

PEMBUATAN BIODIESEL DARI BIJI KESAMBI (*Schleichera oleosa* L.)

(*Biodiesel Manufacturing from Kesambi Seed*)

Oleh/By :

R. Sudradjat¹, Endro Pawoko², D. Hendra¹ & D. Setiawan¹

¹ Pusat Penelitian dan Pengembangan Ketechnikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan,
Jl. Gunung Batu No. 5 Bogor 16610 ; Telp. 0251-8633378 Fax. 0251-8633413

² Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fateta,
Kampus IPB Darmaga PO. Box 220 Bogor 16002
Telp./Fax : 0251 - 8621210 / 8623203

Diterima, 8 Maret 2010; disetujui, 16 Nopember 2010

ABSTRACT

Biodiesel is an ester alkyl that can be used for fuel as substitute for diesel engine. Biodiesel was made from biofuel oil either vegetation or animal oil. Kesambi oil (Schleichera oleosa L.) was strongly presumed can be used as raw material for biodiesel due to its fatty acid compositions are almost the same with other biofuel oils. Production process for biodiesel manufacture normally use estrans or esterification-transesterification process. This study examined the effect of some treatments on the characteristics of biodiesel quality. The measured variable factors were : process stage, methanol concentration, and duration time of esterification process. Data analysis was accomplished through randomised complete design with factorial trial.

The treatments of process stages were ET (Esterification-transesterification), EET (Esterification-esterification-transesterification), ENT (Esterification-netralizati-on-transesterification) and ETN (Esterification-transesterification-netralization). Methanol concentrations were 15 : 1 and 20 : 1 (ratio of methanol molar to oil used). Esterification times were 30 and 60 minutes. Quality analyses were considered on the basis of acid number, moisture, yield, viscosity and density. The results showed range value of moisture content 0.10 - 0.82%, acid number 0.625 - 1.330 mg KOH/g oil, kinematic- viscosity 12.70 - 16.40 cSt, density 0.906 - 0.920 g/cm³, biodiesel yield after degumming 63.01 - 96.93%. The ENT procedure is concluded as the best method compared with the others.

Keywords : Biodiesel, kesambi, acid number, viscosity.

ABSTRAK

Biodiesel adalah senyawa alkil ester yang dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk mesin diesel, berasal dari turunan minyak atau lemak nabati/hewani. Minyak kesambi merupakan salah satu sumber bahan baku yang diduga dapat dijadikan biodiesel, karena kandungan asam-asam lemaknya tidak jauh berbeda dengan kandungan dari minyak nabati lainnya yang sudah terbukti bisa dijadikan biodiesel. Proses produksi biodiesel umumnya melalui reaksi esterifikasi, transesterifikasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan proses terhadap kualitas biodiesel yang dihasilkan. Dalam penelitian ini dicoba memvariasikan faktor tahapan proses, jumlah metanol yang digunakan dan waktu esterifikasi. Pada penelitian utama digunakan rancangan percobaan acak lengkap faktorial dengan tiga faktor yaitu tahapan reaksi, jumlah metanol dan waktu esterifikasi.

Faktor tahapan reaksi terdiri dari empat taraf yang terdiri dari kombinasi esterifikasi (E), transesterifikasi (T) dan netralisasi (N). Empat taraf untuk tahapan proses yaitu esterifikasi-transesterifikasi (ET), esterifikasi-esterifikasi-trans-esterifikasi (EET), esterifikasi-netralisasi-transesterifikasi (ENT) dan esterifikasi-transesterifikasi-netralisasi (ETN). Faktor jumlah metanol terdiri atas dua taraf yaitu penggunaan nisbah molar metanol-minyak dengan perbandingan 15:1 dan 20:1. Untuk waktu esterifikasi juga terdiri atas dua taraf, 30 menit dan 60 menit. Biodiesel yang diperoleh kemudian dianalisis. Analisis yang dilakukan meliputi analisis bilangan asam, kadar air, rendemen, viskositas dan densitas. Hasil analisis sifat fisikokimia biodiesel menunjukkan kadar air 0,10 - 0,82%. Bilangan asam biodiesel yang diperoleh antara 0,625 - 1,330 mg KOH/g minyak, viskositas kinematik 12,70 - 16,40 cSt, densitas 0,906 - 0,920 g/cm³ dan rendemen biodiesel setelah deguming 63,01-96,93%. Proses ENT merupakan proses terbaik dibandingkan dengan proses lainnya.

Kata kunci : Biodiesel, kesambi, bilangan asam, viskositas.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan minyak bumi yang sangat besar menyebabkan persediaan minyak bumi semakin lama semakin menipis. Hal ini menyebabkan harga minyak bumi dunia tidak stabil dan mengalami peningkatan mencapai di atas US\$ 70 per barel bahkan pernah mencapai US\$ 96 per barel (Anonim, 2009). Ketidakstabilan harga minyak bumi dan kelangkaan pasokan BBM di daerah-daerah terpencil menjadi alasan bagi banyak negara mengembangkan sumber energi alternatif yang terbarukan. Pemerintah telah menetapkan peran minyak bumi sebagai sumber energi akan dikurangi dari 52% menjadi 20% sebaliknya peran energi terbarukan akan ditingkatkan menjadi sekitar 20% pada tahun 2025 (Anonim, 2006).

Biodiesel bisa dibuat dari minyak nabati seperti minyak kelapa, minyak kedelai, minyak kelapa sawit dan minyak dari biji-bijian tanaman yang lain. Biodiesel memiliki beberapa kelebihan dibanding dengan petrodiesel. Biodiesel mengurangi emisi gas-gas beracun seperti CO₂, CO, HC, NO_x, SO_x, mengurangi senyawa karsinogenik dan meningkatkan pelumasan mesin. Salah satu tumbuhan yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai biodiesel adalah dari biji pohon kesambi (*Schleichera oleosa* Lour). Minyak dari biji kesambi mengandung beberapa jenis asam lemak dengan komposisi tertentu yang mirip dengan tanaman penghasil biodiesel lainnya. Asam-asam lemak yang terdapat pada minyak kesambi yaitu asam miristat, asam palmitat, asam stearat, asam arakidat, asam oleat dan asam linoleat.

Di Indonesia, pohon kesambi merupakan tanaman hutan yang banyak tumbuh di Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, Maluku, Pulau Seram dan Pulau Kai. Pohon ini tumbuh baik di wilayah tropis dan tahan kekeringan atau musim kemarau. Biji kesambi dapat menghasilkan minyak atsiri yang dikenal dengan nama minyak makasar. Berat kulit biji kesambi adalah 40% dari berat bijinya dan isi biji mengandung kira-kira 70% minyak (Heyne, 1987). Minyak yang diperoleh berwarna kekuning-kuningan, encer, bening dan berbau khas. Bila minyak disimpan lebih dari satu tahun, maka akan terbentuk endapan putih (Heyne, 1987). Minyak kesambi mengandung asam sianida (HCN) sebanyak 0,02% (Heyne, 1987). Minyak biji kesambi dapat digunakan sebagai pelumas, sabun lunak, pembuatan lilin dan digunakan pada industri batik. Kandungan asam lemak minyak kesambi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan asam lemak pada minyak kesambi
Table 1. Fatty acid content of kesambi oil

Jenis asam lemak (<i>Kinds of fatty acid</i>)	Komposisi, % (<i>Composition %</i>)
Asam miristat (<i>Myristic acid</i>)	1
Asam palmitat (<i>Palmytic acid</i>)	5 - 8
Asam stearat (<i>Stearic acid</i>)	2 - 6
Asam arakidat (<i>Arabydic acid</i>)	20 - 30
Asam oleat (<i>Oleic acid</i>)	40 - 60
Asam linoleat (<i>Linole ic acid</i>)	2 - 5

Sumber (*Source*): Anonim, 2002

Kandungan potensial minyak yang cukup tinggi sekitar 70 - 73% dari biji kering, membuat minyak kesambi diharapkan dapat dijadikan sebagai sumber baru penghasil biodiesel. Penelitian ini bertujuan mendapatkan hasil terbaik dari kombinasi esterifikasi, transesterifikasi dan netralisasi untuk produksi biodiesel serta mengetahui pengaruh faktor waktu dan nisbah metanol terhadap karakteristik biodiesel yang dihasilkan.

