

## **KARAKTERISTIK BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH DAN SOLAR DI DALAM MESIN DIESEL**

(Characteristics of Biodiesel from Spent Cooking Oil and Diesel Fuel in the Diesel Engine)

**Moch. Setyadji**

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan BATAN  
Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb Yogyakarta 55281  
mochsetyadji@yahoo.com

### **ABSTRAK**

Telah dilakukan penelitian karakterisasi biodiesel dari minyak jelantah dan solar di dalam mesin diesel pada berbagai kecepatan putaran mesin (rpm). Pembuatan biodiesel (esterifikasi) dilakukan pada kondisi optimum yaitu suhu 55-60°C, katalisator NaOH 1%, metanol 20% dan waktu 1,5-2,0 jam. Biodiesel yang dihasilkan dengan spesifikasi tertentu dan solar dikarakterisasi menggunakan *engine test bed*, dimana mesin diletakkan pada suatu bantalan dan poros output mesin dihubungkan dengan sebuah poros dinamometer. Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah torsi, daya efektif dan pemakaian bahan bakar spesifik. Bahan bakar yang digunakan adalah solar murni, dan campurannya dengan biodiesel 5% (B5), 10% (B10), 15% (B15) dan 20% (B20). Hasil penelitian diperoleh bahwa torsi maksimal sebesar 121,163 Nm berada pada putaran 1950 rpm dengan bahan bakar solar murni dan campuran biodiesel B20. Daya efektif terbesar 35,288 kW pada putaran 3000 rpm untuk bahan bakar semua jenis campuran biodiesel. Konsumsi bahan bakar spesifik paling ekonomis sebesar 0,279 kg/kW-jam pada putaran 1650 rpm untuk bahan bakar solar murni dan campuran biodiesel B10.

*Kata kunci : biodiesel, solar, mesin diesel*

## ABSTRACT

**Characterization of biodiesel from used cooking oil and diesel fuel in the diesel engine at various of rotation speed of the machine have been done. Biodiesel investigated was prepared at optimum condition, temperature of 55-60°C, catalyst (NaOH) of 1%, methanol of 20% and time of 1.5 – 2.0 hours. Biodiesel and diesel fuel were characterized using the bed test engine, where machine placed at the particular and the output machine axis was rellied a dynamometer axis. The parameters observed in this research were torsion, actual horsepower and specific fuel usage. The fuels used were pure diesel fuel, and mixture biodiesel 5% ( B5), 10% ( B10), 15% ( B15) and 20% ( B20). The result of experiment showed that maximum torsion equal to 121.163 Nm was the rotation of 1950 rpm for pure diesel fuel and B20, maximal actual horsepower 35,288 kW at rotation of 3000 rpm for the fuel of mixture biodiesel all type, the most economic of specific fuel consume equal to 0.279 singk / kW-jam at rotation of 1650 rpm for the fuel of pure diesel fuel and B10.**

*Key words : biodiesel, diesel fuel, diesel engine*

## 1. LATAR BELAKANG

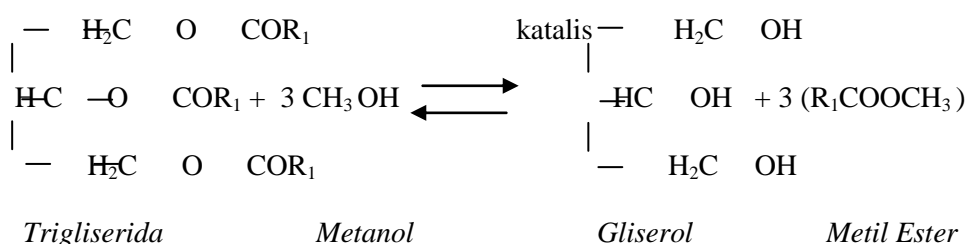
Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif pengganti solar yang terbuat dari minyak tumbuhan, lemak hewani atau minyak goreng bekas (Ramesh. and Sampathrajan, 2008 dan Justin and John, 2008). Hal-hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan kualitas bahan bakar diesel antara lain kualitas penyalaan (*cetane number*), residu karbon (*carbon residue*), viskositas (*viscosity*), kerapatan (*density*), kadar belerang (*sulfur content*), kadar abu (*ash content*), kadar air dan sedimen (*water content*), titik nyala (*flash point*), titik tuang (*pour point*) dan titik awan (*cloud point*) (Ramesh and Sampathrajan, 2008 dan Justin and John, 2008, dan Gerhard Knothe, 2004) Penggunaan minyak lemak secara langsung sebagai bahan bakar diesel, akan memberikan dampak negatif yang disebabkan tiga faktor (Knothe G. et.al., 2004 dan Tatang, 2003):

- a. Minyak lemak memiliki viskositas yang jauh lebih tinggi dari minyak diesel, sehingga sistem penginjeksian bahan bakar tidak mampu melakukan pengabutan (*atomization*) yang baik saat disemprotkan ke ruang bakar.
- b. Sebagian besar minyak lemak memiliki angka setana (*cetane rating*) yang rendah,

yaitu antara 32-42, sedangkan ketentuan RSNI min 51.

