

SINTESIS *FATTY ACID METHYL ESTHER* DARI MINYAK BIJI MAHONI (*SWIETENIA MACROPHYLLA*, KING) DAN UJI *PERFORMANCE*-NYA SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF PADA MESIN DIESEL

Sri Mursiti¹, Ratna Dewi Kusumaningtyas², Sabirin Matsjeh³, Jumina³, Mustofa⁴

¹Staf Pengajar Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang, Semarang

²Staf Pengajar Jurusan Teknik Kimia FT Universitas Negeri Semarang, Semarang

³Staf Pengajar Jurusan Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

⁴Staf Pengajar Bagian Farmakologi FK Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

E-mail Penulis Korespondensi: kumalasari_berliana@yahoo.com

Abstrak. Fatty acid methyl ester (FAME) merupakan bahan bakar alternatif pada mesin diesel yang terbaru. Penelitian ini mensintesis FAME melalui transesterifikasi minyak biji mahoni dengan metanol menggunakan katalis KOH. Tujuannya (1) mendapatkan kondisi optimal sintesis FAME, (2) mengetahui sifat fisis FAME, dan (3) mengetahui performancenya. Minyak biji mahoni memiliki bilangan asam yang tinggi (29,86 mg KOH/ g minyak) sehingga dilakukan esterifikasi. Esterifikasi dilakukan pada suhu 35°C menggunakan katalis H₂SO₄. Transesterifikasi dilakukan dengan perbandingan minyak: metanol= 4:1. Variasinya suhu (30°C - 60°C) dan konsentrasi KOH (0,5% - 1% berat minyak). Didapatkan kondisi optimum reaksi transesterifikasi pada suhu 60°C, konsentrasi KOH 0,75%, waktu reaksi 60 menit, serta rasio volume minyak:metanol= 4:1, dan didapatkan yield sebesar 83,9742%. FAME diuji sifat fisisnya dengan variasi perbandingan FAME:solar: butanol sebesar 1:0:0, 1:1:1, dan 1:2:2. Pengujian meliputi densitas, korosi lempeng tembaga, color ASTM, viskositas kinematis, flash point, pour point, kandungan air, serta CCR. Hasilnya dibandingkan dengan standar kualitas biodiesel (SNI). Data menunjukkan bahwa semua komposisi campuran FAME:solar belum memenuhi persyaratan standar. Uji performance secara lengkap belum dapat dilaksanakan karena dapat menyebabkan kerusakan mesin, tetapi performance konsumsi FAME pada mesin diesel tidak jauh berbeda dengan konsumsi solar pada mesin diesel, tetapi emisinya lebih rendah.

Kata kunci: FAME, minyak biji mahoni, performance, transesterifikasi

PENDAHULUAN

Menipisnya cadangan minyak bumi di dunia mendorong adanya upaya untuk mencari bahan bakar alternatif. Bahan bakar alternatif yang layak dikembangkan adalah bahan bakar yang bersifat terbarukan dan ramah lingkungan. Salah satu jenis bahan bakar pengganti yang

potensial adalah *fatty acid methyl ester* (FAME) atau biodiesel, yaitu bahan bakar alternatif pada mesin diesel. Biodiesel didefinisikan oleh World Custom Organization (WCO) sebagai campuran mono-alkil produksi biodiesel ester rantai panjang [C16-18] asam lemak yang berasal dari minyak sayur atau lemak hewan (Srinivasan, 2009). Biodiesel selain terbarukan juga biodegradable, ramah lingkungan, hemat energi, bahan bakar substitusi yang dapat memenuhi kebutuhan energi tanpa mengorbankan kinerja operasional mesin. Sifat ester lemak individu menentukan sifat keseluruhan bahan bakar biodiesel (Refaat, 2009). Penggunaan FAME memberikan banyak keunggulan, yaitu (Tickell, 2000) tidak memerlukan modifikasi mesin diesel yang telah ada, ramah lingkungan karena bersifat *biodegradable* dan tidak beracun, emisi polutan berupa hidrokarbon yang tidak terbakar, CO, CO₂, SO₂, dan jelaga hasil pembakaran biodiesel lebih rendah dari pada solar, kandungan energi yang hampir sama dengan kandungan energi petroleum diesel (80 % dari kandungan petroleum diesel), dan angka cetane lebih tinggi dari pada petroleum diesel (solar).

