

ANALISIA PENGARUH CAMPURAN BAHAN BAKAR SOLAR-MINYAK JARAK PAGAR PADA KINERJA MOTOR DIESEL DAN EMISI GAS BUANG

Markus Sumarsono

Peneliti di Balai Besar Teknologi Energi
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Abstract

A test of a diesel motor using the fuel mixture of diesel-jatropha oil has been conducted in order to analyze the influence of fuel mixture composition to the motor performance and exhaust gas emission. The motor which had a single cylinder, 4 cycles, with maximum energy output of 4.4 kW at 2600 rpm, moved a generator as electricity power load. The percentage of jatropha oil in fuel mixture was 0%, 10%, 30%, 50% and 100%. The testing method was, to each fuel mixture composition and at constant 2000 rpm motor rotation with electricity power load of 0 and 2 kW, the data concerning to the fuel consumption, lubricating oil temperature and exhaust gas emission was measured. The test result indicated that the higher the percentage of jatropha oil in fuel mixture, the higher the fuel consumption and the CO₂ and NO_x emission in exhaust gas, but the lower the HC and O₂ emission and opacity of exhaust gas.

Key words: Fuel consumption, Exhaust gas emission, Diesel-jatropha oil

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini Indonesia mengimpor hampir 5-6 milyar liter bahan bakar diesel, yang merupakan hampir 30% kebutuhan solar dalam negeri. Harga minyak bumi dunia meningkat tajam mencapai level di atas USD 100/barel pada awal Maret 2008, sementara itu pertumbuhan eksplorasi cadangan minyak bumi nasional berjalan sangat lambat. Hal ini menyebabkan Indonesia harus mengimpor minyak dengan harga yang tinggi. Upaya substitusi bahan bakar minyak (BBM) dengan bahan bakar nabati (BBN) telah dicanangkan di awal 2006, salah satu alternatif yang bisa dilakukan adalah pemanfaatan minyak jarak pagar (*Jatropha*

Curcas) sebagai bahan bakar motor diesel stasioner untuk pembangkitan listrik (PLTD)¹⁻². Minyak jarak pagar bila digunakan secara langsung tanpa melalui proses transesterifikasi digolongkan dalam *Bio-oil* atau *Pure Plant Oil* (PPO). *Bio-oil* ini sebagai bahan bakar dari sumber nabati dimanfaatkan secara langsung untuk mensubstitusi dan mengurangi konsumsi solar industri, minyak diesel dan minyak bakar. Menurut *road-map* pengembangan BBN nasional, konsumsi PPO untuk pembangkitan listrik pada tahun 2005-2010 sebesar 0,4 juta kL, tahun 2011-2015 sebesar 0,74 juta kL, dan tahun 2016-2025

sebesar 1,69 juta kL³). Proses pembakaran PPO di dalam motor diesel tentunya akan menghasilkan sejumlah gas buang di antaranya adalah senyawa hidrokarbon (HC) tidak terbakar, karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), senyawa nitrogen oksida (NO_x), dan asap (*smoke*). Bahan-bahan pencemar tersebut dapat berdampak negatif terhadap manusia ataupun ekosistem bila melebihi konsentrasi tertentu.

Motor diesel merupakan salah satu penyumbang polusi udara, salah satu penyebabnya adalah pembakaran tidak sempurna dan kondisi bahan bakar. Emisi motor diesel antara lain hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), dan NO_x serta partikulat. Kandungan emisi gas buang tergantung pada kondisi disain dan operasi, namun secara umum terdiri dari⁴⁾:

- HC : 3000 ppm (25 g/kg bahan bakar)
- CO : 1 - 2 % (200 g/kg bahan bakar)
- NO_x : 500 -1000 ppm (20g/kg bb)

HC adalah gas beracun, dapat menyebabkan iritasi mata, batuk, perasaan mengantuk dan dapat menyebabkan kanker. HC yang bereaksi dengan NO_x mengakibatkan efek rumah kaca dan membentuk lubang pada lapisan ozon.

