

PENGARUH PENAMBAHAN BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH PADA SOLAR TERHADAP OPASITAS DAN EMISI GAS BUANG CO, CO₂ DAN HC

Moch. Setyadji, Endang Susiantini

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan - BATAN

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH PADA SOLAR TERHADAP OPASITAS DAN EMISI GAS BUANG CO, CO₂ DAN HC. Telah dilakukan pengamatan penambahan biodiesel dari minyak jelantah pada solar terhadap opasitas dan emisi gas buang pada berbagai kecepatan putaran mesin (rpm). Parameter yang diteliti adalah bahan bakar spesifik terdiri dari solar murni, campuran biodiesel 5% (B5), 10% (B10), 15% (B15), 20% (B20) dan kecepatan putaran mesin. Emisi gas buang yang diamati meliputi CO, CO₂, HC, serta opasitas. Opasitas dan emisi gas buang diamati menggunakan alat Sagem Opacity dan Gas Analyzer. Diperoleh hasil bahwa penambahan biodiesel pada solar sangat menurunkan opasitas dan emisi gas buang. Opasitas terendah terjadi pada B20, sedangkan pada pengujian emisi gas buang, CO terendah terjadi pada bahan bakar B10, CO₂ terendah pada bahan bakar B10 dan HC terendah pada bahan bakar B20.

Kata kunci: biodiesel, opasitas, emisi gas buang

ABSTRACT

EFFECT OF BIODIESEL OF SPENT COOKING OIL ADDITION AT DIESEL FUEL TO OPACITY AND GAS EMISSION THROW AWAY OF CO, CO₂ AND HC. Investigation of biodiesel spent cooking oil addition effect at diesel fuel to opacity and gas emission throw away on various engine rotation speed has been done. The variables observed were fuel specific used i.e. pure diesel fuel, biodiesel mix 5% (B5), mix 10% (B10), mix 15% (B15), mix 20% (B20) and engine rotation speed. Gas emission throw away observed were CO, CO₂, HC, and opacity. Opacity and gas emission throw away were observed by Opacity Sagem apparatus and gas analyzer. Result of experiment showed that biodiesel addition at diesel fuel was very decreasing opacity and gas emission throw away. The opacity lowest on B20, gas emission throw away lowest of CO on B10, CO₂ on B10 and HC on B20.

Key words : biodiesel, opacity, gas emission throw away

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara pengekspor minyak bumi, yang tergabung dalam OPEC, telah berubah menjadi salah satu negara pengimpor minyak bumi. Pada tahun 2004 produk BBM 44,5 juta kiloliter sementara konsumsi dalam negeri mencapai sekitar 62,3 juta kiloliter, artinya defisit 17,8 juta kiloliter yang harus diimpor (<http://www.mobilmotor.co.id>)⁽¹⁾. Impor berarti pengurangan devisa yang semakin lama membesar karena harga minyak mentah dunia makin lama makin membengkak. Pengguna BBM terbesar masih dipegang oleh sektor transportasi (<http://www.republika.co.id>). Pada tahun 2005 konsumsi BBM untuk kendaraan bermotor (transportasi) mengalami kenaikan sekitar 10,8% dibandingkan sebelumnya yaitu untuk premium lebih dari 52 ribu kiloliter perhari, sedangkan untuk solar menyerap 73 ribu kiloliter perhari

(<http://www.republika.co.id>). Minyak bumi merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui dan cadangan energi fosil ini, semakin hari makin berkurang sedangkan kebutuhannya terus meningkat. Cadangan minyak mentah Indonesia terus menurun tinggal sekitar 5 milyar barrel yang diproduksi setiap tahun sebesar 1,125 juta barrel/hari, sehingga diperkirakan dalam waktu 15an tahun cadangan minyak Indonesia akan habis, bila tidak didapatkan cadangan baru yang diketemukan.

Pengembangan biodiesel selain memecahkan problem penyediaan energi di Indonesia maupun dunia, juga merupakan harapan masa datang karena biodiesel berbasis pertanian yang merupakan mata pencaharian 70 % rakyat Indonesia. Biodiesel adalah energi yang terbarukan yang tidak akan habis selama masih ada yang menanam bahan bakunya,

ramah lingkungan karena mampu mengeliminasi emisi gas buang dan efek rumah kaca, meningkatkan kesejahteraan rakyat Indonesia karena menyerap tenaga kerja yang banyak, dapat diproduksi oleh perorangan maupun unit usaha kecil sebab teknologi yang diterapkan sederhana tidak memerlukan teknologi canggih. Hal ini sesuai dengan Sasaran Kebijakan Energi Nasional yang tertuang dalam Perpres 5/ 2006 25 Januari 2006 diantaranya terwujudnya energi (primer) mix yang optimal pada 2025 dengan peran EBT, bahan bakar nabati (*biofuel*) menjadi > 5%, panas bumi >5%, energi baru dan terbarukan lainnya, khususnya

biomassa, nuklir, tenaga air, tenaga surya, dan tenaga angin menjadi >5%, dan batubara yang dicairkan >2%.

Sebagai bahan baku biodiesel cukup banyak, di antaranya kelapa sawit, kelapa, biji-bijian, kacang-kacangan, jarak kepyar, jarak pagar dan lain-lain. Namun, mengingat minyak kelapa sawit dan minyak kelapa banyak dimanfaatkan sebagai minyak makan (*edible oil*) maka peluang pemanfaatan minyak nabati sebagai sumber energi alternatif mengarah pada minyak non makan (*non edible oil*) seperti minyak jarak dan lain-lain.

