UJI PERFORMA BIODISEL DARI MINYAK JARAK PAGAR YANG DIPRODUKSI SECARA ENZIMATIS PADA MESIN DISEL

Ojo Kurdi[1)]

Abstract

Jatropha curcas oil is one of potential plants for hydrocarbon resource or energy resource in Indonesia. Whereas the oil cannot be used directly because of its high viscosity, low cetane number, presence of free fatty acid, low volitile, presence of gum and there will be high deposit if it is used as a direct fuel (Fangrui Ma, 1999). Therefore, it must be convert to a form of alkyl ester or in famous term of biodiesel. Biodiesel produkction from jatropha curcus is basically methanolysis reaction, the reaction between triglyceride and methanol that yields fatty acid metyl ester and glycerol. This reaction can be performed chemically by using catalyst and enzymatic. Pre-study has been done in laboratory scale by using jatropha oil in enzimatic reactor. The result shows that methanolysis reaction of triglyceride using biocatalyst is very potential to produce biodiesel (Yulianto, M.E., dkk., 2005). Biodiesel application to diesel engine has widely been investigated. Several studies noted that biodiesel can be used to diesel engine for long time. Biodiesel is used by mixing with petro-diesel. The mixing has a range from 2/98% (B2) to 100% (B100). There are some studies namely output energy, lubrication condition, and gas emission. This research was conducted to study output energy or engine brake power fuelling with biodiesel-petro diesel compared with fuelling with petro diesel and fuel efficiency that calculated from fuel consumption per unit power. The research was begun with literature study about diesel engine theory, biodiesel, and biodiesel application to diesel engine. Laboratory experiments were done trhough some steps : properties test, petro diesel engine test , B10 engine test, data analyzing and conclusion. Diesel engine used in this test has power of 8.5 kW which was coupled to 5 kW generator at 1500 rpm. Applied variable loads were lamps whereas shaft speed was measured by using stroboscope. Fuel consumption was measured by weighing fuel that had been used. The result shows that brake power of engine fuelling with B10 is 4.5% lower than that fuelling with petro-diesel. Whereas the efficiency is 1.7 % higher.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Energi merupakan isu global yang terjadi saat ini. Salah satu sumber energi didapat dari minyak bumi. Namun hal ini telah menjadi masalah besar dikarenakan mulai berkurangnya ketersediaan minyak bumi dari sumber, dan sumber tidak dapat diperbarui.

Minyak bumi yang menghasilkan bahan bakar minyak (bensin, solar, minyak tanah) mendominasi suplai bahan bakar bagi peralatan transportasi, rumah tangga, pertanian maupun industri. Di negara Indonesia, konsumsi bahan bakar minyak - khususnya sektor transportasi – telah menunjukkan kenaikan pada beberapa tahun terakhir. Tabel 1 menunjukkan pertumbuhan konsumsi bahan bakar minyak untuk keperluan transportasi dan persentase terhadap konsumsi pada sektor lain (sektor industri, rumah tangga)

Tabel 1 Konsumsi bahan bakar minyak di sektor Transportasi

Tahun	Konsumsi Bahan Bakar (dalam ribuan BOE)	Porsi (%)
1995/1996	126.773	51
1996/1997	140.795	52
1997/1998	155.756	54
1998/1999	148.880	53
1999/2000	155.278	50

Dari tabel tersebut menunjukkan bahwa kenaikan konsumsi bahan bakar minyak akan terus meningkat di tahun-tahun berikutnya. Isu nasional yang ada saat ini adalah bahwa tahun 2015 Indonesia akan mengimport 100% bahan bakar minyak.

Akhir-akhir ini banyak negara berlomba-lomba untuk mendapatkan energi alternatif sebagai energi pengganti minyak bumi. Banyak energi alternatif yang dapat dimanfaatkan seperti energi angin, energi panas matahari, energi potensial air dan sebagainya. Masing-masing energi mempunyai keterbatasan, misalnya energi panas matahari akan terpengaruh oleh cuaca yang tidak menentu, energi angin akan menemui ketidak-seragaman kecepatan angin sebagai fungsi tempat dan waktu.