- c. Zat-zat penyusun minyak lemak yaitu *trigliserida* merupakan zat yang memiliki berat molekul besar, sehingga jika terpanaskan tanpa kontak dengan oksigen akan mengalami perengkahan (*cracking*) menjadi aneka molekul kecil, seperti *formaldehid* dan *akrolein* yang berbahaya bagi lingkungan.

Pemakaian minyak lemak secara langsung sebagai bahan bakar untuk jangka panjang dimungkinkan akan menyebabkan terjadinya penyumbatan injektor, degradasi pelumas, hingga lengketnya cincin torak pada silinder. Oleh karena itu ada dua cara alternatif yang dapat ditempuh untuk mengatasi hambatan-hambatan tersebut, yaitu memodifikasi mesin agar dapat menggunakan minyak lemak secara langsung dan mengubah minyak lemak menjadi biodiesel yang memiliki berat molekul lebih kecil, kekentalannya hampir sama dengan solar dan memiliki angka setana yang besar (Soerawijaya, 2005). Reaksi transesterifikasi sebagai berikut (Knothe G., et.al., 2004 dan Hayafuji, 1999) :



Tahapan proses pembuatan biodiesel dari minyak jelantah meliputi esterifikasi, pencucian, pengeringan dan pengambilan kembali (*recovery*) methanol. Reaksi *esterifikasi* berlangsung di dalam reaktor dengan kondisi operasi 55-60 °C dan tekanan 1 atm. Reaktor dilengkapi pengaduk dan sistem pemanas *coil*. Katalis yang digunakan NaOH 1% dan metanol 20% dari bahan baku. Pencucian dilakukan dengan menambahkan air panas 80 °C bertujuan melarutkan sabun dan metanol yang tersisa dari reaksi agar dapat dipisahkan dari biodiesel yang terbentuk. Setelah proses pencucian selesai, biodiesel dan air pencuci dipisahkan dengan cara pengendapan. Biodiesel yang telah dicuci kemudian dimurnikan dengan cara pengeringan pada kondisi vakum untuk menghilangkan air yang tersisa.

Pembakaran yang sempurna di dalam ruang silinder akan didapatkan apabila tekanan injeksi bahan bakar dari mulut pengabut dan tekanan kompresi udara di dalam ruang bakar cukup tinggi menurut batas tekanan tertentu yang sesuai dengan spesifikasi pabrik pembuat motor tersebut



Gambar 1. Alat uji karakteristik bahan bakar mesin diesel.

Biasanya tekanan injeksi sekitar 180-350 atm dan tekanan kompresi antara 30-35 atm. Konstruksi pompa penekan bahan bakar dengan berbagai jenis, memungkinkan menghasilkan tekanan yang tinggi dan diteruskan oleh injektor menjadi tekanan semprotan yang dapat diatur (Anonim, 2006).

Waktu yang diperlukan antara saat bahan bakar mulai disemprotkan dengan saat mulai terjadinya pembakaran disebut periode persiapan pembakaran. Waktu persiapan pembakaran bergantung pada beberapa faktor, antara lain tekanan dan temperatur udara pada saat bahan bakar mulai disemprotkan, gerakan udara dan bahan bakar, jenis dan derajat pengabutan bahan bakar, serta perbandingan bahan bakar-udara lokal. Jumlah bahan bakar yang disemprotkan selama periode persiapan pembakaran tidak berpengaruh banyak terhadap waktu persiapan pembakaran. Setelah melalui periode persiapan pembakaran, bahan bakar akan terbakar dengan cepat (Ramesh and Sampathrajan, 2008 dan Heywood, 1998 dan Arismunandar, Koichi Tsuda, 1997). Hubungan antara masing-masing variabel suatu motor bakar diperoleh melalui pengujian laboratorium. Data seperti putaran mesin dan temperatur dapat diukur langsung, sedangkan daya, torsi, bmep dan sfc dihitung berdasarkan persamaan (Ramesh and Sampathrajan, 2008 dan Heywood, 1998 dan Arismunandar, Koichi Tsuda, 1997).

Torsi didefinisikan sebagai besarnya momen putar yang terjadi pada poros *output*

mesin akibat adanya pembebanan dan sejumlah massa (kg). Adapun mesin yang akan diukur torsinya tersebut diletakkan pada *testbed* dan poros keluaran dihubungkan dengan rotor dinamometer (Heywood,1988:823). Prinsip kerja dari dynamometer mekanis adalah dengan mengerem putaran poros keluaran mesin, kemudian mengukur gaya gesekan yang terjadi. Maka besarnya gaya gesek yang terjadi dapat diketahui dengan melihat massa pembebanan yang terbaca pada alat ukur dynamometer. Besarnya torsi dapat diperoleh dengan persamaan (Ramesh and Sampathrajan, 2008 dan Heywood, 1998 dan Arismunandar, Koichi Tsuda, 1997):

$$T=m.g.L \quad (\text{Nm}) \dots\dots\dots (2)$$

dengan  $T$ = torsi,  $g$ =grafitasi bumi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ),  $L$ =panjang lengan dynamometer (m),  $m$ = massa yang terukur pada dynamometer (kg).