II. METODOLOGI

A. Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji kesambi yang berasal dari Purwodadi, Jawa Tengah. Bahan kimia yang digunakan antara lain metanol, etanol, asam sulfat, asam klorida, NaOH, KOH, asam fosfat, natrium sulfat anhidrat, natrium karbonat dan lain-lain. Alat yang digunakan yaitu satu rangkaian reaktor estrans yang terdiri atas labu leher dua, pendingin balik, termo-kopel, pengaduk, statif, klem penjepit dan hot plate, mesin pengepres sistem hidrolik manual, alat distilasi, kompor listrik, pengaduk, erlenmeyer, labu ukur, neraca analitik, oven, pipet, corong pemisah, buret, viskosimeter dan lain-lain.

B. Prosedur Kerja

Penelitian yang dilakukan melalui tahapan sebagai berikut : 1. Persiapan bahan yaitu ekstraksi minyak dari biji kesambi, analisis sifat fisiko-kimia minyak dan degumming ; 2. Pembuatan biodiesel dengan proses esterifikasi, transesterifikasi dan netralisasi

1. Persiapan bahan

Persiapan bahan dilakukan untuk mengetahui rendemen dan sifat fisiko-kimia minyak kesambi yaitu kadar air, kekentalan, densitas, bilangan asam, dan kadar asam lemak bebas. Ekstraksi minyak dilakukan menggunakan alat kempa hidrolik manual berkapasitas tekanan maksimal 20 ton. Lempeng alat kempa diberi pemanasan elektrik dan suhu diatur konstan pada 60 - 70° C selama kurang lebih 15 menit. Bungkil biji yang masih tersisa setelah

pengempaan digiling dan dilakukan pengempaan ulang. Hasil minyak dari biji dijadikan dasar perhitungan rendemen. Minyak hasil pengepresan dianalisis sifat fisiko-kimianya yaitu kadar air, densitas, viskositas dan kandungan asam lemak bebas. Tahap berikutnya dilakukan proses *degumming*, bertujuan untuk menghilangkan gum dalam minyak.

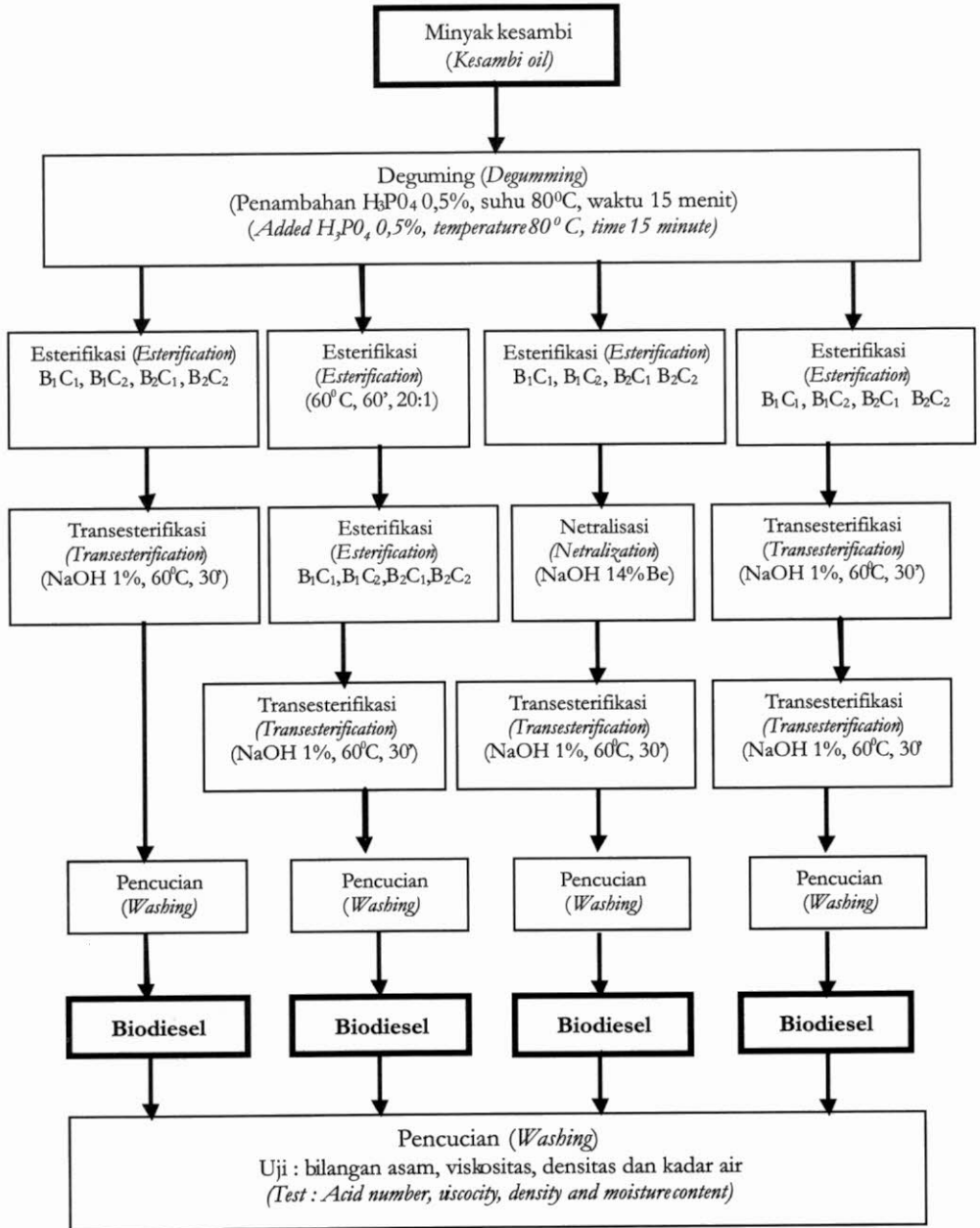
2. Pembuatan biodiesel

Tahapan pembuatan biodiesel secara umum digambarkan pada diagram alir proses (Gambar 1). Proses pembuatan biodiesel diawali dengan proses esterifikasi minyak hasil *degumming*. Minyak kesambi dimasukkan ke dalam labu leher tiga, kemudian dipanaskan menggunakan *hot plate stirer* sampai suhu minyak mencapai $\pm 60^{\circ}\text{C}$. Setelah itu, ke dalam labu ditambahkan methanol teknis dengan rasio molar metanol 15:1 atau 20:1 terhadap asam lemak bebas minyak. HCl yang digunakan adalah HCl teknis sebanyak 1% (v/v). Waktu yang dibutuhkan untuk reaksi esterifikasi divariasikan yaitu 30 dan 60 menit. Minyak hasil esterifikasi dipisahkan dari sisa katalis dan metanol kemudian dicuci dengan larutan Na_2CO_3 0,01%. Setelah itu, minyak tersebut dicuci lagi dengan air hangat (60°C) sampai pH air cucian netral. Tahap berikutnya adalah memanaskan minyak hasil esterifikasi untuk menguapkan air yang masih bercampur dengan minyak. Setelah itu dilakukan analisis bilangan asam.

Selanjutnya minyak hasil esterifikasi diproses sesuai dengan perlakuan yaitu langsung ditransesterifikasi atau sebelumnya dinetralisasi apabila bilangan asamnya masih tinggi. Bisa juga penurunan bilangan asam dilakukan setelah proses transesterifikasi. Proses transesterifikasi dilakukan selama 30 menit dengan suhu 60°C . Perbandingan molar metanol terhadap minyak adalah 6:1 dan katalis yang ditambahkan adalah NaOH sebanyak 0,5% dari jumlah minyak. Netralisasi dilakukan dengan menambahkan larutan NaOH 14^{Be} (10,4 gram NaOH dalam 100 ml air) ke dalam minyak yang bersuhu 50°C dan bersamaan dengan itu dilakukan pengadukan, kemudian dibiarkan selama 15 menit. Sabun yang terbentuk dipisahkan dari minyak dengan cara penyaringan. Hasil dari proses ini adalah biodiesel yang masih mengandung gliserol, selanjutnya dipisahkan dengan menggunakan labu pemisah. Biodiesel kotor yang diperoleh kemudian dicuci. Pada proses pencucian, biodiesel kotor dicampur dengan asam asetat 0,01% dan pembilasan dengan air hangat sampai pH air buangan netral.

