

UJI KARAKTERISTIK BODIESEL DARI MINYAK BIJI NYAMPLUNG DENGAN PROSES ESTERIFIKASI-TRANSESTERIFIKASI DENGAN KATALIS KOH

Rudi Hartono¹, Jayanudin², Diki suhendar³, Adi Winata⁴

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

¹ rudiplcclg@yahoo.com

² jaya_hisyam@yahoo.com

ABSTRAK

Sumber energi minyak dan gas bumi tidak dapat diperbaharui kembali, persediaanya semakin menipis dan pengembangan produksinya terbatas, sebelum krisis minyak bumi terjadi, hendaknya harus ada bahan bakar alternatif yang dapat dikembangkan dan dimanfaatkan, salah satunya adalah minyak nyamplung. Kendala penggunaan minyak nyamplung yaitu bilangan asam dan viskositas yang cukup tinggi. Bilangan asam minyak nyamplung yang tinggi harus diturunkan agar biodiesel yang dihasilkan memenuhi standar mutu SNI maupun ASTM. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan perbandingan rasio molar metanol dengan minyak dan jumlah katalis KOH terbaik untuk memperoleh biodiesel yang berkualitas (bilangan asam, kadar FFA, viskositas, densitas serta kadar air). Penelitian ini dilakukan dengan mengkombinasikan proses produksi biodiesel yaitu metode esterifikasi-transesterifikasi. Kondisi operasi dan variabel yang digunakan adalah pada suhu reaksi 60°C dengan katalis KOH 1%, 1,5% dan 3% serta perbandingan rasio mol minyak terhadap metanol yaitu 1:4 dan 1:5 selama 60 menit pada tahap transesterifikasi. Perlakuan terbaik yang memenuhi standar SNI adalah pada rasio molar methanol 5:1 katalis KOH 1,5% dengan bilangan asam 1.48 mg KOH/g sampel, viskositas 3,26 cSt, densitas yaitu 0,8365 gr/ml, kadar air 0.046% dan rendemen 62% (v/v).

Kata kunci : Biodiesel, minyak biji nyamplung, reaksi esterifikasi, reaksi transesterifikasi

ABSTRACT

Energy sources of oil and gas can not be updated again, dwindling supplies and limited production development, prior to the oil crises, should have no alternative fuel that can be developed and utilized, one of which is oil nyamplung. Constraints nyamplung oil use acid number and viscosity is high enough. Numbers nyamplung high acid oil must be lowered so that biodiesel produced meets the quality standards of ISO and ASTM. The purpose of this study was to obtain a molar ratio of methanol to oil and the amount of KOH catalyst for obtaining biodiesel quality (acid number, FFA content, viscosity, density and water content). The research was carried out by combining the production process of biodiesel is esterification-transesterification method. Operating conditions and variables used are the reaction temperature of 60 ° C with KOH catalyst 1%, 1.5% and 3% and the ratio of oil to methanol mole ratio is 1:4 and 1:5 for 60 minutes at this stage of transesterification. The best treatment that meets the ISO standard is the molar ratio of 5:1 methanol 1.5% KOH catalyst with 1.48 acid number mg KOH / g sample, 3.26 cSt viscosity, density is 0.8365 g / ml, 0.046% moisture content and yield 62% (v / v).

Keywords : Biodiesel, nyamplung oil, Esterifikasi, Transesterifikasi.

1.PENDAHULUAN

Minyak tumbuhan (nabati) dan lemak hewan sebagai sumber energi alternatif dapat diolah menjadi biodiesel. Biodiesel merupakan senyawa metil ester hasil reaksi transesterifikasi trigliserida yang berasal dari minyak nabati atau lemak hewan. Kelebihan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif pengganti solar diantaranya adalah angka setana tinggi, ramah lingkungan karena mengandung sedikit gas SO_x, daya lumas yang baik, emisi gas buang sedikit dan karakter pembakaran yang relatif bersih.

