

KAJIAN PEMANFAATAN BIJI KOPI (ARABIKA) SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN BIODIESEL

Bella Simbolon, Kartini Pakpahan, Siswarni MZ

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara

Jl. Almamater Kampus USU Medan, 20155 Indonesia

Email : bellasimbolon@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan minyak biji kopi sebagai bahan baku pembuatan biodiesel dengan proses esterifikasi kemudian dilanjutkan transesterifikasi dan mempelajari pengaruh variasi perbandingan berat pelarut : biji kopi bubuk pada proses ekstraksi minyak biji kopi rusak. Metodologi penelitian meliputi proses penyiapan bahan baku, ekstraksi, dan pengujian. Tahap ekstraksi dilakukan dengan variasi jenis pelarut n-heksana (C_6H_{14}) dan toluena ($C_7H_8(C_6H_5CH_3)$) dan variasi jumlah pelarut melalui perbandingan 1:5, 1:6, 1:7 dan 1:8 terhadap massa sampel tiap run, yakni 40 gram. Variabel tetap lain adalah waktu ekstraksi 2 jam dan suhu ekstraksi dengan pelarut n-heksana (C_6H_{14}) (titik didih $69^{\circ}C$) adalah $70-75^{\circ}C$ dan pelarut toluena ($C_7H_8(C_6H_5CH_3)$) (titik didih $110^{\circ}C$) adalah $110-115^{\circ}C$. Tahap pengujian pemanfaatan minyak kopi dilakukan dengan proses esterifikasi pada perbandingan molar metanol:asam lemak bebas = 3:1 dengan katalis H_2SO_4 1% v/v selama 1 jam dengan pengadukan 600 rpm dan proses transesterifikasi pada perbandingan molar metanol:minyak kopi = 9:1 dengan katalis NaOH 1,75% selama 2 jam dengan pengadukan 600 rpm. Proses esterifikasi sebagai pendahuluan dilakukan karena tingginya kadar asam lemak bebas minyak kopi, yakni 22,2%. Hasil ekstraksi yang diperoleh meliputi rendemen minyak kopi maksimum yang diperoleh 17,73% pada perbandingan berat toluena:bubuk kopi = 6:1, dan data minyak kopi berupa densitas 93,75 gr/ml, viskositas 59,326 cP dan komposisi asam lemak tertinggi adalah asam linoleat sebesar 40,8765% dan asam palmitat 37,4492%. Hasil esterifikasi dan transesterifikasi yang diperoleh berupa metil ester sebesar 39,63% dengan densitas 0,915 gr/ml, viskositas kinematik 22,5498 cSt dan titik nyala $130^{\circ}C$.

Kata kunci : minyak kopi, biodiesel, ekstraksi, esterifikasi, transesterifikasi, yield

Abstract

This research aims to exploit the coffee seed oil as raw material for biodiesel by esterification process, then followed by transesterification process and studied the influence of variations in the weight ratio of solvent: ground coffee beans in the coffee bean oil extraction process. The methodologies of this research are conducted on the process of preparation of raw materials, extraction, and testing phase. Extraction is done with a variety of types of solvent n-hexane (C_6H_{14}) and toluene ($C_7H_8(C_6H_5CH_3)$) and a variety of solvents through a ratio of 1:5, 1:6, 1:7 and 1:8 against the mass of each run, which is 40 gram. Another variable is still 2 hours extraction time and temperature solvent extraction with n-hexane (C_6H_{14}) (boiling point $69^{\circ}C$) is $70-75^{\circ}C$ and the solvent toluene ($C_7H_8(C_6H_5CH_3)$) (boiling point $110^{\circ}C$) is $110-115^{\circ}C$. Testing phase is done by the use of coffee oil esterification process in the molar ratio of methanol: free fatty acid catalyst H_2SO_4 = 3:1 with 1% v / v for 1 hour with stirring 600 rpm and transesterification process at a molar ratio of methanol: oil = 9:1 coffee with 1.75% NaOH catalyst for 2 hours with stirring 600 rpm. Esterification process as conducted preliminary due to high levels of free fatty acids coffee oils, which is 22.2%. Extraction results include the maximum yield of the coffee oils 17.73% in toluene weight ratio: coffee powder = 6:1, and coffee oil data in the form of the density 93.75 g / ml, viscosity 59.326 cP and fatty acid composition of the highest linoleic acid 40.8765% and palmitic acid 37.4492%. The results of esterification and transesterification obtained by the methyl ester equal to 39.63% with density 0.915 g / ml, 22.5498 cSt kinematic viscosity and flash point $130^{\circ}C$.