Gas CO bersifat racun terhadap tubuh karena bila masuk ke dalam darah, CO dapat bereaksi dengan hemoglobin untuk membentuk karboksihemoglobin (COHb)⁵⁾. Bila reaksi tersebut terjadi, maka kemampuan darah mengangkut O₂ untuk kepentingan pembakaran dalam tubuh akan menjadi berkurang. Hal ini disebabkan karena kemampuan Hb untuk mengikat CO jauh lebih besar (sekitar 200 kali lebih) dibandingkan kemampuan Hb untuk mengikat O₂. Selain itu kandungan COHb dalam darah dapat menyebabkan terganggunya sistem urat syaraf dan fungsi tubuh pada konsentrasi rendah (2-10%) dan bisa menyebabkan kematian pada konsentrasi tinggi (>10%).

Komponen utama dari NO_x adalah nitrogen-oksida (NO) dan nitrogen-dioksida (NO₂). NO adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berasa, dan akan terkonversi dengan cepat menjadi NO₂ bila tersedia cukup oksigen. NO merupakan gas inert dan hanya bersifat 'racun' serta sama halnya CO, NO mempunyai afinitas tinggi terhadap oksigen dibandingkan hemoglobin dalam darah. Dengan demikian paparan terhadap NO dapat mengurangi kemampuan darah membawa oksigen sehingga tubuh kekurangan oksigen dan mengganggu fungsi metabolisme. Sedangkan NO₂ merupakan gas yang berwarna coklat kemerah-merahan dan beracun dengan bau yang kuat dimana dapat menimbulkan iritasi pada selaput lendir dan merusak jaringan paru-paru. NO₂ juga menurunkan kekebalan tubuh terhadap infeksi yang disebabkan kuman seperti influenza, mengakibatkan bronkhitis, radang paru-paru (*pneumonia*), serta untuk penderita asma akan lebih sensitif terhadap debu. NO_x merupakan salah satu komponen pembentuk *photochemical smog* yang merupakan campuran gas NO, NO₂, dan PAN (Peroksi Asetil Nitrat) hasil reaksi berantai N₂, O₂, dan HC tak terbakar, dengan matahari sebagai katalisnya⁵⁾. Gas NO juga turut berperan terhadap rusaknya lapisan ozon dan terjadinya hujan asam. Pengaruh dari terbentuknya *photochemical smog* adalah: a). Mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan makhluk hidup lain; b). Menimbulkan rasa perih pada mata, bila konsentrasinya rendah (0,1 ppm); c). Mengganggu fungsi saluran pernapasan, bila konsentrasinya tinggi (70 ppm).

Partikel asap mempunyai diameter 0,5-1 µm. Asap dapat mengurangi jarak pandang karena partikel padatan di dalamnya memencarkan atau menyerap sinar. Intensitas pengurangan jarak pandang ini tergantung pada ukuran dan bentuk partikulat. Efek partikulat pada kesehatan manusia menjadi berbahaya dikarenakan ukurannya yang sangat kecil dapat menembus sistem pernapasan sampai ke bagian paru-paru bagian dalam. Terlebih lagi

partikulat dapat mengikat polutan lain yang terdapat di dalam udara (NO_x , SO_x , dll) sehingga dapat tertinggal dalam tubuh untuk waktu yang lebih lama.

1.2 Tujuan

Pada makalah ini, akan dibahas pengaruh persentase minyak jarak pagar dalam bahan bakar campuran solar-minyak jarak pagar terhadap kinerja motor diesel dan emisi gas buang. Minyak jarak pagar yang digunakan adalah yang telah mengalami proses penghilangan getah (*degumming*) dan penyaringan (*filtering*) dengan besar kandungannya dalam campuran bahan bakar adalah 0%, 10%, 30%, 50% dan 100%.

2. METODOLOGI

2.1 Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan pada tanggal 17-23 Nopember 2007 di Laboratorium Motor-bakar, PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang.