Massa aliran udara masuk adalah banyaknya udara yang masuk (kg/s) untuk melakukan pembakaran sempurna, dihitung dengan persamaan :

$$G_s = \alpha.\varepsilon.\frac{\pi}{4}d^2\sqrt{2.g.\rho_a.\Delta p} \quad (\text{kg/s}) \dots\dots(5)$$

dengan  $\alpha$ =koefesien aliran melalui nozzle bulat,  $\varepsilon$ =koefesien untuk fluida *incompressible* dan  $d$ =diameter nozel bulat (m),  $\Delta p$ =perbedaan tekanan udara melalui *nozzle* ( $\text{mmH}_2\text{O}$ ),  $\rho_a$ =massa jenis udara basah pada suhu kamar  $\theta$  a° ( $\text{kg/m}^3$ ).

$$\rho_a = \rho_n \frac{p_a - \phi.p_s}{760} x \frac{273}{273 + \theta_a} + \phi.\rho_w \quad (\text{kg/m}^3) \dots\dots\dots(6)$$

$\rho_n$ =massa jenis udara kering pada suhu dan

Daya aktual mesin dapat dihitung dengan persamaan:

$$P = \frac{2\pi.n.T}{60.000} \quad (\text{kW}) \dots\dots\dots (3)$$

Sedangkan tekanan efektif rata-rata ( $B_{mep}$ ) adalah kerja yang dihasilkan persiklus di dalam silinder dibagi dengan volume langkah torak.

$$B_{mep} = \frac{60.P.z}{V.n} \quad (\text{kPa}) \dots\dots\dots(4)$$

dengan  $V$  = volume langkah torak silinder ( $\text{m}^3$ )=  $\frac{\pi.D^2.L}{4}$  xjumlah silinder,  $D$ =dia-meter silinder (m),  $L$ =langkah torak (m),  $z=2$  untuk mesin 4 langkah, sedangkan  $z=1$  untuk mesin 2 langkah.

tekanan standar ( $0^\circ\text{C}$  dan  $760 \text{ mmHg}$ ),  $p_a$ =tekanan atmosfir yang diukur dalam pengujian  $\theta_a$  °C ( $\text{mmHg}$ ),  $p_s$ =tekanan uap air jenuh pada suhu pengujian  $\theta_a$  °C ( $\text{mmHg}$ ),  $\theta_a$  =uhu udara ruang/kamar ( $^\circ\text{C}$ ),  $\phi$ =kelembaban relatif yang diukur dalam pengujian (%),  $k$ =: perbandingan kalor spesifik udara (1,4).

Prosedur perhitungan bahan bakar spesifik atau *specific fuel consumption* (SFC) berikut dapat dilaksanakan bila untuk pemakaian bahan bakar sebesar  $m$  (massa) dibutuhkan waktu sebesar  $t$  (detik), sehingga dapat dihitung pemakaian bahan bakar spesifik (Ramesh and Sampathrajan, 2008 dan Heywood, 1998 dan Arismunandar, Koichi Tsuda, 1997) :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{k}{k-1} x \frac{13,59 p_a}{\Delta p} \left\{ \left( \frac{13,59 p_a - \Delta p}{13,59 p_a} \right)^{2/k} - \left( \frac{13,59 p_a - \Delta p}{13,59 p_a} \right)^{k+1/k} \right\}} \dots\dots\dots(7)$$

$$mf = \frac{b}{t} \cdot \frac{3600}{1000} \cdot \rho_{bb} \quad (\text{kg/jam}) \dots\dots(8)$$

$$\text{SFC} = \frac{mf}{P} \quad (\text{kg/kwatt-jam}) \dots\dots(9)$$

dengan SFC = pemakaian bahan bakar spesifik (kg/kwatt-jam). *mf* = konsumsi bahan bakar (kg/jam), *t* = waktu yang diperlukan untuk pengosongan buret (dt), *b* = volume buret yang digunakan dalam pengujian (cc), *P*= daya (kW),  $\rho_{bb}$  = massa jenis bahan bakar solar (0,83 kg/L).

Untuk membakar secara sempurna bahan bakar, maka diperlukan udara yang sesuai dengan jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar. Secara teoritis diperlukan 14,7 kg udara untuk membakar 1 kg bahan bakar (Arismunandar, Koichi Tsuda, 1997). Perbandingan antara udara dan bahan bakar dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{AFR} = \frac{G_s \cdot 3600}{mf} \dots\dots\dots(10)$$

dengan AFR=perbandingan udara terhadap bahan bakar, *G<sub>s</sub>*= masa aliran udara masuk (kg/s), *mf* = konsumsi bahan bakar (kg/jam) . Efisiensi thermis didefinisikan sebagai efesiensi pemanfaatan kalor dari bahan bakar untuk diubah menjadi kerja mekanis atau kerja yang dilakukan persiklus berbanding dengan energi yang terpakai persiklusnya, dihitung dengan persamaan:

$$\eta_{te} = \frac{641,57}{be \cdot H_b} \dots\dots\dots(10)$$

dengan  $\eta_{te}$  = efisiensi thermis, *be*= konsumsi bahan bakar spesifik (kg/jam), *H<sub>b</sub>* = nilai kalori bahan bakar.

