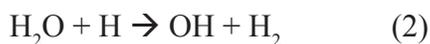
Gambar 3. Pengaruh Campuran Diesel Etanol terhadap *bsfc*

Jumlah bahan bakar yang dimasukkan keruang bakar untuk *input* energi yang diinginkan seharusnya lebih besar jika menggunakan campuran bahan bakar etanol.⁸ Di dalam penelitian ini didapatkan hasil yang berbeda, dapat dimungkinkan terjadi karena penggunaan bahan bakar diesel yang tidak 100% murni. Di sini digunakan bahan bakar diesel merek *solar* yang diproduksi PT Pertamina. Seperti kita ketahui

bahwa *solar* ini memiliki campuran biodiesel kurang lebih antara 2,5% dan 5%, sehingga dalam bahasa komersialnya sering disebut *biosolar*. Meskipun nilai LHV biodiesel masih rendah yaitu sekitar 37,5 MJ/kg jika dibandingkan dengan LHV diesel murni yaitu sekitar 43 MJ/kg,⁵ hal ini mungkin dapat memengaruhi jumlah konsumsi bahan bakar spesifik ketika ketiga bahan bakar yaitu diesel, biodiesel, dan etanol dicampur bersama. Menurut Hulwan dan Joshi,¹⁶ penurunan *bsfc* dapat dijelaskan bahwa sebenarnya ketika beban meningkat, peningkatan daya pengereman lebih besar daripada kebutuhan kenaikan konsumsi bahan bakar untuk mencapai temperatur pembakaran (diindikasikan oleh tekanan silinder). Konversi dari energi panas ke kerja mekanis dengan kenaikan temperatur pembakaran mendorong penurunan *bsfc* terhadap beban. Kemungkinan lain yang diindikasikan dapat memengaruhi nilai *bsfc* adalah modifikasi mesin dari injeksi tak langsung menjadi injeksi langsung.

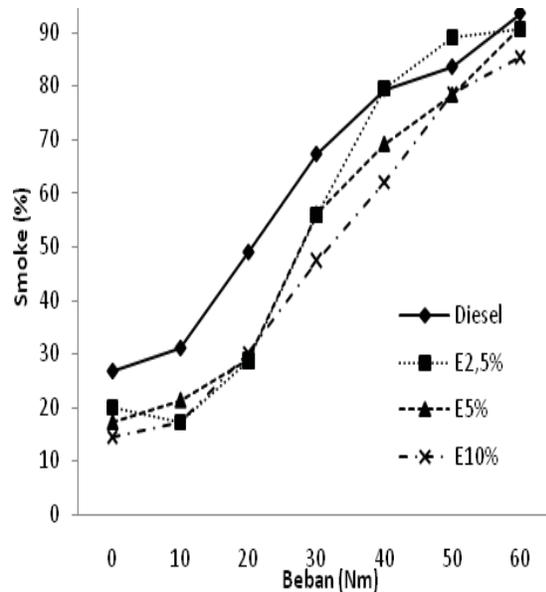
Pengaruh campuran diesel etanol terhadap emisi *smoke*, HC, dan CO

Perbandingan emisi *smoke* antara mesin diesel berbahan bakar diesel murni, campuran etanol E2,5%, E5%, dan E10% ditampilkan pada Gambar 4. Semua grafik menunjukkan tipe kecenderungan yang sama yaitu dengan bertambahnya beban yang diberikan pada mesin bertambah pula persentase emisi *smoke* yang dihasilkan. Nilai persentase *smoke* tertinggi dihasilkan oleh mesin berbahan bakar diesel murni dan persentase *smoke* terendah didapatkan dari mesin dengan bahan bakar E10%. Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Huang *et al.*¹⁴ Kemudian, menurut Zhu *et al.*,⁵ etanol dapat menurunkan pembentukan bibit-bibit jelaga karena produksi OH yang berasal dari etanol. Selanjutnya masih menurut Zhu *et al.*,⁵ untuk etanol sumber OH dapat disebabkan reaksi berikut:



Dengan demikian, reaksi tersebut berpengaruh terhadap konversi dari sebuah atom reaksi hidro-

