

PENGOLAHAN BIODIESEL DARI BIJI NYAMPLUNG (*Calophyllum Inophyllum* L) DENGAN CARA PURIFIKASI KERING

(BIODIESEL PRODUCTION FROM NYAMPLUNG SEEDS (*Calophyllum Inophyllum* L) WITH DRY PURIFICATION METHODS)

Rizal Alamsyah dan Enny Hawani Lubis

Balai Besar Industri Agro (BBIA), Kementerian Perindustrian
Jl. Ir. H. Juanda No.11 Bogor

E-mail : rizalams@yahoo.com

Received 24 Juli 2012; revised 5 September 2012; accepted 12 September 2012

ABSTRAK

Tanaman nyamplung atau hutaulo merupakan tanaman yang tumbuh di banyak tempat di Indonesia. Tanaman ini menghasilkan biji yang mempunyai kadar minyak yang tinggi dan dapat diubah menjadi biodiesel. Salah satu masalah dalam proses purifikasi (pencucian) biodiesel kasar adalah kebutuhan air dan energi yang tinggi untuk pemanasan air tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan purifikasi/pencucian kering biodiesel dan menggantikan metode pencucian dengan air dan proses pengeringan. Percobaan dilakukan dengan mereaksikan minyak nyamplung dengan metanol (MeOH) pada suhu 65°C menggunakan katalis NaOH 1% dari berat minyak. Rasio molar minyak nyamplung dan metanol adalah 1 : 11,5. Pencucian kering biodiesel kasar dilakukan dengan penambahan *cleaning agent* (CA), arang aktif (AA), dan campuran *cleaning agent* dan arang aktif (AACA). Pencucian kering dilakukan dengan mereaksikan biodiesel kasar dengan CA (1%, 3%, dan 5%), AA (1%, 3%, dan 5%), AACA (1%, 3%, dan 5%) dilanjutkan dengan penyaringan vakum. Hasil percobaan menunjukkan bahwa penambahan campuran CA dan AA (5%) ke dalam biodiesel menunjukkan hasil terbaik dalam memperoleh kandungan *fatty acid methyl ester* (FAME) sesuai SNI sebesar 96,5%.

Kata kunci : Biji nyamplung, Biodiesel, Pencucian kering, Purifikasi, FAME

ABSTRACT

*Nyamplung or hutaulo plant grows in many area in Indonesia especially in coastal area. Seed produced from this plant contains high oil which can be converted into biodiesel. One of problem in the current technology for biodiesel purification is the requirement for high energy in washing crude biodiesel which used a lot of water. Purpose of this research is to design dry washing treatment for crude biodiesel purification instead of conventional purification (water purification and drying). The experiments were conducted by reacting nyamplung oil (*Calophyllum inophyllum* L) with methanol (MeOH) at 65°C, using natrium hydroxide (NaOH) as catalyst. Molar ratio of oil and MeOH was 1 : 11.5 and natrium hydroxide (NaOH) used was 1% of palm oil weight. Dry washing of crude biodiesel was done by addition of cleaning agent (CA), activated carbon (AA), and mixture of cleaning agent and activated carbon (AACA). Dry washing was conducted by reacting crude biodiesel with CA (1%, 3%, and 5%), AA (1%, 3%, and 5%), AACA (1%, 3%, and 5%), and vacuum filtering. The experiments show that addition cleaning agent and activated carbon mixture (5%) into crude biodiesel demonstrated the best condition to reach Indonesian Nasional Standard for fatty acid methyl ester content (FAME) e.g. 96.5%.*

Key words : *Nyamplung plant, Biodiesel, Dry washing, Purification, FAME*

PENDAHULUAN

Biji nyamplung atau biji hutaulo yang berasal dari pohon atau tanaman nyamplung atau kosambi merupakan tanaman yang banyak dijumpai di pinggir pantai. Biji nyamplung mengandung sumber minyak nabati cukup tinggi dan dapat digunakan sebagai bahan bakar. Kandungan minyak biji nyamplung adalah sekitar 75% menurut Dweek dan Meadow

(2002), sedangkan menurut Heyne (2006) dan Soerawidjaja (2001) masing-masing adalah 40% sampai 73% dan 73%. Sejauh ini biji nyamplung belum dimanfaatkan secara maksimal oleh penduduk setempat di Indonesia.

