



BIODIESEL DARI MINYAK BIJI KAPOK

(Biodiesel from *Kapok* Seed Oil)

R. Handoyo¹⁾, Ananta Andy Anggraini²⁾, dan Saiful Anwar³⁾

¹⁾Staf Pengajar, ²⁾Mantan Staf Pengajar, dan ³⁾Alumnus Program S-2 Mekanisasi Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, UGM

ABSTRAK

Makin berkurangnya produksi minyak bumi Indonesia memaksa Pemerintah dan masyarakat untuk memikirkan sumber energi alternatif yang antara lain dari minyak nabati. Minyak nabati dapat dimanfaatkan dalam bentuk minyak asli (plant oil) maupun setelah diproses menjadi biodiesel. Minyak biji kapok telah diteliti dan terbukti dapat diproses secara transesterifikasi menggunakan metanol menjadi biodiesel. Metil ester dari minyak biji kapok, sifat-sifatnya berubah menjadi lebih mendekati sifat minyak solar, antara lain viskositas, titik nyala, dan angka cetane. Berdasarkan sifat tersebut, biodiesel dari minyak biji kapok berpotensi menggantikan minyak solar untuk bahan bakar motor diesel. Uji coba penggerakan motor diesel menghasilkan daya dan efisiensi yang tidak jauh berbeda dibandingkan dengan minyak solar, sedang emisi CO, HC dan NO_x bahkan lebih kecil.

Kata kunci: *biodiesel, minyak nabati, biji kapok, motor diesel, emisi.*

ABSTRACT

Declining trend of mineral oil production in Indonesia has forced the Indonesian government and public to consider alternative energy resources such as plant oil. Some plant oil can be used in their original form or after processed into biodiesel. Research on processing kapok seed oil to produce biodiesel has been conducted by transesterification technique using methanol. The properties, such as viscosity, flash point, and cetane number, of the biodiesel product changed to be more similar to the mineral diesel oil compared to its previous original form. So the kapok seed oil can be able to be a substitute for mineral diesel fuel. The testing of the biodiesel for fueling diesel engine has proofed that the power and the efficiency was not greatly different from the one fueled by mineral oil. And, even, the CO, HC, and NO_x emission were reduced.

Keywords: *biodiesel, plant oil, kapok seed, diesel engine, emission.*

PENDAHULUAN

Makin menipisnya cadangan sumber energi fosil terutama minyak bumi memaksa Pemerintah Indonesia dan masyarakat untuk mencari alternatif lain sumber energi selain sumber energi fosil. Dalam upaya pencarian, pengembangan dan penggalian sumber energi alternatif haruslah mempertimbangkan faktor-faktor utamanya, yaitu energi, ekonomi dan ekologi. Dengan kata lain sistem yang dikembangkan haruslah dapat memproduksi energi dalam jumlah yang besar, dengan biaya yang rendah serta mempunyai dampak terhadap lingkungan yang minimal. Salah satu

alternatif yang mungkin memenuhi kriteria tersebut adalah pemanfaatan minyak nabati sebagai bahan bakar motor diesel pengganti bahan bakar minyak solar konvensional. Secara umum minyak nabati dapat terurai secara biologis dan lebih sempurna (lebih dari 90 % dalam waktu 21 hari) daripada bahan bakar minyak bumi (sekitar 20 % dalam waktu 21 hari) (Weidmann 1992). Disamping itu pemanfaatan minyak nabati sebagai bahan bakar diharapkan dapat memberikan nilai ekonomi di bidang pertanian, yaitu:

- Menciptakan lapangan pekerjaan baru di bidang pertanian
- Meningkatkan pendapatan petani

- Meningkatkan nilai tambah pada produk pertanian
- Mencegah terjadinya eksese produksi pertanian

Apabila dibandingkan dengan energi terbarukan lainnya seperti energi angin, energi air dan energi matahari, maka penggunaan minyak nabati sebagai sumber energi terbarukan mempunyai beberapa kelebihan yaitu:

- dapat diproduksi berbagai lokasi
- proses produksi, penyimpanan dan transportasinya lebih mudah
- mempunyai kepadatan energi yang tinggi
- lebih murah

Namun demikian proyeksi produksi energi yang berasal dari sumber energi yang dapat diperbaharui dan non konvensional pada dasarnya tergantung dari tingkat teknologi maju yang dapat diterapkan untuk mencapai kelayakan ekonomi dan tingkat penerimaan sumber energi baru tersebut di masyarakat (Martono 1980).

