

# Kinerja Mesin Diesel Memakai Bahan Bakar Biodiesel Biji Karet dan Analisa Emisi Gas Buang

I Wayan Susila

Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya, Surabaya  
E-mail: wayansusila@yahoo.com

## ABSTRAK

Penelitian pengembangan proses produksi biodiesel (B-100) dari minyak biji karet atau *rubber seed oil* (RSO) yang diproduksi secara non-katalis *superheated* metanol di dalam sebuah *bubble column reactor* (BCR) tekanan atmosfer telah dilaporkan. Spesifikasi B-100 tersebut dipergunakan sebagai bahan bakar dalam penelitian ini yaitu: densitas 882 g/ml; viskositas kinematik 5,19 cSt; *calculated cetane index* (CCI) 47,5; titik tuang  $-6^{\circ}\text{C}$ ; flash point  $200^{\circ}\text{C}$ ; residu karbon mikro dalam sampel asli 0,126% massa dan dalam 10% ampas distilasi 2,87% massa; sedimen 0,01% volume; temperatur distilasi  $347^{\circ}\text{C}$ ; kandungan sulfur 0,72 ppm; angka asam 0,01 mgKOH/g; serta nilai kalor rendah 9184,43 kkal/kg. Biodiesel dicampur dengan solar (B-0) pada tingkat perbandingan tertentu sehingga diperoleh B-5, B-10, B-15, dan B-20 (B-5 adalah campuran antara biodiesel 5% serta solar 95%, dst) dipergunakan sebagai bahan bakar pada mesin diesel stasioner. Kinerja mesin diesel dan emisi gas buang dibandingkan dengan mesin yang memakai solar (B-0). Mesin dioperasikan pada putaran konstan 1350, 1750, 2150, 2550, dan 2950 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan bakar B-10 menghasilkan kinerja mesin terbaik pada putaran 2550 rpm. Pada putaran ini diperoleh daya maksimum sebesar 36,95 PS, konsumsi bahan bakar spesifik terendah sebesar 0,256 kg/(PS.jam), efisiensi termal 58,44%, kandungan CO terkecil sebesar 0,4%, dan opasitas gas buang 58,6% HSU memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2006, dan tidak perlu memodifikasi mesin. Jika dibandingkan dengan solar murni (B-0), B-10 lebih baik dari pada B-0 karena pada kondisi optimum menghasilkan kenaikan daya sebesar 1,8%, konsumsi bahan bakar spesifik sama 0,256 kg/(PS.jam), efisiensi termal naik 2,4%, kadar CO gas buang turun 80%, serta CO<sub>2</sub> turun 55%.

**Kata kunci:** Biodiesel, RSO, non-katalis, mesin diesel.

## ABSTRACT

*The research about development of biodiesel (B-100) production process from RSO which is produced in the non-catalyst superheated methanol in a bubble column reactor (BCR) atmospheric pressure has been reported. The fuel which is used in this research has the following specifications: density 882 g/ml; kinematic viscosity 5.19 cSt; calculated cetane index (CCI), 47.5; pour point  $-6^{\circ}\text{C}$ ; flash point  $200^{\circ}\text{C}$ ; micro carbon residue in the original sample 0.126% of mass and the 10% distillation residue is 2.87% of mass; sediment 0.01% of volume; destilation temperature  $347^{\circ}\text{C}$ ; sulfur content 0.72 ppm; acid number 0.01 mgKOH/g; and low heating value 9184.43 kcal/kg. Biodiesel (B-100) was blended with diesel fuel (B-0) at a certain level of comparison in order to obtain B-5, B-10, B-15, and B-20 (B-5 is a mixture of 5% biodiesel and 95% diesel fuel, and so on) and then it is used as fuel in diesel engine stationary. Engine performance and exhaust emissions are compared with engines that use diesel fuel (B-0). The machine is operated in constant rotation in 1350, 1750, 2150, 2550, and 2950 rpm. The results showed that B-10 produced the best engine performance at 2550 rpm. In this rotation, the maximum power obtained was 36.95 PS, the lowest specific fuel consumption was 0.256 kg/(PS.hr), the thermal efficiency 58.44%, the lowest CO content 0.4%, and flue gas opacity 58.6% HSU in accordance with the State Minister of Environment Regulation Number 5/2006, and no modification of engine needed. Compared with diesel fuel (B-0), B-10 was better than B-0 because it produced power increase 1.8%, same specific fuel consumption 0.256 kg/(PS.hr), rising thermal efficiency 2.4%, CO content decreased 80.0%, and CO<sub>2</sub> content decreased 55.0% at optimum condition.*

**Keywords:** Biodiesel, RSO, non-catalyst, diesel engine.

## PENDAHULUAN

Proses pembuatan biodiesel dari bahan nabati pada umumnya dapat dibedakan menjadi dua cara yaitu: pertama metode katalis, menggunakan katalis (asam maupun basa) serta proses pencuciannya menggunakan air (*wet wash system*) atau absorban (*dry wash system*) berlangsung pada temperatur dan tekanan rendah; kedua, metode non-katalis dimana transesterifikasi berlangsung pada reaktor temperatur tinggi tekanan rendah atau tinggi. Tahapan proses yang dilalui pada metode katalis yaitu pengepresan atau ekstrak biji nabati sehingga diperoleh minyak biji karet atau disebut juga *rubber seed oil* (RSO), *degumming* (untuk mengikat lendir atau getah atau kotoran minyak mentah), esterifikasi (untuk menurunkan kadar asam lemak bebas atau FFA sampai di bawah 2,5%), transesterifikasi (untuk memperoleh metil ester), pemisahan *fatty acid methyl ester* (FAME) dan gliserol, pencucian (basah atau kering), pemisahan lagi sehingga menghasilkan biodiesel siap dipasarkan.