Keywords: coffee oil, biodiesel, extraction, esterification, transesterification, yield

Pendahuluan

Kopi adalah salah satu potensi kekayaan alam Indonesia yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber biodiesel [6]. Bagian dari tanaman kopi yang potensial untuk dijadikan bahan baku biodiesel setelah melalui pengujian secara psiko-kimia adalah biji kopi [11] dan ampas kopi [8]. Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran

mono-alkyl ester dari rantai panjang asam lemak yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar mesin diesel yang terbuat dari sumber terbaharui. Biodiesel bersifat biodegradable dan mengandung sulfur [4].

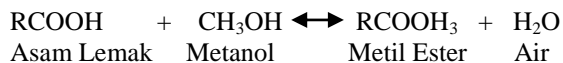
Minyak biji kopi jenis arabika yang menjadi limbah cukup potensial untuk dijadikan bahan baku

biodiesel. Di dalam minyak kopi terkandung komponen utama trigliserida sebesar 81,3% [1].

Sebanyak 0,2-0,3% kadar lemak total pada kopi terdapat pada lapisan lilin pelindung biji. Asam lemak pada lapisan lilin berbeda dari pada minyak kopi. Pada lapisan lilin terdapat asam lemak 5-hidroksitriptamida dari asam palmitat, arachidat, behenat dan lignoserat. Pada minyak kopi terdapat trigliserida dengan asam lemak linoleat (40-45%), asam palmitat (30-35%). Pada ester diterpen terdapat asam palmitat (40-45%) dan asam linoleat (26%). Kadar asam lemak bebas robusta lebih tinggi daripada arabika. Lemak dan turunannya pada biji kopi antara lain trigliserida, asam lemak bebas, ester diterpen, diterpen bebas, triterpen, sterol, ester-ester sterol, tokoferol, fosfatida serta 5-hidroksitriptamida dan turunannya. Peningkatan asam lemak bebas selama penyimpanan menyebabkan kopi menjadi berbau tengik. Diterpen pada biji kopi antara lain safestol, *kahweol*, dan 16-0-methylcofestol. *Kahweol* sedikit sekali terdapat pada kopi robusta, sedangkan pada kopi arabika sebesar 0,31%. 6-0-methylcofestol hanya terdapat pada kopi robusta antara 0,07-0,15%. Rasio kafestol:*kahweol* pada kopi arabika antara 40:60-70:30, sedangkan pada kopi robusta tidak terdapat atau sedikit sekali terdapat *kahweol* [13]. Minyak biji kopi rusak diketahui memiliki kadar asam lemak bebas (FFA) lebih besar dari 5% [12].

Biodiesel dapat diperoleh melalui reaksi transesterifikasi trigliserida dan reaksi esterifikasi asam lemak bebas tergantung dari kualitas minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku [12]. Bila bahan baku yang digunakan adalah minyak mentah yang mengandung kadar asam lemak bebas (*free fatty acid*) tinggi, yakni lebih besar dari 2%, maka perlu dilakukan proses praesterifikasi untuk menurunkan kadar asam lemak bebas hingga sekitar 2% sehingga biodiesel dihasilkan melalui 2 tahap proses, yaitu esterifikasi asam dan esterifikasi alkalin.