Tanaman nyamplung atau kosambi merupakan tanaman yang tersebar luas di Indonesia mulai Sumatera Barat, Riau, Jambi,

Sumatera Selatan, Lampung, Jawa, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Sulawesi, Maluku, hingga Nusa Tenggara Timur. Tanaman nyamplung di Indonesia berproduksi dua kali dalam satu tahun, yaitu bulan Februari sampai Maret dan bulan Agustus sampai September, sedang di Hawaii bulan April sampai Juni dan bulan Oktober sampai Desember (Friday dan Okano 2006). Tanaman ini sebenarnya dapat dijadikan *biofuel* dan biodiesel dan menghasilkan gliserol yang berkualitas tinggi serta kandungan komponen aktifnya.

Upaya pengolahan biji nyamplung menjadi biodiesel dan pemanfaatan hasil ikutannya dirasakan perlu dilakukan karena terkait dengan kebijakan pembangunan pemerintah dalam hal diversifikasi energi baru dan terbarukan (*renewable energy*), menghasilkan teknologi tepat guna, serta untuk memenuhi kebutuhan energi lokal sehingga dapat mengurangi pemakaian bahan bakar yang berasal dari minyak bumi (PerPres Thn 2006). Didukung dengan konsumsi bahan bakar yang setiap tahunnya terus meningkat. Total kebutuhan bahan bakar solar Indonesia sendiri di tahun 2011 adalah 21,2 juta kilo liter, sedangkan produksi domestik hanya 18,34 juta kilo liter. Sudah bisa dipastikan kebutuhan untuk tahun-tahun ke depan akan meningkat lagi.

Di lain pihak persediaan minyak dunia diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 36,5 tahun terhitung sejak 2002 (Walisiwicz 2003). Kemungkinan Indonesia juga akan mengalami hal yang sama dengan cadangan minyak hanya cukup untuk memenuhi konsumsi selama 18 tahun mendatang (Prihandana dan Hendroko 2008). Oleh sebab itu penggunaan energi yang berbasis bahan bakar asal fosil perlu dikurangi dengan cara mengoptimalkan penggunaan energi yang terbarukan dan mengurangi subsidi bahan bakar minyak. Upaya ini juga akan menunjang program penanaman pohon nyamplung sebagai penghasil biji nyamplung sehingga tercapainya penanaman lahan kritis dan marjinal.

Proses pembuatan minyak mentah biji nyamplung menjadi biodiesel adalah proses esterifikasi dan trans esterifikasi, proses ini merupakan proses alkoholis yang menggunakan metanol sebagai reaktan. Pada kondisi kadar asam lemak bebas kurang dari 2% maka pemakaian metanol berkisar antara 5% sampai 10% (Sudrajat 2008). Metanol dalam reaksi esterifikasi maupun trans esterifikasi digunakan dalam jumlah berlebih untuk mendapatkan konversi maksimum. Minyak mentah biji nyamplung banyak mengandung gum, fopolipid, dan zat ikutan lain yang menyebabkan proses

pembuatan biodiesel kurang maksimal. Proses ekstraksi biji nyamplung, metode *degumming*, dan konsentrasi metanol yang baik diharapkan mampu menghasilkan biodiesel berbasis biji nyamplung yang lebih maksimal (Hambali *et al.* 2006).

Produksi biodiesel dapat dilakukan melalui reaksi trans esterifikasi minyak nabati dengan metanol ataupun esterifikasi langsung asam lemak hasil minyak nabati dengan metanol. Esterifikasi adalah tahap konversi dari asam lemak bebas menjadi ester, untuk mereaksikan minyak dengan alkohol menggunakan katalis, dan katalis yang cocok untuk proses esterifikasi tersebut adalah zat berkarakter asam kuat, seperti asam sulfat, asam sulfonat organik atau resin penukar kation asam kuat (Soerawidjaja 2006).

Dalam pengolahan biodiesel, pencucian biodiesel kasar sejauh ini dilakukan dengan pencucian menggunakan air dalam jumlah cukup banyak, disamping itu energi juga harus diberikan untuk memanaskan air hingga mencapai suhu 80°C sampai 90°C. Untuk mengurangi pemakaian jumlah energi yang berlebih maka perlu dilakukan alternatif pengolahan biodiesel yang lebih efisien. Salah satu solusi adalah dengan menerapkan pencucian biodiesel kasar hasil pengolahan dengan pencucian tanpa air (pencucian kering). Penelitian ini bertujuan untuk mengolah biji nyamplung menjadi biodiesel dengan cara esterifikasi dan trans esterifikasi, pencucian biodiesel kasar dengan cara kering, dan untuk menganalisis karakteristik atau mutu biodiesel yang dihasilkan.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji nyamplung atau biji hutaulo yang diperoleh dari Kecamatan Kroya, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah. Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian terdiri dari metanol (98%), NaOH, H₂SO₄, *cleaning agent*, dan arang aktif.