Masalah utama yang dihadapi akibat pemakaian minyak nabati sebagai bahan bakar pada mesin diesel adalah rendahnya efisiensi termal dan tingginya opasitas gas buang jika dibandingkan dengan solar. "Road map" penelitian tentang kinerja mesin diesel dan analisis emisi gas buang mesin diesel yang menggunakan biodiesel dari berbagai bahan nabati seperti kelapa sawit, biji jarak, biji karet, bunga matahari, dll telah dilakukan oleh berbagai peneliti. Ramadhas dkk. [2], meneliti tentang karakteristik dan pengaruh pemakaian RSO sebagai bahan bakar pada mesin diesel. Berbagai macam campuran biodiesel dari RSO metode katalis dan solar disiapkan dan karakteristiknya yang penting seperti viskositas, nilai kalor, *flash point*, *fire point*, dan sebagainya dievaluasi dan dibandingkan dengan solar. Hasilnya adalah tes kinerja mesin dalam waktu yang cukup lama menunjukkan bahwa campuran biodiesel dan solar menimbulkan endapan karbon yang lebih tinggi di dalam ruang bakar jika dibandingkan dengan solar murni. Oleh karena itu saringan bahan bakar, pompa, dan ruang bakar harus sering dibersihkan[1]. Tahun berikutnya, 2005, Ramadhas dkk meneliti tentang kinerja dan evaluasi emisi mesin diesel yang menggunakan bahan bakar metil ester minyak biji karet (RSOME) dan solar sebagai pembanding. Biodiesel diperoleh dengan metode katalis, proses dua tahap karena FFA tinggi (di atas 2,5%) yaitu esterifikasi katalis asam dan transesterifikasi katalis basa. Hasilnya menunjukkan bahwa jika campuran RSOME pada solar semakin rendah maka akan menghasilkan peningkatan efisiensi termal dan mengurangi konsumsi bahan bakar spesifik. Emisi gas buang menurun dengan kenaikan konsentrasi RSOME[2]. Di tahun yang

sama, Pradeep dkk juga melakukan penelitian evaluasi kinerja, emisi, dan parameter pembakaran mesin diesel yang menggunakan bahan bakar biodiesel biji karet dan campurannya. Biodiesel yang dipakai diproduksi dengan metode katalis. Hasilnya menunjukkan bahwa B-100 menghasilkan efisiensi termal lebih rendah karena viskositasnya lebih tinggi dari pada solar, dan opasitasnya juga tinggi. Namun, campuran biodiesel dan solar menunjukkan bahwa efisiensi, opasitas, emisi CO dan HC dapat diterima[3]. Selanjutnya Edwin Geo dkk, 2009, melakukan investigasi eksperimen mempelajari karakteristik mesin diesel menggunakan RSO sebagai bahan bakar utama dengan dietil eter (DEE) sebagai pemicu pembakaran. DEE diinjeksikan ke dalam saluran masuk (*intake manifold*) selama langkah hisap, sedangkan RSO diinjeksikan secara langsung ke dalam silinder pada akhir langkah kompresi (230 sebelum TMA). Hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi termal meningkat dari 26,5% menjadi 28,5% dengan DEE diinjeksikan pada laju 200 g/jam. Opasitas berkurang secara signifikan dari 6,1 menjadi 4 BSU (Bosch Smoke Unit)[4]. Varuvel E.G. dkk, 2008, menggunakan RSO, RSOME, dan solar sebagai pembanding. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fase pembakaran RSOME lebih intensif dari pada RSO karena keterlambatan pembakaran lebih rendah, durasi pengapian menurun, dan efisiensi termal lebih tinggi. Dengan menggunakan RSO menghasilkan efisiensi termal 26,53%, dengan RSOME 27,89%, sedangkan dengan solar 29,93% pada beban penuh. Tekanan puncak meningkat 2,3 bar untuk RSOME dibandingkan dengan RSO. Dalam kasus RSOME, emisi gas buang seperti CO, HC, dan opasitas menurun jika dibandingkan dengan RSO[5]. Varuvel E.G. dkk di tahun yang sama juga melakukan penelitian operasi ganda bahan bakar RSO dan RSOME dengan hidrogen dimasukkan ke dalam *intake manifold*. RSO, RSOME, dan solar digunakan sebagai bahan bakar utama. Pemakaian hidrogen dengan kuantitas bervariasi terhadap RSO dan RSOME menghasilkan efisiensi termal lebih tinggi dan penurunan emisi secara signifikan. Diperoleh efisiensi termal maksimum 28,12%, 29,26% dan 31,62% dengan RSO, RSOME dan solar pada kuantitas hidrogen 8,39%, 8,73%, dan 10,1% masing-masing. Penurunan opasitas dari 5,5 menjadi 3,5 BSU dengan RSOME dan untuk RSO dari 6,1 menjadi 3,8 BSU pada efisiensi maksimum[6]. Semua proses produksi biodiesel tersebut di atas menggunakan metode katalis. Di Indonesia, pada umumnya juga menggunakan metode katalis.

Pengembangan proses produksi biodiesel biji karet metode non-katalis *superheated* metanol tekanan atmosfer serta transesterifikasi berlangsung pada sebuah *bubble column reactor* (BCR) telah dilaporkan. Namun, hasil pengujian berdasarkan

standard Forum Biodiesel Indonesia (FBI) 2005 menunjukkan bahwa residu karbon mikro biodiesel biji karet masih cukup tinggi di atas standard[7]. Jika biodiesel dari bahan nabati ini dipergunakan sebagai bahan bakar pada mesin diesel maka harus dicampur dengan solar pada tingkat perbandingan tertentu sehingga dapat memperkecil masalah utama tersebut di atas[1,2,3,5].