Reaksi esterifikasi dari asam lemak menjadi metil ester adalah :

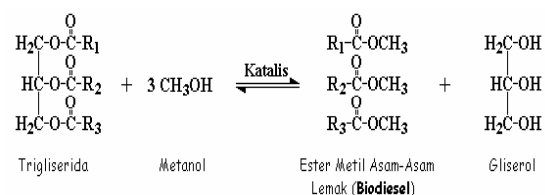


Esterifikasi biasa dilakukan untuk membuat biodiesel dari minyak berkadar asam lemak bebas tinggi (berangka-asam ≥ 5 mg-KOH/g). Pada tahap ini, asam lemak bebas akan dikonversikan menjadi metil ester. Tahap esterifikasi biasa diikuti dengan tahap transesterifikasi. Namun sebelum produk esterifikasi diumpungkan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

Transesterifikasi (biasa disebut dengan alkoholisis) adalah tahap konversi dari trigliserida (minyak nabati) menjadi alkil ester, melalui reaksi

dengan alkohol, dan menghasilkan produk samping yaitu gliserol.

Reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester adalah :



Gambar 1. Reaksi Transesterifikasi Trigliserida Menjadi Metil Ester

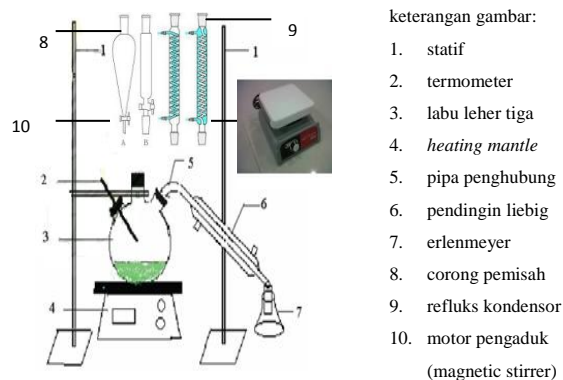
Transesterifikasi juga menggunakan katalis NaOH dalam reaksinya [10].

Kedua proses di atas dilakukan pada temperatur 60°C. Biodiesel yang telah diproduksi juga harus diketahui standarisasinya.

Metodologi Penelitian

Bahan baku yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah biji kopi rusak dari Sidikalang, dan bahan kimia berupa n-heksana (C_6H_{14}), toluena (C_7H_8 ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$)), etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) 96%, indikator phenolphthalein ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$), aquadest (H_2O), metanol (CH_3OH), natrium hidroksida (NaOH), dan asam sulfat (H_2SO_4).

Peralatan utama yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Peralatan Utama

Variabel-variabel dalam percobaan:

- Tahap ekstraksi dengan variabel berubah perbandingan berat pelarut : biji kopi bubuk (5:1, 6:1, 7:1 dan 8:1) serta jenis pelarut (n-heksana dan toluena) sementara suhu operasi yang digunakan adalah 70-75°C untuk pelarut n-heksana dan 110-115°C untuk pelarut toluena dan waktu operasi 120 menit.
- Tahap esterifikasi pada suhu operasi 60°C dan menggunakan katalis H_2SO_4 1% (v/v) selama 60 menit dengan perbandingan molar asam lemak bebas : metanol = 1:3 sementara

kecepatan pengaduk konstan 600 rotasi per menit (rpm).

- Tahap transesterifikasi pada suhu operasi 60°C selama 120 menit dan menggunakan katalis NaOH 1,75% w/w dengan perbandingan molar minyak biji kopi : metanol = 1:9 sementara kecepatan pengaduk konstan 600 rpm.

Dari beberapa variabel yang digunakan diatas, maka akan dilakukan analisa terhadap :

1. Minyak biji kopi
 - a. densitas
 - b. viskositas
 - c. kadar asam lemak bebas (*free fatty acid*)
 - d. *Gas chromatography (GC)* untuk analisa komposisi asam lemak dan asam lemak bebas di dalam minyak biji kopi.
2. Metil Ester
 - a. densitas
 - b. viskositas
 - c. titik nyala
 - d. *Gas chromatography (GC)* untuk analisa komposisi asam lemak dan asam lemak bebas di dalam metil ester.