**Perumusan Masalah<sup>(7)</sup>**

- a. Seberapa besar pengaruh pemakaian bahan bakar solar dan campuran biodiesel-solar<sup>(8)</sup> terhadap torsi.
- b. Seberapa besar pengaruh pemakaian bahan bakar solar dan campuran biodiesel-solar terhadap daya.
- c. Seberapa besar pengaruh pemakaian bahan bakar solar dan campuran biodiesel-solar terhadap tekanan efektif rata-rata.
- d. Seberapa besar pengaruh pemakaian bahan bakar solar dan campuran biodiesel-solar terhadap konsumsi bahan bakar.

**2. METODOLOGI PENELITIAN**

**Bahan dan peralatan**

Solar yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari salah satu SPBU di Sleman. Sedangkan biodiesel dari minyak jelantah diperoleh dari CV. Kebanggaan Kita Kutoarjo, pabrik biodiesel hasil rancang bangun PTAPB BATAN .

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah diesel *engine test bed*, *stop wacth*, *tachometer*, gelas ukur, buret, *hygrometer*, massa/pemberat (untuk mengetahui besarnya pengaruh terhadap nilai torsi), *barometer* (untuk mengukur tekanan udara ruang), *manometer* (untuk mengukur tekanan minyak pelumas), alat uji opasitas, *thermometer*, *rotameter* dan *dynamometer Controller* (digunakan untuk mengetahui atau mengatur putaran mesin).

**Tabel 1.** Spesifikasi biodiesel dari minyak jelantah yang akan dilakukan karakterisasi

no.	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	Metode Pemeriksaan	Standar ASTM
	Specific gravity at 60/60 °F	0,879	ASTM D 1298	0,875-0,900
	Flash point, °C	150,286	ASTM D 93	Min 150
	Viscosity Kinematic at 100 °F	5,121	ASTM D 445	1,9 - 6,0
	Water Content, % vol	0,083	ASTM D 95	0,25 max
	Pour Point, °F	9,829	ASTM D 97	65 max
	Ash, % wt	0,008	ASTM D482	0,020 max
	Conradson Carbon Residue, % wt	0,121	ASTM D 189	0,050 max
	Cetane number	> 55		

**Tabel 2.** Spesifikasi solar dan campuran solar-biodiesel (B5, B10, B15, B20)

No.	Karakteristik	Solar	Campuran solar-biodiesel			
			B5	B10	B15	B20
1.	Specific gravity at 60/60 °F	0,82-0,87	0,8325	0,8349	0,8374	0,8399
2.	Flash point, °C	Min 150	75,9143	79,8286	83,7429	87,6571
3.	Viscosity kinematic at 40°C,cSt.	1,60-5,80	3,8471	3,9141	3,9812	4,0482
4.	Water content, % vol.	Max 0,05	0,0041	0,0083	0,0124	0,0166
5.	Pour poit,°C	Max 65	3,3414	3,6829	4,0243	4,3657
6.	Ash content, % vol.	Max 0,01	0,0004	0,0008	0,0012	0,0016
7.	Conradson Carbon Residue,% wt.	Max 0,1	0,006	0,0121	0,0181	0,0241
8.	Cetane number	Min 45				

### Metode pengujian

Metode yang dilakukan dalam pengujian ini adalah metode *variabel speed* dan *variabel load* dengan langkah-langkah pengujian yang dilakukan sebagai berikut:

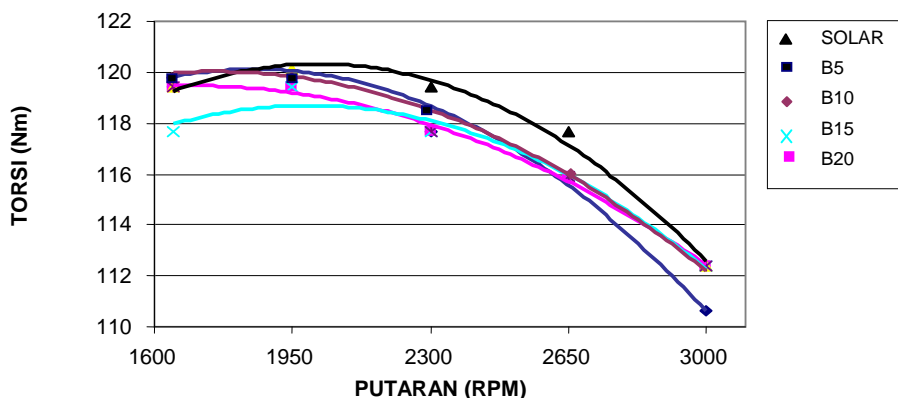
Sebelum mulai, tangki bahan bakar diisi dengan 4 liter bahan bakar yang akan diuji, kunci kontak diputar ke kiri terlebih dahulu selama 20 sampai 30 detik (untuk pemanasan), kemudian kunci kontak diputar ke kanan sampai maksimal. Putaran mesin diatur pada kondisi siaga yaitu 600 rpm selama 2-3 menit, agar pelumas mesin terdistribusi merata, selanjutnya putaran dinaikkan hingga mencapai 2000 rpm. Dinamometer diputar ke kiri dengan beban awal dikondisikan 5 kg, secara bersamaan *water pass* diposisikan senter serta putaran mesin tetap pada 2000 rpm. Kondisi ini dibiarkan berlangsung hingga suhu air keluar