2.2 Pengujian dan pengumpulan data

Motor diesel yang digunakan dalam pengujian bahan bakar adalah motor diesel jenis injeksi langsung, satu silinder dan memiliki sistem pendinginan air.



Gambar-1. Motor diesel pada pengujian Tabel-2 memberikan spesifikasi motor diesel yang dikopel dengan generator listrik sebagai beban.

Tabel-2. Spesifikasi motor diesel

Motor :	
Type	<i>Direct Injection, 4-strokes</i>
Jumlah silinder	1
<i>Bore x Stroke (mm)</i>	75 x 80
Rasio kompresi	21-23 : 1
<i>Max. Power (kW/rpm)</i>	4,4 / 2600
Generator :	
<i>Power (kW/rpm)</i>	3 / 1500
Tegangan (V)	220

Bahan bakar yang digunakan dalam pengujian adalah bahan bakar solar murni dan campuran bahan bakar solar-minyak jarak pagar. Dalam hal ini minyak jarak pagar sebelum dicampurkan, terlebih dahulu telah mendapat perlakuan penghilangan getah/lendir dan penyaringan. Kemudian dalam pencampuran solar dengan minyak jarak pagar, persentase minyak jarak ditentukan sebesar 0%, 10%, 30%, 50%, dan 100% dan secara berurutan diberi nama sebagai DJ00, DJ10, DJ30, DJ50 dan DJ100 (DJ = *Degummed Jatropha Oil*). Masing-masing campuran diukur nilai kalornya menggunakan *bomb-calorimeter*. Di samping itu diukur pula *flash point*, viskositas (menggunakan *viscosity measuring unit AVS 310*) serta densitas (menggunakan *density meter DMA 58*), dan hasil pengukuran disajikan dalam Tabel-3.

Pada pengujian ini, untuk setiap campuran bahan bakar, motor dijalankan dengan putaran konstan sekitar 2000 rpm, masing-masing "tanpa beban" atau beban 0 kW dan "dengan beban" sebesar daya keluaran generator listrik 2 kW. Selama pengujian, parameter-parameter yang diukur di antaranya adalah konsumsi bahan bakar (menggunakan alat ukur burret 25 ml), emisi gas buang (menggunakan *automotive emission analyzer HG-520*), opasitas gas buang.

Tabel-3. Sifat-sifat campuran solar-minyak jarak pagar

Parameter	DJ00	DJ10	DJ30	DJ50	DJ100	EN 14214 ⁶⁾
Flash point, °C	103	103	104	104	218	> 101
Viskositas, cSt	5,32	7,21	9,13	13,67	34,22	3,5 - 5
Densitas, kg/L	0,85	0,86	0,87	0,89	0,92	0,86 - 0,90
Nilai kalor, MJ/kg	42,2	41,6	41,1	40,7	39,6	---

(menggunakan *smoke analyzer* SPX EGA - 2000), dan temperatur oli pelumas (menggunakan sensor RTD Pt.100).

Proses Pengambilan Data:

- 1). Pengujian motor: Pemanasan selama beberapa menit dan pengecekan terhadap setiap komponen peralatan untuk mendapatkan kondisi operasi motor.
- 2). Pengambilan data: Setelah kondisi putaran motor stabil di sekitar 2000 rpm dan *setting* pembebanan listrik 0 kW dan ± 2 kW maka dilakukan pengambilan data meliputi: Konsumsi bahan bakar (L/h), Temperatur oli pelumas (°C), Opasitas (%), Emisi gas buang: HC (ppm), CO₂ (%), NO_x (ppm), O₂ (%).