Pemikiran dan penelitian tentang penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar diesel ternyata sudah lama dilakukan. Rudolph Diesel pada tahun 1911 telah menyatakan keinginannya bahwa motor bakar yang bekerja menurut azas pembakaran yang dia ciptakan haruslah dapat dioperasikan dengan beragam bahan bakar berbasis minyak nabati (Herrmann 1996). Peterson dan Thompson (1999) melakukan uji coba kendaraan di jalan raya sejauh 100.000 mil dengan menggunakan 20% *rape seed* biodiesel, Bambang Sugiarto (2002) menggunakan minyak kelapa sawit sebagai bahan bakar dalam pengujian *chassis dynamometer* terhadap mobil sedan serta pengujian emisi gas buangnya. Dan BPPT melakukan uji coba menelusuri Jawa-Sumatera sejauh 5000 km menggunakan mobil niaga dengan bahan bakar biodiesel dari minyak kelapa sawit pada Nopember 2002. Anggraini membuat biodiesel dari minyak goreng bekas dengan katalisator KOH (Anggraini 2001), juga Lestari telah melakukan hal serupa sebelumnya dengan katalisator zeolit aktif (Anwar 2005), minyak kelapa sawit telah diproses menjadi biodiesel dengan katalisator KOH (Dharnoko dan Cheryan 2001), minyak kelapa diproses jadi biodiesel dengan katalisator KOH (Pasaribu 2002). Minyak kacang tanah jadi biodiesel dengan katalisator KOH (Ardiana 2003).

Penggunaan minyak nabati asli (tanpa proses kimia) langsung untuk menggerakkan

motor diesel pada umumnya mempunyai kelemahan yaitu viskositas minyak masih tinggi (sekitar 10 kali viskositas minyak solar), dan titik nyala juga tinggi. Hal ini karena berat molekul komponen penyusun minyak nabati adalah besar. Akibatnya minyak nabati sulit disemprotkan/dikabutkan (Ali *et al.* 1995; Dinkelbach 1982; Backe 1995). Pompa injeksi dan *nozzle injector* terbebani dan menyebabkan tertundanya waktu penyemprotan (Stout 1983), sehingga mempengaruhi proses pembakaran terutama waktu masih dingin (Pak 1987). Selain itu, terbentuk endapan kerak yang menempel pada piston (Bhattacharya 1994; Meyer-Pittroff 1994; Weidmann 1992). Ketidak sempurnaan pembakaran juga berakibat sebagian minyak masuk keruang karter dan mengencerkan minyak pelumas (Ali *et al.* 1995). Untuk mendapatkan minyak dengan viskositas dan titik nyala yang lebih rendah diperlukan pengecilan molekul-molekul penyusun minyak yang salah satu caranya dapat dilakukan dengan transesterifikasi menggunakan metanol dengan bantuan katalisator tertentu seperti NaOH atau KOH.

Penelitian ini berusaha untuk mencari terobosan dalam mengembangkan sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui dengan cara mentransfer paket teknologi, memanfaatkan potensi yang ada, tanpa merusak lingkungan dan sekaligus menghemat sumber energi fosil. Potensi yang dimanfaatkan dalam penelitian ini adalah minyak biji kapok, karena sampai saat ini biji kapok sebagai hasil samping dari produksi serat kapok masih belum dimanfaatkan secara maksimal, baru untuk, misalnya, bahan campuran cat. Dalam penelitian ini dicoba membuat biodiesel dari minyak biji kapok dengan menggunakan metode transesterifikasi sederhana yang sudah lazim. Biodiesel yang diperoleh kemudian digunakan sebagai bahan bakar motor diesel menggantikan minyak solar untuk diuji tingkat kecocokannya dalam aspek teknis. Dengan memperhatikan tingkat pencemaran lingkungan di Indonesia, cadangan sumber energi konvensional serta potensi minyak nabati, terutama minyak biji kapok maka penelitian ini dapat menjadi sumbangan informasi sangat penting untuk memecahkan permasalahan di bidang energi dan ekologi.

Tujuan penelitian ini adalah:

- 1) Mengkaji proses pembuatan biodiesel melalui transesterifikasi minyak biji kapok dengan jumlah metanol yang tidak



berlebih sehingga tidak diperlukan proses lanjutan untuk menarik kelebihan metanol, serta dengan jumlah katalisator KOH sesuai perhitungan sehingga tidak diperlukan proses lanjut untuk menetralsir sisa KOH.