mencapai 60 °C. Setiap percobaan, kondisi suhu air keluar berada 70 - 75 °C, dengan cara mengatur *flow meter* (kecepatan air pendingin yang masuk). Beban dikurangi dengan memutar kontrol dinamometer ke kanan secara perlahan sampai putaran mesin mencapai 3000 rpm, serta *water pass* diposisikan di tengah (senter) untuk pembacaan angka pembebanan secara tepat. Pada beban dinamometer yang tetap, putaran diturunkan menggunakan hingga mencapai 1650 rpm, dan *water pass* diusahakan selalu pada posisi senter. Dilakukan pencatatan terhadap semua variabel yang diperlukan, yang meliputi waktu konsumsi bahan bakar, suhu air pendingin (masuk dan keluar), suhu gas buang, tekanan (udara ruang, gas buang, minyak pelumas), kelembaban udara, pembebanan (massa), laju aliran air pendingin, tekanan udara atmosfer, suhu ruangan dan perbedaan tekanan udara yang

melalui *nozzle*. Pada setiap penggantian bahan bakar, selalu dilakukan pengujian yang sama, dimulai dari bahan bakar solar 100%, dilanjutkan dengan bahan bakar campuran biodiesel 5% hingga 20%.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hubungan Torsi dan Putaran

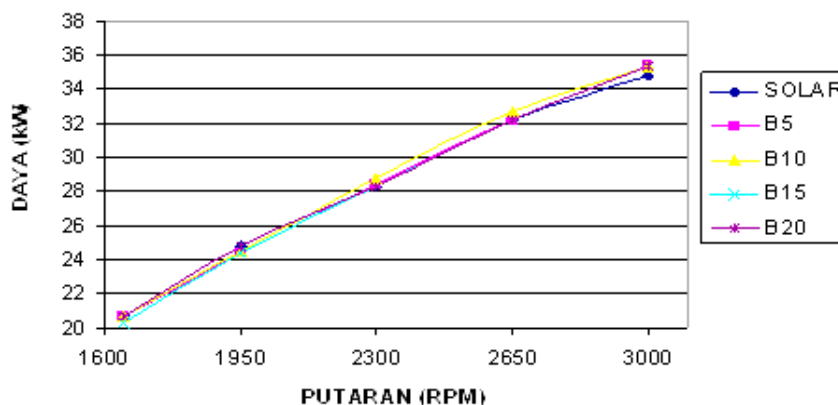


Gambar 2. Grafik hubungan torsi dan putaran

Dari grafik pada Gambar 2 di atas dapat kita ketahui bahwa torsi dari semua jenis bahan bakar mengalami penurunan dengan bertambahnya putaran mesin. Penurunan torsi terbesar terjadi pada bahan bakar solar, yang pada putaran 1650 rpm torsinya mencapai 119,407 Nm, namun pada putaran 3000 rpm torsinya hanya 110,625 Nm. Semua jenis bahan bakar mengalami kenaikan torsi pada putaran 1950 rpm, kecuali B5 yang torsinya konstan. Torsi pada bahan bakar B20 mempunyai kecenderungan yang sama dengan solar, yaitu sama dari putaran 1650 rpm hingga 2650 rpm, namun lebih tinggi pada putaran 3000 rpm. Bahan bakar B15 pada putaran 1650 torsinya terendah dibandingkan bahan bakar yang lain, namun lebih tinggi daripada solar pada putaran 3000 rpm. Bahan bakar B10 terlihat berada pada

posisi teratas pada putaran 2300 dan 2650 rpm. Dari analisis tersebut, maka secara umum dapat dikatakan bahwa semua jenis bahan bakar memiliki kecenderungan yang sama yaitu terjadinya penurunan torsi dengan bertambahnya putaran. Perbedaan yang terjadi antara masing-masing jenis bahan bakar tersebut terlihat tidak signifikan. Penurunan torsi dipengaruhi oleh beban pengereman yang semakin berkurang, sehingga kecepatan putaran meningkat. Nilai torsi yang rendah juga dapat diakibatkan oleh gesekan yang meningkat pada putaran tinggi. Selain itu, penurunan nilai torsi juga diakibatkan karena dengan bertambahnya putaran, maka momen kelembaman yang terjadi semakin besar sehingga mengurangi harga torsi.

## B. Hubungan Daya dan Putaran



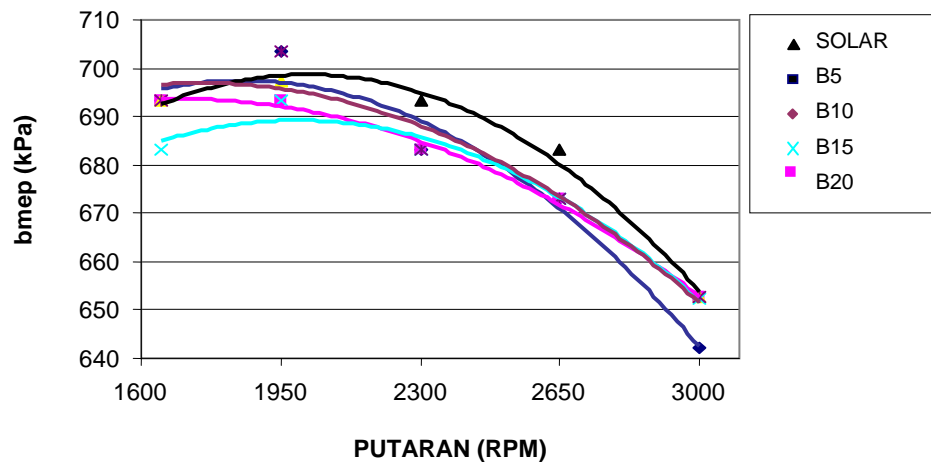
Gambar 3. Grafik hubungan daya dan putaran