Hasil dan Pembahasan

Penyiapan Bahan Baku

Bahan baku penelitian ini diperoleh dengan mengikuti proses pengolahan buah kopi secara tradisional yang pada umumnya dilakukan dalam masyarakat. Buah kopi segar yang telah dipanen dikumpulkan dan dimasukkan ke dalam mesin pengupas kulit untuk memisahkan kulit luar buah kopi dengan biji kopi. Pada tahap ini, biji kopi rusak dipilah dari biji kopi yang baik untuk diolah lebih lanjut. Pemilihan ini didasarkan pada penampilan fisiknya, yakni sebagian atau keseluruhan biji membusuk yang ditandai dengan warna hitam pada biji, biji yang terlalu ringan karena memiliki rongga-rongga besar, maupun bentuk kerusakan biji kopi lain. Sesudah itu, biji kopi dicuci dengan air hingga terpisah dari pengotor, seperti lendir atau sisa-sisa kulit buah yang tidak diinginkan, dan dikeringkan dengan sinar matahari hingga kulit keras penutup biji kopi benar-benar kering dan bersih. Proses selanjutnya adalah menumbuk biji kopi kering ini untuk menghancurkan kulit keras penutup biji kopi, kemudian kulit keras ini dipisahkan dengan cara ditampi hingga diperoleh biji kopi rusak yang telah lepas dari kulit dan pengotor lain.

Proses seterusnya adalah penyangraian (*roasting*). Proses ini dilakukan dengan cara penggorengan biji kopi tanpa minyak goreng pada suhu pemanas berupa kompor selama lebih kurang 1 jam hingga timbul wangi khas kopi masak dan biji kopi berwarna coklat hingga kehitaman. Pengaruh panas pada penyangraian kopi seringkali ditunjukkan dengan dehidrasi parsial. Pada waktu yang sama, reaksi oksidasi dan reduksi terjadi di

dalam kopi, seperti juga beberapa reaksi polimerisasi. Kehilangan kandungan air awal pada biji kopi bukan hanya berupa kelembapan, tetapi juga akibat dekomposisi konstituen dalam kopi, terutama karbohidrat selama pemanasan. Dehidrasi pada karbohidrat mengakibatkan timbulnya *caramel*, yang menjadi komponen pokok penyebab timbulnya warna pada kopi. Pengaruh penyangraian terhadap kandungan lemak biji adalah mengurangi berat aktualnya, tetapi tidak mengubah persentasi lemak yang ada dalam jumlah besar, karena pengurangan jumlah lemak terjadi seiring dengan penyusutan biji. Beberapa asam lemak volatil akan tergerak keluar, dan lemak terpecah hingga meningkatkan persentasi jumlah asam lemak bebas, sejumlah ester ringan, *acrolein* dan asam format. Jika penyangraian terlalu lama atau terlalu cepat, lemak akan muncul pada permukaan, akibat pecahnya sel lemak, dengan perubahan kimia lemak secara alami dan ditandai dengan biji yang mengembang dan pecah [12].

Setelah diperoleh biji kopi sangrai/gongseng, langkah selanjutnya adalah penggilingan dan pengayakan. Biji kopi digiling hingga berbentuk bubuk dengan mesin penggiling kopi yang terdapat di pasar tradisional Sidikalang, Kabupaten Dairi. Setelah itu, bubuk kopi diayak dengan ayakan 100 mesh. Laju ekstraksi akan meningkat apabila ukuran partikel bahan baku semakin kecil. Dalam arti lain, rendemen ekstrak akan semakin besar bila ukuran partikel semakin kecil [9].

Ekstraksi

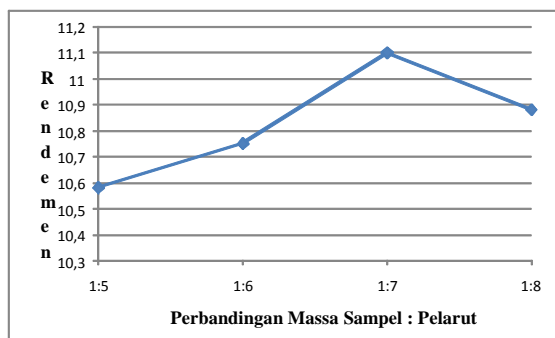
Bahan baku berupa bubuk biji kopi sangrai berukuran kurang lebih 100 mesh diekstraksi dengan menggunakan metode soxhlet. Metode soxhlet ini dipilih antara lain karena:

1. Sampel secara berulang-ulang mengalami kontak dengan bagian pelarut yang masih baru, dengan demikian membantu menggeser kesetimbangan perpindahan
2. Temperatur sistem tetap relatif tinggi karena panas yang dikenakan pada labu destilasi mencapai ruang ekstraksi hingga luas tertentu
3. Tidak diperlukan filtrasi setelah tahap *leaching* [16]

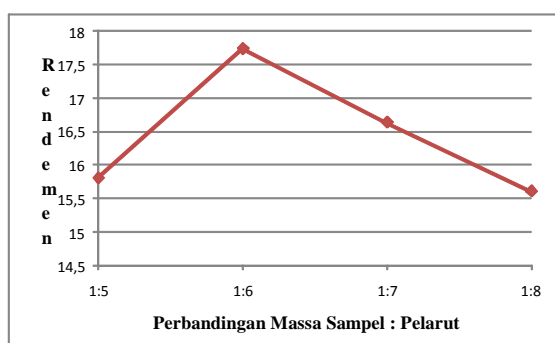
Proses ekstraksi dilanjutkan dengan destilasi untuk memulihkan pelarut yang terpakai dan mendapatkan minyak kopi bebas pelarut. Setelah itu dilakukan analisa rendemen.

Pengaruh Jumlah Pelarut Terhadap Rendemen Minyak

Pengaruh variasi jumlah pelarut terhadap rendemen minyak kopi dapat dilihat pada gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Pengaruh Perbandingan Massa Sampel dengan Pelarut terhadap Rendemen dengan Jenis Pelarut n-Heksana



Gambar 4. Pengaruh Perbandingan Massa Sampel dengan Pelarut terhadap Rendemen dengan Jenis Pelarut Toluena

Dari gambar 3 dan 4 terlihat bahwa rendemen minyak kopi yang diperoleh seiring peningkatan jumlah masing-masing pelarut yang digunakan awalnya meningkat, tetapi kemudian justru menurun. Pada ekstraksi dengan pelarut n-heksana, rendemen menurun pada perbandingan massa sampel : pelarut = 1:8, sedangkan pada pelarut toluena, penurunan rendemen telah terjadi mulai dari perbandingan massa sampel : pelarut = 1:7 dan juga terus menurun pada perbandingan 1:8.

Prinsip ekstraksi padatan-cairan adalah ketika suatu bahan padatan mengalami kontak dengan suatu pelarut, komponen terlarut dalam bahan padatan berpindah ke dalam pelarut. Dengan demikian, ekstraksi pelarut menghasilkan perpindahan massa bahan aktif terlarut ke dalam pelarut, dan perpindahan ini menghasilkan gradien konsentrasi. Secara teori, jika rasio pelarut-bahan baku semakin besar maka jumlah senyawa terlarut yang berpindah juga akan semakin besar pula [9]. Namun, laju perpindahan massa akan semakin menurun seiring meningkatnya konsentrasi bahan aktif di dalam pelarut, hingga kesetimbangan tercapai, dengan kata lain, konsentrasi bahan aktif di dalam bahan padatan dan pelarut telah sama.

Sesudah itu, tidak akan ada lagi perpindahan massa bahan aktif dari bahan padatan ke dalam larutan [3].