Berbagai jenis minyak nabati dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan biodiesel. Pada penelitian ini akan digunakan minyak biji mahoni untuk sintesis FAME, dengan pertimbangan bahwa tanaman mahoni banyak tumbuh di Indonesia akan tetapi hingga saat ini belum termanfaatkan secara optimal. Minyak biji mahoni prospektif untuk digunakan sebagai bahan baku dalam produksi biodiesel biji mahoni memiliki kandungan minyak yang relatif besar, yaitu 25-35 % berat. Minyak biji mahoni ini tergolong minyak yang tidak mengering (*nondrying oil*) sehingga tidak mengental atau menjadi kering meskipun terkena oksidasi.

Minyak biji mahoni ataupun minyak nabati pada umumnya memiliki kekentalan yang relatif tinggi dibandingkan dengan minyak solar dari fraksi minyak bumi. Kekentalan ini dapat dikurangi dengan memutus percabangan rantai karbon tersebut melalui proses transesterifikasi menggunakan alkohol rantai pendek, misalnya metanol atau etanol (Setyawardhani, 2003). Metanol lebih disukai karena memiliki reaktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan etanol. Untuk mendapatkan hasil yang sama, jumlah etanol yang dibutuhkan sebanyak 1,4 kali jumlah metanol.

Berdasarkan uraian tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah (1) mendapatkan kondisi operasi yang optimal untuk mengolah minyak biji mahoni menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (biodiesel) melalui proses transesterifikasi menggunakan katalis KOH sehingga diperoleh *yield* yang tinggi dan (2) mengetahui komposisi campuran biodiesel dari minyak biji mahoni dan solar yang memiliki karakteristik paling mendekati standar solar.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen di laboratorium yang terdiri dari tiga tahap, yaitu preparasi dan karakterisasi minyak biji mahoni (Mursiti, 2009), proses produksi FAME

(biodiesel) dari minyak biji mahoni, dan uji karakteristik FAME. Pada tahap pertama, dilakukan isolasi minyak biji mahoni untuk mendapatkan minyak biji mahon dan karakterisasinya untuk mengetahui sifat fisis dan kimianya. Sifat ester lemak individu menentukan sifat keseluruhan bahan bakar biodiesel (Refaat, 2009). Jika minyak memiliki bilangan asam yang tinggi, maka tahap selanjutnya adalah reaksi esterifikasi antara asam lemak bebas dalam minyak dengan metanol menggunakan katalis asam kuat H_2SO_4 98% pada suhu $35^{\circ}C$. Selanjutnya dilakukan reaksi transesterifikasi minyak biji mahoni dengan metanol, dengan katalis KOH. Reaksi transesterifikasi dijalankan dengan kecepatan pengadukkan tetap, perbandingan volume minyak dengan metanol 4:1, dan waktu tinggal 60 menit. Variabel yang divariasikan adalah suhu ($30 - 60^{\circ}C$) dan konsentrasi katalis (0,5 - 1% berat minyak). FAME yang dihasilkan pada kondisi operasi optimum kemudian diuji sifat fisisnya, yang meliputi: densitas, korosi lempeng tembaga, *color* ASTM, viskositas kinematis, *flash point*, *pour point*, kandungan air, serta *Conradson Carbon Residue*. FAME tersebut dicampur dengan solar dan *homogenating agent* (butanol) pada berbagai variasi komposisi FAME: solar: butanol, yaitu: 1: 0: 0, 1:1:1, dan 1:2:2. Hasil pengujian dibandingkan dengan standar kualitas bahan bakar diesel (SNI), untuk mengetahui kelayakannya sebagai bahan bakar pada mesin diesel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi minyak biji mahoni dari biji mahoni sebanyak 3000 gram menghasilkan minyak biji mahoni sebanyak 1290, berwarna kuning, massa jenis 0,8958 g/mL, titik didih $178,5^{\circ}C$, dan putaran optik -2,54. Kondisi operasi optimal sintesis FAME minyak biji mahoni disajikan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Hasil Optimasi pada Variasi Katalis