Pengolahan biodiesel dari bahan baku terbarukan (*renewable*) telah banyak dilakukan di berbagai negara diantaranya negara-negara Eropa menggunakan *rapeseed*, Amerika Serikat menggunakan kedelai, minyak kelapa (*coconut oil*) di Filipina dan Malaysia menggunakan CPO (*Crude Palm Oil*), sedangkan Indonesia menggunakan CPO dan minyak jarak (*Jatropha*) (Mittelbach, 2001). Potensi pengembangan biodiesel di Indonesia cukup besar, karena selain CPO masih ada 30 spesies tanaman yang dapat dijadikan bahan baku, diantaranya jarak, nyamplung, kesambi, kemiri, karet, kapuk dan saga hutan. Biodiesel menjadi penting di Indonesia karena sejak tahun 2005, Indonesia telah berubah statusnya dari eksportir menjadi *net importer* (Sudrajat, 2006).

Permasalahan utama produksi biodiesel secara komersil adalah harga bahan baku yang mahal. Penggunaan *edible oils* sebagai bahan baku mempengaruhi 60%-70% harga biodiesel. Inovasi penggunaan *nonedible* dan *low-grade oil* direkomendasikan sebagai bahan baku agar dapat dihasilkan biodiesel dengan harga yang relatif murah. Kendala lain yang dihadapi untuk memproduksi biodiesel skala industri adalah ketersediaan bahan baku. Penggunaan jarak sebagai bahan baku biodiesel terkendala oleh produksi yang rendah. Produksi biji jarak rata-rata pada tahun ke-5 sebesar 5 ton/ha/tahun (BPPH, 2008). Produksi kelapa sawit mencapai 6 ton/ha/tahun, menghasilkan minyak sebesar 5.950 liter/ha/tahun, tetapi penggunaan minyak sawit berkompetisi dengan industri pangan dan oleokimia lain. Permasalahan tersebut mendorong pencarian bahan alternatif lain.

Tanaman nyamplung merupakan salah satu bahan baku alternatif biodiesel yang mempunyai potensi cukup besar, produksi biji nyamplung per tahun mencapai 20 ton/ha. Kandungan minyak relatif tinggi yaitu antara 40-73 %, dibandingkan sawit 46-54 %, jarak pagar 40-60%, saga hutan 14-28%, kapuk 24-40%, kesumba 30-40% dan kelor 39- 40%. Satu liter minyak nyamplung dapat dihasilkan dari 2,5 kg biji, sedangkan jarak membutuhkan 4 kg untuk menghasilkan satu liter minyak (Dedeh, 2009). Penelitian ini perlu diadakan untuk mengoptimalkan pengadaan sumber energi alternatif yang ramah terhadap lingkungan dari sumber daya alam lokal (Anyer, Kab. Serang, Provinsi Banten) yang melimpah yang belum dimanfaatkan secara optimal sehingga dapat memenuhi kebutuhan. Bahan baku biodiesel dari biji nyamplung mengandung kadar asam lemak bebas yang tinggi lebih dari 5%, maka perlu dilakukan proses esterifikasi dengan katalis senyawa asam hingga menurunkan kadar asam lemak bebas hingga mencapai kurang dari 5%. Tahap selanjutnya adalah proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi penunjang dalam pemanfaatan biji nyamplung sebagai bahan bakar alternatif biodiesel.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Minyak Nyamplung

Minyak nyamplung berwarna coklat kehijauan, kental, beraroma menyengat seperti karamel. Petani di Kebumen dan Cilacap Jawa Tengah, minyak nyamplung digunakan untuk pelapis genting, bahan bantu pembuatan batik dan pelapis jenazah. Sedangkan di Jawa Barat, TNI AD memanfaatkan minyak nyamplung untuk bahan bakar kapal laut. Minyak nyamplung mempunyai kandungan asam lemak tidak jenuh yang cukup tinggi seperti asam oleat serta komponen-komponen tak tersabunkan diantaranya alkohol lemak, sterol, xanton, turunan kuomarin, kalofilat, isokalofilat, isoptalat, kapelierat, asam pseudobrasilat dan penyusun triterpenoat sebanyak 0,5-2% yang dapat dimanfaatkan sebagai obat. Menurut Debaut dkk (2005) asam lemak penyusun minyak nyamplung dapat dilihat pada tabel 1.

2.3 Minyak Nabati

Biodiesel dapat di buat dari minyak nabati maupun hewani, namun yang paling umum digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel adalah minyak nabati. Minyak nabati dan biodiesel tergolong dalam kelas besar senyawa-senyawa organik yang sama, yaitu kelas ester asam-asam lemak. Minyak nabati adalah trimester asam-asam lemak dengan gliserol atau trigliserida , sedangkan biodiesel adalah monoester asam-asam lemak dengan methanol.