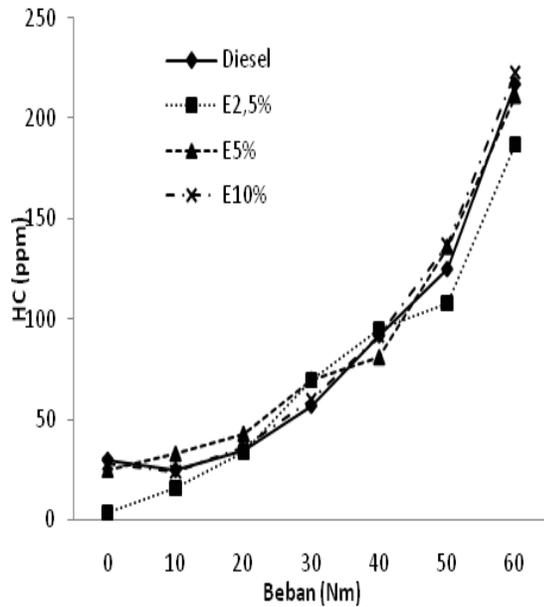
gen menjadi molekul hidrogen yang menjadikan hambatan pembentukan jelaga.⁵



Gambar 4. Pengaruh Penambahan Campuran Etanol terhadap Kandungan Emisi *Smoke*

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No. 5 Tahun 2006,²¹ ambang batas untuk emisi *smoke* atau *opacity* untuk mesin diesel kendaraan tahun pembuatan di bawah 2010 adalah 70%. Dengan demikian jika mengacu pada hal tersebut, meskipun mesin yang digunakan di sini adalah mesin stasioner bukan untuk kendaraan, dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan penambahan etanol 10% pembebanan pada maksimum 40 Nm masih memenuhi syarat untuk emisi di bawah standar ambang batas yang ditetapkan.

Sementara itu, perbandingan jumlah HC akibat mesin diesel berbahan bakar diesel murni, campuran etanol E2,5%, E5%, dan E10% ditampilkan pada Gambar 5. Tipe grafik menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu nilai kandungan emisi HC bertambah dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada mesin. Nilai HC yang cenderung rendah pada setiap pembebanan didapatkan pada mesin dengan bahan bakar E2,5%.



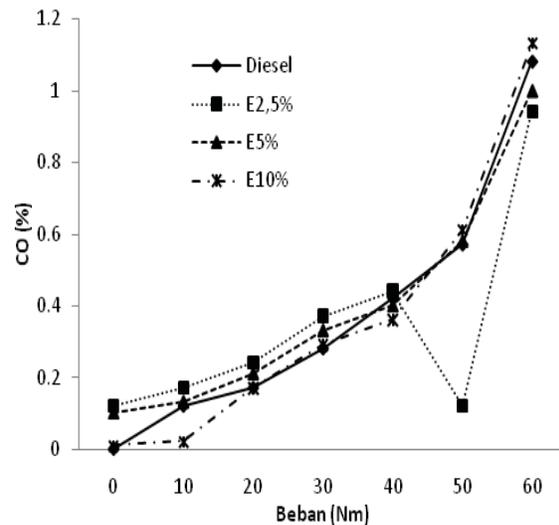
Gambar 5. Pengaruh Campuran Etanol terhadap Kandungan Emisi HC

Sementara itu mesin dengan bahan bakar E10% cenderung menunjukkan jumlah HC yang selalu lebih tinggi dibandingkan dengan mesin berbahan bakar diesel murni. Hal ini sama dengan hasil penelitian Rakopouloset *al.*⁷ dan sesuai dengan Hansen *et al.*,¹² yaitu uji emisi yang dilakukan pada mesin dengan bahan bakar campuran diesel etanol akan menghasilkan pengaruh terhadap *total hydrocarbon* (HC) yang tidak jelas. Sementara menurut Huang *et al.*,¹⁴ pada mesin yang beroperasi 1.500 rpm dengan bahan bakar campuran etanol akan menghasilkan nilai HC yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar solar murni.

Gambar 6 menunjukkan perbandingan grafik CO terhadap beban akibat pengaruh bahan bakar diesel murni, campuran etanol E2,5%, E5%, dan E10%. Kecenderungan grafik sama diantara semua grafik yaitu meningkatnya nilai persentase CO seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan terhadap mesin.