3. Pengujian sifat biodiesel

Biodiesel yang dihasilkan dilakukan pengujian terhadap sifat fisiko-kimianya antara lain kadar air, bilangan asam, viskositas kinematik, densitas dan rendemen.



Gambar 1. Diagram alir proses pembuatan biodiesel
Figure 1. Flow sheet of biodiesel manufacture

C. Rancangan Percobaan

Rancangan penelitian yang digunakan adalah rancangan acak lengkap dengan percobaan faktorial (Mattjik dan Sumertajaya, 2006). Faktor-faktor yang divariasikan adalah tahapan reaksi (A), rasio molar metanol-FFA minyak (B) dan waktu esterifikasi (C). Faktor tahapan reaksi ada empat taraf yaitu esterifikasi-transesterifikasi (ET) (A1), esterifikasi-esterifikasi-transesterifikasi (EET) (A2), esterifikasi-netralisasi-transesterifikasi (ENT) (A3) dan esterifikasi-trans-esterifikasi-netralisasi (ETN) (A4). Faktor rasio molar metanol-FFA minyak terdiri atas dua taraf yaitu 15:1 (B1) dan 20:1 (B2), sedangkan faktor waktu esterifikasi terdiri dari dua taraf yaitu 30 menit (C1) dan 60 menit (C2). Model rancangan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Dimana (*Where*):

Y_{ijk} = Nilai pengamatan (*Observation value*)

μ = Rata-rata (*Means*)

A_i = Pengaruh faktor tahapan proses pada taraf ke-i (*Effect of process stage at i-level*)

B_j = Pengaruh faktor nisbah metanol pada taraf ke-j (*Effect of methanol ratio at j-level*)

C_k = Pengaruh faktor waktu esterifikasi pada taraf ke-k (*Effect of esterification time at k-level*)

Ab_{ij} = Pengaruh interaksi faktor tahapan proses taraf ke-i dengan faktor nisbah metanol taraf ke-j (*Effect of interaction between process stage and methanol ratio at j-level*)

Ac_{ik} = Pengaruh interaksi faktor tahapan proses taraf ke-i dengan faktor waktu esterifikasi taraf ke-k (*Effect of interaction between process stage and esterification time at k-level*)

Bc_{jk} = Pengaruh interaksi faktor nisbah metanol taraf ke-j dengan faktor waktu esterifikasi taraf ke-k (*Effect of interaction between methanol ratio and esterification time at k-level*)

ABC_{ijk} = Pengaruh interaksi antara faktor tahapan proses taraf ke-i, faktor nisbah metanol taraf ke-j dan faktor waktu esterifikasi taraf ke-k (*Effect of interaction between process stage at i-level, methanol ratio at j-level and esterification time at k-level*)

ε_{ijk} = Error

Penjelasan istilah ET (esterifikasi dilanjutkan dengan transesterifikasi), EET (esterifikasi, esterifikasi dilanjutkan dengan transesterifikasi), ENT (esterifikasi, netralisasi dilanjutkan dengan transesterifikasi), ETN (esterifikasi, transesterifikasi dilanjutkan dengan netralisasi). Berdasarkan rancangan percobaan tersebut jumlah kombinasi perlakuan penelitian adalah 32 satuan penelitian. Untuk mengetahui pengaruh faktor-faktor tersebut digunakan analisis sidik ragam (ANOVA = *Analysis of Variance*) dengan selang kepercayaan $\alpha = 0,05$, dilanjutkan dengan uji Duncan untuk mengetahui kombinasi perlakuan yang memberikan perbedaan nyata terhadap kualitas biodiesel (parameter pengamatan).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rendemen Ekstraksi

Hasil pengempaan biji kesambi diperoleh rendemen minyak rata-rata sebesar 27,5%. Hasil ini tidak jauh berbeda dari penelitian yang dilakukan Sujana (2007) yaitu sebesar 27,98%. Rendemen yang dihasilkan sangat berbeda dari angka potensial sekitar 70% (Heyne, 1987), hal ini disebabkan perbedaan metode dan alat yang digunakan. Rendemen potensial umumnya menggunakan pelarut kimia, demikian pula efisiensi alat kempa manual lebih rendah dibanding alat kempa ekstruder (Heyne, 1987).

B. Kadar Air dan Bilangan Asam

Kadar air dalam minyak kesambi sebesar 0,21%. Tingginya kadar air dalam bahan kemungkinan disebabkan oleh kombinasi kerja enzim lipase dalam jaringan sel biji dan kerja enzim yang dihasilkan oleh mikroba yang menghasilkan air sebagai sampingan (Marsubowo, 2007). Kadar air merupakan parameter penting dalam penentuan kualitas minyak. Air yang terdapat dalam minyak akan mengakibatkan terjadinya hidrolisis trigliserida menjadi asam lemak dan gliserol, sehingga meningkatkan kadar asam lemak bebas (FFA). Kandungan asam lemak bebas yang tinggi akan menurunkan rendemen biodiesel. Bilangan asam minyak kesambi sekitar 17 mg KOH/g minyak. Cara penyimpanan minyak hasil pengempaan juga mempengaruhi kandungan air dan bilangan asam minyak.

C. Penghilangan Getah dan Kotoran

Minyak kesambi hasil pengepresan masih mengandung komponen non minyak dan zat pengotor lain. Dalam penelitian ini proses *degumming* menggunakan asam fosfat 37% sebanyak 1,0% yang disertai pemanasan pada suhu 80°C. Bahan kimia ini akan mengikat zat terlarut seperti getah, sedangkan pemanasan dilakukan untuk menurunkan kelarutan fosfatida dan getah tersebut, sehingga mudah mengendap dan mudah dipisahkan dari minyak. Dengan hilangnya zat-zat terlarut tersebut, maka minyak kesambi menurun viskositasnya dari 29,84 cSt menjadi 25,07 cSt.

D. Proses Esterifikasi, Transesterifikasi dan Netralisasi

Selain proses esterifikasi-transesterifikasi dalam penelitian ini dicoba metoda EET, ENT dan ETN. Hal ini disebabkan adanya kesulitan dalam menurunkan bilangan asam untuk memenuhi standar SNI. Metanol dan etanol umumnya dipakai dalam proses transesterifikasi minyak nabati, tetapi jenis alkohol lain juga bisa digunakan. Namun demikian, rendemen metil ester yang tertinggi diperoleh dari metanol. Hal tersebut disebabkan metanol merupakan alkohol yang memiliki rantai terpendek dan lebih reaktif dengan minyak. Keuntungan tambahan penggunaan metanol yaitu katalis alkali mudah larut dalam alkohol ini. Jumlah metanol yang diberikan secara berlebih yaitu untuk menggeser reaksi ke arah kanan atau pembentukan metal ester.

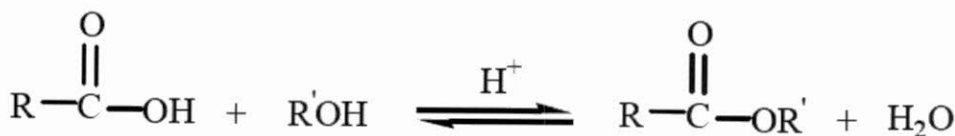
Analisa sidik ragam ($\alpha = 0,05$) menunjukkan tidak terdapat perbedaan nyata akibat perlakuan waktu 30 dan 60 menit, atau waktu reaksi 30 menit sudah mencukupi untuk reaksi esterifikasi.