Peralatan yang digunakan terdiri dari reaktor trans esterifikasi (*static-mixer*, kapasitas 20 liter), alat *press* (*jackpress* tekanan 20 ton), *blender*, kertas saring Whatman 42 dan seperangkat alat proses biodiesel antara lain corong pisah, gelas piala, gelas ukur, termometer (skala 100°C), corong, statif, labu dasar bulat leher 3, kondensor, neraca analitik, buret, pipet tetes, pompa vakum, dan *Viscometer Ostwald*.

Metode

Penelitian ini dibagi menjadi 4 tahap yaitu pengolahan biji nyamplung menjadi minyak, pembuatan biodiesel kasar (*crude biodiesel*) dengan cara esterifikasi-trans esterifikasi, purifikasi biodiesel dengan cara kering, dan analisis mutu biodiesel (karakterisasi mutu). Pada pengolahan biji nyamplung menjadi minyak, proses yang diterapkan terdiri dari tahap-tahap sortasi, pengeringan, pengepresan, *degumming*, dan netralisasi. Secara garis besar tahapan penelitian dapat dilihat dalam Gambar 1.

Proses esterifikasi dilakukan menggunakan metanol teknis 98% dan katalis H₂SO₄ 1% terhadap berat bahan pada suhu 60°C dengan menggunakan *static mixer*. Proses trans esterifikasi dilakukan dengan mereaksikan antara trigliserida (TG) terhadap metanol (MeOH) dengan molar rasio 11,5 : 1 dengan katalis NaOH 1% berat dan dipanaskan pada suhu 65°C. Pencucian kering biodiesel kasar dilakukan dengan penambahan *cleaning agent* (CA), arang aktif (AA), dan campuran *cleaning agent* dan arang aktif (AACA). Pencucian kering dilakukan dengan mereaksikan biodiesel kasar dengan CA (1%, 3%, dan 5%), AA (1%, 3%, dan 5%), dan AACA (1%, 3%, dan 5%).

Parameter mutu yang diamati untuk produk biodiesel yang dihasilkan adalah parameter utama seperti yang tercantum dalam SNI 04-7182-2006 yang terdiri dari kandungan metil ester (AOCS 1995), viskositas metode Ostwald (ASTM D445 1998), densitas metode piknometer (Ketaren 1986), angka asam lemak

bebas (AOCS 1993), dan gliserol bebas (AOCS *Official Method Ca 14-56* 1995).

HASIL DAN PEMBAHASAN

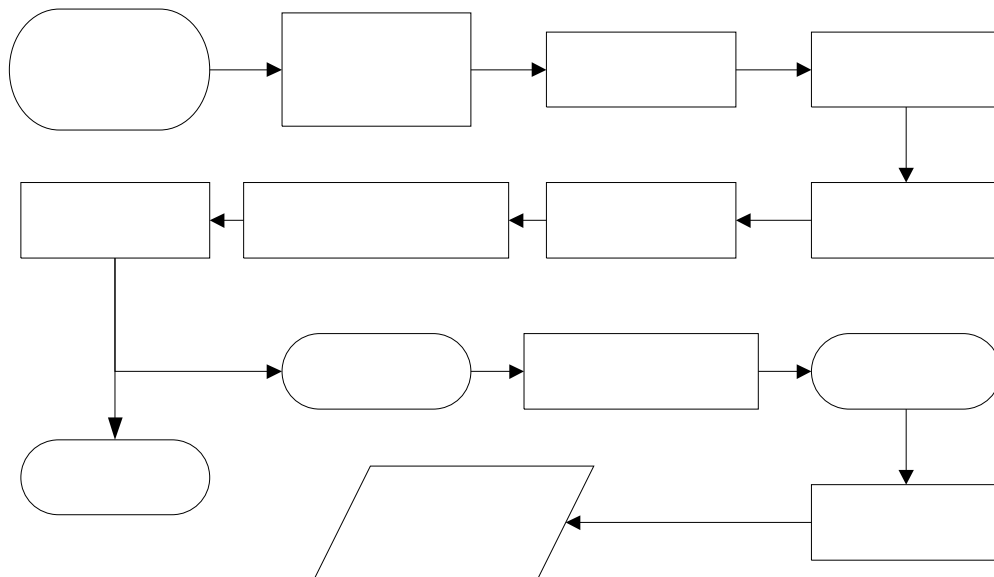
Pengolahan Biji Nyamplung Menjadi Minyak Nyamplung

Pengolahan biji nyamplung menjadi minyak biji nyamplung dilakukan melalui tahapan sortasi yang dilanjutkan dengan pengulitan, pengecilan ukuran (pengirisan), pengeringan di oven, dan pengepresan.