Tabel 1. Nilai kalori beberapa jenis bahan bakar ⁽³⁾

No.	Bahan bakar	Kal/gram	Btu/lb
1	Kayu	3.990 – 4.420	7.182 – 7.956
2	Arang kaayu (rata-rata)	7.260	13.068
3	Lignit (batubara muda)	3.328 – 3.339	5.440 – 6.010
4	Batubara subbitumina	5.289 – 5.862	9.520 – 10.550
5	Batubara bitumina	5.650 – 8.200	10.240 – 14.620
6	Lemak hewan (rata-rata)	9.500	17.100
7	Minyak nabati	9.300 – 9.500	16.740 – 17.100
8	Alkohol/etil	6.456	11.620
9	Aspal	5.295	9.530
10	Minyak mentah	10.419 – 10.839	18.755 – 19.510
11	Minyak bunker	10.283 – 10.764	18.510 – 19.516
12	Solar (<i>diesel fuel</i>)	10.667	19.200
13	Minyak tanah	11.006	19.810
14	Bensin (<i>gasoline</i>)	11.528	20.750

Biodiesel merupakan bahan bakar dari minyak nabati, lemak hewani, atau minyak goreng bekas yang memiliki sifat menyerupai minyak diesel (solar). Presiden menegaskan dua komoditas yang akan dikembangkan untuk menjamin ketersediaan bahan baku biodiesel yaitu sawit/ *Crude Palm Oil* (CPO) dan Jarak Pagar/*Crude Jatropha Curcas Oil* (CJCO)⁽⁴⁾. Saat ini, pemanfaatan CPO sebagai bahan baku biodiesel tentu akan mengganggu pasokan ekspor serta ketersediaan minyak goreng di Indonesia. Selain itu, harga biodiesel yang terbuat dari CPO dimungkinkan lebih mahal dari harga minyak solar subsidi karena persaingannya dengan harga minyak untuk kebutuhan pangan. Pemanfaatan minyak jarak pagar (CJCO) sebagai biodiesel juga masih mengalami kendala yaitu karena ketersediaannya yang masih terbatas. Akibat sedikitnya bahan baku ini, maka dapat dipastikan bahwa harga biodiesel dari minyak jarak (CJCO)

akan lebih mahal dari harga minyak solar subsidi, sehingga masyarakat akan lebih memilih untuk menggunakan minyak solar.

Permasalahan ekonomis merupakan masalah pokok yang menjadi kendala dalam pengembangan biodiesel dari sawit dan jarak pagar. Oleh karena itu diperlukan bahan baku lain yang lebih murah dan belum dimanfaatkan secara maksimal hingga saat ini. Minyak goreng bekas (*recycled frying oil*) merupakan salah satu bahan baku yang dapat dimanfaatkan untuk biodiesel karena memiliki sifat-sifat yang mirip dengan solar. Saat ini biodiesel dari minyak jelantah telah diproduksi di Eropa, Amerika, dan Jepang. Biodiesel dari minyak jelantah di Austria dikenal dengan nama AME (*Altfett Methyl Ester*), di Jerman selain dikenal dengan AME juga dikenal dengan nama *frittendiesel* atau *ecodiesel*, sedangkan di Jepang dikenal dengan nama *e-oil*. Perkembangan biodiesel dari minyak jelantah

semakin pesat dengan dilarangnya pemakaian minyak jelantah untuk campuran pakan ternak, karena sifatnya yang *karsinogenik*⁽⁵⁾.

Pemanfaatan minyak jelantah di Indonesia masih belum maksimal. Sampai saat ini sebagian minyak jelantah dari perusahaan besar dijual ke pedagang kaki lima yang kemudian digunakan untuk menggoreng makanan dagangannya dan sebagian lain hilang begitu saja ke saluran pembuangan. Apabila ditinjau dari komposisi kimianya, minyak jelantah mengandung senyawa-

senyawa yang bersifat *karsinogenik* yang terjadi selama proses penggorengan. Maka penggunaan minyak goreng bekas yang berkelanjutan dapat merusak kesehatan manusia dan akibat selanjutnya dapat mengurangi kecerdasan generasi berikutnya. Indonesia memiliki 79 pabrik minyak goreng⁽⁴⁾, yang setiap tahunnya mengalami peningkatan jumlah produksinya. Peningkatan jumlah produksi ini juga diimbangi dengan peningkatan konsumsinya, yang pada tahun 2005 mencapai 6,4 juta ton (83,13%) terdiri dari minyak goreng bahan baku CPO.