### METODE PENELITIAN

#### Bahan Bakar

Bahan bakar yang dipergunakan pada mesin diesel adalah B-5, B-10, B-15, dan B-20, sedangkan solar murni (B-0) sebagai pembanding. Kualitas biodiesel (B-100) dari biji karet yang diproses dengan metode non-katalis ditunjukkan pada Tabel 1. Biodiesel ini tanpa mengalami proses "degumming" maupun esterifikasi. Transesterifikasi dilakukan pada sebuah reaktor (*bubble column reactor*) dengan memompakan *superheated* methanol ke dalam reaktor yang berisi cairan minyak biji karet (RSO).

Tabel 1. Hasil Uji Kualitas Biodiesel Biji Karet Metode Non-Katalis Dibandingkan Standar FBI Tahun 2005

No.	Sifat Kimia	Satuan	Kwalitas Biodiesel Menurut Standar FBI 2005		Metode Pengujian ASTM	B-100 <sup>(1)</sup> (Biodiesel Biji Karet)
			Batasan Min	Batasan Mak		
1.	Densitas pada 15°C	kg/m <sup>3</sup>	850	890	D-1298	882
2.	Viskositas Kinematik (40°C)	cSt	2,3	6,0	D-445	5,19
3.	Angka Cetana		51	-	D-613	47,5 <sup>(*)</sup>
4.	Titik Tuang ( <i>Pour Point</i> )	°C	-	18	D-97	- 6
5.	Titik Nyala ( <i>Flash Point</i> )	°C	100	-	D-93	200
6.	Korosi Lempeng Tembaga (3 jam pada 50°C)	No. ASTM	-	No.3	D-130	No.1.b
7.	Residu Karbon Mikro	% massa				
	• dalam contoh asli		-	0,05	D-4530	0,126
	• dalam 10% ampas distilasi		-	0,3		2,87
8.	Air dan Sedimen	% volume	-	0,05	D-2709	0; 0,01
9.	Temperatur Distilasi 90%	°C	-	360	D-1160	347
10.	Abu Tersulfatkan	% massa	-	0,02	D-874	0,01
11.	Belerang	ppm-m (mg/kg)	-	100	D-5453	0,72
12.	Angka Asam	mg-KOH/g	-	0,8	D-664	0,01
13.	Glyserol Bebas	% massa	-	0,02	D-6584	-
14.	Glyserol Total	% massa	-	0,24	D-6584	-

Sumber: I Wayan Susila, <sup>(1)</sup>\*) Berdasarkan ASTM D 976-91.

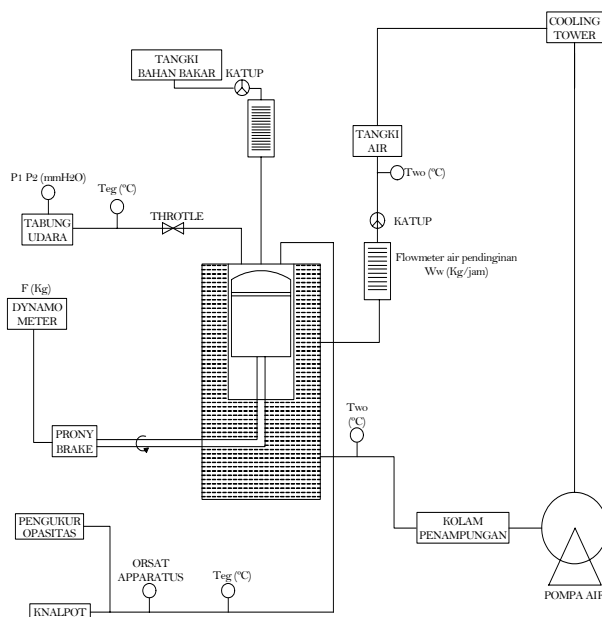
Catatan: Hasil uji tambahan a.l.:

Hasil uji nilai kalor metode ASTM D-240, LHV = 9184,43 kkal/kg. Hasil uji warna biodiesel standard ASTM D1500-98 yaitu 2,5, sedangkan persyaratannya maksimum 3,0 (memenuhi).

Rumus CCI =  $454,74 - 1641,416 D + 774,74 D^2 - 0,554 B + 97,803 (\log B)^2$ .

D = densitas pada 15°C, g/ml metode test D 1298 atau D 4052,

B = *mid boiling temperature* °C.



Gambar 1. Skema Pengujian Kinerja Mesin

Tidak terpenuhinya standar kandungan residu karbon mikro diduga karena pada metode non-katalis tidak mengalami proses "degumming" sehingga lendir atau getah (gum) yang dikandung oleh RSO tidak bisa hilang. Getah atau lendir ini berpotensi menimbulkan kerak di dalam ruang bakar pada saat terjadinya pembakaran bahan bakar pada saat terjadinya pembakaran bahan bakar[1],[2]. Jika biodiesel biji karet metode non katalis ini (B-100 atau biodiesel murni) dipergunakan sebagai bahan bakar mesin diesel, maka harus dicampur dengan solar pada tingkat perbandingan tertentu misalnya B-5, B-10, B-15, atau B-20 sehingga kerak yang ditimbulkan di dalam ruang bakar menjadi lebih sedikit[7].

Biodiesel yang dihasilkan kemudian dicampur dengan solar dengan tingkat perbandingan tertentu yaitu B-5, B-10, B-15, dan B-20 (B-5 adalah campuran antara biodiesel 5% dan solar 95%, dst). Bahan bakar ini diujicobakan pada sebuah mesin diesel stasioner. Kinerja mesin serta emisi gas buang yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan mesin diesel memakai solar (B-0). Skema pengujian kinerja mesin ditunjukkan pada Gambar 1. Parameter yang akan diamati adalah: daya mesin, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termal, emisi gas buang yang dihasilkan terutama kandungan CO, dan CO<sub>2</sub>, serta opasitas gas buang.