Tabel 1. Komposisi Asam Lemak Minyak Nyamplung

Asam Lemak	Komposisi
Asam Palmitoleat (C16:1)	0,5 – 1 %
Asam Palmitat (C16)	15 – 17 %
Asam Oleat (C18:1)	30 – 50 %
Asam Linoleat (C18:0)	25 – 40 %
Asam Stearat (C18:0)	8 – 16 %
Asam Arachidat (C20)	0,5 – 1 %
Asam Gadoleat (C19:1)	0,5 – 1 %

Sumber : Debaut dkk (2005)

Perbedaan wujud molekuler ini memiliki beberapa konsekuensi penting dalam penilaian keduanya sebagai kandidat bahan bakar mesin diesel :

1. Minyak nabati (yaitu trigliserida) berberat molekul besar, jauh lebih besar dari biodiesel (yaitu ester metil). Akibatnya , trigliserida relative mudah mengalami perengkahan (cracking) menjadi aneka molekul kecil, jika terpanaskan tanpa kontak dengan udara (oksigen).
2. Minyak nabati mempunyai kekentalan (viskositas) yang jauh lebih besar dari minyak diesel atau solar maupun biodiesel, sehingga pompa penginjeksi bahan bakar di dalam mesin diesel tak mamapu menghasilkan pengkabutan (atomization) yang baik ketika minyak nabati di semprotkan ke dalam kamar pembakaran.
3. Molekul minyak nabati relative lebih bercabang dibanding ester-metil asam-asam lemak. Akibatnya, angka setana minyak nabati lebih rendah dari pada angka setana ester metil.
4. Angka setana adalah tolak ukur kemudahan menyala atau terbakar dari suatu bahan bakar di dalam suatu mesin diesel.

2.4 Proses Pembuatan Biodiesel

2.4.1 Esterifikasi

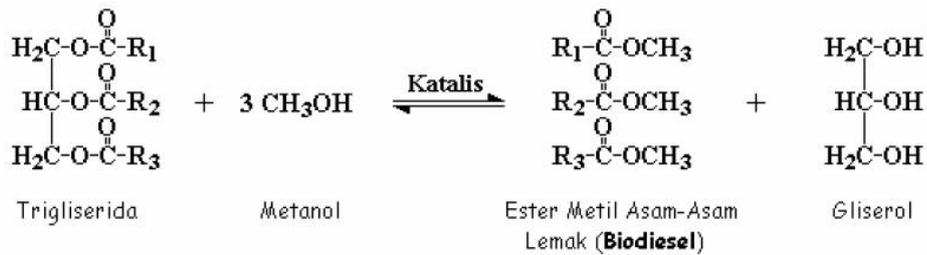
Esterifikasi adalah tahap konversi dari asam lemak bebas menjadi ester. Esterifikasi mereaksikan minyak lemak dengan alkohol. Katalis-katalis yang cocok adalah zat berkarakter asam kuat. Asam sulfat, Asam sulfonat organik atau resin penukar kation asam kuat merupakan contoh katalis yang biasa terpilih dalam praktek industrial (Soerawidjaja, 2006). Untuk mendorong agar reaksi bisa berlangsung ke konversi yang sempurna pada temperatur rendah (misalnya paling tinggi 120°C), reaktan methanol harus ditambahkan dalam jumlah yang sangat berlebih (biasanya lebih besar dari 10 kali nisbah stoikiometri) dan air produk yang ikut ke dalam reaksi harus disingkirkan dari fasa reaksi, yaitu fasa minyak. Melalui kombinasi-kombinasi yang tepat dari kondisi-kondisi reaksi dan metode penyingkiran air, konversi sempurna asam-asam lemak ke ester metilnya dapat dituntaskan dalam waktu 1 sampai beberapa jam. Reaksi esterifikasi dapat dilihat pada reaksi di bawah ini.



Esterifikasi biasa dilakukan untuk membuat biodiesel dari minyak berkadar asam lemak bebas tinggi (berangka-asam $\geq 5\text{mg-KOH/g}$). Pada tahap ini, asam lemak bebas akan dikonversikan menjadi metil ester. Tahap esterifikasi biasa diikuti dengan tahap transesterifikasi. Namun sebelum produk esterifikasi diumpankan ke tahap transesterifikasi, air dan bagian terbesar katalis asam yang dikandungkan harus disingkirkan terlebih dahulu.