Tabel 2 Perkembangan produksi minyak goreng kelapa sawit dan kelapa (juta ton) Sumber: (www.Wartaekonomi.com/indicator)

Jenis/tahun	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Minyak goreng kelapa sawit	2,49	2,81	3,14	3,51	3,96	4,53	5,06
Minyak goreng kelapa	0,73	0,77	0,81	0,85	0,88	0,93	0,93

Dari data di atas dapat kita ketahui bahwa produksi maupun konsumsi minyak goreng terus mengalami peningkatan, yang berarti juga semakin banyak limbah minyak goreng (jelantah) yang terbuang apabila tidak dimanfaatkan secara optimal. Apabila kita mampu mengumpulkan minyak goreng bekas (*recycled frying oil*), ada beberapa keuntungan yang dapat diperoleh:

1. Mencegah terjadinya polusi lingkungan (air dan tanah) dengan tidak adanya pembuangan minyak goreng bekas ke sembarang tempat.
2. Akan diperoleh FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) atau lebih tepat disebut RFOME (*Recycled Frying Oil Methyl Ester*) yang murah sehingga dapat diperoleh bahan bakar nabati yang murah dan ramah lingkungan.
3. Mengurangi bahan *karsinogenik* yang beredar di masyarakat. Seperti diketahui bahwa penggunaan minyak goreng yang berulang-ulang (ditandai dengan warna cokelat tua, hitam dan mengandung sekitar 400 senyawa kimia) akan mengoksidasi asam lemak tidak jenuh membentuk *gugus peroksida* dan *monomersiklik*. Senyawa ini berpotensi memicu penyakit kanker, pembesaran hati, ginjal dan gangguan jantung.

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan oleh Hambali, A.S., pemilik CV. Kebanggaan Anda (2006), untuk menghasilkan satu liter biodiesel

minyak jelantah dibutuhkan biaya produksi sekitar Rp.4.000,- (asumsi harga minyak jelantah Rp.2500/liter). Harga ini berada di bawah harga solar subsidi yang mencapai 4.300/ liter.

Biodiesel yang diperoleh dari hasil transesterifikasi dengan methanol dapat digunakan dalam keadaan murni atau dicampur (*blending*) dengan solar. Penggunaan biodiesel murni 100% biasa dikenal dengan nama B100. Namun harus diperhatikan bahwa biodiesel merupakan ester yang dapat melunakkan polimer karet, sehingga bahan tersebut harus diganti dengan bahan yang tahan terhadap ester. Sebagai alternatif dilakukan pencampuran antara solar dan biodiesel dengan perbandingan antara 95% solar dan 5% biodiesel (B5) hingga 80% solar dan 20% biodiesel (B20). Campuran ini dapat digunakan secara langsung tanpa memerlukan penggantian komponen yang terbuat dari bahan karet.

Hampir semua komponen bahan kimia yang ada dalam biodiesel lebih rendah dibandingkan dengan petrodiesel (solar). Biodiesel tidak mengandung senyawa SO₂ (0 ppm). Walaupun ada nilainya relatif kecil (kurang dari 15 ppm). Selain itu emisi karbon monoksida (CO) yang dihasilkan cukup rendah.

Tabel 3. Perbandingan emisi biodiesel dan solar (Sumber: CRE-ITB, Nov.2001)

Bahan kimia	Biodiesel	Solar	Perbedaan (%)
SO ₂ (ppm)	0	78	-100
CO (ppm)	10	40	-75
NO (ppm)	37	64	-42
NO ₂ (ppm)	1	1	0
O ₂ (%-b)	6	6,6	-9
Total partikulat (mg/Nm ₃)	0,25	5,6	-9,6
Benzen (mg/Nm ₃)	0,3	5,01	-99,9
Toluen (mg/Nm ₃)	0,57	2,31	-99,9
Xylene (mg/Nm ₃)	0,73	1,57	-99,9
Etilbenzen (mg/Nm ₃)	0,3	0,73	-59

Emisi gas buang kendaraan bermotor telah menjadi sumber utama pencemaran udara terutama di daerah perkotaan, apalagi dengan bertambahnya unit kendaraan bermotor serta buruknya mutu bahan bakar. Emisi kendaraan bermotor mengandung berbagai senyawa kimia. Komposisi dari kandungan kimianya tergantung dari cara mengemudi, jenis mesin, alat pengendali emisi bahan bakar, suhu operasi dan faktor lain yang semuanya membuat pola emisi menjadi rumit. Jenis bahan pencemar yang dikeluarkan oleh mesin dengan bahan bakar bensin maupun solar sebenarnya sama saja, hanya berbeda proporsinya karena perbedaan cara operasi mesin. Secara visual selalu terlihat asap dari knalpot kendaraan bermotor dengan bahan bakar solar yang umumnya tidak terlihat pada kendaraan bermotor dengan bahan bakar bensin.⁽⁵⁾

Walaupun gas buang kendaraan bermotor terutama terdiri dari senyawa yang tidak berbahaya seperti nitrogen, karbon dioksida dan uap air, tetapi di dalamnya terkandung juga senyawa lain dengan jumlah yang cukup besar yang dapat membahayakan kesehatan maupun lingkungan. Bahan pencemar yang terutama terdapat didalam gas buang kendaraan bermotor adalah karbon monoksida (CO), berbagai senyawa hidrokarbon, berbagai oksida nitrogen (NO_x) dan sulfur (SO_x). Bahan bakar tertentu seperti hidrokarbon dilepaskan ke udara karena adanya penguapan dari sistem bahan bakar. Lalu lintas kendaraan bermotor, juga dapat meningkatkan kadar partikulat debu yang berasal dari permukaan jalan, komponen ban dan rem. Setelah berada di udara, beberapa senyawa yang terkandung dalam gas buang kendaraan bermotor dapat berubah karena terjadinya suatu reaksi, misalnya dengan sinar

matahari dan uap air, atau juga antara senyawa-senyawa tersebut satu sama lain.