Spesifikasi motor diesel untuk percobaan:

- Merk: Nissan, Tokyo Co Ltd
- Model: DWE – 47 – 50 – HS – AV
- Siklus: 4 langkah
- Jumlah silinder: 4 buah
- Volume langkah torak total: 2164 cm<sup>3</sup>
- Diameter silinder: 83 mm

- Panjang langkah torak: 100 mm
- Perbandingan kompresi: 22 : 1
- Bahan bakar: solar
- Pendingin: air
- Daya poros: 47 BHP/3200 rpm
- Negara pembuat: JEPANG

Instrumen pengukur yang tersedia dalam instalasi percobaan motor bakar diantaranya adalah *prony brake*, rpm meter (*tachometer*), pengukur konsumsi bahan-bakar, *Orsat appartus*, pengukur kapasitas dan temperatur air pendingin, pengukur temperatur pada berbagai titik ukur dan lain-lain.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

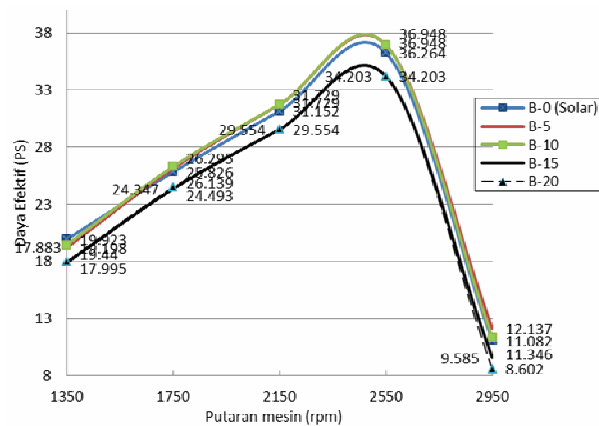
### Daya Efektif

Hubungan antara putaran dan daya efektif (Ne) pada pemakaian bahan bakar B-0 (solar); B-5; B-10; B-15; dan B-20 seperti terlihat pada Tabel 2 dan Gambar 2.

Dari Gambar 2 terlihat bahwa secara umum bentuk grafik untuk bahan bakar B-0 sampai B-20 hampir sama. Tampak pula bahwa semakin tinggi putaran maka daya efektif juga semakin tinggi, daya efektif maksimum diperoleh pada putaran mesin  $n = 2550$  rpm sebesar 36,948 PS.

Tabel 2. Hubungan antara Putaran dan, Daya Efektif pada Berbagai Campuran Bahan Bakar

Putaran, n (rpm)	Daya Efektif (Ne) dalam PS				
	B-0 (Solar)	B-5	B-10	B-15	B-20
1350	19,923	19,198	19,440	17,883	17,995
1750	25,826	26,139	26,295	24,347	24,493
2150	31,152	31,729	31,729	29,554	29,554
<b>2550</b>	<b>36,264</b>	<b>36,948</b>	<b>36,948</b>	<b>34,203</b>	<b>34,203</b>
2950	11,082	12,137	11,346	9,585	8,602
Rata-rata	24,840	25,230	25,150	23,110	22,960



Gambar 2. Hubungan antara Putaran dan Daya Efektif

Pada putaran yang semakin tinggi dari 2550 maka daya efektif menurun karena kehilangan daya gesekan semakin besar. Grafik B-5 dan B-10 hampir berimpit, tetapi daya yang dihasilkan oleh B-5 pada putaran rendah lebih kecil dari pada B-10. Grafik B-15 dan B-20 juga hampir berimpit tetapi pada putaran rendah daya yang dihasilkan oleh B-20 masih lebih tinggi dari pada B-15, namun pada putaran tinggi B-20 lebih kecil dari B-15. Grafik B-5 dan B-10 masih lebih tinggi dari pada B-15 dan B-20. Grafik B-0 berada diantara grafik B-15 dan B-10. Jadi, daya mesin maksimum yang dihasilkan jika menggunakan bahan bakar B-10.

Jika kita bandingkan B-10 dengan solar murni (B-0), dari data pada Tabel 2 khusus pada putaran 2550 rpm (kondisi optimum) tampak bahwa solar menghasilkan daya sebesar 36,264 PS sedangkan B-10 menghasilkan daya 36,948 PS. Dengan demikian maka pemakaian B-10 mampu menaikkan daya mesin sebesar 1,8% {(dasar perhitungan  $\{36,948 - 36,264\} : 36,264\}$ ). Tetapi jika kita lihat nilai rata-ratanya antara putaran 1350 s/d 2950 rpm, tampak bahwa bahan bakar B-10 dapat menghasilkan daya rata-rata sebesar 25,15 PS sedangkan solar 24,84 PS. Dengan demikian berarti bahwa secara rata-rata, pemakaian bahan bakar B-10 mampu meningkatkan daya mesin sebesar 1,2% [dasar perhitungan sebagai berikut:  $(25,15 - 24,84) : 24,84$ ].

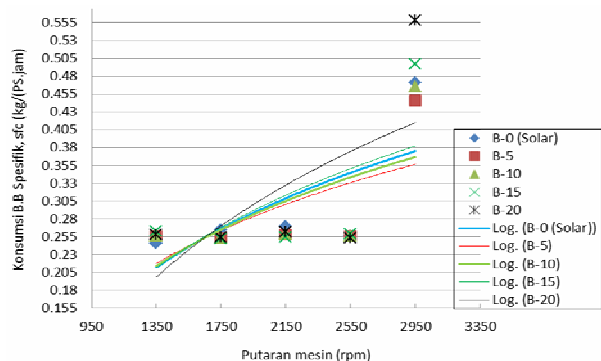
### Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Hubungan antara pemakaian bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption*) terhadap putaran mesin ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 3.