Minyak hasil pengepresan yang diperoleh sebesar 450 ml dari 650 g berat kering nyamplung. Selanjutnya dilakukan proses *degumming*.

Tujuan proses *degumming* adalah untuk memisahkan minyak dari getah atau lendir yang terdiri dari fosfatida, protein, karbohidrat, residu air, dan resin. Proses *degumming* dilakukan pada suhu 80°C dengan penambahan asam fosfat 2% (b/b) dari berat bahan baku, sehingga akan terbentuk senyawa fosfatida yang mudah dipisahkan dari minyak, kemudian dipisahkan antara minyak dan fosfatida.

Selanjutnya minyak yang terbentuk dibiarkan satu malam, endapan yang terjadi dipindahkan, kemudian dicuci dengan air hangat pada suhu 65°C. Setelah proses *degumming*, minyak mengalami perubahan warna dari warna hijau kehitaman menjadi kuning kemerahan. Hal ini disebabkan pigmen warna dominan pada minyak yaitu klorofil mengalami kerusakan selama proses *degumming* sehingga pigmen menjadi berwarna kuning kemerahan.



Gambar 1. Rancangan pembuatan dan purifikasi biodiesel dari biji nyamplung

Rendemen rata-rata minyak setelah *degumming* adalah 97,35% (b/b). Gum (getah dan lendir), yang menyebabkan kekentalan pada minyak nyamplung, hilang saat proses *degumming* sehingga bilangan asam dan viskositas menurun menjadi 30,10% dan 23,92 cST. Untuk kadar air sedikit mengalami peningkatan dari 0,30% menjadi 0,37%, hal ini dapat disebabkan masih terdapat air yang tertinggal setelah proses pencucian.

Pengolahan Minyak Nyamplung Menjadi Biodiesel (Proses Esterifikasi – Esterifikasi – Trans esterifikasi (EET))

Setelah minyak nyamplung dipisahkan getahnya, selanjutnya dianalisis kadar asam lemak bebasnya (FFA). Karena kadar FFA minyak nyamplung lebih besar dari 20%, maka proses pengolahan minyak nyamplung menjadi biodiesel melalui proses EET (Esterifikasi – Esterifikasi – Trans esterifikasi) agar kadar FFA serendah mungkin. Hasil pengukuran kadar FFA minyak dari biji yang diproses dengan pengeringan oven adalah 28,87%, sehingga perlu dilakukan proses EET.

Proses esterifikasi dilakukan dengan menambahkan metanol teknis 98% dan menggunakan katalis H_2SO_4 1% terhadap berat bahan, dipanaskan pada suhu 60°C dengan menggunakan *static mixer*. Setiap 2 jam diambil sampel sebanyak 5 ml, kemudian dicuci dengan air panas suhu 60°C, serta dianalisis FFAnyanya. Bila FFA masih lebih besar dari 5, maka pemanasan dilanjutkan kembali hingga FFA mengalami penurunan. Setelah 8 jam FFA masih di atas 5, maka dilanjutkan esterifikasi yang kedua hingga $FFA < 5\%$ untuk selanjutnya dilakukan proses trans esterifikasi dengan NaOH 1%. Hasil proses EET berupa biodiesel (fase atas) dan gliserol (fase bawah). Hasil analisis FFA biodiesel yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Purifikasi dengan Pencucian Kering

Proses pencucian dengan air dibutuhkan energi yang cukup besar dan total kebutuhan air untuk pencucian biodiesel 1 Liter adalah 15 Liter. Pada pencucian ini, kebutuhan energi panas yang disuplai oleh *heater* ternyata sebanding dari tahapan reaksi esterifikasi-trans esterifikasi dan pengeringan. Kalor pada tahap pencucian digunakan untuk menaikkan suhu air pencuci hingga 80°C.

Pencucian dilakukan sebanyak 6 kali dengan setiap kali pencucian dibutuhkan 2,5 liter air, sehingga total air yang dibutuhkan untuk pencucian adalah 15 liter. Waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu air dari suhu

Tabel 1. Hasil analisis asam lemak bebas (FFA)

No	Perlakuan	Kadar FFA
1	<i>Degumming</i>	
	1 jam	33,04
2	Esterifikasi 1	
	2 jam	10,53
	4 jam	8,55
	6 jam	8,32
	8 jam	7,72
3	Esterifikasi 2	
	1 jam	6,90
	3 jam	6,67
	5 jam	5,97
	7 jam	5,55
4	Esterifikasi 3	
	2,5 jam	5,85
	4 jam	4,50

kamar menjadi suhu 80°C adalah 30 menit / 2,5 Liter air. Sehingga waktu total untuk memanaskan air yang digunakan untuk 6 kali pencucian adalah 3 jam. Ditambah lagi dengan energi biologis yang disuplai dari seorang operator yang bekerja selama 3 jam untuk pencucian ini.