Senyawa-senyawa di dalam gas buang terbentuk selama energi diproduksi untuk menjalankan kendaraan bermotor. Beberapa senyawa yang dinyatakan dapat membahayakan kesehatan adalah berbagai oksida sulfur, oksida nitrogen, dan oksida karbon, hidrokarbon, dan partikulat. Pembentukan gas buang tersebut terjadi selama pembakaran bahan bakar solar didalam mesin. Dibandingkan dengan sumber stasioner seperti industri dan pusat tenaga listrik, jenis proses pembakaran yang terjadi pada mesin kendaraan bermotor tidak sesempurna di dalam industri dan menghasilkan bahan pencemar pada kadar yang lebih tinggi, terutama berbagai senyawa organik dan oksida nitrogen, sulfur dan karbon. Selain itu gas buang kendaraan bermotor juga langsung masuk ke dalam lingkungan jalan raya yang sering dekat dengan masyarakat, dibandingkan dengan gas buang dari cerobong industri yang tinggi.

TATA KERJA

Bahan dan Alat

1. Bahan

Solar diperoleh dari SPBU di Jalan Godean, Sleman, Yogyakarta. Biodiesel minyak jelantah diperoleh dari Pabrik Biodiesel CV. Kebanggaan Anda di Kutoarjo.

Adapun spesifikasi bahan tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Spesifikasi solar

(Sumber: *Biodiesel from CPO and application as blending components, 2004*)

No	Karakteristik	Hasil pemeriksaan	Metode
1.	<i>Specific gravity at 60/60 °F</i>	0,83	ASTM D 1298
2.	<i>Flash point P.M.c.c., °C</i>	72	ASTM D 93
3.	<i>Viscosity kinematic at 40°C,cSt.</i>	3,78	ASTM D 445
4.	<i>Water content, % vol.</i>	Trace	ASTM D 95
5.	<i>Pour poit, °C</i>	3	ASTM D 97
6.	<i>Ash content, % vol.</i>	Nil	ASTM D 482
7.	<i>Conradson Carbon Residue,%wt.</i>	0	ASTM D 189

Tabel 5. Spesifikasi biodiesel jelantah

(Sumber: hasil pemeriksaan di Laboratorium Minyak Bumi UGM, 2006)

No	Karakteristik	Hasil pemeriksaan	Metode
1.	<i>Specific gravity at 60/60 °F</i>	0,879	ASTM D 1298
2.	<i>Flash point P.M.c.c., °C</i>	150,286	ASTM D 93
3.	<i>Viscosity kinematic at 40°C,cSt.</i>	5,121	ASTM D 445
4.	<i>Water content, % vol.</i>	0,083	ASTM D 95
5.	<i>Pour poit, °C</i>	9,829	ASTM D 97
6.	<i>Ash content, % vol.</i>	0,008	ASTM D482
7.	<i>Conradson Carbon Residue,%wt.</i>	0,121	ASTM D 189

Tabel 6. Karakteristik hasil campuran (blending)

No.	Karakteristik	Hasil perhitungan			
		B5	B10	B15	B20
1.	Specific gravity at 60/60 °F	0,8325	0,8349	0,8374	0,8399
2.	Flash point P.M.c.c., °C	75,9143	79,8286	83,7429	87,6571
3.	Viscosity kinematic at 40°C,cSt.	3,8471	3,9141	3,9812	4,0482
4.	Water content, % vol.	0,0041	0,0083	0,0124	0,0166
5.	Pour poit, °C	3,3414	3,6829	4,0243	4,3657
6.	Ash content, % vol.	0,0004	0,0008	0,0012	0,0016
7.	Conradson Carbon Residue,%wt.	0,006	0,0121	0,0181	0,0241

2. Alat

1. Gas analyzer

Untuk mengukur kandungan gas buang: CO, CO₂, HC, dan O₂.



Gambar 3.3 Gas analyzer

2. Alat uji opasitas

Alat uji opasitas yang digunakan dalam pengujian ini bermerk Sagem milik Jurusan Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.



Gambar 3.4 Alat uji opasitas

B. Metode penelitian

Metode yang dilakukan dalam pengujian ini adalah metode *variabel speed* dan *variabel load*, yaitu dengan melakukan pengamatan perubahan kecepatan putaran (*variabel speed*) poros output mesin pada tachometer, akibat dari massa pembebanan (*variabel load*) yang berubah. Adapun langkah-langkah pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