- 2) Menguji biodiesel berbahan baku minyak biji kapok untuk menggerakkan motor diesel..

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan baku utama adalah minyak biji kapok hasil dari pabrik pengepres minyak biji kapok dan metanol, serta KOH sebagai katalisator.

Metode

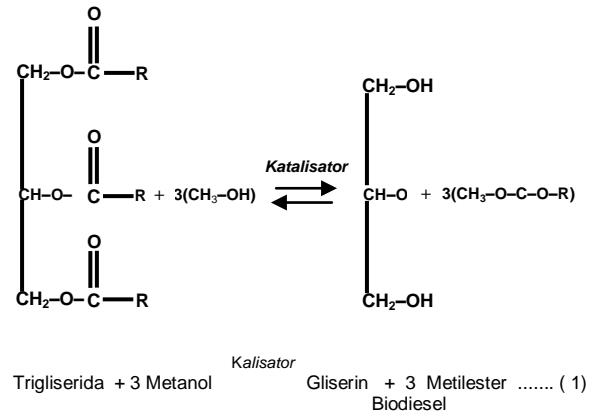
Pada prinsipnya, proses transesterifikasi adalah mengeluarkan gliserin dari minyak nabati dan mereaksikan asam lemak bebasnya dengan alkohol (misalnya metanol) menjadi alkohol ester (*Fatty Acid Methyl Ester/FAME*), atau sering disebut dengan biodiesel. Reaksi transesterifikasi merupakan suatu reaksi keseimbangan yang dikatalisir oleh proton (persamaan 1). Dalam keseimbangan hanya terdapat molekul-molekul yang mempunyai fase yang sama, dalam hal ini fase cair (Bockisch 1993). Dengan penambahan alkohol yang berlebih, keseimbangan akan bergeser ke arah pembentukan ester. Dengan demikian proses transesterifikasi akan berlangsung sempurna bila gliserin atau ester yang terjadi ditarik dari keseimbangan (Connemann 1994; Trenmann S. 1985).

Untuk reaksi transesterifikasi ini diperlukan alkohol fraksi ringan misalnya metanol dan etanol. Namun dari pertimbangan bahwa dibandingkan metanol, etanol memiliki kegunaan yang lebih luas di bidang industri kimia, farmasi maupun makanan, maka penggunaan methanol lebih disukai karena lebih murah dan lebih baik kestabilannya selama proses berlangsung (Ardiana 2003).

Persamaan reaksi transesterifikasi minyak nabati adalah seperti persamaan 1. Dari persamaan reaksinya terlihat bahwa perbandingan mol dari reaktannya adalah trigliserida : metanol = 1:3 sedang perbandingan

mol hasil reaksinya yaitu gliserin : bio-diesel adalah = 1 : 3.

Reaksi transesterifikasi tidak terjadi sekaligus, melainkan bertahap. Tahapan-tahapan reaksi yang terjadi dapat dilihat dari Gambar 1.



TG + Metanol	↔	DG + ME
DG + Metanol	↔	MG + ME
MG + Metanol	↔	Gli + ME
TG + 3 Metanol	↔	Gli + 3 ME
TG	: Trigliserid (minyak nabati)	
DG	: Digliserid	
MG	: Monogliserid	
Gly	: Gliserin	
ME	: Fettsauremethylester	

Gambar 1. Tahapan reaksi transesterifikasi (Scharmer *et al.* 1994)

Kecepatan reaksi transesterifikasi, yang merupakan hasil gabungan dari kecepatan partial (k_1, k_2, k_3), dipengaruhi oleh faktor tekanan, suhu dan katalisator yang digunakan. Makin tinggi tekanan dan suhunya, makin cepat pula reaksi transesterifikasi terjadi. Sedangkan pengaruh dari katalisator terhadap kecepatan reaksi tergantung dari jenis dan jumlahnya.