Di dalam penelitian ini pencucian biodiesel kasar tidak lagi digunakan air akan tetapi biodiesel kasar dicampur dengan *cleaning agent* (CA), arang aktif (AA), dan campuran *cleaning agent* dan arang aktif (AACA) dilanjutkan dengan penyaringan sehingga pencucian kering menghemat waktu proses.

Analisis Mutu Biodiesel

Parameter mutu yang diamati untuk produk biodiesel yang dihasilkan adalah parameter utama seperti yang tercantum dalam SNI 04-7182-2006 yang terdiri viskositas, massa jenis, kandungan metil ester, gliserol bebas dan gliserol total.

Viskositas

Karakteristik viskositas biodiesel setelah pencucian kering tampak seperti dalam Gambar 2. Nilai viskositas kinematika merupakan pengukuran terhadap gaya gesek atau hambatan dari laju alir suatu cairan pada suhu tertentu. Viskositas biodiesel pada suhu 40°C dalam persyaratan SNI 04-7182-2006 adalah 2,3 cSt sampai 6,0 cSt. Hasil analisis pencucian kering menggunakan CA, AA, dan AACA dengan konsentrasi 1%, 3%, 5% dapat dilihat pada Gambar 2.

Hasil analisis pencucian kering dengan berbagai bahan kimia menunjukkan bahwa untuk CA 1% (8,10 cSt), CA 3% (6,06 cSt), AA 1% (8,54 cSt), AA 3% (10,59 cSt), dan AACA 5% (6,278 cSt) menunjukkan nilai > 6 melebihi

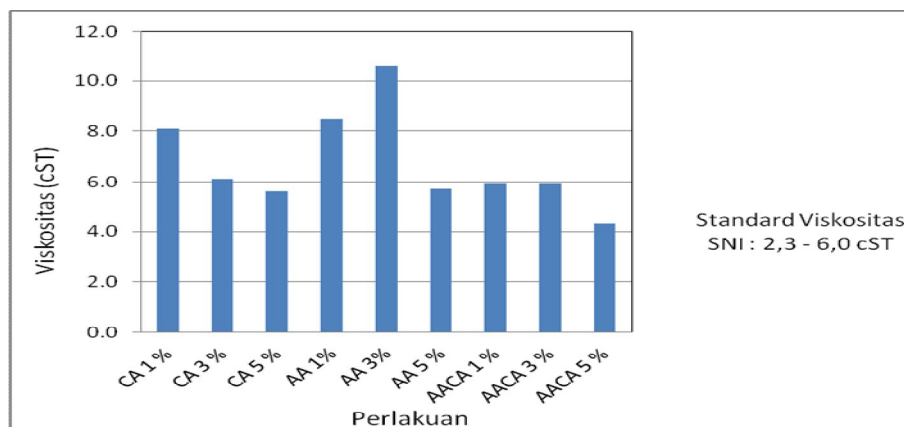
standar yaitu 2,3 cSt sampai 6 cSt, hasil tersebut tidak memenuhi standar SNI 04-7182-2006, hal ini kemungkinan disebabkan belum terkonsersinya trigliserida menjadi asam lemak metil ester, dan mungkin juga masih ada digliserida dan monogliserida. Sedang viskositas yang memenuhi persyaratan SNI adalah proses pencucian kering yang menggunakan *cleaning agent* 5% menunjukkan nilai sebesar 5,62 cSt, menggunakan arang aktif menunjukkan nilai sebesar 5,76 cSt sedangkan pencucian kering menggunakan campuran *cleaning agent* dan arang aktif AACA 1% adalah 5,99 cSt, AACA 3% adalah 5,91 cSt, AACA 5% adalah 4,28 cSt.