2.4.2 Transesterifikasi

Transesterifikasi (biasa disebut dengan alkoholisis) adalah tahap konversi dari trigliserida (minyak nabati) menjadi alkyl ester, melalui reaksi dengan alkohol dan menghasilkan produk samping yaitu gliserol. Di antara alkohol-alkohol monohidrik yang menjadi kandidat sumber atau pemasok gugus alkil, methanol adalah yang paling utama digunakan, karena harganya murah dan reaktivitasnya paling tinggi (sehingga reaksi disebut metanolisis). Jadi, di sebagian besar dunia ini, biodiesel praktis identik dengan ester metil asam-asam lemak (Fatty Acidc Metil Ester, FAME). Reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaksi transesterifikasi dari trigliserida menjadi metil ester

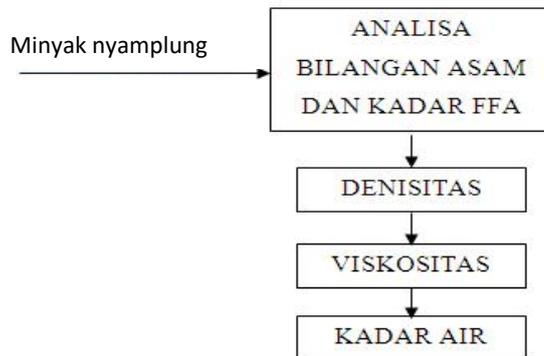
Transesterifikasi juga menggunakan katalis dalam reaksinya. Tahap adanya katalis, konversi yang dihasilkan maksimum namun reaksi berjalan dengan lambat (Mittlebbatch, 2004). Katalis yang biasa digunakan pada reaksi transesterifikasi adalah katalis basa, karena katalis ini dapat mempercepat reaksi. Produk yang diinginkan dari reaksi transesterifikasi adalah metil ester asam-asam lemak. Terdapat beberapa cara agar kesetimbangan lebih ke arah produk, yaitu :

- Menambahkan methanol berlebih ke dalam reaksi
- Memisahkan gliserol
- Menurunkan temperatur reaksi (transesterifikasi merupakan reaksi eksoterm)

3. METODE PENELITIAN

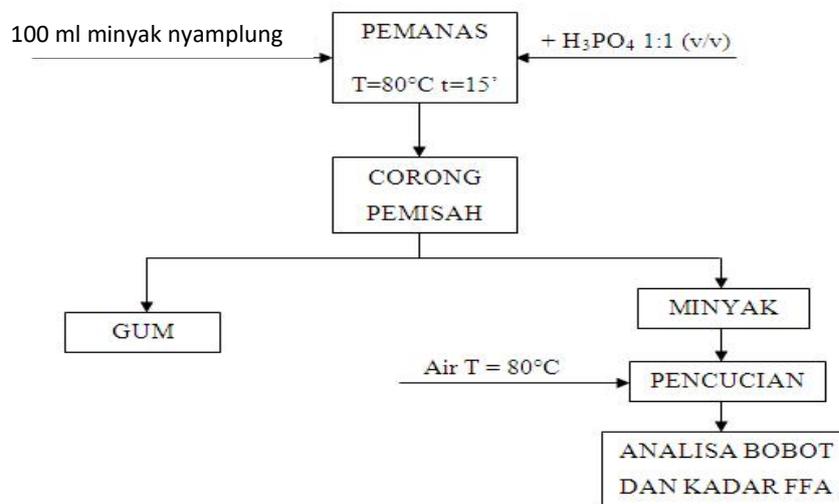
Penelitian ini akan dilakukan dengan cara percobaan di Laboratorium Kimia Organik Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Variasi yang digunakan adalah perubahan perbandingan rasio molar metanol dengan minyak dan pengaruh katalis KOH pada proses transesterifikasi, tahapan percobaan mulai dari persiapan bahan, percobaan utama hingga analisa hasil yang diperoleh dapat dilihat pada diagram alir tahapan percobaan di bawah ini :