- 1). Pembuatan Biodiesel
 - a. Menganalisa sifat-sifat dan komposisi minyak biji kapok.
 - b. Menghitung kebutuhan bahan menurut persamaan reaksi dari masing-masing komponen
 - c. Mencoba mereaksikan dengan beberapa nilai perbandingan bahan disekitar perbandingan stochiometri pada suhu kamar dan pada tekanan atmosfer.
 - d. Menganalisa hasil reaksi

- 2). Pengujian biodiesel pada beberapa perbandingan campuran dengan minyak solar untuk menggerakkan motor diesel dengan mengukur torsi, kecepatan putar, debit udara, konsumsi bahan bakar dan menganalisa gas buangnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat-Sifat Minyak Biji Kapok

Pada Tabel 1. disajikan hasil analisa terhadap minyak biji kapok asli.

Tabel 1. Sifat fisis dan kimiawi minyak biji kapok asli

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Metode	Lokasi Uji
1	Boiling point, °C	160	ASTM D-86	Lab. TMB FT-UGM
2	Flash point, °C	308	ASTM D-92	Lab. TMB FT-UGM
4	Specific gravity	0,9215		
5	Calculated cetane index	36	ASTM D-976	Lab. TMB FT-UGM
6	Gross heating value, BTU/lb	19.145,6	perhitungan	Lab. TMB FT-UGM
7	Nilai kalori, kal/gram	10.051,696	kalorimetri	PAU – PG – UGM
8	Viskositas, Poise	0,5		Lab Analisa FTP -UGM
9	Bilangan iod, g/100 g	81,383		Lab Analisa FTP –UGM
10	Bilangan peroksida, mg _o /kg	93,287		Lab Analisa FTP -UGM
11	Bilangan penyabunan	134,907		Lab Analisa FTP –UGM
12	Asam lemak bebas, %	7,55		Lab Analisa FTP –UGM
13	Kandungan abu, % berat	0,057		
14	Berat molekul*		GCMS	Lab KIMIA FMIPA-UGM

* Berat molekul komponen-komponen ditampilkan dalam Tabel 2.

Asam Lemak dalam Minyak Biji Kapok

Sampel minyak biji kapok dianalisa kandungan senyawa trigliseridanya untuk digunakan menghitung berat molekulnya. Sebelum dianalisa dengan alat GCMS, trigliserida dalam sampel minyak diubah dahulu menjadi metil ester sehingga data yang keluar dalam bentuk metil ester. Kemudian dilakukan perhitungan sehingga diperoleh daftar jenis asam lemak penyusunnya seperti ditampilkan dalam Tabel 2. Dari tabel tersebut terlihat bahwa minyak biji kapok tersusun atas tiga jenis asam lemak penyusun trigliseridanya yang masing-masing menempati porsi sebagai berikut : 22,11 % asam palmitat, 24,25 % asam stearat dan 43,62 % asam oleat, sedang komponen-komponen yang lainnya jumlahnya kurang dari 11 %. Melihat komposisi asam lemak sampel ini terlihat bahwa trigliserida dengan asam lemak tak jenuhnya (asam oleat) cukup banyak porsinya dan seimbang jumlahnya dengan asam lemak jenuhnya (asam palmitat dan asam

stearat). Akibatnya minyak biji kapok asli akan mudah teroksidasi dan relatif cepat menurun mutunya dalam penyimpanan.

Tabel 2. Jenis asam lemak penyusun utama minyak biji kapok dan berat molekulnya dari analisa GCMS

No	Nama asam lemak	Persentase (%)	Berat molekul
1	Asam palmitat (C – 16)	22,11	256
2	Asam stearat (C – 18:0)	24,25	284
3	Asam oleat (C – 18:1)	43,62	282

Perhitungan kebutuhan metanol untuk reaksi transesterifikasi dengan trigliserida, serta kebutuhan KOH untuk menyambungkan asam lemak bebas, maka diperoleh perbandingan berat reaktan:

Minyak biji kapok : metanol : KOH = 250 : 27,75 : 6,55

Dan setelah dilakukan percobaan ternyata perbandingan campuran bahan dalam berat yang menghasilkan reaksi yang diperlukan adalah minyak biji kapok : metanol : KOH = 250 : 40 : 6,45, sedang hasil biodieselnnya adalah 70% dari minyak aslinya.

Sifat Biodiesel yang Dihasilkan

Hasil analisa terhadap biodiesel yang dihasilkan adalah seperti dalam Tabel 3. Dari data tersebut terlihat bahwa biodiesel memiliki sifat-sifat yang lebih dekat ke minyak solar dibanding minyak biji kapok aslinya. Yang paling nyata adalah titik nyalanya (*flash point*). Titik nyala minyak biji kapok asli 308 °C, tapi setelah menjadi bentuk metilester titik nyalanya adalah 92 °C, lebih dekat ke standar Indonesia untuk minyak solar yaitu minimal 66 °C.