Biodiesel adalah suatu energi pengganti yang berasal dari sumber yang dapat diperbarui, yaitu minyak nabati dan lemak hewan. Biodiesel dapat dibuat secara kimiawi dengan cara mencampurkan minyak nabati atau hewani dengan methanol atau ethanol dalam lingkungan katalis asam, basa atau enzim. Biodiesel adalah bahan bakar alternatif yang dapat digunakan pada mesin disel. Sifat-sifat fisik dan kimiawi biodiesel mirip dengan bahan bakar disel atau solar.

Biodiesel adalah bahan bakar ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar minyak. Akumulasi gas CO_2 di atmosfer akan menyebabkan pemanasan global di permukaan bumi. Oleh karena itu penggantian biodiesel pada bahan bakar minyak akan menurunkan akumulasi CO_2 di atmosfer secara drastis.

[1)] *Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP*

Mesin diesel yang menggunakan minyak solar sebagai bahan bakarnya, banyak digunakan sebagai penggerak mula atau pembangkit tenaga. Mulai dari alat transportasi, alat pembangkit tenaga listrik hingga sebagai penggerak mula peralatan permesinan.

Dengan mulai diperkenalkannya biodiesel sebagai bahan bakar alternatif maka penelitian tentang penggunaan biodiesel pada mesin disel mulai banyak dilakukan. Penelitian prestasi mesin diesel pada berbagai merek dan model telah menunjukkan hasil yang positif.

Biodiesel dapat digunakan sebagai bahan bakar pada mesin dieesel yang diproduksi di atas tahun 1993 tanpa modifikasi saluran bahan bakar (Graydon Blair, 2005). Biodiesel digunakan dalam bentuk campuran antara biodiesel murni dengan solar. Pengkodean pencampuran biodiesel dalam solar ditulis dengan huruf B diikuti persentase biodiesel yang dicampurkan. Sebagai contoh B20 adalah campuran bahan bakar yang mengandung 20% biodiesel dan 80% solar. Setiap campuran biodiesel-solar akan mempunyai karakteristik masing-masing pada saat digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel.

Aplikasi biodisel pada mesin disel telah banyak diteliti. Namun demikian **aplikasi biodisel dari minyak jarak pagar yang diproduksi secara enzimatis masih belum dilakukan**.

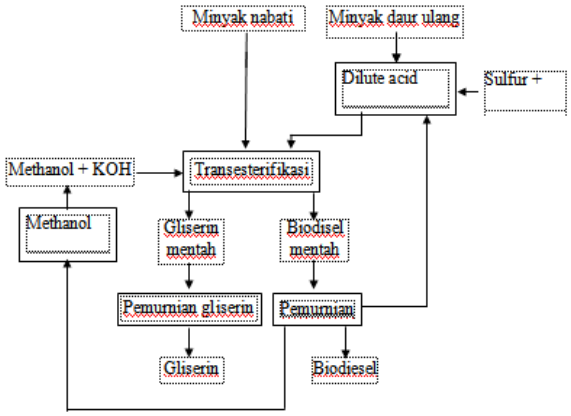
Perumusan Masalah

Biodiesel adalah salah satu energi alternaif yang secara umum densitas dan viskositasnya lebih besar daripada minyak solar sedangkan nilai kalornya lebih rendah. Pemakaian biodiesel dari berbagai sumber minyak nabati pada mesin diesel telah diteliti, namun untuk **uji performa biodiesel dari minyak jarak pagar** belum banyak diteliti. Oleh karena itu, perlu pengujian performa biodisel dari minyak jarak pagar yang besumber dari kekayaan alam Indonesia.

TINJAUAN PUSTAKA

Biodiesel

Biodiesel merupakan bentukan dari rantai-panjang asam lemak dengan alkohol. Pada umumnya asam lemak tersebut berasal dari minyak nabati. Biodiesel dihasilkan melalui reaksi antara minyak nabati dengan *methyl alcohol* atau *ethyl alcohol* dalam suatu lingkungan yang diberi katalis. Katalis yang biasa dipakai adalah *pottassium hydroxide* (KOH) atau *sodium hydroxide* (NaOH). Proses kimiawi tersebut dinamakan transesterifikasi yang hasil akhirnya adalah biodisel dan gliserin. Secara kimiawi, biodiesel disebut *methyl ester* jika alkohol yang digunakan adalah metanol dan *ethyl ester* jika yang digunakan etanol. Biodiesel dapat digunakan dalam bentuk murni (100% biodisel) atau dicampur dengan minyak solar pada saat digunakan di mesin diesel. Gambar 1 memperlihatkan teknologi transesterifikasi dasar.