No	Volume Metanol:minyak	Suhu	Konsentrasi Katalis KOH	Konsentrasi FAME (%)
1	1:4	$60^{\circ}C$	0,5%	68,2154
2	1:4	$60^{\circ}C$	0,75%	79,3657
3	1:4	$60^{\circ}C$	1,00%	83,8642
4	1:4	$60^{\circ}C$	1,25%	77,1365
5	1:4	$60^{\circ}C$	1,50%	51,5245

Tabel 2. Hasil Optimasi pada Variasi Suhu

No	Volume Metanol:minyak	Suhu	Konsentrasi Katalis KOH	Konsentrasi FAME (%)
1	1:4	$30^{\circ}C$	1,00%	77,2653
2	1:4	$40^{\circ}C$	1,00%	76,7423
3	1:4	$50^{\circ}C$	1,00%	76,8725
4	1:4	$60^{\circ}C$	1,00%	83,9742
5	1:4	$70^{\circ}C$	1,00%	75,5862

Optimasi reaksi transesterifikasi pembuatan FAME dari minyak biji mahoni dilakukan dengan mereaksikan antara minyak biji mahoni dan metanol dengan bantuan katalis KOH. Dalam operasi reaksi, digunakan variasi optimasi katalis yaitu pada 0,5% - 1,5% KOH sedangkan suhunya dibuat tetap pada 60⁰ C. Pemeriksaan konversi metil ester dilakukan menggunakan alat GC. Kondisi kerja alat GC ini dilakukan menggunakan jenis detektor FID, jenis kolom yang digunakan adalah HP5, suhu detektor 300⁰ C, suhu injektor 280⁰ C, gas pembawanya adalah Helium, serta jumlah sampel yang diinjeksikan adalah 0,2 mikro liter.

Hasil uji sifat fisis FAME dari minyak biji mahoni pada kondisi reaksi optimum dibandingkan dengan standart sesuai SNI 04-7182-2006 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Sifat Fisis FAME

No	Metode Uji		Biodiesel	
	Uji	ASTM	Biji Mahoni	Standar
1	SG	D-1298	8960	-
2	Density	D-1250	8958	850 - 890
3	Korosi Lempeng Tembaga	D-130	1b	3b
4	CCR	D-189	1,72%	0,05
5	Kadar Air	D-95	0,40%	0,05
6	Viskositas	D-445	17,85	2,6-6,0
7	Titik Kabut	D-97	19	maks. 18
8	Flash Point PMCC	D-93	84	min. 100

Tabel 4. Hasil Uji Solar Murni pada Mesin Diesel

Putaran mesin (rpm)	LAJU BAHAN BAKAR (cc/s)					Rata-rata	Kepekatan gas buang
	I	II	III	IV	V		
1500	0.129432	0.128237	0.129436	0.128235	0.128454	0.128759	3,9
1750	0.161154	0.159548	0.161153	0.159542	0.159797	0.160239	8,7
2000	0.213412	0.214683	0.213411	0.214682	0.213713	0.21398	11.4
2250	0.253294	0.251095	0.253293	0.251095	0.247596	0.251275	10,1
2500	0.285328	0.281027	0.283286	0.281083	0.287579	0.283661	10,1