Pada pembahasan dimuka, telah diketahui bahwa daya maksimum diperoleh pada putaran  $n = 2.250$  rpm untuk jenis bahan bakar B-10. Apabila kita lihat grafik pada Gambar 3, tampak bahwa konsumsi bahan bakar spesifik untuk B-0 sampai dengan B-15 cenderung hampir berimpit mulai putaran 1.350 sampai 2.550 rpm. Pada putaran 2.950 rpm jelas ada perbedaan yaitu B-20 tertinggi dan B-5 terendah, sementara itu B-0 berada ditengah-tengah antara B-10 dan B-15. Khusus untuk B-10 pada putaran 2.550 rpm pada daya maksimum memerlukan konsumsi bahan bakar spesifik 0,256 kg/(PS.jam).

Tabel 3. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Putaran mesin (rpm)	Konsumsi Bahan Bakar Spesifik, sfc (kg/(PS.jam))				
	B-0 (Solar)	B-5	B-10	B-15	B-20
1350	0,245	0,256	0,256	0,263	0,258
1750	0,265	0,253	0,253	0,252	0,254
2150	0,269	0,258	0,259	0,254	0,262
<b>2550</b>	<b>0,256</b>	<b>0,256</b>	<b>0,256</b>	<b>0,259</b>	<b>0,253</b>
2950	0,471	0,446	0,465	0,497	0,558
Rata-rata	0,300	0,290	0,290	0,300	0,310



Gambar 3. Pengaruh Putaran Mesin pada Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi ini hampir sama dengan untuk putaran mulai 1.350 rpm sampai dengan 2.550 rpm. Jika kita bandingkan B-10 dengan solar murni (B-0), dari data pada Tabel 3 khusus pada putaran 2550 rpm (kondisi optimum) tampak bahwa B-10 memerlukan bahan bakar spesifik sama dengan B-0 (solar) yaitu 0,256 kg/(PS.jam). Tetapi jika kita lihat nilai rata-ratanya antara putaran 1350 s/d 2950 rpm, tampak bahwa bahan bakar B-10 dapat menghemat pemakaian bahan bakar spesifik sebesar 3,3% [dasar perhitungan sebagai berikut:  $(0,29 - 0,30) : 0,30$ ].

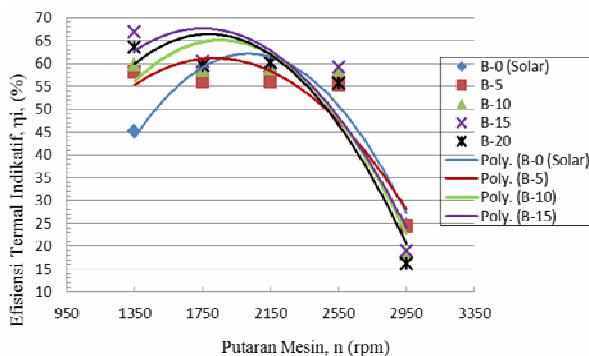
**Efisiensi Termal**

Hubungan antara jenis bahan bakar dan putaran mesin terhadap efisiensi termal ditunjukkan pada Tabel 4 dan Gambar 4.

Dari grafik pada Gambar 4, tampak bahwa pada putaran antara 1.350 rpm sampai 1.750 rpm terjadi kenaikan efisiensi termal untuk semua jenis bahan bakar (B-0 s/d B-20), tetapi setelah putaran 1750 rpm terjadi penurunan efisiensi termal sampai putaran 2950 rpm. Penurunan efisiensi ini akibat dari semakin banyaknya panas yang hilang melalui gas buang karena putaraan semakin tinggi. Grafik B-5, B-10, B-15, maupun B-20 berada di atas grafik B-0 (solar murni), ini berarti memiliki efisiensi termal lebih tinggi dari pada solar murni. Pada umumnya, persoalan utama yang dihadapi oleh bahan bakar fosil (BBM) adalah rendahnya efisiensi termal.

Tabel 4. Hubungan antara Jenis Bahan Bakar dan Putaran Mesin pada Efisiensi Termal Indikatif

Putaran mesin (rpm)	Efisiensi termal indikatif, $\eta_i$ (%)				
	B-0 (Solar)	B-5	B-10	B-15	B-20
1350	45,27	58,20	59,73	66,92	63,65
1750	57,40	56,04	58,53	60,40	59,58
2150	58,13	56,05	58,90	60,09	60,23
2550	57,07	55,44	58,45	59,29	55,81
2950	24,64	24,44	18,07	19,10	16,25
Rata-rata	48,50	50,03	50,73	53,16	51,10



Gambar 4. Hubungan antara Putaran Mesin dan Efisiensi Termal Indikatif

Karena B-5 s/d B-20 mampu menaikkan efisiensi termal maka sangat cocok dipergunakan sebagai bahan bakar alternatif.

Jika kita bandingkan B-10 dengan solar murni (B-0), dari data pada Tabel 4 khusus pada putaran 2550 rpm (kondisi optimum), tampak bahwa solar menghasilkan efisiensi termal sebesar 57,07% sedangkan B-10 menghasilkan efisiensi termal 58,45%. Dengan demikian maka pemakaian B-10 mampu menaikkan efisiensi termal sebesar 2,4% [dasar perhitungan sebagai berikut:  $(58,45 - 57,07) : 57,07$ ]. Tetapi jika kita lihat nilai rata-ratanya, antara putaran 1350 s/d 2950 rpm, tampak bahwa bahan bakar B-10 dapat menghasilkan kenaikan efisiensi termal sebesar 4,6% [dasar perhitungan sebagai berikut:  $(50,73 - 48,50) : 48,50$ ].