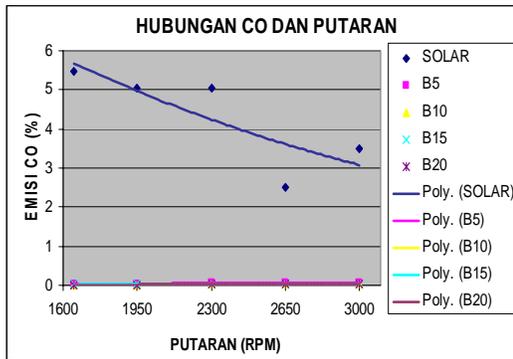
- a. Sebelum *start*, tangki bahan bakar diisi dengan 4 liter solar atau campuran solar dan biodiesel.
- b. Kunci kontak ke diputar kekiri selama 20 sampai 30 detik (pemanasan).
- c. Kunci kontak diputar ke kanan sampai maksimal.
- d. Mengatur *throttle*, sehingga putaran mesin pada kondisi idle yaitu 600 rpm selama 2-3 menit, agar pelumas mesin terdistribusi merata.
- e. Pembukaan *throttle* ditambah (putar ke kiri) hingga putaran mencapai 2000 rpm.
- f. Kontrol dinamometer diputar ke kiri dengan beban awal dikondisikan 5 kg, selanjutnya secara bersamaan *water pass* diposisikan senter serta putaran mesin tetap pada 2000 rpm.
- g. Kondisi di atas dibiarkan berlangsung hingga suhu air keluar mencapai 60 °C.
- h. Setiap percobaan, kondisi suhu air keluar berada 70- 75 °C, dengan cara mengatur *stop kran flow meter* (kecepatan air pendingin yang masuk).
- i. Kurangi beban dengan memutar kontrol dinamometer ke kanan secara perlahan sampai putaran mesin mencapai 3000 rpm, serta *water pas* diposisikan center untuk pembacaan angka pembebanan secara tepat.
- j. Selanjutnya, beban dinamometer tetap, sedangkan untuk menurunkan putaran menggunakan *throttle* hingga mencapai 1650 rpm, dan *water pass* di usahkan selalu pada posisi senter.
- k. Melakukan pencatatan terhadap semua variabel yang diperlukan, yang meliputi:
 1. Waktu konsumsi bahan bakar.
 2. Suhu air pendingin (masuk dan keluar).
 3. Suhu gas buang.
 4. Tekanan (udara ruang, gas buang, minyak pelumas)
 5. Kelembaban udara.
 6. Pembebanan (massa).
 7. Laju aliran air pendingin.
 8. Tekanan udara atmosfer.
 9. Suhu ruangan.
 10. Perbedaan tekanan udara yang melalui nozzle.
- l. Pada setiap percobaan, alat uji emisi akan selalu mendeteksi kandungan emisi gas buang dan akan terlihat pada monitor jumlah kandungannya.
- m. Pada setiap penggantian bahan bakar, selalu dilakukan dengan cara yang sama (point a sampai l), yang dimulai dengan bahan bakar solar 100%, yang dilanjutkan dengan bahan bakar campuran biodiesel 5% hingga 20

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hubungan Emisi CO (karbon monoksida) dan Putaran

Tabel.7 Hubungan emisi CO pada solar dan campuran biodiesel

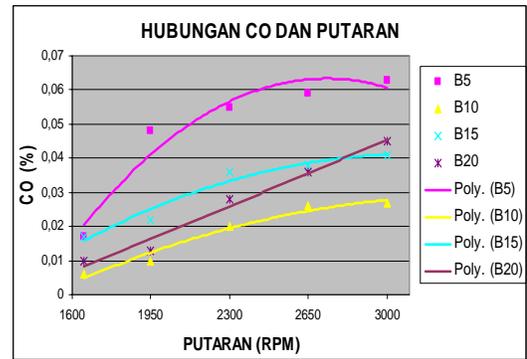
PUTARAN RPM	EMISI CO (%)				
	SOLAR	B5	B10	B15	B20
1650	5,475	0,017	0,006	0,017	0,010
1950	5,051	0,048	0,010	0,022	0,013
2300	5,046	0,055	0,020	0,036	0,028
2650	2,490	0,059	0,026	0,038	0,036
3000	3,500	0,063	0,027	0,041	0,045



Gambar 3. Grafik hubungan emisi CO dan putaran

Karbon monoksida (CO) terbentuk karena kurangnya oksigen di dalam reaksi dengan bahan bakar pada saat proses pembakaran. Hal tersebut menunjukkan bahwa tingginya persentase CO disebabkan bahan bakar tidak dapat terbakar secara sempurna akibat kurangnya oksigen. Pada Tabel 7 atau Gambar 3 di atas dapat diketahui bahwa emisi CO bahan bakar solar berada jauh di atas emisi CO campuran biodiesel yaitu mencapai 5,475 %. Emisi CO pada bahan bakar solar cenderung menurun dengan bertambahnya putaran mesin. Perbedaan yang jauh antara emisi CO pada solar dan campuran biodiesel disebabkan karena pada bahan bakar solar terjadi campuran kaya sedangkan pada bahan bakar campuran biodiesel terjadi campuran kurus. Campuran kaya pada bahan bakar solar tersebut dapat kita lihat pada tabel 4.5, bahwa *excess air* (λ) kurang dari 1, sedangkan pada campuran biodiesel *excess air* (λ) lebih besar dari 1. Untuk menurunkan emisi CO, maka campuran hendaknya dibuat kurus atau lamda lebih besar dari 1.

Pada Gambar 4 di bawah terlihat bahwa semua jenis campuran biodiesel mengalami kenaikan dengan bertambahnya putaran mesin. Bahan bakar B5 berada pada posisi teratas dibandingkan dengan campuran biodiesel yang lain mulai dari putaran 1650 hingga 3000 rpm. Bahan bakar B15 dan B10 mempunyai kecenderungan yang sama apabila dilihat dari bentuk garis (*line*) pada grafik. Namun B10 berada pada posisi terendah, yang artinya kandungan emisi CO bahan bakar ini adalah paling sedikit dibandingkan bahan bakar yang lain. Sedangkan pada B20 cenderung naik dengan persentase kenaikan yang lebih tinggi daripada B15 dan B10. Hal ini terlihat dengan terbentuknya garis lurus yang naik seiring bertambahnya putaran.