Tabel 3. Beberapa hasil pengamatan sifat-sifat metil-ester (biodiesel) dari minyak biji kapok

No	Sifat biodiesel minyak biji kapok	Nilai	Keterangan
1	Boiling point, °C	86,6	
2	Flash Point, °C	92,0	
3	Cetane Index	47,5	
4	Gross heating value, BTU/ lb	19.372,1	
5	Specific gravity	0,876	
6	Viscosity, cS	5,122	
	mm ² /s	5,122	
	cP	4,487	
	Poise	0,04487	
7	Pour point, °F	40	
8	Water content, %		
9	CCR	0,112 %	Berdasarkan metoda untuk minyak diesel
10	Ash content	0,022	



Viskositas metilester juga menjadi jauh lebih kecil dari 54,26 centistokes menjadi 5,12 centistokes, sehingga masuklah standar Jerman dan Indonesia untuk minyak solar.

Specific gravity juga sedikit mengecil dari 0,9215 menjadi 0,876 (Standar Jerman untuk solar 0,80-0,86 sedang standar Indonesia 0,82-0,87).

Cetane index meningkat dari nilai 36 bentuk minyak asli menjadi 47,5 bentuk biodieselnnya. Ini setara dengan nilai angka cetane (*cetane number*) 33 menjadi 44,5 sehingga menjadi lebih mendekati standar Jerman untuk angka cetane solar yaitu minimum 45.

Berat molekul dari bentuk aslinya (trigliserida) nilainya diatas 800 juga menjadi mengecil dalam bentuk metilesternya yaitu 270-

296, sehingga lebih dekat ke standar berat molekul solar sekitar 200 (Tabel 4).

Unjuk Kerja Motor Diesel

Hasil pengujian torsi dan daya motor dari 5 variasi campuran bahan bakar disajikan pada Tabel 5a dan 5b. Dari data tersebut secara statistik ada perbedaan nyata.

Nilai torsi antara bahan bakar murni minyak solar dengan biodiesel murni, namun perbedaan dalam angka rerata hanya antara 16,04 N.m dengan 15,59 N.m, berarti biodiesel murni menghasilkan torsi hanya 2,805 % lebih rendah daripada yang dihasilkan minyak solar murni. Hal ini berkaitan dengan nilai kalor biodiesel yang sedikit lebih rendah dari pada nilai kalor minyak solar.

Tabel 4. Perbandingan antara sifat-sifat minyak biji kapok asli, biodiesel minyak biji kapok, dan standar minyak solar Jerman dan Indonesia.

No	Sifat yang mencirikan	Satuan	Minyak biji kapok berbentuk		Standar Minyak solar	
			Asli	(Biodiesel)	Jerman	Indonesia
1	Boiling point	°C	160	86,6		
2	Flash Point	°C	308	92,0	Min. 55	> 66
3	Pour point	°F	25	40		< 65
4	Cetane Index		36	47,5		> 48
5	Angka Cetane		33	44,5	Min 45	
6	Gross Heating value (perhitungan)	BTU/lb MJ/kg	19.145,6 44,53	19.372,1 45,06		22.450,0
7	Nilai kalori (kalorimetri)	kal/gram MJ/kg	10.051,7 42,08		Min. 42	
8	Specific gravity		0,9215	0,876	0,80 - 0,86	0,82-0,87
9	Viscosity pada 20 °C: dynamic kinematic	cP cS(mm ² /s)	50,0 54,26	4,487 5,122	2,4 - 9,6 2,0 - 8,0	1,6-5,8
10	Residu, CCR	% berat		0,112		< 0,1
11	Bilangan iod	g/100g	81,383			
12	Bilangan peroksida,	mg _{eq} /kg	93,287			
13	Bilangan penyabunan		134,907			
14	Asam lemak bebas,	%	7,55-9,26			
15	Kandungan air	% vol		0,2		< 0,05
16	Kandungan sulfur	%	-	-		Max 30
17	Berat molekul		806-890	270-296		± 200
18	Kandungan abu	% berat	0,057	0,022		< 0,01

Tabel 5a. Rerata torsi poros motor diesel dengan 6 macam perbandingan campuran bahan bakar dengan 15 ulangan