**Analisa Gas Buang**

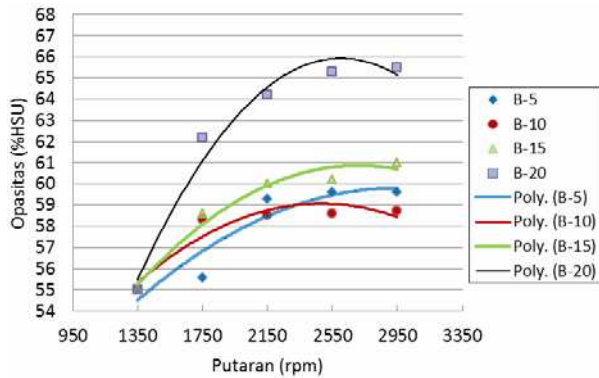
Opasitas Gas Buang

Tabel 5 dan Gambar 5 menunjukkan hubungan antara putaran dengan opasitas.

Pada Tabel 5 dan Gambar 5 tampak jelas bahwa semakin tinggi putaran mesin maka opasitas gas buang semakin naik untuk semua jenis bahan bakar baik dari bahan bakar B-5 s/d B-20. Pada putaran 2550 rpm, B-20 menghasilkan opasitas terbesar kemudian disusul oleh B-15, B-5, kemudian terkecil oleh B-10. Opasitas gas buang berada pada kisaran antara 57,82 s/d 62,44% HSU; opasitas terbesar dihasilkan oleh B-20 yaitu 62,44%. Namun jika kita lihat pada peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup no.5/2006 terlihat bahwa batas maksimum opasitas yang diijinkan untuk motor diesel tahun pembuatan dibawah tahun 2010 yaitu 70% HSU. Ini berarti opasitas gas buang yang dihasilkan oleh bahan bakar biodiesel biji karet sampai B-20 masih memenuhi syarat. Semakin gelap warna opasitas maka hal ini berarti opasitas semakin tinggi.

**Tabel 5. Opasitas Gas Buang pada Berbagai Putaran Mesin**

Putaran mesin (rpm)	Opasitas (%HSU)			
	B-5	B-10	B-15	B-20
1350	55,0	55,0	55,0	55,0
1750	55,6	58,3	58,6	62,2
2150	59,3	58,5	60,0	64,2
2550	59,6	58,6	60,2	65,3
2950	59,6	58,7	61,0	65,5
Rata-rata	57,82	57,82	58,96	62,44



**Gambar 5. Pengaruh Putaran Mesin pada Opasitas Gas Buang**

Kandungan CO Gas Buang

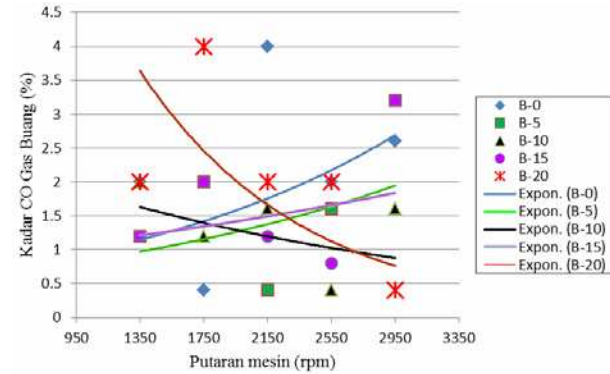
Kandungan CO yang tinggi pada gas buang akan dapat merusak kesehatan dan merusak lapisan ozon. Hubungan antara putaran mesin terhadap kandungan CO gas buang diperlihatkan pada Tabel 6 dan Gambar 6.

Kalau kita lihat kandungan gas CO pada gas buang untuk setiap jenis bahan bakar, pada Tabel 6 tampak bahwa pada putaran 2550 rpm bahan bakar B-10 menghasilkan kadar CO terkecil yaitu 0,4%; sedangkan bahan bakar B-20 kadar CO nya terbesar yaitu 2,0%. Dari Gambar 6, terlihat pula bahwa semakin tinggi putaran, kecenderungan grafik B-0 semakin tinggi yang menandakan bahwa kadar CO semakin meningkat. Demikian juga grafik B-5 dan B-15 walaupun masih berada di bawah grafik B-0. Grafik B-10 dan B-20 sangat berbeda dengan ketiga grafik tersebut yaitu semakin tinggi putaran mesin maka kecenderungan kadar CO semakin rendah tetapi grafik B-10 berada di bawah grafik B-20 yang berarti bahwa kadar CO yang dihasilkan oleh B-10 lebih rendah dari pada B-20. Dengan demikian grafik B-10 merupakan grafik terbaik.

Jika kita bandingkan B-10 dengan solar murni (B-0) dari data pada Tabel 6, khusus pada putaran 2550 rpm (kondisi optimum) tampak bahwa solar menghasilkan kadar CO gas buang sebesar 2,0% sedangkan B-10 menghasilkan kadar CO pada gas buang sebesar 0,4%.

**Tabel 6. Kandungan CO Gas Buang (%) pada Berbagai Putaran Mesin**

Putaran Mesin, n (rpm)	Kandungan CO Gas Buang (%)				
	B-0 (solar)	B-5	B-10	B-15	B-20
1350	2,0	1,2	2,0	1,2	2,0
1750	0,4	2,0	1,2	2,0	4,0
2150	4,0	0,4	1,6	1,2	2,0
2550	2,0	1,6	0,4	0,8	2,0
2950	2,6	3,2	1,6	3,2	0,4
Rata-rata	2,4	1,68	1,36	1,68	2,08



**Gambar 6. Pengaruh Putaran Mesin pada Kadar CO Gas Buang Bahan Bakar**

Dengan demikian maka pemakaian B-10 mampu menurunkan kadar CO gas buang sebesar 80% [dasar perhitungan sebagai berikut:  $(0,4 - 2,0) : 2,0$ ]. Tetapi jika kita lihat nilai rata-ratanya antara putaran 1350 s/d 2950 rpm, tampak bahwa bahan bakar B-10 dapat menurunkan kadar CO gas buang sebesar 43,3% [dasar perhitungan sebagai berikut:  $(1,36 - 2,4) : 2,4$ ].