Namun, ada fenomena pada E2,5% persentase CO turun drastis pada pembebanan 50 Nm. Belum diketahuinya penyebab hal ini dapat dimungkinkan karena ketidakpastian alat ukur atau dapat juga karena ketika mesin beroperasi pada putaran 1.500 rpm dengan beban lebih dari setengah beban penuhnya (50 Nm), temperatur di dalam silinder akan menjadi tinggi, yang akan

membuat reaksi kimia dari bahan bakar dengan oksigen lebih mudah dan pembakaran akan menjadi lebih sempurna. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Huang *et al.*¹⁴ Meskipun pada beban yang lebih tinggi lagi (yaitu 60 Nm), kandungan emisi CO kembali meningkat drastis. Hal ini mungkin juga dapat terjadi, mengingat berbagai kemungkinan di dalam mesin diesel yang sedang beroperasi dapat terjadi, termasuk perubahan temperatur dalam silinder yang berubah-ubah meskipun secara tidak wajar.



Gambar 6. Pengaruh Campuran Etanol terhadap Emisi CO

Akan tetapi, biar bagaimanapun reduksi emisi CO dapat terjadi pada pembakaran yang sempurna. Dari semua grafik dapat diketahui bahwa nilai CO terendah pada setiap perubahan pembebanan didapatkan pada mesin berbahan bakar E10%. Hal ini dimungkinkan karena dengan penambahan etanol yang semakin banyak akan menyebabkan kandungan oksigen yang tinggi dalam bahan bakar, sehingga merupakan faktor utama untuk mereduksi kandungan emisi CO.^{5,23}

KESIMPULAN

Pengujian telah dilakukan pada mesin injeksi tak langsung yang dimodifikasi menjadi injeksi langsung dengan putaran 1.500 rpm dengan variasi bahan bakar berupa minyak diesel, diesel etanol 2,5%, 5%, dan 10%. Hasil penelitian menunjukkan ada pengaruh peningkatan nilai IMEP dan penurunan nilai *bsfc* terhadap mesin yang dioperasikan dengan pemakaian campuran