2.2 Konsumsi bahan bakar efektif

Prinsip kerja motor diesel berbeda dengan prinsip kerja motor bensin, dalam motor bensin campuran bensin dan udara dinyalakan oleh letusan api dari busi, sedangkan dalam motor diesel hanya udara yang dihisap ke dalam silinder yang kemudian dikompresikan. Karena kompresi itu, udara akan menjadi sedemikian panas sehingga bahan bakar solar yang disemprotkan ke dalam silinder akan menyala dengan sendirinya, menghasilkan energi panas yang berguna untuk menggerakkan torak secara translasi. Gerakan translasi torak ini diubah menjadi energi mekanik oleh poros engkol yang berhubungan langsung dengan batang

torak. Terdapat dua jenis motor diesel, yaitu motor diesel dua langkah dan empat langkah. Motor diesel 2-langkah adalah motor diesel yang melengkapi siklusnya dalam dua gerakan torak atau dalam satu putaran poros engkol. Sedang motor diesel 4-langkah menyelesaikan siklusnya dalam empat langkah torak atau dua kali putaran poros engkol⁷⁾.

Dari hasil pengukuran konsumsi bahan bakar per satuan waktunya \dot{m}_{mea} (L/h) dapat dihitung laju massa konsumsi bahan bakar \dot{m}_f (kg/h) sebagai berikut:

$$\dot{m}_f = \dot{m}_{mea} \cdot \rho_f \quad \text{kg/h} \quad (1)$$

dengan ρ_f (kg/L) adalah densitas bahan bakar. Perbandingan antara laju konsumsi massa bahan bakar dan pembebanan daya listrik N (kW) didefinisikan sebagai konsumsi bahan bakar spesifik SFC (kg/kWh):

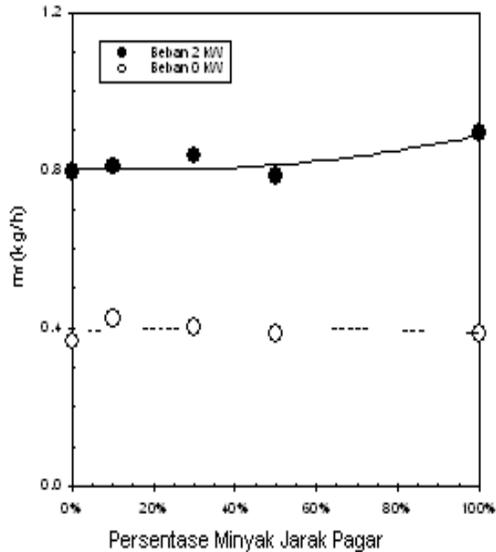
$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{N} \quad \text{kg/kWh} \quad (2)$$

Konsumsi bahan bakar spesifik ini dijadikan sebagai ukuran hemat tidaknya motor terhadap pemakaian bahan bakar dan merupakan kebalikan dari efisiensi termal motor (η_t). Harga SFC yang rendah menandakan bahwa motor yang bersangkutan hemat bahan bakar, yang berarti efisiensinya tinggi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

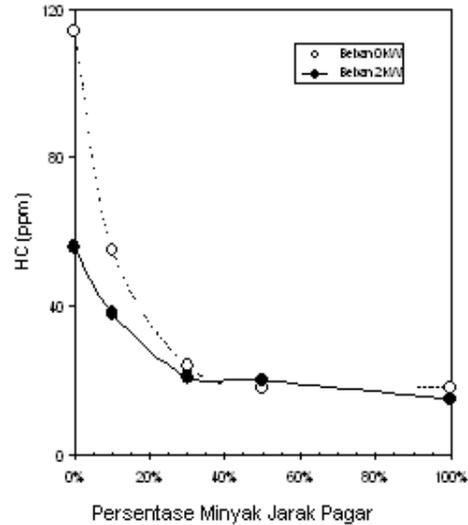
3.1 Laporan penelitian

Gambar-2 dan 3 memperlihatkan kecenderungan konsumsi bahan bakar yang makin meningkat dengan makin besarnya persentase minyak jarak pagar dalam