Kadar CO yang tinggi dalam gas buang mempunyai dampak buruk terhadap atmosfer yaitu dapat merusak lapisan ozon (O<sub>3</sub>) dan akan terbentuk CO<sub>2</sub> sesuai reaksi:  $CO + O_3 \rightarrow CO_2 + O_2$ . Jika ozon rusak, maka sinar matahari akan langsung menerpa bumi. Terjadi pemanasan global. Kutub es cenderung akan mencair dan dikhawatirkan banyak pulau yang tenggelam. Disamping itu pula akan terjadi abrasi atau erosi (pengikisan) oleh air laut karena volume air laut bertambah sehingga luas daratan semakin hari semakin berkurang.

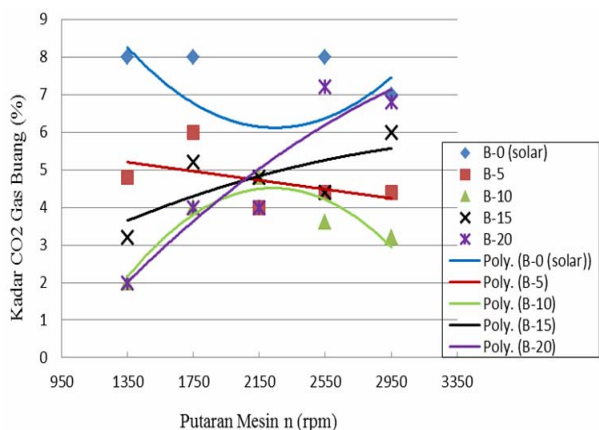
Kandungan CO<sub>2</sub>

Tabel 7 menunjukkan kandungan CO<sub>2</sub> pada gas buang, sedangkan Gambar 7 menunjukkan grafik pengaruh putaran mesin terhadap kandungan CO<sub>2</sub> gas buang.

Dari Gambar 7 terlihat bahwa grafik bahan bakar solar (B-0) paling atas. Ini berarti bahwa bahan bakar B-5, B-10, B-15, maupun B-20 mampu menghasilkan CO<sub>2</sub> yang lebih rendah dari pada solar.

**Tabel 7. Kandungan CO<sub>2</sub> Gas Buang pada Berbagai Putaran Mesin**

Putaran mesin (rpm)	Kandungan CO <sub>2</sub> Gas Buang (%)				
	B-0 (Solar)	B-5	B-10	B-15	B-20
1350	8,0	4,8	2,0	3,2	2,0
1750	8,0	6,0	4,0	5,2	4,0
2150	4,0	4,0	4,8	4,8	4,0
2550	8,0	4,4	3,6	4,4	7,2
2950	7,0	4,4	3,2	6,0	6,8
Rata-rata	7,0	4,72	3,52	4,72	4,80



**Gambar 7. Hubungan antara Putaran Mesin dan Kadar CO<sub>2</sub> Gas Buang**

Dengan demikian dapat mengurangi efek rumah kaca. Kandungan CO<sub>2</sub> yang berlebih pada gas buang akan menimbulkan efek rumah kaca. Untuk B-5, semakin tinggi putaran maka CO<sub>2</sub> yang terbentuk cenderung semakin rendah tapi landai. Bahan bakar B-10 grafiknya paling rendah, hal ini berarti bahwa kadar CO<sub>2</sub> paling rendah. Untuk B-15, semakin tinggi putaran maka kecenderungan terbentuknya CO<sub>2</sub> semakin tinggi pula. Bahan bakar B-20 mempunyai kenaikan yang paling tajam diantara B-5 s/d B-20.

Jika kita bandingkan B-10 dengan solar murni (B-0) dari data pada Tabel 7 khusus pada putaran 2550 rpm (kondisi optimum), tampak bahwa solar menghasilkan kadar CO<sub>2</sub> yang dikandung oleh gas buang sebesar 8,0% sedangkan B-10 menghasilkan kadar CO<sub>2</sub> pada gas buang sebesar 3,6%. Dengan demikian maka pemakaian B-10 mampu menurunkan kadar CO<sub>2</sub> gas buang sebesar 55,0% [dasar perhitungan sebagai berikut: (3,6–8,0): 8,0]. Tetapi jika kita lihat nilai rata-ratanya, antara putaran 1350 s/d 2950 rpm, tampak bahwa bahan bakar B-10 dapat menurunkan kadar CO<sub>2</sub> gas buang sebesar 49,7% [dasar perhitungan sebagai berikut: (3,52–7,0): 7,0].

Rekapitulasi karakteristik kinerja mesin diesel stasioner untuk berbagai jenis bahan bakar pada kondisi optimum (putaran mesin n = 2.550 rpm) ditunjukkan pada Tabel 8.

**Tabel 8. Rekapitulasi Karakteristik Kinerja Mesin pada Kondisi Optimum (n = 2.550 rpm)**

Jenis BB	LHV (kkal/kg)	Densitas (g/ml)	Ne (PS)	SFC <sub>e</sub> (kg/(PS.jam))	η <sub>i</sub> (%)	CO (%vol)	CO <sub>2</sub> (%vol)	Opasitas (%HSU)
B-0 (solar)	10.500	0,835	36,26	0,256	57,06	2,0	8,0	-
B-5	10.642	0,846	36,95	0,256	55,43	1,6	4,4	59,6
B-10	10.738	0,848	36,95	0,256	58,44	0,4	3,6	58,6
B-15	10.858	0,852	34,20	0,259	59,28	0,8	4,4	60,2
B-20	10.473	0,853	34,20	0,253	55,81	2,0	7,2	65,3
B-100 (biodiesel murni)	9.184	0,882			Viskositas kinematik 5,19 cSt			

η<sub>i</sub> = efisiensi termal indikatif (%).