1. Esterifikasi

Bilangan asam minyak awal setelah *degumming* 17 mg KOH/g minyak dan setelah diesterifikasi bilangan asam turun menjadi 4 - 10 mg KOH/g minyak atau penurunan ini sangat nyata. Jumlah katalis (HCl) yang digunakan adalah 1,0% (v/v). Jumlah ini sudah cukup menurunkan bilangan asam minyak kesambi yang diesterifikasi.

Interaksi antara asam lemak dan alkohol bersifat reversibel (bolak-balik) dan prosesnya sangat lambat. Mekanisme reaksi esterifikasi berkatalisis asam melibatkan proses pertukaran gugus hidroksil dari suatu karboksilat dengan gugus alkoksi dari alkohol dan pembentukan molekul air.

Jumlah alkohol yang cukup banyak sangat membantu karena akan mendorong reaksi ke arah kanan (produk). Dalam kasus minyak kesambi, jumlah metanol dengan rasio 15:1 sudah mencukupi untuk proses esterifikasi namun penggunaan metanol dengan nisbah 20:1 terbukti memberikan penurunan bilangan asam yang lebih besar. Dalam proses esterifikasi, selain dihasilkan alkil ester juga dihasilkan air (Gambar 2). Kandungan air yang tinggi pada minyak hasil proses esterifikasi akan mengakibatkan reaksi hidrolisis. Sebaliknya kandungan air yang rendah tidak akan mengganggu reaksi transesterifikasi, karena anion metoksida (CH_3O^-) lebih kuat dibanding anion hidroksida (OH^-) atau pembentukan ikatan ester akan lebih dominan dibandingkan reaksi hidrolisis. Kandungan air maksimum yang tidak akan mengganggu reaksi transesterifikasi adalah sebesar 7% (Gerpen *et al.*, 2004).



Free Fatty Acid	Simple Alcohol	Esters	Water
Asam lemak bebas	Alkohol	Alkil ester	Air

Gambar 2. Reaksi esterifikasi (Khan, 2002)
 Figure 2. Esterification reaction (Khan, 2002)

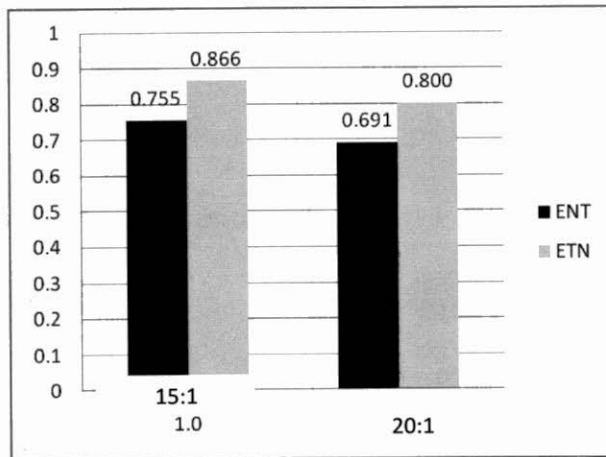
Minyak yang sudah diesterifikasi, kemudian diesterifikasi lagi (Proses EET), maka bilangan asamnya akan turun menjadi 1 - 5 mg KOH/g minyak. Esterifikasi dua tahap ini merupakan salah satu faktor perlakuan percobaan untuk melihat pengaruhnya terhadap parameter yang diukur yaitu bilangan asam, viskositas dan kadar air. Dari percobaan yang dilakukan terbukti bahwa bilangan asam biodiesel yang mengalami dua kali esterifikasi lebih kecil dibanding dengan satu kali esterifikasi.

Dalam penelitian ini juga dicoba penambahan tahapan proses yaitu netralisasi. Penambahan tahapan ini dilakukan sebelum transesterifikasi (ENT) dan setelah

transesterifikasi (ETN). Netralisasi dalam penelitian ini adalah penghilangan asam lemak bebas yang masih tersisa pada minyak atau biodiesel, karena pengaruh asam lemak bebas akan membuat pH turun yang dapat mengakibatkan korosif. Proses netralisasi sering disebut juga proses penyabunan. Netralisasi dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH, karena lebih efisien dan lebih murah dibanding senyawa lain seperti Na_2CO_3 . Selain itu penggunaan senyawa NaOH juga membantu dalam mengurangi zat warna dan kotoran berupa getah dan lendir dalam minyak (Ketaren, 2005).

Dalam reaksi penyabunan (netralisasi), akan dihasilkan sabun sekaligus penghilangan asam lemak bebas atau penurunan bilangan asam. Walaupun mampu mengurangi asam lemak bebas, netralisasi juga berdampak buruk yaitu terjadinya penurunan rendemen biodiesel. Hal ini disebabkan karena NaOH tidak hanya bereaksi dengan asam lemak bebas tetapi juga bereaksi dengan ester sehingga terjadi penurunan jumlah metil ester atau biodiesel. Jika dilihat dari nilai bilangan asam, proses ENT menghasilkan nilai yang paling rendah, ETN lebih tinggi dibanding dengan EET, dan ENT lebih rendah dibanding dengan ET. Pengaruh konsentrasi metanol terhadap ENT dan ETN (Gambar 3), menunjukkan bahwa jumlah metanol yang semakin besar menurunkan nilai bilangan asam.

Bilangan asam (*Acid number*)
(mg KOH/g minyak)



Keterangan (*Remarks*): ENT = Esterifikasi-netralisasi-transesterifikasi (*Esterfication-netralization-transesterification*)
ETN = Esterifikasi-transesterifikasi-netralisasi (*Esterfication-transesterification-netralization*)

Gambar 3. Histogram pengaruh jumlah metanol terhadap bilangan asam
Figure 3. The influence of methanol concentration on acid number

3. Pemisahan kotoran dan pemurnian biodiesel

Setelah selesai dengan proses transesterifikasi, biodiesel yang diperoleh harus dipisahkan dari gliserol, sisa reaktan atau katalis. Pemisahan gliserol yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan cara *settling* (gravitasi) atau berdasarkan densitas. Gliserol dan zat pengotor lain yang memiliki densitas lebih tinggi akan berada dilapisan bawah sedang lapisan atas adalah biodiesel dan lapisan atas adalah metanol sisa.

Di dalam biodiesel yang sudah dipisahkan masih mengandung katalis. Kadar katalis yang masih tinggi dalam biodiesel akan menyebabkan korosi pada tangki bahan bakar. Untuk mengurangi sisa katalis yang terkandung dalam biodiesel, dilakukan penambahan larutan asam asetat (0,01%) dan dilanjutkan dengan pencucian dengan air hangat (50 - 60° C). Untuk proses ETN, biodiesel masih ditambah larutan NaOH (14° Be) atau disebut proses netralisasi. Sabun yang terbentuk karena proses netralisasi disaring sehingga diperoleh biodiesel yang lebih murni. Selanjutnya, dilakukan pencucian dengan air hangat untuk melarutkan sabun yang masih tersisa dalam biodiesel. Penggunaan air hangat bertujuan untuk melarutkan garam asetat (hasil reaksi dari katalis dan asam asetat). Selanjutnya metil ester (biodiesel) dikeringkan untuk memperoleh biodiesel murni. Biodiesel yang diperoleh kemudian dianalisa meliputi analisa bilangan asam, rendemen, kadar air, densitas dan viskositas.