Tabel 5. Hasil Uji Biodiesel 5% pada Mesin Diesel

Putaran mesin (rpm)	LAJU BAHAN BAKAR (cc/s)					Rata-rata	Kepekatan gas buang
	I	II	III	IV	V		
1500	0.169467	0.168931	0.168937	0.168294	0.162894	0.167705	4,6
1750	0.205632	0.208773	0.209643	0.206743	0.205637	0.207286	4,9
2000	0.228732	0.225445	0.229952	0.225231	0.229434	0.227759	5,6
2250	0.259466	0.255461	0.259462	0.255465	0.259463	0.257863	5,9
2500	0.304462	0.304363	0.304461	0.304364	0.304469	0.304424	6,2

Tabel 6. Hasil Uji Biodiesel 10% pada Mesin Diesel

Putaran mesin (rpm)	LAJU BAHAN BAKAR (cc/s)						Kepekatan gas buang
	I	II	III	IV	V	Rata-rata	
1500	0.125042	0.122632	0.125081	0.125035	0.122648	0.124088	5,7
1750	0.154324	0.155391	0.153827	0.154562	0.155887	0.154798	6,2
2000	0.194625	0.199321	0.194654	0.199521	0.192341	0.196092	6,8
2250	0.228451	0.225561	0.228532	0.22951	0.225412	0.227493	8,9
2500	0.298312	0.296434	0.296372	0.298635	0.297635	0.297478	9,6

Tabel 7. Hasil Uji Biodiesel 15% pada Mesin Diesel

Putaran mesin (rpm)	LAJU BAHAN BAKAR (cc/s)						Kepekatan gas buang
	I	II	III	IV	V	Rata-rata	
1500	0.113921	0.110324	0.119223	0.110123	0.119267	0.114572	6,5
1750	0.157231	0.157562	0.157558	0.157587	0.157561	0.157500	7,3
2000	0.173042	0.175443	0.173031	0.185023	0.175417	0.176391	7,9
2250	0.232624	0.234862	0.232371	0.234881	0.232312	0.233410	8,6
2500	0.327121	0.324247	0.327154	0.324348	0.327154	0.326005	9,8

Penambahan katalis KOH berfungsi untuk mempercepat reaksi, hal ini dapat dilihat dalam Tabel 1. Secara umum, kenaikan konsentrasi katalis akan menurunkan energi aktivasi untuk reaksi kimia, sehingga meningkatkan jumlah molekul yang teraktifkan dan bereaksi membentuk metil ester (Setyawardhani, 2005). Pada penelitian yang dilakukan Azis (2005) terhadap transesterifikasi minyak jelantah dengan menggunakan katalis KOH didapatkan hasil konversi metil ester optimum pada konsentrasi katalis 1% dengan suhu reaksi 60⁰ C.

Pada penelitian yang telah dilakukan dengan variasi katalis dan suhu dibuat tetap 60⁰ C, didapatkan konversi metil ester optimum pada konsentrasi katalis 1% berat minyak. Pada konsentrasi dari 1% menuju 1,25% dan 1,5%, terjadi penurunan konsentrasi konversi metil ester. Hal ini disebabkan terjadi reaksi samping antara katalis KOH dengan minyak yang dikenal dengan saponifikasi yang menyebabkan hasil penyabunan berupa surfaktan menghalangi kontak antara minyak dan metanol, akibatnya kecepatan reaksi dan konversi metil ester yang dihasilkan menurun.

Operasi reaksi dalam variasi suhu digunakan suhu antara 30⁰ C – 70⁰ C, sedangkan katalisnya dibuat tetap dari hasil optimasi katalis sebelumnya yaitu konsentrasi KOH sebesar 1%. Kenaikan suhu reaksi juga menaikkan konversi metil ester pada proses transesterifikasi minyak biji mahoni. Kenaikan konversi metil ester sangat terlihat jelas pada 30⁰ C sampai 60⁰ C. Ini disebabkan karena semakin tinggi suhu menyebabkan gerakan molekul semakin cepat atau energi kinetik yang dimiliki molekul-molekul pereaksi semakin besar sehingga tumbukan antara molekul pereaksi juga meningkat. Hal ini sesuai dengan persamaan Arrhenius yang menyatakan bahwa dengan naiknya suhu maka kecepatan reaksi juga akan meningkat. Menurut Darnoko dan