Pada Gambar 3 diatas terlihat bahwa daya efektif dari semua jenis bahan bakar meningkat dengan bertambahnya putaran mesin. Peningkatan daya pada setiap putarannya sesuai dengan peningkatan torsi, karena daya berbanding lurus dengan torsi. Sehingga pada putaran yang sama apabila torsi mengalami kenaikan, maka dayanya juga akan naik. Demikian juga pada kondisi torsi tetap, tetapi putaran mesin ditambah, maka daya efektif akan mengalami peningkatan. Dari grafik dapat diketahui bahwa daya efektif dari semua jenis bahan bakar terlihat tidak terjadi perbedaan yang signifikan. Pada putaran 1650 rpm daya dari semua jenis bahan bakar sama yaitu 20,622 kW, kecuali B15 yang terlihat lebih rendah. Namun pada putaran 3000 rpm, daya efektif pada semua campuran biodiesel lebih tinggi 0,551 kW daripada solar. Dari analisa tersebut, maka dapat kita simpulkan bahwa campuran biodiesel mempunyai daya efektif yang hampir sama dengan solar, bahkan lebih tinggi pada beberapa putaran mesin. Tinggi rendahnya daya efektif dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: rugi-rugi mekanis dan proses pembakaran bahan bakar.

Semakin tinggi daya mekanis, maka daya efektif akan semakin rendah. Peningkatan daya mekanis terjadi karena dengan semakin bertambahnya putaran menyebabkan gesekan yang terjadi semakin besar. Gesekan ini terjadi antara ring piston dan silinder, serta bantalan-bantalan pada poros engkol. Hal ini sesuai dengan pengertian daya mekanis itu sendiri, yaitu daya yang hilang akibat adanya kerugian dan pembebanan tambahan seperti memutar kipas radiator, AC, maupun sistem kelistrikan. Sedangkan penurunan daya mekanis disebabkan dengan bertambahnya putaran, maka daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan beban tambahan semakin berkurang karena adanya momen kelembaman. Selain itu, kesempurnaan proses pembakaran di dalam ruang bakar juga mempengaruhi daya efektif yang dihasilkan. Apabila pembakaran berlangsung secara sempurna dan rugi-rugi mekanis relatif kecil, maka daya efektif yang dihasilkan besar. Namun meskipun pembakaran berlangsung secara sempurna, tetapi apabila daya mekanis besar, maka daya efektif menjadi relatif rendah.



### C. Hubungan bmep (*Break Mean Effective Pressure*) dan Putaran



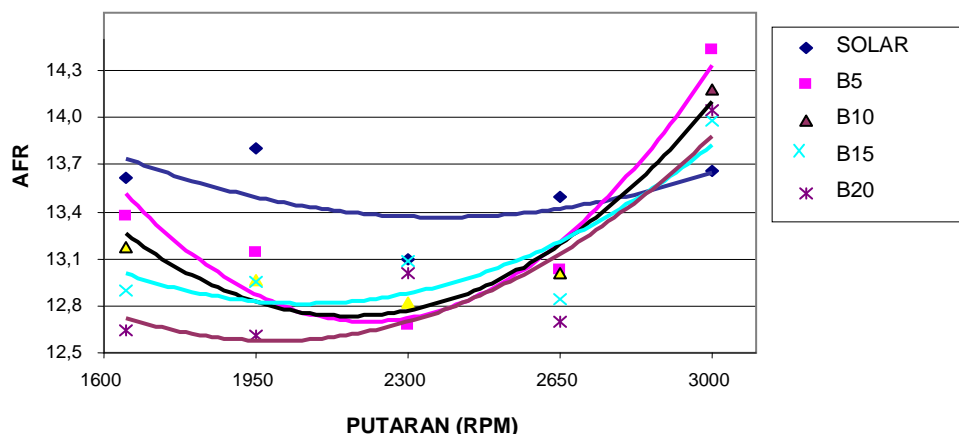
**Gambar 4.** Grafik hubungan bmep dan putaran