Viskositas biodiesel dipengaruhi oleh kandungan trigliserida yang tidak ikut bereaksi dan komposisi asam lemak penyusunnya. Viskositas yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi akan mengurangi daya pembakaran dan dapat menyebabkan konsumsi bahan bakar

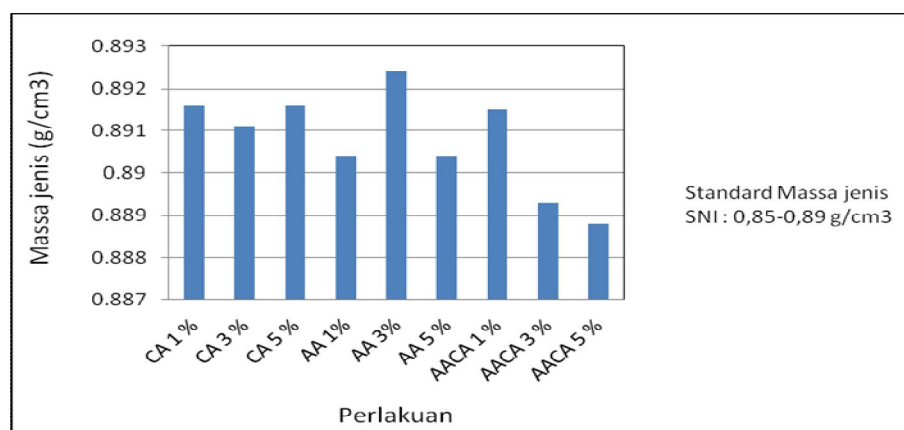
meningkat. Viskositas berpengaruh terhadap efektifitas metil ester sebagai bahan bakar.

Massa Jenis Biodiesel

Massa jenis biodiesel dalam persyaratan SNI 04-7182-2006 adalah 0,85 g/cm³ sampai 0,89 g/cm³. Hasil analisis pencucian kering menggunakan CA menunjukkan nilai antara 0,8912 g/cm³ sampai 0,8916 g/cm³ tidak memenuhi persyaratan SNI, pencucian kering menggunakan AA menunjukkan nilai antara 0,8904 g/cm³ sampai 0,8924 g/cm³ juga belum memenuhi persyaratan SNI. Sedang pencucian kering menggunakan campuran arang aktif dan *cleaning agent* yang memenuhi persyaratan adalah AACA 3% menunjukkan nilai 0,8892 g/cm³ dan AACA 5% menunjukkan nilai 0,8888 g/cm³. Pada Gambar 3 dapat dilihat massa jenis biodiesel nyamplung hasil percobaan.



Gambar 2. Viskositas biodiesel hasil pencucian kering



Gambar 3. Grafik rerata massa jenis biodiesel nyamplung

Perbedaan massa jenis biodiesel berkaitan dengan komposisi asam lemak dan tingkat kemurnian biodiesel (Mittelbach dan Remschmidt 2004) yang menunjukkan reaksi trans esterifikasi belum sempurna dan masih banyak mengandung trigliserida yang tidak ikut bereaksi. Peningkatan massa jenis juga menunjukkan penurunan rantai karbon dan peningkatan ikatan rangkap. Massa jenis biodiesel biasanya lebih besar dari petrodiesel. Hal ini disebabkan bobot molekul metil ester lebih besar dari petrodiesel. Menurut Prihandana (2006) massa jenis berhubungan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel persatuan volume bahan bakar. Massa jenis bahan bakar motor diesel dapat menunjukkan sifat serta kinerja seperti kualitas penyalaan, daya, konsumsi, sifat-sifat pada suhu rendah, dan pembentukan asap.

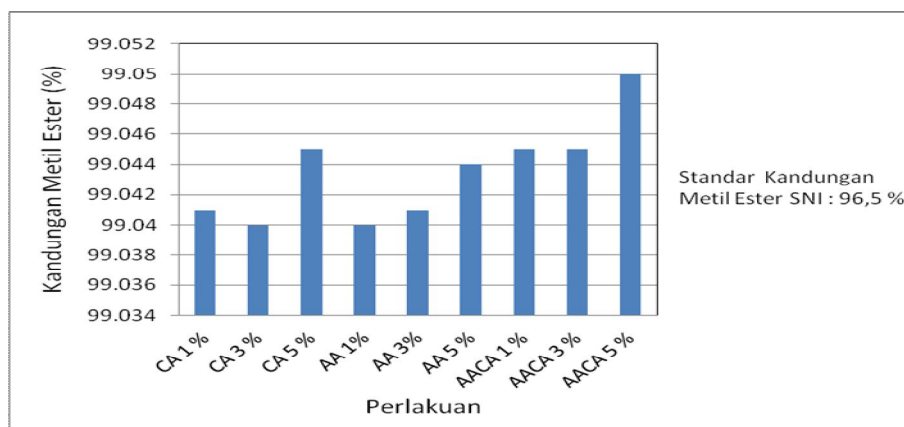
Metil Ester

Kadar metil ester (*FAME* atau *fatty acid methyl ester*) menunjukkan jumlah ester murni dalam biodiesel ester alkil. Gambar 4