Campuran bahan bakar	Perbandingan biodiesel : minyak solar	Torsi rerata (N.m)	Signifikansi Perbedaan Uji Duncan
B0	0 : 100	16,04	A
B20	20 : 80	15,90	A B
B40	40 : 60	15,77	A B
B60	60 : 40	15,67	B
B80	80 : 20	15,60	B
B100	100 : 0	15,59	B

Tabel 5b. Rerata daya poros motor diesel dengan 6 macam perbandingan campuran bahan bakar dengan 15 ulangan

Campuran bahan bakar	Perbandingan biodiesel : minyak solar	Daya rerata (kW)	Signifikansi perbedaan Uji Duncan
B0	0 : 100	2,67	A
B20	20 : 80	2,65	A B
B40	40 : 60	2,63	B C
B60	60 : 40	2,61	C
B80	80 : 20	2,60	CD
B100	100 : 0	2,56	D

Sejalan dengan torsi poros, daya poros motor terlihat paling besar pada minyak solar murni dan makin mengecil dengan makin banyaknya porsi biodiesel dalam campuran (Tabel 5). Daya dari biodiesel murni adalah 2,56 kW, lebih kecil 4,12 % daripada dari minyak solar murni.

Emisi Karbonmonoksida (CO), Hidrokarbon (HC), dan Nitrogenoksida (NO_x)

Dari Tabel 6 terlihat bahwa emisi CO dari gas buang bahan bakar biodiesel 100 % adalah paling kecil. Berarti biodiesel lebih ramah lingkungan dibanding minyak solar.

Tabel 6 juga menunjukkan bahwa emisi hidrokarbon (HC) dari gas buang bahan bakar biodiesel 100 % adalah juga paling kecil.

Dari Tabel 7 terlihat bahwa emisi nitrogen oksida ada nilai optimum campuran yang menghasilkan emisi minimum yaitu pada campuran B60, sedang pada B100 kadar NO_x masih 3,6 % lebih rendah daripada pada B0.

Tabel 6. Emisi karbonmonoksida dan hidrokarbon dari 6 macam campuran bahan bakar

Campuran Bahan bakar	Kadar CO rerata (%)	Signiifikansi perbedaan Uji Duncan	Kadar HC rerata (ppm)	Signiifikansi perbedaan Uji Duncan
B0	0,05133	A	29,000	A
B20	0,04467	B	27,333	AB
B40	0,04067	B	24,667	B
B60	0,03267	C	20,600	C
B80	0,02867	C	19,267	C D
B100	0,02200	D	17,467	D

Tabel 7. Emisi nitrogenoksida dari 6 macam campuran bahan bakar

Campuran Bahan bakar	Perbandingan Biodiesel : minyak solar	Kadar NO ₂ rerata (mg/m ³)
B0	0 : 100	87,3
B20	20 : 80	79,8
B40	40 : 60	77,5
B60	60 : 40	75,4
B80	80 : 20	83,9
B100	100 : 0	84,2

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Minyak biji kapok asli mempunyai sifat yang jauh berbeda dengan minyak solar, terutama dalam hal nilai viskositasnya, titik nyala, angka cetan, dan berat jenisnya.
2. Minyak biji kapok asli dapat diubah menjadi bentuk metil ester (biodiesel) minyak biji kapok dengan cara transesterifikasi menggunakan metanol dengan katalisator KOH pada tekanan dan suhu kamar dengan perbandingan berat bahan minyak biji kapok : metanol : KOH = 250 : 40 : 6,45. Rendemen hasil biodiesel adalah 70%.
3. Minyak biodiesel yang dihasilkan memiliki sifat-sifat yang lebih mendekati kepada sifat minyak solar dibanding minyak biji kapok aslinya terutama pada nilai titik nyala, viskositas, berat jenis dan angka cetan.
4. Unjuk kerja motor diesel dengan menggunakan bahan bakar biodiesel minyak biji kapok menghasilkan torsi yang sedikit lebih rendah daripada dengan bahan bakar minyak solar yaitu beda 2,805%nya, dan dayanya lebih rendah 4,12%nya.
5. Emisi gas buang motor diesel dengan biodiesel minyak biji kapok adalah mengeluarkan karbonmonoksida 0,022%, jadi lebih rendah dibanding 0,05133% yang dengan minyak solar; emisi hidrokarbonnya 17,467 ppm, jadi lebih rendah dibanding 27,333 ppm yang dengan minyak solar; dan emisi nitrogen oksida adalah 3,6% lebih rendah daripada yang menggunakan minyak solar.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2002. *Biji Kapok Sumber Bahan Baku Minyak Diesel Nabati*. WARTA Penelitian dan Pengembangan Pertanian, BALITRO, Bogor.
- Ali, et al., 1995. *Emissions and Power Characteristics of Diesel Engines on Methyl Soyate and Diesel Fuel Blends*. Bioresource Technology 52. S 185 – 195. Great Britain.