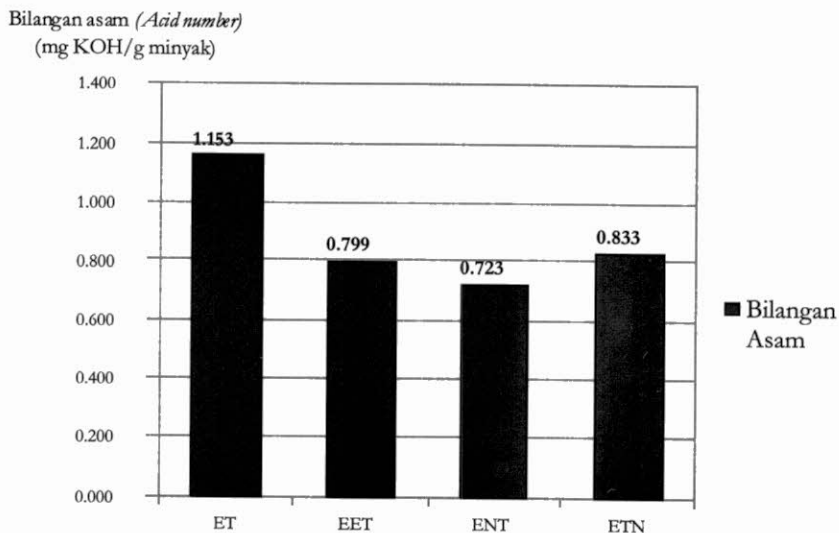
a. Bilangan asam

Dari percobaan yang dilakukan dengan faktor tahapan reaksi (ET, EET, ENT dan ETN), rasio metanol (15:1 dan 20:1) dan waktu esterifikasi (30 menit dan 60 menit) diperoleh biodiesel yang memiliki nilai bilangan asam terendah dihasilkan dari proses ENT suhu 60° C dan rasio metanol dengan minyak 20:1 yaitu sebesar 0,625 mg KOH/g minyak atau dengan nilai rata-rata bilangan asam 0,723 mg KOH/g minyak (Gambar 5).

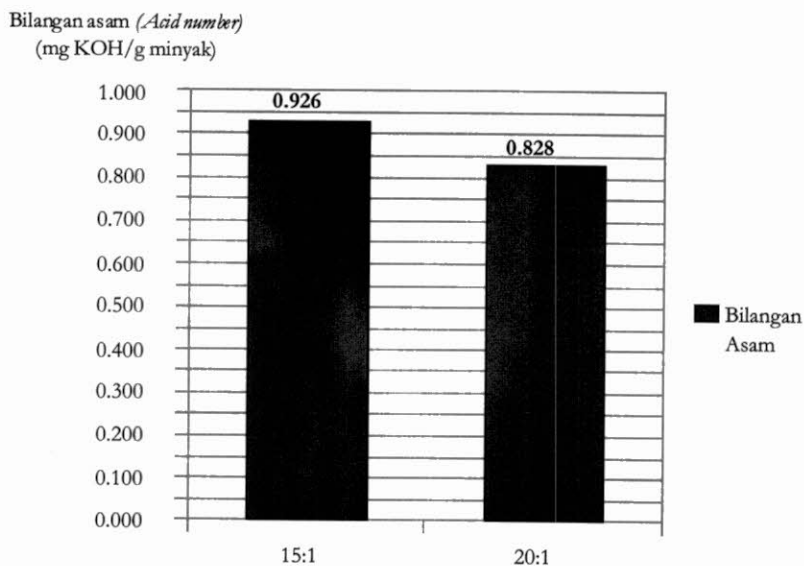
Dari analisis ANOVA, diketahui bahwa faktor tahapan proses dan jumlah metanol berpengaruh nyata terhadap hasil yang diperoleh. Sedang faktor waktu dan kombinasi faktor tersebut tidak berpengaruh. Gambar 5 melukiskan pengaruh tahapan proses dan jumlah metanol terhadap nilai bilangan asam. Dari gambar tersebut terlihat bahwa tahapan reaksi esterifikasi-netralisasi-transesterifikasi (ENT) menghasilkan bilangan asam yang terendah yaitu 0,723 mg KOH/g dibandingkan dengan reaksi ET, EET dan ETN.

Dari Gambar 6 terlihat bahwa rasio metanol 20:1 menyebabkan semakin besarnya penurunan bilangan asam. Pembuatan biodiesel dengan rasio metanol-minyak 20:1 memberikan nilai rata-rata bilangan asam terendah yaitu 0,828 mg KOH/g minyak. Untuk melihat pengaruh tahapan proses terhadap nilai bilangan asam, dilakukan uji Duncan. Dari uji tersebut diketahui bahwa proses ET berbeda nyata dengan proses lainnya sedangkan proses EET, ENT dan ETN memberikan hasil yang hampir sama atau tidak berbeda nyata.

Penurunan kadar FFA dari minyak setelah proses ET terjadi karena pada proses esterifikasi asam-asam lemak bebas dalam minyak sebagian besar terkonversi menjadi metil ester (Bajpai *et al.*, 2006). Keasaman biodiesel dapat menyebabkan korosif dan kerusakan pada mesin diesel, sehingga hal ini menjadi salah satu faktor penting dalam penentuan proses pembuatan biodiesel. Untuk proses ENT dan EET sebagian besar telah memenuhi syarat. Kualifikasi biodiesel yang ditetapkan oleh ASTM D-6751 dan SNI 04-7182-2006. Sedang proses lainnya kurang sesuai untuk pembuatan biodiesel dari minyak kesambi.

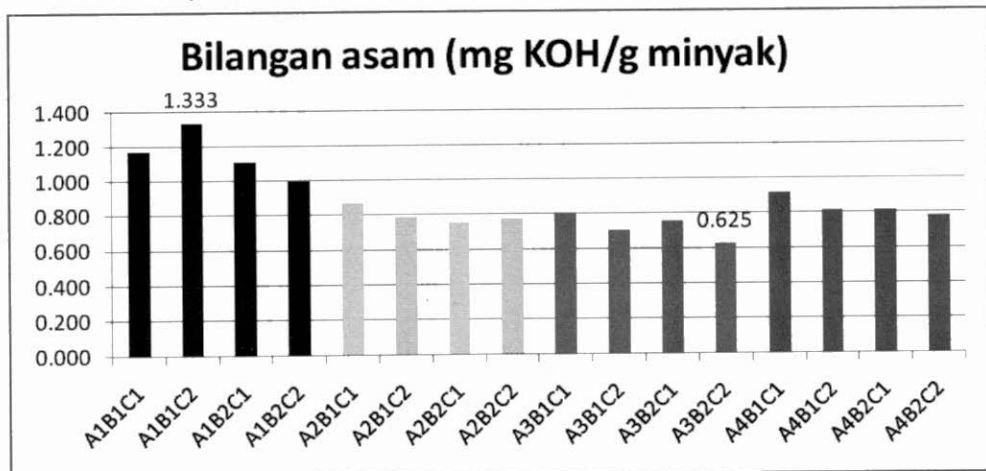


Gambar 5. Histogram pengaruh tahapan proses terhadap bilangan asam
Figure 5. The effect of kind of process on acid number



Gambar 6. Histogram pengaruh jumlah metanol terhadap bilangan asam
Figure 6. The effect of methanol concentration on acid number

Bilangan asam (*Acid number*)
(mg KOH/g minyak)



Gambar 7. Histogram nilai bilangan asam dari berbagai perlakuan percobaan
Figure 7. Histogram of acid number of various treatments

Keterangan (*Remarks*): A = Tahapan proses (*Process stage*), A1 = ET; A2 = EET; A3 = ENT; A4 = ETN; B = Nisbah metanol (*Methanol ratio*), B1 = 15:1; B2 = 20:1; C = Waktu (*Time*), C1 = 30 menit (*Minute*); C2 = 60 menit (*Minute*)

Tabel 2. Analisis sidik ragam bilangan asam
Table 2. Analysis of variance of acid number

Sumber (<i>Source</i>)	Jumlah kuadrat (<i>Quadrat number</i>)	Derajat bebas (<i>Free degree</i>)	Kuadrat tengah (<i>Quadrat centre</i>)	F-hitung (<i>F-Count</i>)	F-tabel (<i>F-Table</i>)
<i>Model koreksi (Corrected model)</i>	1.049(a)	15	0.070	4.869	
<i>(Intercept)</i>	24.607	1	24.607	1712.903	
Tahapan proses (<i>Process stage</i>), A	0.863	3	0.288	20.026	4.49
Nisbah metanol (<i>Methanol ratio</i>), B	0.078	1	0.078	5.396	4.49
Waktu (<i>Time</i>), C	0.017	1	0.017	1.201	4.49
AB	0.028	3	0.009	0.644	4.49
AC	0.021	3	0.007	0.477	4.49
BC	0.003	1	0.003	0.179	4.49
ABC	0.041	3	0.014	0.940	4.49
Kesalahan (<i>Error</i>)	0.230	16	0.014		
Total (<i>Total</i>)	25.886	32			
Total koreksi (<i>Corrected total</i>)	1.279	31			