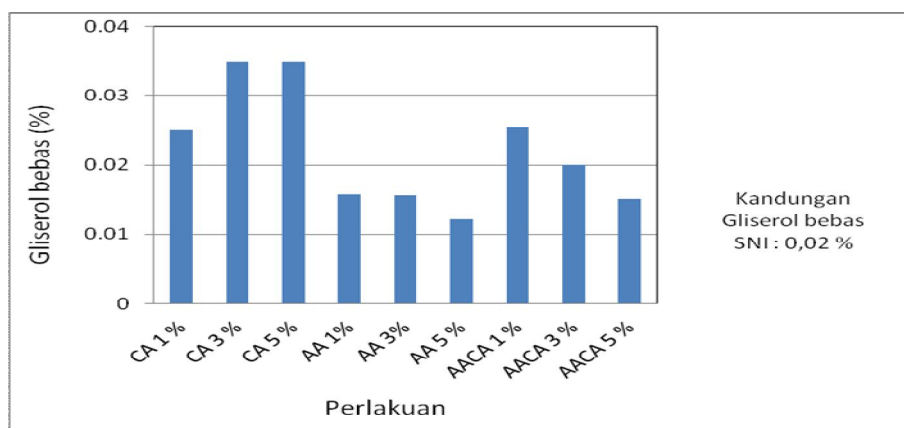
menunjukkan nilai kadar ester yang diamati pada biodiesel dengan menggunakan CA, AA, dan AACA dengan konsentrasi yang berbeda-beda. Hasil penelitian menunjukkan nilai kadar metil ester yang dihasilkan memenuhi SNI biodiesel yaitu lebih besar dari 96,5%. Hal ini menunjukkan bahwa trigliserida minyak nyamplung berhasil dikonversi menjadi biodiesel.

Gliserol Bebas dan Gliserol Total

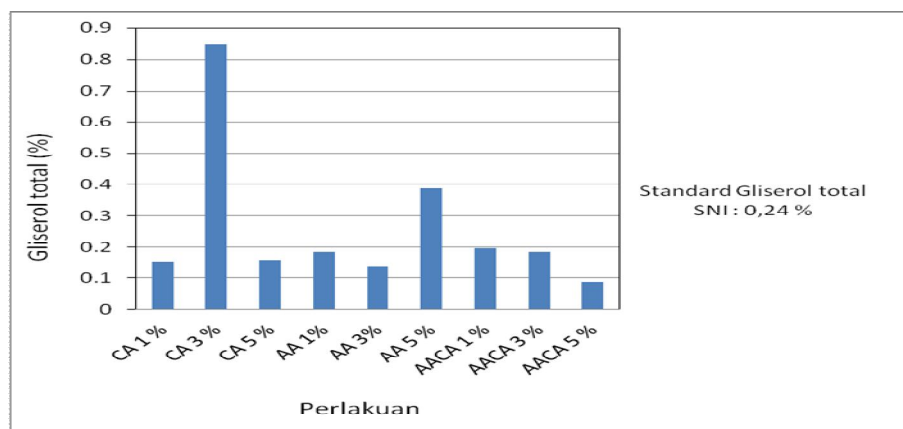
Gliserol bebas biodiesel dalam persyaratan SNI 04-7182-2006 adalah maksimum 0,02%. Hasil analisis pencucian kering menggunakan CA menunjukkan nilai antara 0,03562% sampai 0,03565%. Pencucian AA 1%, 2%, dan 3% rata-rata menunjukkan nilai 0,011% sampai 0,118% memenuhi persyaratan SNI. Sedangkan pencucian kering menggunakan AACA 3% dan 5% antara 0,019614 sampai 0,01535 memenuhi persyaratan SNI. Pada Gambar 5 dan Gambar 6 disajikan hasil analisis gliserol bebas dan gliserol total untuk seluruh perlakuan.



Gambar 4. Grafik rerata metil ester biodiesel nyamplung



Gambar 5. Grafik rerata gliserol bebas biodiesel nyamplung



Gambar 6. Grafik rerata gliserol total biodiesel nyamplung

Gliserol total biodiesel dalam persyaratan SNI 04-7182-2006 adalah maksimum 0,24%. Hasil penelitian yang menunjukkan nilai tertinggi dan tidak memenuhi persyaratan SNI yaitu menggunakan AA 5%, hal ini mungkin proses trans esterifikasi berlangsung tidak sempurna, sedangkan untuk proses lainnya nilai gliserol total memenuhi persyaratan karena berada di bawah standar SNI yaitu antara 0,02% sampai 0,1982%.