Gambar 1. Teknologi transesterifikasi dasar
Sumber : Vern Hofman, Februari 2003

Tabel 2 adalah daftar sifat-sifat minyak solar, biodiesel dan minyak nabati. Perbedaan utama antara minyak solar, biodiesel dan minyak nabati adalah pada viskositas, angka cetane dan nilai kalor pembakaran. Viskositas bahan bakar sangat penting karena berpengaruh pada atomisasi bahan bakar ketika diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Untuk memperoleh pembakaran sempurna dibutuhkan butiran bahan bakar yang kecil.

Bahan bakar dengan viskositas tinggi, seperti minyak nabati, akan menghasilkan butiran yang lebih besar di dalam ruang bakar sehingga pembakaran tidak sempurna. Oksidasi karena tidak sempurnanya pembakaran akan terakumulasi menempel di sekitar katup, ujung injektor dan pada muka piston serta ring. Akumulasi tersebut dapat menyebabkan mesin tidak dapat beroperasi secara normal atau bahkan berhenti.

Angka cetane bervariasi antara 45 – 50 untuk minyak solar, sedangkan biodiesel biasanya antara 50 – 60. Kualitas penyalaan akan mempengaruhi performa mesin, pengoperasian awal atau *starting*, pemanasan dan suara mesin yang kasar. Angka cetane berhubungan dengan sifat mudah terbakarnya bahan bakar. Bahan bakar dengan angka cetane tinggi akan menyebabkan pembakaran tidak sempurna, dan berasap jika penyalaan terlalu dini sehingga tidak ada cukup waktu untuk terjadinya percampuran bahan bakar dengan udara untuk pembakaran yang sempurna.

Tabel 2. Sifat-sifat bahan bakar

	Berat Bahan Bakar (Lbs./gal.)	Panas Pembakaran (Btu/gal.)	Angka cetan	Viskositas (centistokes)
No. 2 diesel	7.05	140,000	48	3.0
B100	7.3	130,000	55	5.7
B20	7.1	138,000	50	3.3
Minyak Nabati	7.5	130,000	35 - 45	40 – 50

Sumber : Schumacher L.G., 1995

Pengujian Biodiesel

Hasil konversi minyak jarak berupa ester minyak jarak yang diuji sifat-sifatnya dengan metode standar ASTM. Dari hasil pengujian sifat ester minyak jarak, berikut dibahas karakteristik-karakteristik yang penting untuk bahan bakar mesin diesel.

Viskositas

Viskositas adalah salah satu karakteristik bahan bakar diesel yang terpenting. Pelumasan, gesekan antara bagian-bagian yang bergerak dan keausan mesin, semuanya dipengaruhi oleh viskositas. Oleh karena itu bahan bakar disel yang terlalu rendah viskositasnya akan memberikan pelumasan yang buruk, juga cenderung mengakibatkan kebocoran pada pompa. Sebaliknya viskositas yang terlalu tinggi akan menyebabkan asap yang kotor karena bahan bakar lambat mengalir dan lebih sulit teratomisasi (Maleev, 1954).

Pour Point

Pour point adalah titik suhu terendah dimana bahan bakar masih dapat mengalir. *Pour point* yang tinggi akan mengakibatkan mesin sulit dinyalakan pada suhu rendah (Maleev, 1954).

Conradson Carbon Residue

Residu karbon bahan bakar yang tinggi menyebabkan silinder cepat terabrasi (Anderson, 1935). Selain itu, akan mengakibatkan terbentuknya deposit karbon dan zat yang kenyal pada piston dan silinder. Hal ini dapat menyebabkan lekatnya ring piston dan valve system (Maleev, 1951).