- Karakteristik Minyak Nyamplung



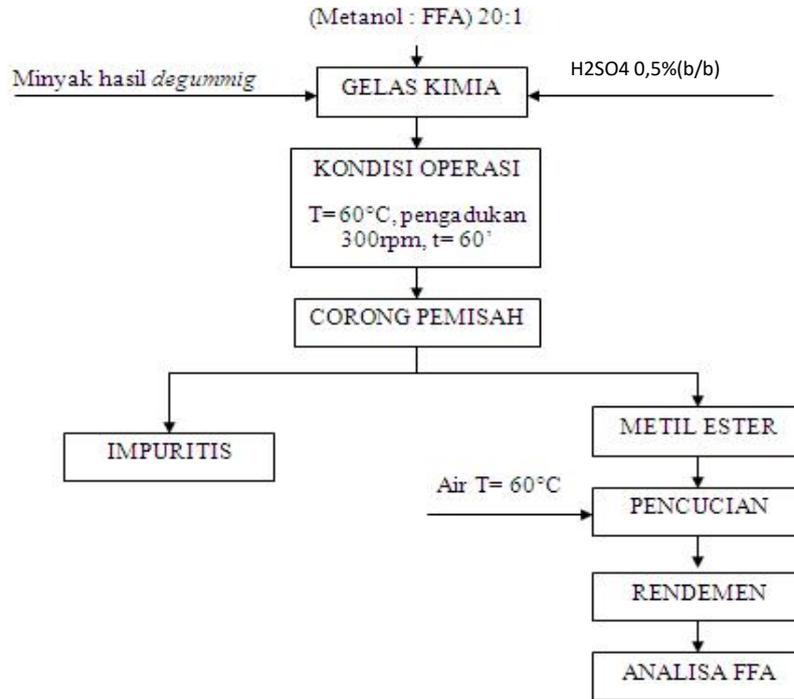
Gambar 2. Diagram Alir Karakteristik Minyak Nyamplung

- Degumming



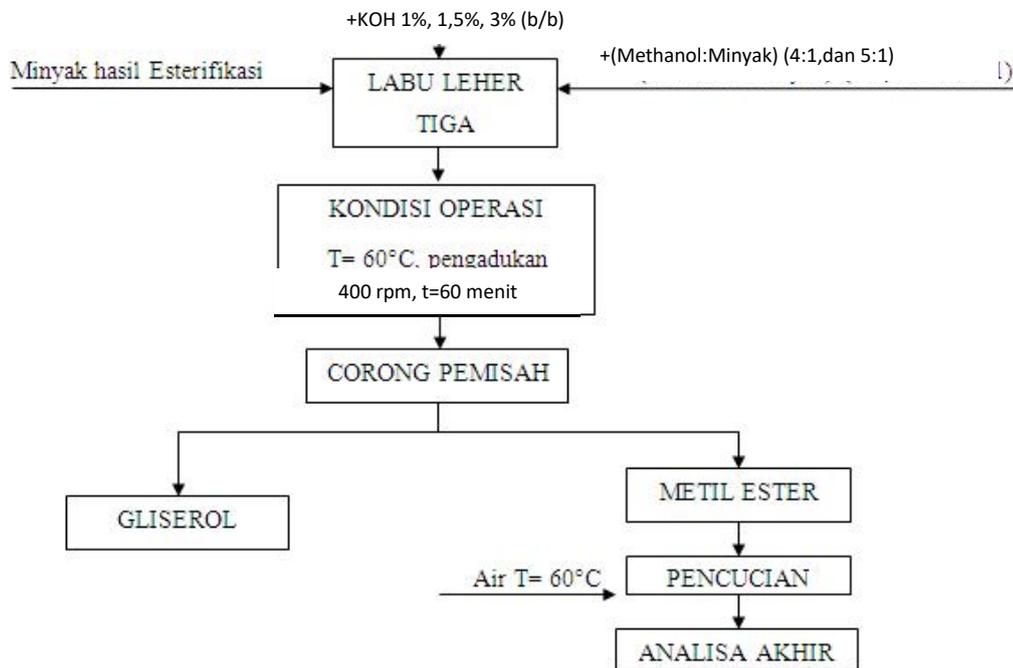
Gambar 3. Diagram Alir proses degumming

c. Esterifikasi



Gambar 4. Diagram alir tahap esterifikasi

d. Transesterifikasi



Gambar 5. Diagram alir tahap transesterifikasi

3.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Labu leher tiga, Erlenmeyer, Gelas piala, Neraca analitik, Pipet volumetric, Buret, Gelas Ukur, *Magnetic stirrer*, Kondensor tegak, Penangas air, Kertas saring, Thermometer, Piknometer, Viskometer Ostwald, Cawan alumunium, Oven dan Desikator.