diesel etanol. Dengan pengoperasian mesin diesel model *dual fuel* berbahan bakar diesel etanol emisi yang dihasilkan berupa *smoke*, dan CO terjadi pengurangan, sedangkan untuk HC cenderung meningkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan penghargaan kami sampaikan kepada Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik-LIPI atas pembiayaan penelitian ini melalui proyek Kompetitif LIPI 2011. Kepada Bapak Ahmad Dimyani dan Saudara Mulia Pratama yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini serta kepada Prof. (R). Dr. Subyakto yang telah membimbing penulisan karya tulis ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Lee, W.J. 2011. Assessment of Energy Performance and Air Pollutant Emission in a Diesel Engine Generator Fueled with Water-Containing Ethanol with Water Containing Ethanol Biodiesel-Diesel Blends of Fuel. *Energy* 36: 5.591-5.599.
- ²Lei, J.,L.Shen, Y.Bi, dan H.Chen. 2012. A Novel Emulsifier for Ethanol-Diesel Blends and Its Effect on Performance and Emissions of Diesel Engine. *Fuel* 93: 305-311.
- ³Song, C. *et al.* 2010. Carbonyl Compound Emissions From a Heavy-Duty Diesel Engine Fueled with Diesel fuel and Ethanol-Diesel Blend. *Chemosphere* 79: 1.033-1.039.
- ⁴Ubner, M. dan F.Muller-Langer. 2009. Biofuels Today and Tomorrow: Effects of Fuel Composition on Exhaust Gas Emissions. *Accreditation and Quality Assurance* 14: 685-691.
- ⁵Zhu, L.,C.S. Cheung, W.G. Zhang, dan Z. Huang. 2011. Combustion, Performance and Emission Characteristics of a DI Diesel Engine Fueled with Ethanol-Biodiesel Blends. *Fuel* 90: 1.743-1.750.
- ⁶Can, O.,I. Celikten, dan N. Usta. 2004. Effects of Ethanol Addition on Performance and Emissions of a Turbocharged Indirect Injection Diesel Engine Running at Different Injection Pressures. *Energy Conversion and Management* 45: 2.429-2.440.
- ⁷Rakopoulos, D.C.,C.D. Rakopoulos, E.C. Karakas, dan E.G. Giokoumis, 2008. Effects of Ethanol-Diesel Fuel Blends on the Performance and Exhaust Emissions of Heavy Duty DI Diesel Engine. *Energy Conversion and Management* 49: 3.155-3.162.
- ⁸Sayin, C. dan M. Cacakci. 2009. Effects of Injection Timing on The Engine Performance and Exhaust Emissions of a Dual-Fuel Diesel Engine. *Energy Conversion and Management* 50:203-213.
- ⁹Cetin, M.,F. Yuksel, dan H. Kus. 2009. Emission Characteristics of a Converted Diesel Engine Using Ethanol as Fuel. *Energy for Sustainable Development* 13:250-254.
- ¹⁰Shi, X.*et al.* 2006. Emission Reduction Potential of Using Ethanol-Biodiesel-Diesel Fuel Blend on a Heavy-Duty Diesel Engine. *Atmospheric Environment* 40:2.567-2.574.
- ¹¹Kumar, M.S.,A. Kerihuel, A. Bellettre, dan M. Tazerout. 2006. Ethanol Animal Fat Emulsions as a Diesel Engine Fuel-Part 2: Engine Test Analysis. *Fuel* 85:2.646-2.652.
- ¹²Hansen, A.C.,Q. Zhang, dan P.W.L. Lyne. 2005. Ethanol-Diesel Fuel Blends-a Review. *Bioresource Technology* 96:277-285.
- ¹³Pidol, L., B. Lecointe, L. Starck, dan N. Jeuland. 2012. Ethanol-Biodiesel-Diesel Fuel Blends: Performances and Emissions in Conventional Diesel and Advanced Low Temperature Combustions. *Fuel* 93:329-338.
- ¹⁴Huang, J. *et al.* 2009. Experimental Investigation on The Performance and Emissions of a Diesel Engine Fuelled with Ethanol-Diesel Blends. *Applied Thermal Engineering* 29:2.484-2.490.
- ¹⁵Park, H.S.,I.M. Youn, dan C.S. Lee. 2011. Influence of Ethanol Blends on The Combustion Performance and Exhaust Emission Characteristics of a Four-Cylinder Diesel Engine at Various Engine Loads and Injection Timings. *Fuel* 90:748-755.
- ¹⁶Hulwan, D.B. dan S.V. Joshi. 2011. Performance, Emission and Combustion Characteristic of a Multicylinder DI Diesel Engine Running on Diesel-Ethanol-Biodiesel Blends of High Ethanol. *Applied Energy* 88:5.042-5.055.
- ¹⁷Heywood, J.B. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. USA: McGraw-Hill.
- ¹⁸International Organization for Standardization. 2005. *17025: General Competence of Testing and Calibration*. ISO.
- ¹⁹International Organization for Standardization. 2006. *8178-1: Reciprocating Internal Combustion Engines-Exhaust Emission Measurement*. ISO.
- ²⁰Standar Nasional Indonesia. 2005. *09-7118.1: Emisi Gas Buang-Sumber Bergerak-Bagian 1: Cara Uji Kendaraan Bermotor Kategori M, N, dan O Berpenggerak Penyalaan Cetus Apipada Kondisi Idle*. SNI.

- ²¹Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No. 5 Tahun 2006. Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama. (http://www.menlh.go.id/perundang-undangan/peraturan-menteri-negara-lingkungan-hidup/i/art/kep-men_05-2006.pdf, diakses 8 Maret 2011).
- ²²International Organization for Standardization. 2002. *3046-1: Reciprocating Internal Combustion Engine-Performance*. ISO.
- ²³Ajav, E.A., B. Singh, dan T.K. Bhattacharya. 1999. Experimental Study of Some Performance Parameters of a Constant Speed Stationary Diesel Engine Using Ethanol-Diesel Blends as Fuel. *Biomass and Bioenergy* 17: 357–365.