- Anggraini, A.A.. 1999. *Wiederverwertung von gebrauchten Speiseölen/fetten im energetisch-technischen Bereich – ein Verfahren und dessen Bewertung*. Thesis. Universität Gesamthochschule Kassel.
- Anggraini, A. A.. 2001, *Program International Biodiesel Workshop*, Medan
- Anggraini, A. A. 2002. *Biodiesel dari Minyak Jelantah*. Harian Kompas 20 Juli.
- Anggraini, A. A. 2002. *Minyak Nabati Bahan Bakar Alternatif*. Seminar Tahunan Jurusan Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian UGM Yogyakarta.
- Ardiana, D.S. 2003. *Metanolisis Asam Lemak dari Minyak Kacang Tanah untuk Pembuatan Biodiesel*. Thesis. Jurusan Teknik Kimia UGM Yogyakarta.
- Backe, W und C. Busch, 1995. *Raapsolbasiische Druckübertragungsmedien; Aufgaben Anforderungen, Stand der Technik*, RWTH Aachen.
- Bambang S. 2002. *Pengaruh Biodiesel dari Minyak Sawit terhadap Karakteristik Emisi dan Kinerja Motor Bakar Diesel*, Jurnal Teknologi Fakultas Teknik Mesin, Universitas Indonesia. Jakarta.
- Bhattacharyya S, and C.S. Reddy. 1994. *Vegetable Oil as Fuel for Internal Combustion Engine: a Review*. J. Agric. Engineering Res. 57 . 157-156.
- Conneman, J. 1994. *Biodiesel in Europa 1994*. Fat. Sci. Technologie, 96 Jahrgang, S. 536-548, Deember 1994.
- Bockisch M, 1993. *Nahrungsfette und Ole* Verlag Augen Ulmer.
- Dharnoko, D. and Cheriyan. 2001, *Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor*. J. Am. Oil Chem. Soc. 77. 1263-1267.
- Dinkelbach, W. 1982. *Entscheidungsmodelle*. W de G – Verlag.
- Herrmann, H. 1996. *Biodiesel Release for Agricultural Tractors from the Very Beginning*. In the Proceedings of 2nd European Motor Biofuels Forum, 22 – 25 September 1996, Graz, Austria. 245-246.
- Martono A, S. Sastrosewojo, Bondantojo, D. Sulasdi, dan Haditanto. 1980. *Energi dan Listrik. Pusat Penyelidikan Masalah Kelistrikan*. Perusahaan Umum Listrik Negara. Jakarta.
- Meyer-Pittroff R., 1994. *Pflanzenole Als Regenerative Energieträger – Nationale Und Welweite Perspektiven*. VDI – Berichte Nr. 1126.
- Pak, M. und A. Alexi, 1987. *Praktische Erfahrungen mit Pflanzenölen als Kraftstoff für Dieselmotoren Gndl*. Landtechnik Bd. 37, Nr. 4, S 54 -61.
- Pasaribu, R. 2002. *Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa dengan Variasi Perbandingan Pereaksi dan Waktu*. Laporan Penelitian. Jurusan Teknik Kimia UGM.
- Peterson, C.L. and Thompson. 1999. *Long Range on Road Test With Twenty percent Rapeseed Biodiesel*, American Society of Agricultural Engineers, Vol. 15(2):91-101
- Saiful A., 2005. *Kinerja Motor Diesel Satu Silinder Dan Karakteristik Emisi Gas Buangnya Dengan Bahan Bakar Biodiesel Dari Minyak Biji Kapok*. Thesis S-2 Program Studi Teknik Pertanian, Kelompok Bidang Ilmu-ilmu Pertanian, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Scharmer, K., F. Pudel, und D. Ribarov. 1994. *Umwandlung von Pflanzenölen zu Methyl- und Ethylestern*. VDI-Berichte No. 1126.