Bmep (*Break Mean Effective Pressure*) menunjukkan tekanan efektif rata-rata yang dihasilkan oleh mesin persiklus di dalam silinder yang apabila mendorong torak sepanjang langkahnya dapat menghasilkan kerja. Dari grafik pada Gambar 4 di atas menunjukkan bahwa bmep dari semua jenis bahan bakar cenderung mengalami penurunan dengan bertambahnya putaran. Bmep semua jenis bahan bakar sama pada putaran 1650 rpm yaitu sebesar 693,322 kPa, kecuali B15 yang hanya 683,126 kPa. Penurunan bmep terbesar terjadi pada bahan bakar solar, yang pada putaran 3000 rpm berada di bawah bmep campuran biodiesel. Dari semua jenis campuran biodiesel terlihat bahwa B10 memiliki kecenderungan nilai bmepnya di atas campuran yang lain pada putaran 2300 dan 2650 rpm. Hal ini dimungkinkan karena pada campuran ini

bahan bakar dapat terbakar secara lebih sempurna dibandingkan yang lain. Namun secara umum dapat dikatakan bahwa semua campuran biodiesel memiliki karakter yang hampir sama dengan solar. Karena bmep solar dan campuran biodiesel terlihat tidak terjadi perbedaan yang signifikan.

Penurunan bmep dipengaruhi oleh nilai daya efektif dan putaran mesin. Secara teori apabila daya efektif mengalami kenaikan pada putaran yang sama, maka bmep juga akan mengalami kenaikan. Hal ini terjadi karena sesuai dengan rumus bahwa bmep berbanding lurus dengan daya efektif. Begitu juga sebaliknya, apabila daya efektif mengalami kenaikan dan putaran mesin juga naik, tetapi persentase kenaikan daya efektif lebih rendah dari kenaikan putaran mesin, maka bmep akan mengalami penurunan.

### D. Hubungan AFR (*Air Fuel Ratio*) dan Putaran

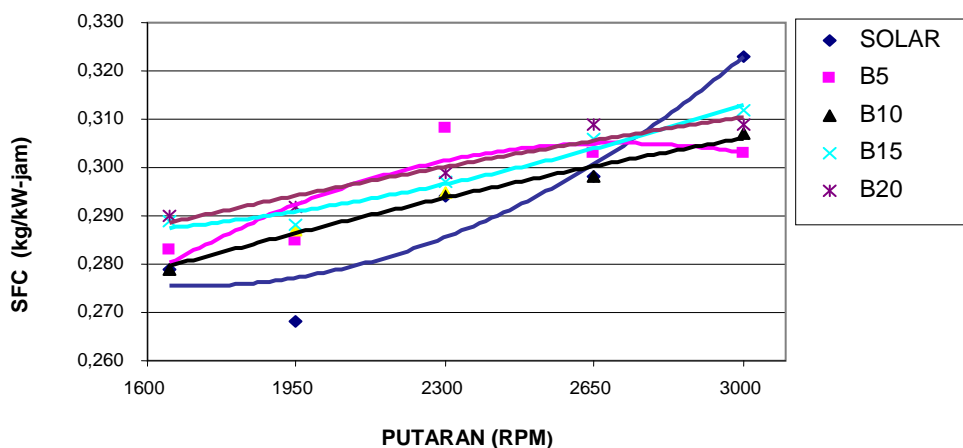


Gambar 5. Grafik hubungan AFR dan putaran

*Air Fuel Ratio* (AFR) merupakan perbandingan campuran antara udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar. *Air fuel ratio* yang diukur dalam hal ini adalah AFR aktual, yaitu perbandingan konsumsi bahan bakar dan udara yang nyata digunakan dalam proses pembakaran. Secara teori, perbandingan bahan bakar dan udara (stoikiometri) untuk bahan bakar solar adalah 14,7 (Arismunandar, 1997). Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5 di atas menunjukkan bahwa semua jenis bahan bakar cenderung mengalami kenaikan AFR dengan bertambahnya putaran. Namun pada putaran 2300 rpm, bahan bakar B5 dan B10 mengalami penurunan. Pada putaran 1650 rpm, AFR bahan bakar solar berada pada posisi teratas, dan posisi dibawahnya secara berurutan adalah B5, B10, B15 dan B20. Namun pada putaran 3000 rpm, bahan bakar solar berada dibawah AFR campuran biodiesel. Semakin tinggi nilai AFR artinya campuran semakin kurus, sedangkan semakin

kecil nilai AFR artinya campuran semakin gemuk. Campuran dikatakan gemuk apabila nilai *excess air* ( $\lambda$ ) lebih kecil dari 1. Apabila nilai *excess air* ( $\lambda$ ) sama dengan 1, maka campuran tersebut merupakan campuran stoikiometri, sedangkan apabila lamda ( $\lambda$ ) lebih besar dari 1 disebut campuran kurus. Biasanya pada motor diesel, faktor kelebihan udara ( $\lambda$ ) tidak kurang dari 1,1 (Arismunandar, 1997). Namun dapat dilihat pada Gambar 5 bahwa lamda ( $\lambda$ ) bahan bakar solar kurang dari 1 pada putaran 1650 hingga 3000 rpm. Artinya pada kondisi ini terjadi campuran kaya (banyak bahan bakar daripada udara). Berbeda halnya dengan bahan bakar campuran biodiesel, yang nilai lamda ( $\lambda$ ) lebih besar dari 1, artinya terjadi campuran yang kurus. Sehingga dapat diketahui bahwa perbandingan udara dan bahan bakar (stokiometri) campuran biodiesel lebih rendah daripada solar.