CO ⇒ merusak ozon; CO<sub>2</sub> ⇒ efek rumah kaca; Opasitas ⇒ kepekatan gas buang

Dari Tabel 8 terlihat bahwa bahan bakar B-10 mampu menghasilkan daya terbesar yaitu 36,95 PS dengan pemakaian bahan bakar spesifik terendah 0,256 kg/(PS.jam) serta kandungan CO terkecil 0,4% dan CO<sub>2</sub> terkecil pula yaitu 58,6% termasuk ramah lingkungan. Nilai kalor B-10 adalah 10.738,19 kal/gram lebih tinggi dari pada solar yang mempunyai nilai kalor 10.500 kal/gram. Juga terlihat bahwa daya mesin yang menggunakan bahan bakar B-10 lebih tinggi dari pada yang menggunakan bahan bakar murni solar (B-0) sekitar 1,8%. Tidak terjadi detonasi, dan tidak perlu mengubah konstruksi mesin.

Dari data pada Tabel 8, jika kita bandingkan antara penggunaan B-10 dan B-0 (solar murni) terlihat bahwa B-10 menghasilkan daya lebih besar 0,69 PS dari pada solar murni, kadar CO maupun CO<sub>2</sub> gas buang lebih rendah sehingga B-10 lebih ramah lingkungan. B-10 menghasilkan daya efektif lebih tinggi mungkin juga disebabkan oleh nilai kalor bahan bakar memang lebih tinggi dimana solar mempunyai nilai kalor 10.500 kcal/kg sedangkan B-10 nilai kalornya 10.738 kcal/kg. Efisiensi termal indikatif (η<sub>i</sub>) juga tampak lebih tinggi dimana solar mempunyai efisiensi termal indikatif 57,06% sedangkan B-10 58,44%.

Jika kita bandingkan khususnya kadar CO gas buang pada Tabel 8 tersebut di atas dengan standar emisi mesin yaitu standard URO-2 (*Emission Standards for Light-Duty Diesel Engines*) terlihat bahwa kadar CO masih memenuhi syarat karena URO-2 mensyaratkan kadar CO maksimum 4 g/kWh (ekivalen dengan 5% CO untuk daya mesin 47 BHP).

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa bahan bakar biodiesel biji karet B-10 menghasilkan kinerja mesin terbaik pada putaran 2550 rpm. Pada putaran ini diperoleh daya maksimum 36,95 PS, konsumsi bahan bakar

spesifik terendah 0,256 kg/(PS.jam), efisiensi termal indikatif cukup tinggi yaitu 58,44%, kandungan CO terkecil 0,4%, dan opasitas gas buang 58,6 % HSU memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2006, dan tidak perlu memodifikasi mesin.

Jika kita bandingkan antara solar (B-0) dengan B-10, terlihat dengan jelas bahwa B-10 lebih baik dari pada solar karena pada kondisi optimum (putaran 2550 rpm) B-10 mampu menaikkan daya mesin sebesar 1,8% walaupun konsumsi bahan bakar spesifik sama yaitu 0,256 kg/(PS.jam), efisiensi termal naik sebesar 2,4%, kadar CO gas buang turun 80%, kadar CO<sub>2</sub> juga turun sebesar 55%.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Ramadhas, AS., Jayaraj, S., Muraleedharan, C., *Characterization and Effect of Using Rubber Seed Oil as Fuel in the Compression Ignition Engines*, International Journal of Renewable Energy, Vol.30, Issue 5, Calicut 673 601, India, pages 795–803, April 2005.
2. Ramadhas, A.S., Mulareedharan, C., Jayaraj, S., *Performance and Emission Evaluation of a Diesel Engine Fueled with Methyl Esters of Rubber Seed Oil*, International Journal of Renewable Energy, 30, 1789–1800, 2005.
3. Pradeep V and Sharma R.P., *Evaluation of Performance, Emission and Combustion Parameters of a CI Engine Fueled with Biodiesel from Rubber Seed Oil and its Blends*, SAE Paper, India, 26-353, 2005.
4. Edwin Geo, V., Nagarajan, G., Kamalakannan, J., Nagalingam, B., *Experimental Investigations To Study the Characteristics of Rubber-Seed-Oil-Fueled Diesel Engine Supplemented with Diethyl Ether*, Energy and Fuels, American Chemical Society, 23, 533–538, 2009.
5. Varuvel, E.G., Nagarajan, G., Nagalingam, B., *A Comparative Combustion Analysis of Rubber Seed Oil and its Methyl Ester in a D.I Diesel Engine*, SAE World Congress & Exhibition, Technical Papers, Detroit, No: 2008-01-1386, 2008.
6. Varuvel, E.G., Nagarajan, G., Nagalingam, B., *Studies on Dual Fuel Operation of Rubber Seed Oil and its Biodiesel with Hydrogen as the Inducted Fuel*, International Journal of Hydrogen Energy, vol. 33, issues 21, pages 6357–6367, 2008.
7. I Wayan Susila, *Pengembangan Proses Produksi Biodiesel Biji Karet Metode Non-Katalis Superheated Methanol Tekanan Atmosfir*, Journal Nasional Terakreditasi Teknik Mesin., Universitas Petra Surabaya, vol 11/No.2/2009, hal 115 – 124, 2009.