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak nyamplung yang diperoleh dari daerah Anyer – Banten, Metanol teknis, Etanol 95%, HCl, Natrium thiosulfat, Asam oksalat, CH₃COOH, NaOH, KOH 0,1 N, Indicator PP dan Aquadest.

3.2 Prosedur kerja

3.2.1 Preparasi Bahan

a. Karakteristik Minyak Nyamplung

Karakteristik yang dilakukan pada minyak nyamplung diantaranya adalah bilangan asam dan kadar asam lemak bebas (SNI-01-3555-1998), kadar air (SNI-01-2891-1992), viskositas metode Ostwald (ASTM 445) dan densitas metode piknometer (AOAC, 1995). Metode analisis selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1.

b. *Degumming*

100 ml minyak nyamplung dipanaskan pada suhu 80°C sambil terus diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 15 menit. Kemudian ditambahkan H₃PO₄ teknis sebanyak 1:1 v/v sambil terus diaduk selama 15 menit sampai warna merah. *Gum* yang terbentuk dipisahkan menggunakan corong pemisah dan minyak dicuci dengan air 60°C sambil dikocok. Minyak yang telah dicuci dihitung bobot dan dianalisis FFA (*Free Fatty Acid*).

3.2. 2. Percobaan

a. Esterifikasi

Minyak hasil *degumming* direaksikan dengan metanol, rasio molar metanol dengan FFA yang digunakan yaitu 20:1 menggunakan katalis H₂SO₄ pekat 37% sebanyak 0,5% minyak (b/b) pada suhu 60°C, pengadukan 300 rpm selama 60 menit. Lapisan yang terbentuk dipisahkan pada corong pemisah selama 2 jam, lapisan atas yang merupakan sisa metanol yang tidak bereaksi dan air, lapisan bawah merupakan metil ester yang kemudian dicuci dengan air yang mengandung NaHCO₃ 0,01% untuk mengikat H₂SO₄ berlebih yang dapat mengganggu analisis bilangan asam. Hasil pencucian akan membentuk garam NaCl dan dicuci kembali dengan air hangat 60°C sampai air cucian netral. Metil ester dihitung bobot dan dianalisa FFA (*Free Fatty Acid*). Metil ester ini yang selanjutnya akan dilakukan kombinasi proses untuk menghasilkan metil ester dengan bilangan asam yang lebih rendah, yaitu transesterifikasi.

b. Transesterifikasi

Minyak hasil esterifikasi direaksikan dengan metanol, rasio molar metanol dan minyak adalah 4:1 dan 5:1, katalis KOH 1%, 1,5% dan 3% b/b pada suhu 60°C, pengadukan 400 rpm selama 60 menit. Hasil reaksi dipisahkan pada corong pemisah selama 24 jam. Lapisan bawah merupakan gliserol dan lapisan atas adalah metil ester. Metil ester yang terbentuk dicuci dengan air yang mengandung asam asetat (CH₃COOH) 0,01% untuk mengikat KOH berlebih, kemudian larutan dicuci dengan air hangat 60°C. Pengeringan metil ester dilakukan dengan cara dipanaskan pada suhu 110-120 °C selama 5 menit. Setelah itu metil ester dihitung bobot dan dianalisa FFA, bilangan asam, viskositas, densitas dan kadar air

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dibagi menjadi 3 tahap. Tahap pertama adalah *pretreatment*, tahap kedua proses utama, tahap ketiga pemurnian. Sampel biodiesel yang diperoleh akan dianalisa (Bilangan asam, Densitas, FFA, Cetan number, viskositas, dan pourpoint).

4.1 Minyak Nyamplung

Pada penelitian pendahuluan akan dilakukan analisa terhadap sifat fisik dan kimia minyak nyamplung kasar. Analisa tersebut meliputi warna minyak, kadar FFA, densitas, viskositas. Tujuan analisis ini adalah untuk mengetahui sifat awal minyak nyamplung yang akan diproses menjadi biodiesel. Hasil analisa terhadap karakteristik minyak nyamplung dapat dilihat pada Tabel 2.