KESIMPULAN

Pencucian biodiesel kasar dengan cara kering melalui penambahan *cleaning agent* (CA), arang aktif (AA), dan campuran *cleaning agent* dan arang aktif (AACA) dan penyaringan mampu menggantikan pencucian dengan air. Sifat fisika kimia biodiesel nyamplung hasil purifikasi tanpa air hampir seluruhnya memenuhi persyaratan SNI 04-7182-2006. Kadar metil ester rata-rata lebih besar dari 99% menunjukkan bahwa proses trans esterifikasi memenuhi persyaratan SNI. Untuk viskositas ada beberapa perlakuan yang tidak memenuhi persyaratan SNI (2 cps sampai 6 cps).

Kadar gliserol bebas biodiesel dengan pencucian kering pada perlakuan AACA 2% dengan kadar gliserol 0,019% dan perlakuan AACA 3% dengan kadar gliserol 0,015% memenuhi standard SNI 04-7182-2006 dengan nilai maksimum 0,02%. Hampir seluruh hasil percobaan menghasilkan kadar gliserol total antara 0,02% sampai 0,1982% dan memenuhi standard gliserol total SNI 04-7182-2006 dengan nilai maksimum 0,24%.

DAFTAR PUSTAKA

AOCS (American Oil Chemist' Society). 1993. *Official method and recommended*

practices of the American oil chemist society. Washington : AOCS Press.

AOCS (American Oil Chemist Society). 1995. *Official method and recommended practices of the American oil chemist society*. 4th ed AM. Champangen USA : Oil Chemist Society.

ASTM (American Standard Technical Material). 1998. Standard test method of petroleum products. In : *Annual book of ASTM standards*. ASTM Philadelphia 5,1:p. 76-79,845-847.

ASTM (American Standard Technical Material). 2005. *Standard test method for density, relative density (specipic gravity), or Api gravity of crude petroleum and liquid petroleum products by hydrometer methods ASTM Philadelphia*.

BSN (Badan Standardisasi Nasional). 1998. *Cara uji minyak dan lemak*. Jakarta : Standar Nasional Indonesia (SNI) 04-7182-2006 BSN.

Dweek, A.C. dan Meadows T. 2002. *Tanamu (Calophyllum inophyllum) the Africa, Asia Polynesia and Pasific Panacea*. *International J. Cos. Sci.* 24:1-8

Friday, J.B. dan Okano D. 2006. Species profiles for pasific island agroforestry callophyllum inophyllum. www.tradutionaltree.org. (accessed Desember 10, 2008)

Hambali, E., Suryani A., Dadang, Hariyadi, Hanafie H., Reksowardjojo I.K., Rivai M., Ihsanur M., Suryadarma P., Prawitasari T., Prakoso T. dan Purnama W. 2006. *Jarak pagar tanaman penghasil biodiesel*. Jakarta : Penebar Swadaya : Hal 132

Heyne, K. 1987. *Tumbuhan berguna Indonesia*. Jilid ke-2. Terjemahan Badan Penelitian dan Pengembangan Hasil

- hutan. Departemen Kehutanan Jakarta.
- Ketaren, S. 1986. *Pengantar teknologi minyak dan lemak pangan*. Jakarta : Universitas Indonesia Press.
- Mulyadi, A.H., Syafila, M., Setiadi, T., dan Esmiralda. 2007. Kajian biodegradasi limbah cair industri biodiesel pada kondisi anaerob dan Aerob". *PROC ITB Sains dan Tek* 39(A): 165-178.
- PERPRES No. 5. 2006. Kebijakan energi nasional (target Pemerintah bidang konversi energi melalui pemanfaatan sumber energi alternatif)
- Prihandana, R., Hendroko R. dan Nuramin M. 2006. *Menghasilkan biodiesel murah, mengatasi polusi dan kelangkaan BBM*. Jakarta : Agromedia Pustaka.
- Prihandana, R. dan Hendroko, R. 2008. *Energi hijau, pilihan bijak menuju negeri mandiri energi*. Jakarta : Penebar Swadaya.
- Soerawidjaya, T. H. 2002. *Perbandingan bahan bakar cair alternatif pengganti solar*. Makalah disajikan pada Pertemuan Forum Biodisel Indonesia ke-7. BPPT. Jakarta.
- Soerawidjaya, T.H. 2006. Fondasi-fondasi ilmiah dan keteknikan dari teknologi pembuatan biodiesel. Dalam : *Handout seminar nasional biodiesel sebagai energi alternatif masa depan*, Yogyakarta.
- Sudrajat, H. R. 2008. *Memproduksi biodiesel jarak pagar*. Jakarta : Penebar Swadaya : Hal.107.