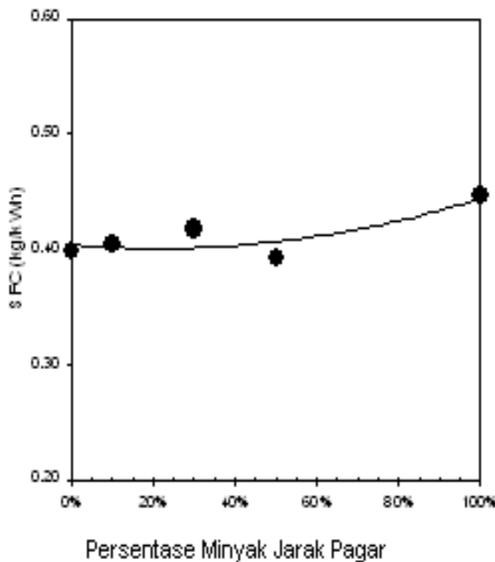


Gambar-2. Laju konsumsi bahan bakar

campuran bahan bakar. Hal ini disebabkan oleh makin rendahnya nilai kalor (LHV = *Lower Heating Value*) bahan bakar dengan makin meningkatnya persentase minyak jarak sebagaimana diberikan pada Tabel-1. Oleh karena itu, efisiensi termal motor diesel akan turun dengan makin besarnya persentase minyak jarak pagar.



Gambar-4. Emisi HC dalam gas buang



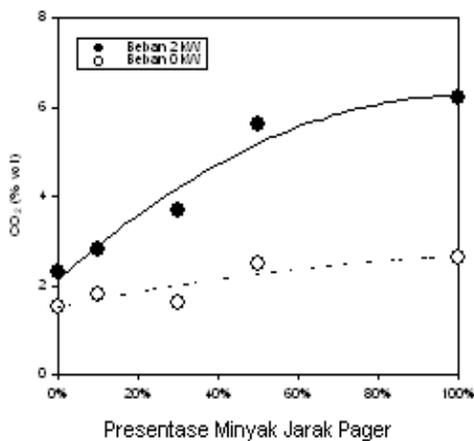
Gambar-3. SFC

Gambar-4 memperlihatkan ke cenderung penurunan HC dalam emisi gas buang dengan makin meningkatnya persentase minyak jarak. Hal ini karena jumlah O_2 terikat (*bonded oxygen*) yang terkandung di dalam minyak jarak akan makin meningkat dengan makin tingginya persentase minyak jarak. Selain O_2 dari udara, O_2 terikat ini akan turut serta dalam proses pembakaran campuran bahan bakar sehingga pembakaran menjadi lebih baik.

Dengan alasan yang serupa, Gambar-5 menjelaskan bahwa adanya O_2 terikat yang membantu O_2 dalam udara membuat pembakaran CO menjadi CO_2 lebih baik sehingga makin banyak CO_2 yang terkandung dalam emisi gas buang sejalan dengan makin besarnya persentase minyak jarak.

Gambar-6 menjelaskan kecenderungan makin tingginya NO_x dalam emisi gas buang dengan makin tingginya persentase minyak jarak. Hal ini disebabkan makin tingginya temperatur pembakaran di dalam ruang bakar yang memicu makin banyak terbentuknya NO_x . Naiknya temperatur pembakaran tersebut dapat diketahui dari naiknya temperatur oli pelumas mesin (Gambar-7), jadi terdapat kecenderungan bahwa pencampuran minyak jarak ke dalam solar akan menaikkan temperatur pembakaran. Namun demikian penambahan lebih lanjut minyak jarak ke dalam campuran bahan bakar cenderung akan menurunkan kembali temperatur pembakaran. Hal ini disebabkan persentase minyak jarak yang tinggi menurunkan temperatur pembakaran spontan yang terjadi pada fasa *premix combustion*, sehingga penurunan temperatur pembakaran ini akan mengurangi pembentukan NO_x .