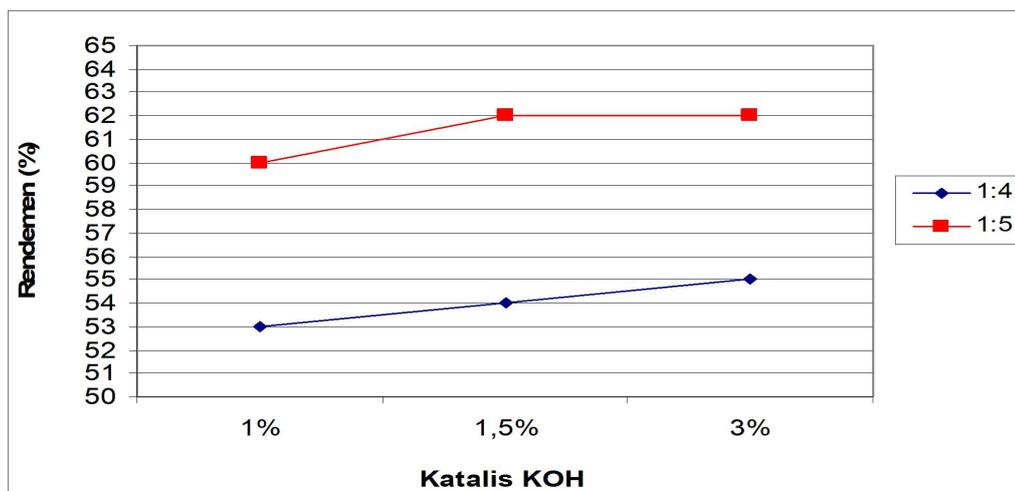


(a) **Gambar 6. Minyak nyamplung**
 a. Minyak nyamplung kasar b. Minyak nyamplung setelah degumming

Tabel 2. Karakteristik minyak nyamplung hasil analisis

Karakteristik	Komposisi	
	Awal	Degumming
Warna	Hijau kehitaman	Kemerahan
Kondisi cairan	Kental	Kental
Densitas pada suhu 27 °C (g/ml)	0,9386	0,896
Kadar air (% b/b)	0,483	0,51
Kadar FFA (%)	41,120	29,065
Viskositas kinematik 40°C (cSt)	27,85	24,87

4.2 Pengaruh katalis KOH Rasio Molar Reaktan Terhadap Rendemen



Gambar 7. Pengaruh Katalis KOH dan Rasio Molar Reaktan Terhadap Rendemen

Gambar 7 menunjukkan kondisi optimum diperoleh pada Katalis KOH 1,5% dengan rasio molar 1:5. Pada kondisi ini didapat rendemen biodiesel sebesar 62 % (penggunaan katalis optimum 0,5 – 1,5%) (Dedeh, 2009). Dilihat dari gambar di atas, semakin banyak katalis maka rendemen yang akan dihasilkan akan semakin besar, tetapi ketika waktu optimum tercapai (katalis 1,5% rasio 1:5), rendemen biodiesel akan stabil (terlihat pada titik katalis 3% rasio 1:5), hal ini disebabkan, pada saat dilakukan pemanasan dengan jumlah katalis tertentu gugus – gugus trigleserida dan metoksida akan saling bertumbukan, semakin banyak katalis maka tumbukan yang terjadi akan bereaksi semakin cepat yang akhirnya menghasilkan rendemen biodiesel yang besar. Tetapi tumbukan yang terlalu cepat juga tidak baik dalam reaksi transesterifikasi karena akan membentuk reaksi penyabunan, itu sebabnya setelah penambahan katalis yang optimum rendemen yang dihasilkan menjadi stabil karena telah terjadi reaksi penyabunan, katalis yang optimum digunakan adalah 0,5 – 1,5%(b/b) sehingga rendemen pada katalis 3% sama dengan rendemen pada katalis 1,5% dan juga pada saat proses pemisahan biodiesel dan gliserol pada katalis 3% rasio 1:5 kurang bagus atau tidak terpisah sempurna secara visual akibat penggunaan katalis yang optimum (maksimum 1,5%).

4.3 Karakteristik biodiesel Biji Nyamplung

Dari analisis karakteristik terhadap kualitas biodiesel yang dihasilkan pada penelitian ini, pada beberapa parameter yang diuji seperti *flash point*, viskositas, densitas, kadar air, bilangan asam serta rendemen yang dibandingkan dengan standar biodiesel yang ada. Hasil analisa karakteristik terhadap kualitas biodiesel pada penelitian ini di ambil dari proses transesterifikasi yang terbaik.