Cheryan (2000) bahwa laju reaksi terus bertambah seiring peningkatan suhu sampai mencapai 60° C. Suhu yang lebih tinggi tidak mempengaruhi waktu reaksi untuk menghasilkan konversi yang maksimal. Sehingga suhu operasi maksimum harus pada titik didih metanol pada keadaan normal (68° C) yaitu dibawah titik didih metanol, karena jika dilakukan di atas titik didih metanol maka metanol akan mengalami perubahan fasa dari cair menjadi gas, sehingga jumlah metanol dalam fasa cair berkurang. Kurangnya jumlah metanol dalam fasa cair menyebabkan jumlah tumbukan antara molekul pereaksi berkurang sehingga kecepatan reaksi juga menurun. Hasil optimasi dengan variasi suhu ini dapat dilihat pada Tabel 2 dengan perolehan data optimum pada suhu 60° C dengan konversi metil ester sebesar 83,9742%. Hasil reaksi transesterifikasi yang terbaik, yaitu pada operasi reaksi menggunakan katalis KOH 1% dan suhu 60° C diujikan sifat-sifat fisisnya untuk dibandingkan dengan sifat fisis biodiesel standart.

Specific gravity ini diukur dengan menggunakan metode pemeriksaan ASTM D 1298 dan memberikan hasil 8960 kg/ m³, sehingga *density*nya dapat diketahui sebesar 8958 kg/ m³. Nilai *specific gravity* yang lebih besar dibandingkan dengan biodiesel dari minyak jarak dikarenakan sisa minyak dalam biodiesel minyak biji mahoni masih besar, sehingga mempengaruhi *specific gravity*. Nilai *density* ini belum memenuhi syarat mutu biodiesel SNI yang memberikan rentang 850 – 890 kg/ m³, hal ini dimungkinkan adanya rantai karbon yang masih panjang. Sedangkan korosi lempeng tembaga diukur dengan metode analisis ASTM D 130 memberikan hasil 1b. Hal ini sudah memenuhi standart biodiesel ASTM D 6751 sebesar 3. Korosi lempeng tembaga merupakan ukuran tingkat korositas bahan bakar terhadap komponen-komponen dalam sistem bahan bakar yang terbuat dari tembaga atau kuningan.

Pengukuran sisa karbon menggunakan metode analisis ASTM D 189 memberikan hasil sebesar 1,72%. Sisa karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan biodiesel dari minyak bunga matahari dan belum memenuhi standar mutu biodiesel sebesar 0,05 % maks berat, kemungkinan diakibatkan adanya senyawa yang memiliki jumlah rantai karbon 18, selain itu juga dapat disebabkan oleh sisa-sisa gliserol dan partikulat lain yang masih tersisa dalam FAME saat pencucian. Kandungan sisa karbon yang tinggi akan menghambat pengoperasian mesin dan merusak semua bagian pada pita injeksi dan bahan bakar. Untuk kadar air diukur dengan metode analisis ASTM D 95 memberikan hasil sebesar 0,40%. Kadar air ini belum memenuhi standar mutu biodiesel sebesar 0,05 % maks berat. Kadar air yang masih begitu tinggi diakibatkan oleh proses penguapan pada pemurnian FAME yang kurang sempurna.