Gambar 4. Grafik hubungan emisi CO campuran biodiesel dan putaran

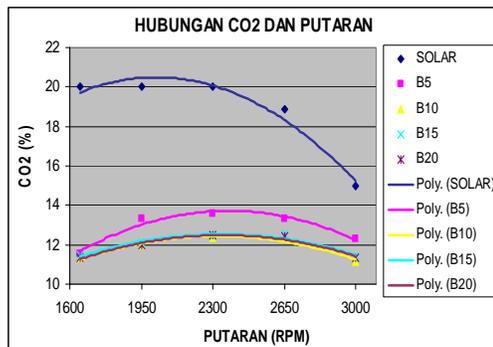
Kenaikan CO dapat disebabkan karena pada suhu yang tinggi terjadi reaksi antara karbon dioksida (CO_2) dengan karbon (C) yang menghasilkan gas CO. Pada suhu yang tinggi CO_2 dapat terurai kembali menjadi CO dan oksigen. Reaksi pembentukan CO lebih cepat daripada pembentukan CO_2 , sehingga pada hasil akhir pembakaran masih mungkin terdapat gas CO. Semakin tinggi suhu hasil pembakaran, maka jumlah gas CO_2 yang terdisosiasi menjadi CO dan O semakin banyak. Oleh karena itu naiknya CO dengan bertambahnya putaran untuk bahan bakar campuran biodiesel dapat disebabkan karena suhu yang tinggi. Karena suhu yang tinggi merupakan pemicu terbentuknya CO.

2. Hubungan Emisi CO_2 (Karbon dioksida) dan Putaran

Reaksi pembakaran bahan bakar yang sempurna akan menghasilkan CO_2 dan H_2O yang tinggi. Karena dengan semakin tingginya harga CO_2 , maka semakin banyak energi yang terbentuk dalam pembakaran ini. Sebaliknya apabila harga CO_2 semakin rendah, maka semakin sedikit energi yang terbentuk pada reaksi pembakaran. Rendahnya nilai CO_2 dapat disebabkan karena sebagian unsur bahan bakar berubah menjadi emisi karbon monoksida (CO) maupun hidrokarbon (HC).

Tabel 8. Hubungan emisi CO₂ pada solar dan campuran biodiesel

PUTARAN RPM	EMISI CO ₂ (%)				
	SOLAR	B5	B10	B15	B20
1650	20	11,54	11,32	11,45	11,34
1950	20	13,31	11,97	12,13	11,95
2300	20	13,55	12,37	12,41	12,47
2650	18,86	13,35	12,33	12,53	12,4
3000	15	12,3	11,18	11,41	11,36

Gambar 5. Grafik hubungan emisi CO₂ dan putaran

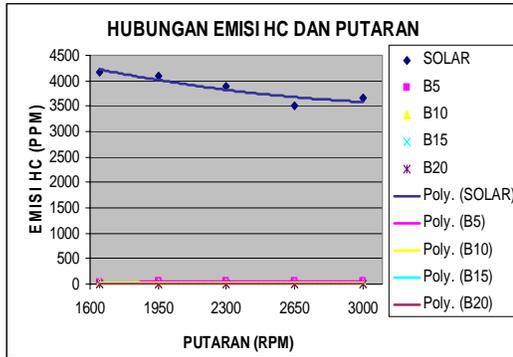
Dari Tabel 8 atau Gambar 5 di atas terlihat bahwa bahan bakar solar berada pada posisi teratas, artinya energi yang terbentuk lebih besar jika dibandingkan dengan campuran biodiesel. Pada bahan bakar solar cenderung mengalami penurunan dengan bertambahnya putaran. Hal ini disebabkan karena kualitas pembakaran yang menurun.

Sedangkan pada bahan bakar campuran biodiesel memiliki kecenderungan naik pada putaran 2300 rpm, namun kemudian turun pada putaran 3000 rpm. Penurunan ini disebabkan karena udara yang masuk ke dalam ruang bakar tidak dapat bereaksi secara sempurna dengan bahan bakar atau dapat juga disebabkan karena CO₂ terdisosiasi menjadi CO dan oksigen akibat suhu yang tinggi. Persentase CO₂ pada bahan bakar B5 lebih tinggi daripada campuran biodiesel lainnya. Sedangkan bahan bakar B10, B15 dan B20 memiliki karakter yang hampir sama. Hal ini terlihat pada grafik bahwa garis dari masing-masing jenis bahan bakar yang saling berhimpitan. Dari analisa tersebut, maka dapat dikatakan bahwa CO₂ pada bahan bakar campuran biodiesel tidak terjadi perbedaan yang signifikan, tetapi terjadi perbedaan yang cukup besar jika dibandingkan dengan solar.