### E. Hubungan SFC (*Specific Fuel Consumption*) dan Putaran



Gambar 6. Grafik hubungan SFC dan putaran

*Specific Fuel Consumption* (SFC) merupakan perbandingan antara bahan bakar yang terpakai sebagai *input* energi dengan daya yang dihasilkan sebagai *output*. Semakin tinggi nilai SFC, artinya semakin banyak energi bahan bakar yang tidak terkonversi menjadi daya. Hal ini disebabkan karena bahan bakar yang masuk ke dalam silinder tidak terbakar dengan sempurna, atau dapat juga disebabkan karena terjadinya rugi-rugi mekanis maupun rugi-rugi termis. Dari grafik pada Gambar 6 di atas terlihat bahwa SFC semua jenis bahan bakar memiliki kecenderungan naik dengan bertambahnya putaran mesin. SFC bahan bakar solar berada pada urutan terbawah diantara bahan bakar yang lain untuk putaran 1650 hingga 2300 rpm, namun pada putaran 3000 rpm berada pada posisi teratas. Hal ini berarti bahwa pada putaran awal, banyak tenaga hasil pembakaran yang dikonversi menjadi daya, sedangkan pada putaran 3000 rpm persentase tenaga yang dikonversi menjadi daya lebih kecil jika dibandingkan dengan campuran biodiesel. Kecenderungan untuk naik SFCnya dengan bertambahnya putaran juga terlihat pada bahan bakar B10, B15 dan B20. Sedangkan pada bahan bakar B5 memiliki bentuk garis lengkung ke atas, yang berarti bahwa dimungkinkan pada putaran di atas 3000 rpm, SFCnya akan turun. Hal ini dapat kita lihat pada putaran 3000 rpm, SFC dari

jenis bahan bakar ini berada pada posisi terbawah. SFC standar untuk mesin diesel dengan bahan bakar solar adalah sekitar 0,24 kg/kW-jam. Jika menggunakan SFC standar tersebut, maka dapat dikatakan bahwa SFC dengan bahan bakar solar maupun campuran biodiesel termasuk boros, karena berada di atas SFC standar.

### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan :

1. Torsi untuk semua jenis bahan bakar mengalami penurunan dengan bertambahnya putaran mesin dan tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara torsi solar dan campuran biodiesel. Torsi maksimal terjadi pada putaran 1950 untuk bahan bakar solar dan B20.
2. Daya pada semua jenis bahan bakar mengalami kenaikan dengan bertambahnya putaran mesin dan tidak terjadi perbedaan yang signifikan dari semua jenis bahan bakar yang digunakan.
3. Tekanan efektif rata-rata (*b<sub>mep</sub>*) mengalami penurunan dengan bertambahnya putaran mesin dan tidak terjadi perbedaan berarti untuk semua jenis bahan bakar.

4. AFR (*Air Fuel Ratio*) bahan bakar solar relatif rendah dari AFR stokiometri, sehingga terjadi campuran kaya. Sedangkan pada bahan bakar campuran biodiesel terjadi campuran miskin ( $\lambda > 1$ )
5. Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) untuk semua jenis bahan bakar mengalami kenaikan dengan bertambahnya putaran mesin. Kenaikan SFC bahan bakar solar lebih tinggi dibandingkan bahan bakar campuran biodiesel. Sedangkan SFC campuran biodiesel tidak terjadi perbedaan yang signifikan.

## 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

- Anonim, 2006, Uji Bahan Bakar Solar, Portal Mobil dan Motor Indonesia, (<http://www.mobilmotor.co.id>).
- Arismunandar W., Koichi Tsuda, 1997, Motor Diesel Putaran Tinggi, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Knothe G., Gerpen J.V. and Krahl J., 2004, *The Biodiesel Handbook*, Library of Congress Cataloging in Publication Data, United States of America.
- Hayafuji, S., 1999, *Method and Apparatus for Producing Diesel Fuel Oil from Waste Edible Oil*, Lonford Development Limited, Kyoto.
- Heywood, J.B., 1998, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, Mc Graw Hill Int., New York.
- Justin P. Stergar, John P. Chastain, 2008, *Engine Performance and Emissions Characteristics When Using Biodiesel in Diesel Engines*, The American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph Michigan [www.asabe.org](http://www.asabe.org).
- Ramesh, D. and Sampathrajan, A., 2008, *Investigations on Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine with Jatropha Biodiesel and Its Blends*, The CIGR Ejournal. Manuscript EE 07 013.,10.
- Sidik Budoyo, 2006, Teknologi Proses Pencampuran Biodiesel dan Minyak Solar di Indonesia”, [www.geocities.com](http://www.geocities.com).
- Soerawijaya, 2005, Minyak Lemak atau Biodiesel Ester Metil?”, [www.pikiranrakyat.com](http://www.pikiranrakyat.com),
- Soe Surawijaya, 2005, Energi Alternatif Biodiesel (bagian I), [www.lipi.com](http://www.lipi.com),
- Tatang S. H., 2003, Tantangan-tantangan terhadap Pengembangan Biodiesel di Indonesia dan Alur Tentatif Penyisihannya, Forum Biodiesel Indonesia dan KPP-Energi-ITB.