Flash Point

Flash point tidak langsung berkaitan dengan unjuk kerja mesin. Namun, *flash point* sangat penting sehubungan dengan keamanan dan keselamatan, terutama dalam handling dan storage (ASTM, 1958). *Flash point* yang tinggi akan memudahkan penanganan bahan bakar, karena bahan bakar tidak perlu disimpan pada suhu rendah. Sebaliknya, *flash point* bahan bakar yang terlalu rendah akan membahayakan karena tingginya resiko terjadi penyalaan.

Performa biodiesel pada mesin diesel

Energi yang terkandung di dalam bahan bakar dinyatakan dengan nilai kalor. Semakin tinggi nilai kalornya semakin besar energi yang dikandung. Bahan bakar dengan nilai kalor yang tinggi akan menghasilkan daya lebih besar per massa bahan bakar daripada bahan bakar yang bernilai kalor rendah. Sebagai akibatnya, mesin yang menggunakan bahan bakar dengan energi rendah akan membutuhkan bahan bakar yang lebih banyak untuk menghasilkan daya yang sama. Biodiesel akan membutuhkan 1,1 galon untuk menghasilkan daya yang sama dengan 1 galon minyak solar (Vern Hofman, 2003).

Mesin diesel dapat berjalan dengan menggunakan biodiesel dalam waktu yang lama. Penggunaan campuran antara biodiesel dengan minyak solar adalah 20/80% (B20) sampai dengan 100% (B100). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa prestasi mesin diesel yang menggunakan biodisel hampir sama dengan jika menggunakan minyak solar. Ada suatu hal yang membedakannya yaitu ketika menggunakan biodisel, beberapa saat setelah dihidupkan suara mesin akan lebih halus. Hal ini karena biodiesel mempunyai daya lumas yang lebih tinggi daripada minyak solar. Perlu menjadi catatan bahwa terjadi penurunan daya untuk mesin diesel dengan bahan bakar biodiesel, yang berkisar antara 5% sampai 10% (G. Blair, 2005). Namun hal tersebut tidak menjadi masalah dikarenakan keuntungan total penggunaan biodisel lebih banyak.

Bagi pengguna biodiesel di daerah dingin akan menemui masalah pada pemekatan bahan bakar atau *gelling*. Sehingga pencampuran biodiesel dengan minyak solar maksimum 50%. Namun beberapa pembuat mesin disel merekomendasikan penggunaan biodiesel dalam campuran maksimum 20%.

Peneliti lain (Schumacher, L.G., 1994) mengungkapkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut :

a. Torsi puncak mesin diesel tidak terpengaruh dengan penambahan biodiesel hingga 40%. Namun kecepatan sedikit turun pada campuran 40%.
b. Konsumsi bahan bakar dalam basis massa hampir sama untuk setiap campuran yang diujikan.
c. Terjadi pergeseran titik tekanan puncak pada titik mati atas (*top dead center*) yang merupakan akibat dari memendeknya waktu penyalaan karena mesin panas.
d. Pemendekkan waktu penyalaan dan naiknya tekanan puncak serta suhu memberikan kontribusi pada kenaikan oksida nitrogen.

Menurut Engine Manufacture Association (EMA), dampak penggunaan biodiesel murni adalah kehilangan daya 5% - 7% dari daya output maksimum. *World-Wide Fuel Charter* yang dipublikasikan oleh *auto and engine manufactureers*, merekomendasikan penggunaan bahan bakar solar yang mengandung biodiesel lebih dari 5%. Rekomendasi ini didasarkan atas perhatian terhadap efek biodiesel dalam viskositas, korosi dan kompatibilitas biodisel dengan seal dan bahan dari sistem bahan bakar.

Saluran bahan bakar

Pada mesin diesel yang dibuat sebelum tahun 1993, saluran bahan bakarnya terbuat dari karet (biasanya karet nitril). Sifat pengencer dari biodisel cenderung untuk merusaknya dalam batas waktu tertentu. Jika mengoperasikan mesin disel sebelum 1993 menggunakan biodiesel maka masalah saluran bahan bakar harus menjadi perhatian atau diganti jika pencampuran biodisel lebih dari 30% (G. Blair, 2005).