Gambar 7 menunjukkan hasil analisis bilangan asam yang dihasilkan oleh setiap kombinasi perlakuan dalam penelitian. Pada gambar tersebut terlihat bahwa kombinasi perlakuan A3B2C2 adalah terendah nilai bilangan asamnya yaitu 0,625 mg KOH/g, sedang perlakuan A1B1C2 yang tertinggi yaitu 1,333 mg KOH/g. Hasil analisis sidik ragam dan uji Duncan untuk bilangan asam disajikan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 3. Uji Duncan untuk bilangan asam

Table 3. Duncan test of acid number

Tahapan proses (<i>Process stage</i>)	N	Subset	
		1	2
ENT	8	0,72271	
EET	8	0,79895	
ETN	8	0,83316	
ET	8		1,15280
Sig.		0,099	1,000

Keterangan (*Remarks*) : Metode Duncan yang menunjukkan bahwa tahapan proses ET berbeda nyata (*Significant*) dengan hasil EET, ENT dan ETN, sedangkan hasil yang hampir sama tidak berbeda nyata (*Not significant*) diperoleh dari tahapan proses EET, ENT dan ETN.

b. Rendemen pemurnian biodiesel

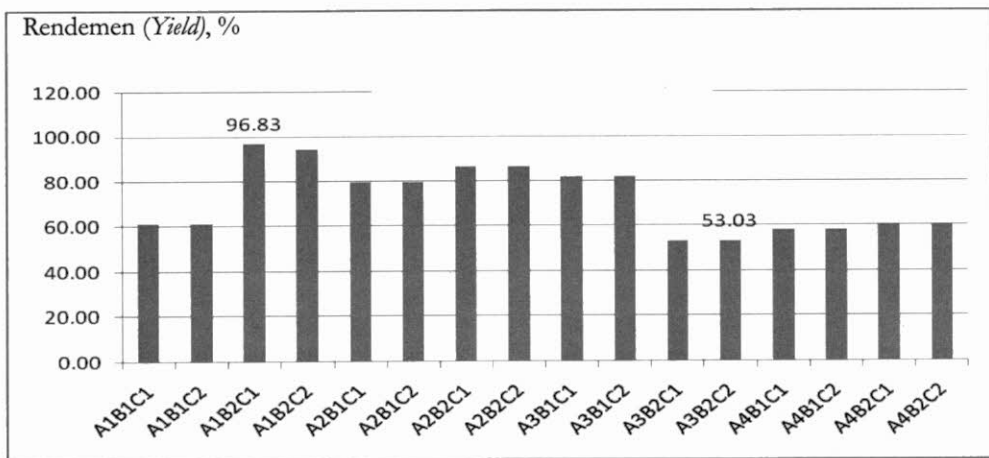
Rendemen pemurnian biodiesel adalah pemisahan gliserol serta kotoran lain yang masih tercampur dalam larutan biodiesel kotor. Gliserol dan senyawa lain akan membentuk suatu padatan yang mengendap dengan proses *settling*. Hal ini juga dipengaruhi oleh densitas gliserol ($1,26 \text{ g/cm}^3$) yang lebih besar dari biodiesel disamping sifatnya yang tidak larut dalam biodiesel. Proses ENT memberikan nilai rendemen terkecil hal ini disebabkan karena proses netralisasi mengurangi jumlah metil ester yang terbawa oleh sabun.

Gambar 8 menunjukkan hasil rendemen yang dihasilkan oleh setiap kombinasi perlakuan dalam penelitian. Pada gambar tersebut terlihat bahwa kombinasi perlakuan A1B2C1 adalah menghasilkan rendemen tertinggi yaitu 96,83%, sedang perlakuan A3B2C2 yang terendah yaitu 53,03%.

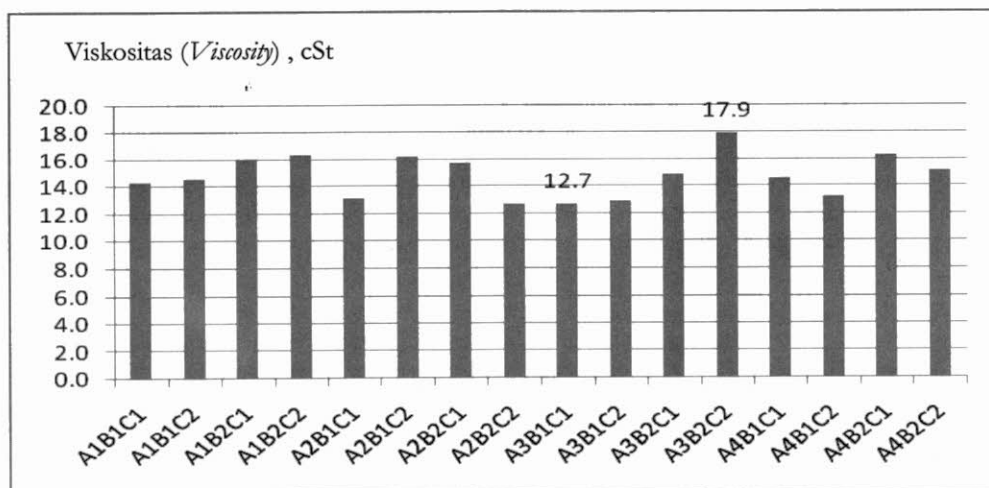
c. Viskositas

Viskositas asam lemak lebih tinggi daripada metil atau etil esternya karena adanya ikatan hidrogen intermolekular dalam asam di luar grup karboksil. Viskositas metil ester tidak jenuh akan menurun dengan adanya ketidakjenuhan, tetapi ikatan rangkap berturut-turut tidak terlalu berpengaruh terhadap fluiditas daripada ikatan rangkap tunggal dalam rantai asam lemak (Formo, 1979). Percabangan memiliki efek yang tidak signifikan terhadap viskositas kinematik dibandingkan adanya ikatan rangkap, namun posisi ikatan rangkap tidak terlalu mempengaruhi viskositas. Alkohol bercabang tidak mempengaruhi viskositas secara signifikan dibandingkan rantai lurus, sedangkan adanya asam lemak bebas akan meningkatkan viskositas secara nyata. Viskositas kinematik akan meningkat seiring dengan panjang rantai asam lemak (Knothe dan Steidley, 2005).

Biodiesel adalah campuran dari ester-ester asam lemak, dimana masing-masing komponennya berkontribusi terhadap viskositas kinematik biodiesel secara keseluruhan. Dengan demikian, dapat diduga bahwa viskositas biodiesel dipengaruhi oleh panjang rantai dan komposisi asam lemak, posisi dan jumlah ikatan rangkap (derajat ketidakjenuhan) dalam biodiesel serta jenis alkohol yang digunakan. Hasil uji viskositas kinematik dapat dilihat pada Gambar 9. Pada gambar tersebut terlihat bahwa kombinasi perlakuan A3B2C2 adalah yang menghasilkan viskositas tertinggi yaitu 17,9 cSt, sedang perlakuan A3B1C1 adalah terendah yaitu 12,7 cSt.



Gambar 8. Histogram rendemen dari berbagai perlakuan
 Figure 8. Histogram of biodiesel yield of various treatments



Gambar 9. Histogram viskositas dari berbagai perlakuan percobaan
 Figure 9. Histogram of viscosity of various treatments

Viskositas adalah salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan pemisahan gliserol dari biodiesel. Gliserol merupakan salah satu senyawa yang dapat meningkatkan viskositas biodiesel. Dari data yang diperoleh terlihat adanya penurunan viskositas kinematik yang signifikan setelah minyak kesambi diolah menjadi biodiesel. Viskositas minyak kesambi awal adalah 25,07 cSt (4 kali lipat dari maksimum standar). Biodiesel kesambi yang dihasilkan rata-rata memiliki viskositas dua kali lipat dari viskositas standar.