3. Hubungan Emisi HC (Hidrokarbon) dan Putaran

Tabel 9. Hubungan emisi HC pada solar dan campuran biodiesel

PUTARAN RPM	EMISI HC (PPM)				
	SOLAR	B5	B10	B15	B20
1650	4166	19	23	3	8
1950	4086	55	22	8	8
2300	3896	52	21	7	0
2650	3516	56	17	5	0
3000	3653	56	21	7	1



Gambar 6. Grafik hubungan emisi HC dan putaran

Hidrokarbon (HC) dapat terbentuk karena adanya molekul hidrogen dan karbon dalam bahan bakar yang tidak terbakar sempurna (*unburned*) selama pembakaran berlangsung. Pada kondisi udara berlebih ($\lambda > 1$), emisi HC sangat sedikit terproduksi, tetapi menjadi sangat signifikan pada kondisi kekurangan udara ($\lambda < 1$). Emisi HC dengan berat molekul yang kecil juga terproduksi di sekitar api karena adanya proses dekomposisi termal (*thermo-pyrolysis*). Akan tetapi karena radikal H yang terkandung dalam hidrokarbon berubah menjadi H_2O , atom C yang terkandung dalam hidrokarbon berubah menjadi CO dan selanjutnya teroksidasi dengan CO_2 , maka produksi HC dan jelaga sangat sedikit. Berlawanan dengan hal ini, pada kondisi kekurangan udara, HC tidak banyak berubah menjadi CO dan H_2O , sehingga HC dikeluarkan dalam bentuk awalnya atau dalam bentuk serbuk karbon.

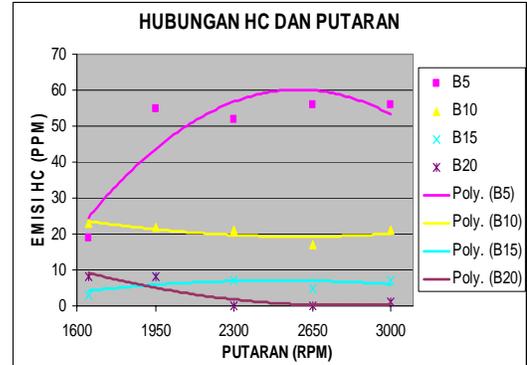
Pada Gambar 4.9 di atas dapat kita ketahui bahwa terjadi perbedaan yang sangat jauh antara emisi HC pada bahan bakar solar dan campuran biodiesel. Emisi HC bahan bakar solar berada di atas emisi campuran biodiesel hingga 99,9%. Hal ini terjadi karena pada pembakaran dengan bahan bakar solar, terjadi campuran kaya atau kekurangan oksigen. Sesuai dengan hasil pengujian, bahwa λ yang merupakan faktor kelebihan udara pada bahan bakar solar kurang dari 1. Sehingga menyebabkan bahan bakar tidak terbakar secara sempurna.

4. Hubungan Opasitas dan Putaran

Tabel 10. Hubungan opasitas dan putaran pada solar dan campuran biodiesel

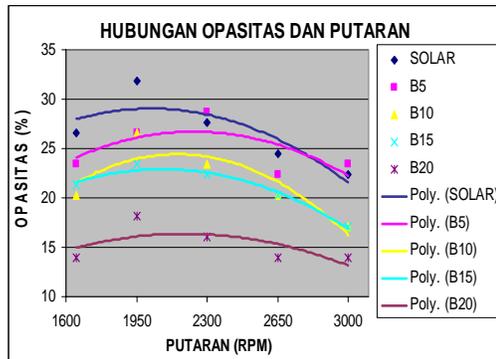
PUTARAN (RPM)	OPASITAS(%)				
	SOLAR	B5	B10	B15	B20
1650	26,590	23,460	20,240	21,290	13,890
1950	31,820	26,590	26,590	23,430	18,120
2300	27,620	28,670	23,430	22,370	16,010
2650	24,480	22,370	20,240	20,240	13,890
3000	22,370	23,430	17,050	17,050	13,890

Berbeda halnya dengan bahan bakar campuran biodiesel, yang pada Tabel 9 dan Gambar 6 terlihat berada jauh di bawah emisi solar. Hal ini disebabkan karena pada bahan bakar campuran biodiesel ini terjadi *excess air* (λ) yang lebih dari 1, sehingga hidrokarbon yang terbentuk lebih sedikit daripada solar.



Gambar 7. Grafik hubungan emisi HC campuran biodiesel dan putaran

Pada Gambar 7 di atas menunjukkan bahwa terjadi perbedaan kecenderungan pembentukan emisi HC pada masing-masing persentase campuran. Pada bahan bakar B5 mulai dari putaran 1650 hingga 3000 rpm berada di atas emisi HC campuran yang lain, serta memiliki kecenderungan meningkat dengan bertambahnya putaran. Pada posisi dibawahnya adalah B10 yang memiliki kecenderungan turun dengan bertambahnya putaran mesin. Sedangkan pada bahan bakar B15 tidak terlihat terjadi perbedaan yang signifikan dengan bertambahnya putaran mesin. Penurunan terbesar di antara campuran biodiesel terjadi pada B20, yang semakin turun dengan bertambahnya putaran mesin. Selain yang disebutkan di atas, emisi HC juga dapat terbentuk karena temperatur yang rendah pada daerah dinding silinder, sehingga pada temperatur tersebut tidak mampu melakukan proses pembakaran.