Saluran bahan bakar vitron atau bahan sintetik lain (non-karet) dapat digunakan sebagai penggantinya.

Biodisel dan polusi udara

Sesuai dengan *National Biodiesel Board*, biodisel memberikan keuntungan yang siknifikan bagi lingkungan. Dibandingkan dengan minyak solar sekarang, penggunaan biodiesel 20% menghasilkan penurunan polusi berikut : hidrokarbon yang tidak terbakar 14%, karbon monoksida 9%, dan materi partikulat 8%.

Sedangkan kajian dari U.S. Environmental Protection Agency (EPA) memperlihatkan penurunan emisi yang lebih besar yaitu : hidrokarbon yang tidak terbakar 21%, karbon monoksida 11%, dan materi partikulat 10%. Tabel 3 adalah hasil dari suatu pengujian mesin diesel yang menggunakan biodisel 100% dan 20% di the University of Idaho.

Tabel 3. Emisi mesin disel

Emisi	100% Ester fuel (100)	20/80 Mix (B20)
Hidrokarbon	- 52.4%	-19.0%
Karbon Monoksida	- 47.6%	- 26.1%
Nitro Oksida	- 10.0%	- 3.7%
Karbon Dioksida	+ 0.9%	+ .7%
Partikulan	+ 9.9%	- 2.8%

Sumber : University of Idaho, 2002

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengkaji secara eksperimen uji performa biodiesel dari jarak pagar. Kajian eksperimen tersebut meliputi tahap-tahap :

1. Analisa sifat fisik (*properties*) biodiesel dari minyak jarak pagar.
2. Analisa uji performa mesin diesel yang dioperasikan dengan bahan bakar campuran solar dan biodiesel.

Ini dapat dirinci untuk masing-masing pengujian bahan bakar sebagai berikut :

a. Menelaah pengaruh kenaikan beban terhadap putaran mesin.

b. Menelaah pengaruh kenaikan beban terhadap konsumsi bahan bakar.

c. Mengkaji efisiensi bahan bakar

Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini merupakan informasi perbandingan daya mesin dan efisiensi antara bahan bakar solar dengan campuran biodisel-solar yang dapat digunakan untuk menambah kasanah pengetahuan. Informasi ini nantinya akan dikembangkan lebih lanjut, sehingga diharapkan dapat dimanfaatkan oleh pengguna mesin diesel. Dengan demikian, diharapkan biodisel ini dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar-solar yang sifatnya terbaharukan dan ramah lingkungan.

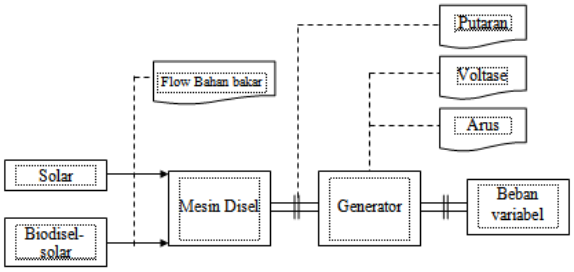
METODE PENELITIAN

Penelitian tentang uji performa biodisel dari minyak jarak pagar pada mesin disel diinvestigasi secara eksperimen. Rangkaian penelitian akan dilaksanakan secara bertahap meliputi:

- Studi performa mesin
- Studi efisiensi bahan bakar

Peralatan penelitian

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini adalah mesin disel silinder tunggal, 4 langkah, 8,5 KW, 3000 rpm yang dihubungkan dengan generator listrik 230V 50Hz. Mesin tersebut dilengkapi dengan simulator beban untuk memvariasikan pembebanan generator. Ammeter, voltmeter, tachometer dan flowmeter masing-masing untuk mengukur arus listrik, tegangan listrik, kecepatan putar mesin dan konsumsi bahan bakar. Skema peralatan ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Skema peralatan penelitian

Bahan penelitian

Bahan utama penelitian adalah biodisel dari minyak jarak pagar yang diperoleh dari petani di Purwodadi dan Cilacap, solar yang diperoleh dari Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU).