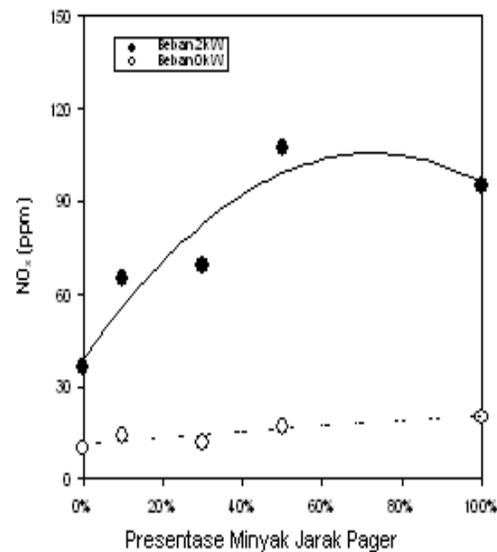
Hal ini disebabkan makin berkurangnya unsur karbon yang tidak terbakar dengan makin lebih baiknya proses pembakaran campuran bahan bakar pada persentase minyak jarak yang makin besar.



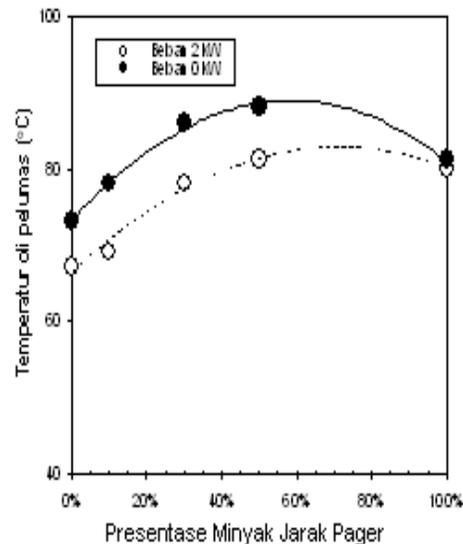
Gambar-5. Emisi CO_2 dalam gas buang

Gambar-8 menjelaskan bahwa gabungan dari fenomena pemanfaatan O_2 untuk penurunan HC serta untuk peningkatan CO_2 dan NO_x membuat makin rendah O_2 dalam emisi gas buang dengan meningkatnya persentase minyak jarak.

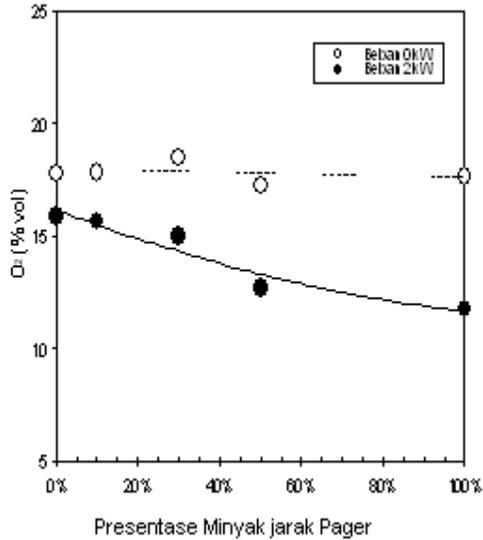
Gambar-9 memperlihatkan kecenderungan bahwa makin naik persentase minyak jarak makin rendah