- Densitas : 0,8365 gr/ml (0,8150 – 0,8700 gr/ml, ASTM D1298)
- Viskositas : 3,26 cSt (2,3 – 6,0 mm²/s, ASTM D445)
- Kadar Air : 0,046 % (max 0,05 %)
- Rendemen : 62 %
- Bilangan Asam : 1,48 mg KOH/gr (max 0,8 mg KOH/gr)
- *Cetane number* : 48,8 (min. 51)
- *Flash Point* : 125 °C (min. 130°C)

5. SIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dan pembahasan pada variasi yang dilakukan dari karakteristik pengujian utama yaitu : Bilangan asam, viskositas, densitas dan kadar air, maka diperoleh kondisi operasi optimum :

- Titik optimum dicapainya biodiesel yang sesuai dengan SNI 2006 terjadi pada proses transesterifikasi dengan rasio molar minyak : metanol (1:5) dengan katalis KOH 1,5%, sehingga menghasilkan nilai uji pada kondisi optimum adalah sebagai berikut :
 - Bilangan asam = 1,46 mg KOH/g sampel
 - Viskositas = 3,26 cSt
 - Densitas = 0,8365 gr/ml
 - Kadar air = 0,048%
 - Rendemen = 62 %
 - *Cetane Number* = 49
 - *Flash Point* = 125 °C

5.2 Saran

Pada penelitian ini ada beberapa variasi yang tidak dilakukan, maka disarankan pada penelitian selanjutnya untuk :

1. Melakukan variasi waktu pemanasan pada reaksi transesterifikasi
2. Melakukan variasi proses esterifikasi – netralisasi - transesterifikasi untuk menurunkan bilangan asam.
3. Sebaiknya volume bahan baku yang digunakan diperbesar jumlahnya sehingga ketersediaan sampel memungkinkan untuk dilakukan uji spesifikasi biodiesel yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Balai Penelitian dan Pengembangan Hutan. 2008. *Nyamplung (Calophyllum inophyllum) Sumber Energi Biofuel yang Potensial*. Departemen Kehutanan. Jakarta.
- Debaut, V.J., Y. B. Jean dan S. A. Greentech. 2005. *Tamanol a Stimulan for Collagen Synthesis for Use in anti Wrinkle and anti Stretch Mark Products Cosmetic and Toiletries Manufacture World Wide*. Greentech, St. France.
- Dweek, A. C. dan T. Meadows. 2002. Tanamu (*Calophyllum inophyllum*) the Africa, Asia Polynesia and Pasific Panacea. *International J. Cos. Sci.*,24:1-8.
- Freedman, B., E. H. Pryde dan T. L. Mounts. 1984. Variable Affecting the Yield of Fatty Ester from Transesterified Vegetable Oil. *JAACS*, 61:1638-1643.
- Friday, J. B dan D. Okano. 2006. *Species Profiles for Pacific Island Agroforestry Calophyllum inophyllum*. www.traditionaltree.org. (10 Desember 2008).
- Heyne, K. 1987. *Tumbuhan Berguna Indonesia*. Terjemahan Badan Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Koperasi Karyawan Departemen Kehutanan. Jakarta.
- Mittelbach, M., P. Tritthart dan H. Junek. 1985. Diesel Fuel Derived from Vegetable Oils, II: Emission Tests Using Rape Oil Methyl Ester. *Energy Agricul.* 4:207–215.
- Soerawidjaya, T.H., T. Adrisman, U.W. Siagian, T. Prakosa, I. K. Reksowardojo dan K. S. Permana. 2005. *Studi Kebijakan Penggunaan Biodiesel di Indonesia*. Di dalam. P. Hariyadi, N. Andarwulan, L.
- Nuraida dan Y.Sukmawati. Editor. *Kajian Kebijakan dan Kumpulan Artikel Penelitian Biodiesel*. Kementrian Riset dan Teknologi RI-MAKSI IPB Bogor.
- Sudradjat, R. 2006. *Memproduksi Biodiesel Jarak Pagar*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Wahid, P. 2001. *Calophyllum inophyllum*. Di dalam. Supriadi. *Tumbuhan Obat Indonesia: Penggunaan dan Khasiatnya*. Pustaka Populer Obor. Jakarta.