Variabel Proses

Variabel penelitian meliputi variabel terikat yaitu daya. Sedangkan variabel bebas yaitu komposisi biodisel-solar. Output yang diukur pada eksperimen ini adalah konsumsi bahan bakar yang diukur dengan cara menghitung selisih penimbangan sebelum penggunaan dan sesudah penggunaan bahan bakar. Komposisi biodisel-solar divariasikan pada B00 dan B10.

Penentuan efisiensi

Beban ditetapkan, kemudian konsumsi bahan bakar diukur dengan menimbang bahan bakar sebelum digunakan dan sesudah digunakan. Data konsumsi bahan bakar pada setiap beban dicatat. Efisiensi bahan bakar dihitung melalui pembagian antara konsumsi bahan bakar dengan beban sebagai berikut :

Effisiensi = konsumsi bahan bakar (g) / Daya (kW)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian Pendahuluan

Penelitiaan awal dilakukan dengan membuat biodisel dari minyak jarak pagar. Rasio minyak jarak dengan metanol ditetapkan sebesar 5:1. Biodisel hasil reaksi metanolisis ini diuji sifat-sifatnya yaitu kandungan energi (MJ/kg), viskositas (mm^2/detik), dan angka setan. Hasil dari pengujian sifat-sifat biodisel dan perbandingannya dengan solar tersaji pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan sifat-sifat antara biodisel dengan minyak solar

No.	Sifat-sifat	Biodisel	Minyak Solar*)
1.	Kandungan energi (MJ/kg)	39.3	43.4
2.	Viskositas kinetik (mm^2/sec)	3.8	1.3 - 4.1
3.	Angka setan	49	40 - 55

*) Sumber : S. Christopher 2004, Evaluation of biodiesel fuel. Montana Department of Transportation. Pengujian berdasarkan ASTM D975.

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa harga kandungan energi biodisel lebih kecil 9.4% dari minyak solar. Hal ini dapat berakibat menurunnya daya mesin. Harga viskositas kinetik biodisel yang lebih tinggi dari minyak solar dapat memperbaiki sifat pelumas bahan bakar dan meningkatkan efisiensi nosel injektor bahan bakar. Sedangkan angka setan biodisel berada pada rentang standar bahan bakar mesin disel.

Penelitian Utama

Uji Performa Biodisel

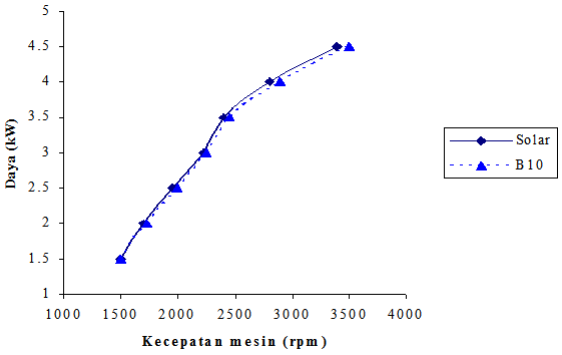
Spesifikasi mesin yang digunakan pada uji performa adalah mesin disel KUBOTA model RD-85. Sistem injeksi bahan bakar langsung, mesin 4 langkah, 1 silinder, dan daya keluaran maksimum 4.5 kW pada 3400 rpm.

Performa biodisel B10 dengan solar diperbandingkan pada bukaan nosel tetap pada rentang beban dari 1.5 kW sampai dengan 4.5 kW. Hasil pengukuran daya dan konsumsi bahan bakar terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengukuran daya mesin dan konsumsi bahan bakar pada berbagai beban.