Viskositas biodiesel juga dipengaruhi oleh kandungan trigliserida yang tidak bereaksi dengan metanol, komposisi asam lemak penyusun metil ester biodiesel serta senyawa intermediet seperti monogliserida dan digliserida yang mempunyai polaritas dan bobot molekul yang cukup tinggi. Digliserida dan monogliserida merupakan senyawa yang mempunyai sifat aktif permukaan atau menurunkan tegangan permukaan lebih baik daripada trigliserida. Rata-rata viskositas yang diperoleh lebih besar dari standar, hal ini dimungkinkan karena pemisahan (*setling*) tidak efektif dan kurang sempurna. Untuk mengatasi hal itu bisa dilakukan alternatif cara pemisahan yang lain seperti cara sentrifugasi atau dengan pemisahan vakum.

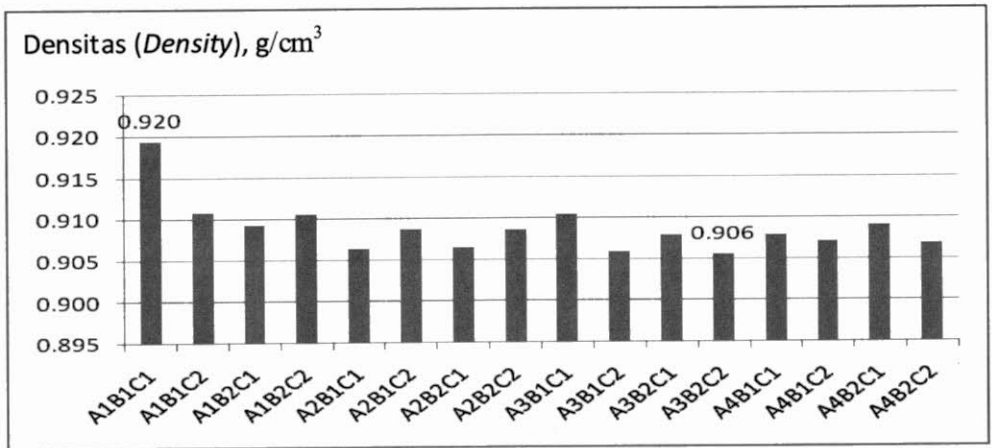
d. Kadar air

Kadar air biodiesel mempengaruhi lama daya simpan biodiesel. Kadar air biodiesel yang tinggi dapat menyebabkan mikroba mudah tumbuh, mengotori biodiesel, meningkatkan bilangan asam dan menyebabkan korosi pada mesin. Dalam jangka waktu lama akan meningkatkan kadar FFA. Tingginya kadar air minyak kesambi setelah menjadi biodiesel disebabkan adanya akumulasi air pada minyak sebelum proses estrans dengan air sebagai hasil samping dari proses esterifikasi. Tingginya kadar air ini dapat mendorong terjadinya proses hidrolisis antara trigliserida dan molekul air sehingga membentuk gliserol dan asam lemak bebas.

Rata-rata kandungan air dalam biodiesel kesambi dengan proses ETN cukup rendah yaitu 0,10 - 0,42%, sedangkan dengan proses ET, ENT dan EET kandungan airnya masih tinggi yaitu 0,44 - 0,82%. Hal ini disebabkan oleh pemisahan dan pengeringan yang tidak sempurna. Selain itu kadar air biodiesel lebih banyak dipengaruhi oleh karakteristik fisik minyak awal dan kondisi proses daripada oleh faktor kecepatan sentrifugasi.

e. Densitas

Parameter seperti densitas atau berat jenis minyak atau biodiesel dipengaruhi oleh panjang rantai asam lemak, ketidakjenuhan, dan temperatur lingkungan (Formo, 1979). Seperti halnya viskositas, semakin panjang rantai asam lemak, maka densitas akan semakin meningkat. Ketidakjenuhan juga mempengaruhi densitas, dimana semakin banyak jumlah ikatan rangkap yang terdapat dalam produk akan terjadi penurunan densitas. Biodiesel harus stabil pada suhu rendah, semakin rendah suhu, maka berat jenis biodiesel akan semakin tinggi dan begitu juga sebaliknya. Keberadaan gliserol dalam biodiesel mempengaruhi densitas biodiesel karena gliserol memiliki densitas yang cukup tinggi ($1,26 \text{ g/cm}^3$), sehingga jika gliserol tidak terpisah dengan baik dari biodiesel, maka densitas biodieselpun akan meningkat. Hasil uji densitas biodiesel hasil sentrifugasi pada suhu 20 C dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Histogram densitas biodiesel dari berbagai perlakuan
Figure 10. Histogram of density of various treatments

Gambar 10 menunjukkan hasil analisis densitas biodiesel yang dihasilkan oleh setiap kombinasi perlakuan dalam penelitian. Pada gambar tersebut terlihat bahwa kombinasi perlakuan A1B1C1 menghasilkan nilai densitas tertinggi yaitu $0,920 \text{ g/cm}^3$, sedang perlakuan A3B2C2 yang terendah yaitu $0,906 \text{ g/cm}^3$. Rata-rata densitas biodiesel adalah sebesar $0,909 \text{ g/cm}^3$. Nilai ini masih lebih besar dari densitas standar yaitu $0,890 \text{ g/cm}^3$. Hal ini mungkin disebabkan oleh adanya senyawa seperti sabun, sisa pereaksi, resin masih ada di dalam biodiesel sebagai akibat pemisahan yang kurang sempurna.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Minyak kesambi memiliki potensi untuk dijadikan biodiesel karena memiliki kandungan yang mirip dengan bahan nabati lain yang sudah terbukti bisa dijadikan biodiesel seperti minyak jarak, nyamplung, kedelai dan kelapa sawit.
2. Hasil analisis sifat fisikokimia biodiesel, kadar air yang diperoleh masih cukup tinggi (0,10-0,82%) dengan rata-rata 0,49%. Bilangan asam biodiesel yang diperoleh antara 0,625-1,33 mg KOH/g minyak dengan rata-rata sebesar 0,877 mg KOH/g minyak. Nilai ini juga masih tergolong tinggi walaupun untuk EET dan ENT sebagian besar memenuhi standar. Karakteristik lainnya yaitu viskositas kinematik yaitu 12,7-16,4 cSt, densitas antara $0,906 - 0,920 \text{ g/cm}^3$ dan rendemen biodiesel setelah pemisahan adalah antara 63,01- 96,93% dengan rata-rata 72,02%.
3. Hasil penelitian dilihat dari bilangan asam sebagai parameter utama, menunjukkan bahwa ENT menghasilkan bilangan asam terendah. Jika ditinjau dari uji lanjut Duncan, tidak ada perbedaan yang nyata antara EET dan ENT, sehingga jika dilihat dari nilai bilangan asam dan karakteristik lainnya seperti rendemen maka ENT merupakan proses yang terbaik.