Pengukuran viskositas kinematik menggunakan metode analisis ASTM D 445 memberikan hasil 17,85 cSt. Viskositas FAME minyak biji mahoni yang sangat tinggi dibandingkan biodiesel dari minyak jarak dan minyak bunga matahari, sehingga belum memenuhi standar biodiesel SNI sebesar 2,6 – 6,0 cSt. Ini dimungkinkan karena masih panjangnya rantai karbon metil ester atau juga pengaruh suhu (Tangsathitkulchai *et al.*,2004; Krisnangkura *et al.* ,2006) .Titik kabut diukur

dengan metode analisis D 97 dan memberikan hasil 19⁰ C yaitu akan membeku pada suhu 19⁰ C. Titik kabut ini masih lebih tinggi dibandingkan dengan biodiesel dari minyak jarak dan belum memenuhi standar mutu sifat fisis biodiesel ASAE EPX 552 sebesar 18⁰ C maks. Titik kabut perlu mendapatkan perhatian karena menyangkut sifat alir bahan bakar pada kondisi temperatur rendah. Uji fisis yang terakhir adalah *Flash Point PMCC* yang dengan metode analisis D 93 dan memberikan hasil 84⁰ C yaitu akan mulai menyala pada suhu 66⁰ C. *Flash point* ini lebih rendah dibandingkan dengan minyak jarak dan minyak bunga matahari, serta belum memenuhi standar mutu sifat fisis biodiesel SNI D 93 sebesar 100⁰ C min. Hal ini disebabkan sisa metanol dalam reaksi transesterifikasi yang belum hilang semuanya saat proses pemurnian FAME.

Uji kinerja FAME pada mesin diesel diharapkan dapat memberikan informasi mengenai konsumsi bahan bakar (SRF), dan emisi CO, CO₂, serta hidrokarbon. Pengujian dilakukan pada berbagai putaran mesin, yaitu pada kisaran 1500–2500 rpm. Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan kinerja bahan bakar solar murni. Tabel 9, 10, 11, dan 12 menunjukkan kinerja FAME dalam campurannya dengan solar dengan komposisi 0, 5, 10, dan 15%. Secara umum, konsumsi bahan bakar pada mesin berbahan bakar FAME tidak jauh berbeda dengan konsumsi pada mesin diesel konvensional, akan tetapi cenderung menghasilkan emisi yang lebih rendah.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil simpulan sebagai berikut. Hasil terbaik dalam variasi katalis KOH dan suhu pada reaksi transesterifikasi minyak biji mahoni menjadi FAME adalah pada katalis KOH 1% dan suhu 60⁰C. Sifat fisis FAME dari biji mahoni belum memenuhi syarat mutu sifat fisis biodiesel standar. *Performance* konsumsi FAME minyak biji mahoni pada mesin diesel tidak jauh berbeda dengan konsumsi solar pada mesin diesel, tetapi cenderung menghasilkan emisi yang lebih rendah.

Saran

Saran yang disampaikan adalah perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memperoleh sifat fisis FAME sesuai standar dan perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang pemanfaatan minyak biji mahoni.

DAFTAR PUSTAKA

- Azis, I.. 2005. “Pembuatan Fatty acid methyl ester dari Minyak Jelantah dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk dan Uji Performance Fatty acid methyl ester pada Mesin Diesel”. *Thesis S2, UGM, Yogyakarta*.
- Mursiti, S. 2009. “Isolasi minyak biji mahoni dan identifikasi senyawa di dalamnya”.

- Prosiding Seminar nasional Kimia dan Pendidikan Kimia 2009*, UUNES, Semarang.
- Setyawardhani. 2003. "Metanolisis Asam Lemak dari dari Minyak Kacang Tanah untuk Pembuatan Fatty acid methyl ester". *Thesis S2, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta*.
- Refaat, A.A. 2009. "Correlation between The Chemical Structure of Biodiesel and Its Physical Properties". *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 6 (4), pp. 677-694.
- SNI. 2006. "*Fatty acid methyl ester*", SNI 04-7182-2006.
- Srinivasan, S. 2009. The Food v Fuel Debate: A Nuanced View of Incentive Structures, *Renew. Energ.*, 34 (4), pp. 950- 954.
- Tickell, J. 2000. *From the Fryer to the Fuel Tank*, 3rd ed. Tickell Energy Consulting, USA.
- WCO. 2007. *The Harmonized Commodity Description and Coding System (HS)*, World Customs Organization, Brussels, Belgium.