Beban (kW)	Solar		Biodisel B10	
	RPM	Konsumsi	RPM	Konsumsi
1.5	1500	456	1500	460.5
2	1700	584	1725	592
2.5	1950	695	2000	700
3	2225	801	2250	816
3.5	2400	927.5	2450	938
4	2800	1092	2900	1120
4.5	3400	1408.5	3500	1485

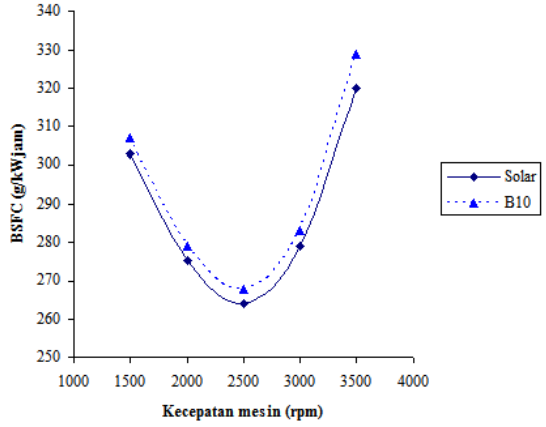
Terdapat penurunan daya sebesar 4.5% pada kecepatan 3500 mesin berbahan bakar B10. Hal ini disebabkan karena kandungan energi B10 lebih rendah, mengingat bahwa kandungan energi biodisel 9.4% lebih rendah dari solar. Grafik kecenderungan daya terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Daya versus Kecepatan Mesin

Konsumsi bahan bakar spesifik (*Brake Specific Fuel Consumption-BSFC)* adalah indikator performa mesin untuk efisiensi. Secara teoritis, konsumsi bahan bakar awal tinggi karena pemompaan, kenaikan gesekan dan perpindahan panas yang menurunkan efisiensi (Heywood 1989:125). BSFC merupakan laju alir bahan bakar dibagi dengan daya.

Secara keseluruhan BSFC untuk B10 lebih tinggi daripada solar. BSFC rata-rata B10 adalah 1.7% lebih tinggi daripada solar. Perbedaan terbesar terjadi pada kecepatan 3500 rpm yaitu sebesar 2.7%. Grafik kecenderungan BSFC terhadap kecepatan mesin dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik BSFC versus Kecepatan Mesin

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Meskipun kandungan energi biodisel lebih kecil daripada solar, namun pencampuran biodisel dengan solar pada komposisi tertentu dapat menghasilkan efisiensi yang lebih baik. Efisiensi bahan bakar biodisel-solar lebiah baik 1.7% dari bahan bakar solar. Efisiensi terbaiknya berada pada kecepatan mesin sekitar 2500 rpm.

Saran

Perlu dikaji lebih lanjut penelitian tentang pencampuran biodisel dengan solar untuk mendapatkan data sifat-sifat campuran. Perlu pula penelitian lanjut uji performa biodisel pada mesin disel dengan variabel yang lain yang berkaitan dengan performa mesin. Hal ini karena biodisel akan segera menjadi bahan bakar alternatif.

Daftar Pustaka

1. Andi Nur alam Syah, 2006, *Biodiesel Jarak Pagar Bahan Bakar Alternatif yang Ramah Lingkungan*, Agromedia Pustaka.
2. BPPT, 2006, *Biodiesel Jarak Pagar Jadi Proyek Nasional BPPT*, Investor Daylight on line, febuari.
3. DOE. Feb. 2002. Biodiesel-clean, Green Diesel Fuel. DOE/GO-102001-1449, National Renewable Energy Lab. , US Departement of Energy.
4. Gerald Knothe, 1997. The use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuels. U.S. Department of Agriculture, Peoria. IL 61604
5. Kazunori H., Eiji K., Hiroshi T., Koji T., Daizo M, 2001. *Combustion Characteristics of Diesel Engines with Waste Vegetable Oil Methyl Ester, The Fifth Symposium* on Diagnostics and Modeling of Combustion in Internal Combustion Engines, July 14, Nagoya.
6. Marshall, W. , Scumacher, L. G, Howell, S. A, 1995. Engine Exhaust Emission Evalution of Cummins L10E When Fueled With a Biodiesel Blend. SAE paper No. 952863. SAE, Warrendale, PA.
7. Peterson, C., & D. Reece. 1996. Emissions Characteristics of Ethyl Truck. Transaction of the ASAE 39(2): 805-816
8. Peterson, C. L, J.C. Thompson, J. S. Taberski, D. L. Reece, & G. Fleischman, 1999. : Long-Range On road Test With Twenty-percent Biodiesel. Applied Engineering in Agriculture, ASAE 15(2): 91-101.