Salah satu kekurangan ekstraksi soxhlet adalah sampel diekstraksi pada kisaran titik didih pelarut selama periode waktu yang lama dan kemungkinan dekomposisi termal komponen lain dalam bahan padatan tidak dapat diabaikan, apalagi jika analit termolabil terdapat di dalamnya [16]. Dalam kopi sangrai terdapat zat mudah menguap dalam destilasi yakni *furfuraldehyde* dari karbohidrat, *acrolein* dari lemak, *catechol* dan *pyrogallol* dari tanin, dan amonia, amin dan *pyrrol* dari protein dengan derajat kekompleksan masing-masing. Selain itu, *cafein* atau *trimethylxanthin* ($C_5H(CH_3)_3N_4O_2$) di dalam kopi sangrai memiliki kelarutan yang cukup tinggi dalam toluena, yakni 0,57 gram *cafein*/100 gram larutan jenuh pada suhu $30^{\circ}C$ dan segera tersublimasi pada suhu $120^{\circ}C$ [14], sementara kandungan *cafein* dalam kopi sangrai mencapai 2,4 % berat kering kopi sangrai [5]. Komponen-komponen ini terikut di dalam pelarut, baik akibat pelarutan maupun terikut karena banyaknya pelarut yang terlibat, terlebih setelah titik kesetimbangan tercapai, dan menguap/tersublimasi pada saat destilasi. Hal inilah antara lain yang menyebabkan rendemen minyak yang diperoleh justru semakin menurun pada saat jumlah pelarut meningkat.

Adapun pengaruh jenis pelarut antara n-heksana dan toluena tidak dapat dibandingkan karena konsentrasi kedua pelarut ini berbeda. Konsentrasi toluena yang digunakan adalah murni mendekati 100% (*pro analysis*), sedangkan n-heksana yang dipakai adalah teknis dengan konsentrasi tidak sampai 100%. Hal inilah yang menyebabkan rendemen minyak yang diperoleh dengan pelarut n-heksana jauh lebih rendah daripada dengan toluena. Secara umum, minyak dan lemak dapat larut sempurna dalam etil eter, hidrokarbon, benzene, karbon disulfida dan pelarut-pelarut halogen. N-heksana juga merupakan pelarut minyak atau lemak yang biasa dipergunakan dalam proses ekstraksi dengan pelarut menguap. Kelarutan minyak atau lemak dalam suatu pelarut ditentukan oleh sifat polaritas asam lemaknya. Asam lemak yang bersifat polar cenderung larut dalam pelarut polar, sedangkan asam lemak non polar larut dalam pelarut non polar. Asam lemak berantai pendek cenderung larut dalam pelarut polar, sebaliknya asam lemak berantai panjang tidak dapat larut dalam pelarut polar. Minyak atau lemak tidak larut dalam air dan sedikit larut dalam alkohol, terutama minyak dengan berat molekul rendah, kecuali minyak jarak (*castor oil*) [7].

Rendemen minyak yang diperoleh telah mencapai titik maksimum, yakni 17,73%, apabila dibandingkan dengan teori, yakni 17% [5]. Adapun kelebihan sekitar 0,73% kemungkinan disebabkan pengotor, seperti zat terdekomposisi termal yang

terikut dan belum teruapkan seperti disebutkan diatas.

Pengujian Pemanfaatan Minyak Kopi

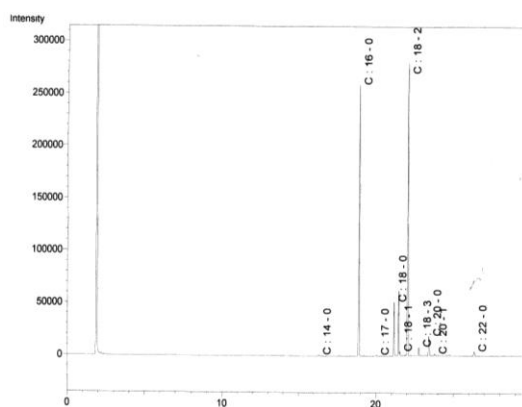
Sampel yang digunakan untuk pengujian pemanfaatan minyak kopi menjadi bahan baku biodiesel adalah 100 ml minyak kopi yang dikumpulkan dari 21 run ekstraksi dengan perolehan rata-rata tiap run 5,2 ml minyak kopi. Analisa Pendahuluan. Analisa pendahuluan yang dilakukan meliputi analisa densitas, viskositas dan kadar asam lemak bebas, dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Karakteristik Minyak Kopi Praktek dengan Teori [5, 12]

Karateristik	Teori	Praktek
densitas relatif (25 ⁰ C) (gr/ml)	0,92 – 1,20	0,9375
viskositas max (25 ⁰ C)	300 cp	59,326 cp
kadar asam lemak bebas (FFA)	> 5%	22,2 %

Dari tabel 1 terlihat bahwa minyak kopi yang dihasilkan masih memenuhi spesifikasi yang dinyatakan dalam teori. Kadar asam lemak bebas yang tinggi menyebabkan proses esterifikasi harus dilaksanakan untuk menghindari terbentuknya sabun pada proses transesterifikasi.