Gambar 8. Grafik hubungan opasitas dan putaran

Opasitas menunjukkan derajat kegelapan dan tembus pandang tidaknya suatu emisi gas buang. Semakin tinggi opasitasnya, artinya semakin tinggi persentase tidak tampaknya suatu benda akibat emisi gas buang ini. Partikulat ini terutama terdiri dari jelaga, yang proses terjadinya secara ringkas adalah pada kondisi dimana oksigen kurang HC dalam kondisi temperatur tinggi akan mengalami dekomposisi termal dan kemudian terjadi *dehidrogenisasi* dan diikuti *polimerisasi* sehingga akan terbentuk senyawa antara *intermediates* yang banyak mengandung karbon dan selanjutnya terjadi pertumbuhan inti partikel. Dari Tabel 10 dan Gambar 8 terlihat bahwa opasitas dari semua jenis bahan bakar cenderung menurun dengan bertambahnya putaran mesin. Pada putaran 1650 rpm, bahan bakar solar berada pada posisi teratas sedangkan pada 3000 rpm mengalami penurunan, sehingga berada dibawah B5. Pada bahan bakar B10 dan B15 memiliki kesamaan kecenderungan karena tidak terjadi perbedaan yang signifikan pada putaran 1650 rpm hingga 3000 rpm. Sedangkan bahan bakar B20 berada pada posisi terbawah, artinya memiliki sifat yang lebih ramah terhadap lingkungan. Rendahnya opasitas dapat disebabkan karena secara teori asam lemak yang terkandung dalam biodiesel lebih mudah untuk teroksidasi atau terbakar secara sempurna.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Emisi karbon monoksida (CO) bahan bakar solar berada jauh di atas emisi CO campuran biodiesel. Perbedaan ini mencapai 99,6 % di atas campuran biodiesel.
2. Emisi karbon dioksida (CO₂) bahan bakar solar berada pada posisi di atas campuran biodiesel dan cenderung mengalami

- penurunan untuk semua jenis bahan bakar pada putaran 3000 rpm.
3. Emisi hidrokarbon (HC) bahan bakar solar berada jauh di atas campuran biodiesel, hingga mencapai 99,9%.
 4. Opasitas dari semua jenis bahan bakar mengalami penurunan dengan bertambahnya putaran mesin. Opasitas rata-rata tertinggi terjadi pada bahan bakar solar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Sdr. Teguh Laksono yang telah banyak membantu dengan tekun penelitian hingga penulisan makalah ini. Semoga makalah ini bermanfaat bagi siapa saja yang berkenan membacanya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, "Uji Bahan Bakar Solar", Portal Mobil dan Motor Indonesia, Juli 2006, (<http://www.mobilmotor.co.id>).
 2. Setyadji, M. dkk, "Studi Pembuatan Minyak Biodiesel dari Biji Jarak; Prosiding PPI-PDIPTN, P3TM-BATAN, Yogyakarta, 2003,
 3. Koesoemadinata, R.P., "Geologi Minyak dan Gas Bumi", Edisi Kedua, Penerbit ITB, Bandung, 1980.
 4. Prihandana R., Hendroko R., Nuramin M., "Menghasilkan Biodiesel Murah", Agromedia Pustaka, Jakarta, 2006.
 5. Gerhard Knothe, Jon Van Gerpen and Jurgen Krahl, "The Biodiesel Handbook", Library of Congress Cataloging in Publication Data, United States of America, 2004
 6. Bannon, C.D., "Limitation of Ambient Temperature Methods for Methyl alcoholysis of Triacglycerol in the Analysis of Fatty Acid Methyl Esters with High Accuracy and Reliability" Journal of American Oil Chemist, Vol 65 No.2. 1988.
 7. Hayafuji, S., 1999, *Method and Apparatus for Producing Diesel Fuel Oil from Waste Edible Oil*, Lonford Development Limited, Kyoto.
 8. Sidik Budoyo, "Teknologi Proses Pencampuran Biodiesel dan Minyak Solar di Indonesia", 2006, www.geocities.com
 9. Tri Mulyantara, Koes Sulistiadji, *Biodiesel, Bahan Bakar Campuran Ramah Lingkungan, Tangerang*, 2006, www.pustaka-deptan.go.id
 10. Wisnu Arya Wardana, *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Andi, Yogyakarta. 2001,
- Anonim, "Biodiesel, Bahan Bakar Ramah Lingkungan", 2005, www.balipost.com.

TANYA JAWAB**Mulyono D.**

- Penambahan biodiesel jlantah terhadap solar di presentasikan bahwa menambahkan ke positifan pada berbagai hal (penambahan CO, CO₂ , emisi mampu opsitas). Apakah ada sisi negatifnya mohon jelaskan ?

Moch Setyadji

- Sisi negatif ada yaitu berkaitan daya yang dihasilkan kurang dari 10% karena kalori biodiesel (minyak nabati) dibandingkan solar lebih rendah sekitar 10%. Disamping itu pengaruh penggunaan biodiesel terhadap seal-seal pada mesin diesel dan produksi mempercepat kerusakan untuk jangka waktu lama. Namun demikian prediksi prediksi kerusakan seal sampai saat ini belum terbukti.

Maradu S.

Semakin tinggi putaran maka emisi dan opasitas semakin rendah untuk pencampuran minyak minyak nabati yang semakin besar.

- Bagaimana hubungan % campuran dengan daya yang dibangkitkan ?
- Semakin besar % campuran maka nilai bakar bahan bakar semakin kecil, berapa % maksimum pencampuran dilihat dari nilai emisi, opsitas dan daya yang dibangkitkan ?

Moch Setyadji

- Semakin banyak prosentase biodiesel yang ditambahkan ke dalam minyak solar maka daya yang dibangkitkan mengalami penurunan tetapi penurunnya tidak linier.
- Penambahan biodiesel ke dalam minyak solar direkomendasikan maksimal 30% yaitu B 30.