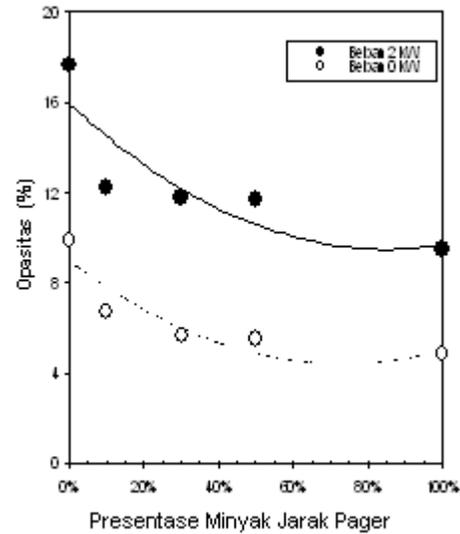
Gambar-6. Emisi NO_x dalam gas buang



Gambar-7. Temperatur oli pelumas



Gambar-8. Emisi O₂ dalam gas buang



Gambar-9. Opasitas gas buang

3.2 Ulasan

Peningkatan persentase minyak jarak pagar dalam campuran bahan bakar membuat viskositas meningkat dan ini sudah pasti akan menyebabkan proses pengkabutan menjadi makin tidak sempurna⁶. Namun demikian, pada pengujian ini proses pembakaran tetap bisa menghasilkan gas buang dengan tingkat emisi HC, O₂ dan CO serta opasitas gas buang yang menurun (penurunan CO sebanding langsung dengan peningkatan emisi CO₂). Hal ini berarti telah terjadi pembakaran yang makin sempurna. Adanya oksigen yang terikat di dalam minyak jarak pagar (*bounded oxygen*) ternyata sangat membantu proses pembakaran, melebihi pengaruh negatif yang ditimbulkan oleh viskositas.

Pembentukan NO_x sangat dipengaruhi oleh temperatur pembakaran, makin tinggi temperatur makin banyak NO_x yang terbentuk⁴. Persentase minyak jarak pagar yang makin besar dalam campuran bahan bakar, ternyata berdampak makin menaikkan temperatur pembakaran sehingga emisi NO_x dalam gas buang makin meningkat.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

1. Peningkatan persentase minyak jarak pagar di dalam campuran bahan bakar akan menurunkan nilai kalor bahan bakar sehingga konsumsinya meningkat.
2. Makin tinggi persentase minyak jarak pagar di dalam campuran bahan bakar, makin tinggi emisi CO₂ dan NO_x di dalam gas buang, tetapi makin rendah emisi HC, O₂ dan opasitas gas buang.

4.2 Saran

Dari hasil penelitian ini, terutama tingkat emisi/polusi gas buang yang relatif lebih baik daripada solar murni, ada peluang untuk memanfaatkan minyak jarak pagar, DJO (*Degummed Jatropha Oil*), sebagai campuran bahan bakar dengan solar untuk menggerakkan motor diesel stasioner PLTD. Langkah ini adalah suatu penghematan terhadap penggunaan solar yang harganya makin mahal sejalan dengan makin naiknya harga minyak dunia. Tahap lebih lanjut yang perlu diteliti dan dikaji adalah:

- a) Pengaruh campuran bahan bakar terhadap tingkat ketahanan atau hambatan komponen motor diesel terhadap pengoperasian jangka panjang dan kontinu.
- b) Optimasi persentase DJO dalam campuran bahan bakar yang bisa dijadikan standar campuran untuk penggunaan yang aman baik dari segi teknis maupun lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, 2007. Bahan Bakar Nabati – Bahan Bakar Alternatif dari Tumbuhan sebagai Pengganti Minyak Bumi dan Gas, Timnas Pengembangan BBN, Penebar Swadaya, Jakarta: 23.
2. Yusgiantoro, Purnomo, 2007. Bahan Bakar Nabati - Peluang Investasi dan Tantangan Penciptaan Lapangan Kerja, Seminar 30th ITB77, 10 Mei, Jakarta: 19 hal.
3. Kusdiana, D., 2008. *National Biofuel Policy, Workshop on Biodiesel from Jatropha*, IPB-Tokyo Univ., 19 Maret, Bogor: 12 hal.
4. Heywood, John B, 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw Hill: 930 hal.
5. Anonim, 2001. Portfolio Bahan Bakar Cair, Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia: 65 hal.
6. Anonim, 2006. *Development of Small Distributed Generation System Utilizing Jatropha Oil in Indonesia, A Report by NEDO* (tidak diterbitkan): 12 hal.
7. Arismunandar, Wiranto, 1980. Penggerak Mula - Motor Bakar Torak, Edisi Kelima, Penerbit ITB, Bandung: 184 hal.