Analisa *gas chromatography* (GC) juga dilakukan untuk mengetahui komposisi asam lemak dalam minyak kopi. Hasilnya terlihat dalam gambar 5 dan data puncak-puncak utama kromatogram terdapat pada tabel 2.



Gambar 5. Kromatogram Minyak Kopi

Secara teori, pada minyak kopi terkandung asam lemak linoleat (40-45%) dan asam palmitat (30-35%) [15]. Oleh karena itu, komposisi minyak kopi yang diperoleh sesuai dengan teori.

Tabel 2. Data Puncak-Puncak Utama Kromatogram Minyak Kopi

Nama Komponen	Nama Umum	% Berat
C14	asam miristat	0,1580
C16	asam palmitat	37,4492
C17	asam margararat	0,1189
C18	asam stearat	7,1224
C18:1	asam oleat	8,8906
C18:2	asam linoleat	40,8765
C18:3	asam linolenat	1,2147
C20	asam arakidat	2,9947
C20:1	asam gadoleinat	0,2761
C22	asam behenat	0,8994
Jumlah		100,0000

Hasil Esterifikasi dan Transesterifikasi

Analisa yang dilakukan terhadap hasil esterifikasi dan transesterifikasi yang diperoleh berupa metil ester, antara lain analisa densitas, viskositas, titik nyala dan *gas chromatography* (GC). Hasil yang diperoleh beserta perbandingannya dengan Standarisasi Mutu Biodisel Indonesia (RSNI EB 020551) ditunjukkan dalam tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Karakteristik Metil Ester Praktek Dengan Standarisasi Mutu Biodisel Indonesia (RSNI EB 020551) [2]

Parameter	Satuan	Batas Nilai	Praktek
Berat jenis pada 40 ⁰ C	kg/m ³	850-890	915
Viskositas pada 40 ⁰ C	CSt	2,3 – 6	22,5498
Titik Nyala	⁰ C	Min 100	130

Sedangkan hasil uji *gas chromatography* (GC) terlihat pada gambar 6 dan data puncak-puncak utamanya diberikan dalam tabel 4.

Tabel 4. Data Puncak-Puncak Utama Kromatogram Campuran Metil Ester Dari Minyak Kopi

Nama Komponen	% Berat
Ester	56,2588
Trigliserida	37,1011
Digliserida	2,5716
Monogliserida	0,5836
Gliserol	0,3446
impurities (unknown)	2,2765

Maka, melalui perhitungan terhadap mol minyak kopi awal dan kemurnian metil ester, diperoleh metil ester yang dihasilkan bernilai 39,63%.

Selain itu, kondisi operasi esterifikasi dan transesterifikasi yang dipakai kemungkinan tidak sesuai untuk menghasilkan biodiesel dari minyak kopi dengan *yield* dan kemurnian yang tinggi. Salah satu contoh adalah tingginya kadar trigliserida dalam metil ester yang diuji kemungkinan disebabkan perbandingan metanol:minyak yang sedikit berlebih. Wahyuningsih (2009) melaporkan bahwa rasio mol metanol-minyak optimum adalah 8:1. Pada perbandingan yang lebih besar, yakni 9:1, *yield* biodiesel yang dihasilkan telah mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena penggunaan metanol yang berlebihan akan meningkatkan pembentukan gliserol. Keberadaan gliserol yang tinggi dalam larutan alkil ester akan mendorong reaksi berbalik kekiri, sehingga *yield* alkil ester menjadi berkurang. Kesalahan dalam pemilihan kondisi operasi ini disebabkan oleh keterbatasan referensi yang akurat mengenai pembuatan biodiesel dari minyak kopi ataupun dari bahan bahan lain yang memiliki komposisi asam lemak menyerupai minyak kopi.

1. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh bahwa minyak yang diperoleh dari limbah biji kopi dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel.
2. Kondisi operasi esterifikasi dan transesterifikasi yang dipakai dalam pengujian pemanfaatan

3. Rendemen minyak tertinggi diperoleh pada ekstraksi dengan pelarut toluena.
4. Perbandingan massa pelarut terhadap massa kopi optimal pada ekstraksi dengan pelarut toluena murni adalah 1:6 dan pelarut n-heksana teknis adalah 1:7.

1. Canaki M, Gerpen JV, *Biodiesel from oils and fats with high free fatty acids*, Trans Am Soc Automptive Engine 44:1429-1436, 2001.
2. Hambali, Erliza, Ani Suryani, Dadang, Hariyadi, Hasim Hanafie, Imam Kartolaksiono Reksowardojo, Mira Rivai, Muhamad Ihsanur, Prayoga Suryadarma, Soekisman Tjitrosemitro, Tatang Hernas Soerawidjaja, Theresia Prawitasari, Tirto Prakoso dan Wahyu Purnama, *Jarak Pagar Tanaman Penghasil Biodiesel*, Penebar Swadaya, Jakarta, 2006.
3. Handa, Sukhdev Swami, Suman Preet Singh Khanuja, Gennaro Longo dan Dev Dutt Rakesh, *Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants*, United Nations Industrial Development Organization and the International Centre for Science and High Technology, ICS-UNIDO, AREA Science Park Padriciano 99, 34012 Trieste, Italy, 2008.
4. Hikmah, Maharani Nurul dan Zuliyana, *Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Dedak Dan Metanol dengan Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi*, Skripsi, Teknik Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang, 2010.
5. Illy A. dan Viani R, *Espresso Coffee: the Chemistry of Quality*, Academic Press, London, p. 56, 1995.
6. Iqbal, Affan., Amran Adri, dan Diah Ayu Kartika, *Pemanfaatan Limbah Kopi Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel*, Usulan Program Kreativitas Mahasiswa, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2011.
7. Ketaren, S, *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*, Edisi 1, Cetakan 1. Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), 1986.
8. Kondamudi N, Mohapatra SK, Misra M, *Spent coffee grounds as a versatile source of green energy*, Journal of Agricultural and Food Chemistry 56 : 11757–60, 2008.
9. Lansida, Faktor-faktor yang berpengaruh pada ekstraksi bahan alam, <http://lansida.blogspot.com/html>, 2011, diakses pada Juni 2012.
0. Mittlebach, M., Remschmidt, Claudia, *Biodiesel The Comprehensive Handbook*. Vienna: Boersedruck Ges.m.bH, 2004.
1. Oliveira L.S., Franca A.S., Camargos R.R.S., Ferraz V.P, *Coffee oil as a potential feedstock*

- for biodiesel production*, Bioresource Technology 99 : 3244–50. 2008.
12. Razon, F. Luis, *Alternative crops for biodiesel feedstock*. CAB Reviews : Perspective in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources 4. No. 056, 2009.
 13. Septianus, *Komposisi Kimia Biji Kopi*. <http://kopiaseli.net/html>, 2011, diakses pada Juni 2012.
 14. Trigg, Charles, W, *The Chemistry of The Coffee Bean*, <http://www.web-books.com/html>, 1922, diakses pada Juni 2012.
 15. Wahyuningsih, Slamet, *Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Kelapa Melalui Reaksi Metanolisis Menggunakan Katalis Heterogen*, Laporan Penelitian TK Universitas Riau. <http://repository.eng.unri.ac.id/pdf>, 2009, diakses pada Juni 2012.
 16. Xiao, Liping, *Evaluation of Extraction Methods for Recovery of Fatty Acids from Marine Products*, Master thesis of EMQAL project, University of Bergen, 2010.