4. Untuk meningkatkan kualitas karakteristik biodiesel yang dihasilkan, agar memenuhi standar dan memiliki rendemen yang tinggi hal-hal yang harus diperhatikan adalah perlakuan pasca panen dan pra pengolahan karena kualitas bahan akan menentukan kualitas produk, serta pemisahan biodiesel dari senyawa atau partikel-partikel yang tidak dibutuhkan adalah tahap yang sangat menentukan kualitas biodiesel akhir. Alternatif cara pemisahan selain *settling* adalah dengan cara sentrifugasi dan pemisahan menggunakan membran.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2002. Tumbuhan bumi Indonesia yang berpotensi menjadi penghasil minyak lemak. Pusat Penelitian Material dan Energi Indonesia. Jakarta. <http://www.creitb.or.id/biodiesel/vegetasi/kesambi.Htm>.
- Anonim. 2006. Keputusan Presiden (PP) Republik Indonesia No. 5 Tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional. Jakarta.
- Anonim. 2008. SNI 04-7182-2006. <http://www.bsn.go.id> [Jun 2008].
- Anonim. 2008. Specification for Biodiesel (b100) - ASTM D6751-08. http://www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/BDSpec.pdf [Jun 2008].
- Bazan. 2009. Oil Refineries Updates on Global Fuel Price Fluctuation Impact on its 2008. Oil Refineries LTD. Haifa. Israel. Results. http://www.orl.co.il/pressreleases/PR_23Feb09_En.pdf [February, 2009].
- Bajpai, D., dan V.K. Tyagi. 2006. Biodiesel : Source, Production, Composition, Properties and Its Benefits. *Journal of Oleo Science* 55: 487-502.
- Formo, M. W. 1979. Physical Properties of Fats and Fatty Acids. *Di dalam* Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Vol. I, 4th Ed. John Wiley and Sons, New York.
- Heyne, K. 1987. Tumbuhan Berguna Indonesia. Jilid ke-3. Yayasan Sarana Wana Jaya, Jakarta.
- Janulis, P., E. Sendzikiene, V. Makareviciene, dan K. Kazancev. 2005. Usage of Fatty Waste for Production of Biodiesel. www1.apini.lt/includes/getfile.php?id=148 [11 Mar 2009].
- Ketaren, S. 2005. Pengantar Teknologi Minyak & Lemak Pangan. UI-Press, Jakarta
- Khan, A.K. 2002. Research into Biodiesel Kinetics and Catalyst Development. *Tesis*. Departemen Teknik Kimia. Universitas Queensland.
- Knothe, G., dan Steidley, K.R. 2005. Kinematic viscosity of biodiesel fuel components and related compounds. Influence of compound structure and comparison to petrodiesel fuel components. *Fuel*, 84: 1059-1065. National Center for Agriculture Utilization Research. Dept. of Agriculture, Peoria, IL, USA.
- Mattjik, A.A., dan I.M. Sumertajaya. 2006. Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan MINITAB. IPB Press, Bogor.

- Meher, L.C., D.V. Sagar, dan S.N. Naik. 2006. Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification : A Review. *Renewable and Sustainable Reviews* 10: 248-268. eprint.iitd.ac.in/dspace/bitstream/2074/1497/1/mehertec2006.pdf [11 Mar 2009].
- Sujana, A. 2007. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kesambi (*Schleichera oleosa*) dengan Metode Esterifikasi dan Transesterifikasi. Laporan Praktik Kerja Lapangan. Departemen Kimia. Institut Pertanian Bogor.
- Sudrajat, R., Y. Widiyawati & D. Setiawan. 2007. Optimasi proses pada pembuatan biodiesel dari biji jarak pagar. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. Vol. 25 (3): 203-224

LAMPIRAN (*Appendix*)

Lampiran 1. Hasil rendemen minyak (*Oil yield result*)

Ulangan (<i>Reph</i>)	Berat (<i>Weight</i>), g	Bobot minyak (<i>Oil weight</i>), g	Rendemen (<i>Yield</i>) % b/b
1	529	119.5	22.6
2	537	139.7	26.0
3	528	156.7	29.7
4	570	162.8	28.6
5	528	145.0	27.5
6	564	163.1	28.9
7	526	151.1	28.8
8	515	146.2	28.4
9	562	157.6	28.1
10	538	151.1	28.1
11	520	158.0	30.4
12	576	160.8	27.9
13	543	126.9	23.4
14	555	145.1	26.2
Rata-rata (<i>Means</i>)			27.5

Lampiran 2. Nilai bilangan asam biodiesel (*Acid number value of biodiesel*)

Bilangan asam (<i>Acid number</i>) mg KOH/g minyak	Rasio metanol (<i>Methanol ratio</i>)			
	15:1		20:1	
	30 menit	60 menit	30 menit	60 menit
ET	1.368	1.414	1.177	1.087
	0.978	1.252	1.036	0.910
EET	0.783	0.811	0.772	0.715
	0.955	0.771	0.745	0.835
ENT	0.738	0.662	0.641	0.646
	0.867	0.754	0.874	0.604
ETN	0.886	0.724	0.788	0.657
	0.948	0.907	0.845	0.910

Lampiran 3. Viskositas kinematik biodiesel (*Kinematic viscosity of biodiesel*)

No	Perlakuan (<i>Treatments</i>)			Viskositas (<i>Viscosity</i>) cSt
	Tahapan proses (<i>Process stage</i>)	Rasio metanol (<i>Methanol ratio</i>)	Waktu (<i>Time</i>) menit	
1	ET	15:1	30	14.4
2	ET	15:1	60	14.6
3	ET	20:1	30	16.0
4	ET	20:1	60	16.4
5	EET	15:1	30	13.2
6	EET	15:1	60	16.2
7	EET	20:1	30	15.8
8	EET	20:1	60	12.7
9	ENT	15:1	30	12.7
10	ENT	15:1	60	13.0
11	ENT	20:1	30	14.9
12	ENT	20:1	60	17.9
13	ETN	15:1	30	14.6
14	ETN	15:1	60	13.2
15	ETN	20:1	30	16.3
16	ETN	20:1	60	15.2
Rata-rata (<i>Means</i>)				14.8

Lampiran 4. Densitas biodiesel (*Density of biodiesel*)

No	Perlakuan (<i>Treatments</i>)			Densitas (<i>Density</i>) g/cm ³
	Tahapan proses (<i>Process stage</i>)	Rasio metanol (<i>Methanol ratio</i>)	Waktu (<i>Time</i>) menit	
1	ET	15:1	30	0.920
2	ET	15:1	60	0.911
3	ET	20:1	30	0.909
4	ET	20:1	60	0.911
5	EET	15:1	30	0.906
6	EET	15:1	60	0.909
7	EET	20:1	30	0.907
8	EET	20:1	60	0.909
9	ENT	15:1	30	0.911
10	ENT	15:1	60	0.906
11	ENT	20:1	30	0.908
12	ENT	20:1	60	0.906
13	ETN	15:1	30	0.908
14	ETN	15:1	60	0.907
15	ETN	20:1	30	0.909
16	ETN	20:1	60	0.907
Rata-rata (<i>Means</i>)				0.909

Lampiran 5. Rendemen pemurnian biodiesel (*Pure yield of biodiesel*)

No	Perlakuan (<i>Treatments</i>)			Rendemen (<i>Yield</i>) %
	Tahapan proses (<i>Process stage</i>)	Rasio metanol (<i>Methanol ratio</i>)	Waktu (<i>Time</i>) menit	
1	ET	15:1	30	61.31
2	ET	15:1	60	61.32
3	ET	20:1	30	96.83
4	ET	20:1	60	94.34
5	EET	15:1	30	79.58
6	EET	15:1	60	79.55
7	EET	20:1	30	86.49
8	EET	20:1	60	86.45
9	ENT	15:1	30	81.79
10	ENT	15:1	60	81.81
11	ENT	20:1	30	53.01
12	ENT	20:1	60	53.03
13	ETN	15:1	30	58.03
14	ETN	15:1	60	58.04
15	ETN	20:1	30	60.38
16	ETN	20:1	60	60.40
Rata-rata (<i>Means</i>)				72.02

Lampiran 6. Kadar air biodiesel (*Water content of biodiesel*)

No	Perlakuan (<i>Treatments</i>)			Kadar air (<i>Water content</i>) %
	Tahapan proses (<i>Process stage</i>)	Rasio metanol (<i>Methanol ratio</i>)	Waktu (<i>Time</i>) menit	
1	ET	15:1	30	0.82
2	ET	15:1	60	0.73
3	ET	20:1	30	0.47
4	ET	20:1	60	0.60
5	EET	15:1	30	0.69
6	EET	15:1	60	0.68
7	EET	20:1	30	0.44
8	EET	20:1	60	0.62
9	ENT	15:1	30	0.70
10	ENT	15:1	60	0.68
11	ENT	20:1	30	0.12
12	ENT	20:1	60	0.14
13	ETN	15:1	30	0.33
14	ETN	15:1	60	0.26
15	ETN	20:1	30	0.42
16	ETN	20:1	60	0.10
Rata-rata (<i>Means</i>)				0.49