

Pemanfaatan Kulit Telur Ayam dan Abu Layang Batubara sebagai Katalis Heterogen untuk Reaksi Transesterifikasi Minyak Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum Linn*)

Ekky Riza Enggawati dan Ratna Ediaty

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: rediati@chem.its.ac.id

Abstrak—Padatan CaO telah berhasil dipreparasi dengan kalsinasi kulit telur ayam pada suhu 1000 °C. Hasil karakterisasi dengan XRD dan SEM menunjukkan bahwa CaO yang dihasilkan memiliki pola difraktogram serta morfologi yang sama dengan CaO standar. Padatan CaO hasil preparasi tersebut ditanamkan pada permukaan abu layang dengan metode impregnasi, sehingga diperoleh katalis CaO/abu layang dan CaO/abu layang leaching. Hasil karakterisasi dengan SEM dan FTIR menunjukkan bahwa CaO menempel pada permukaan abu layang, serta membentuk ikatan Si-O-Ca dengan silika dari abu layang. Hasil uji katalis pada reaksi transesterifikasi minyak nyamplung dengan metanol menunjukkan bahwa kadar FAME paling besar dicapai oleh katalis 75CFAL, diikuti oleh katalis 75CFA, 50CFAL, CaO, dan 50CFA. Katalis CaO dengan pendukung abu layang menunjukkan aktivitas lebih tinggi dari pada katalis CaO.

Kata Kunci—Katalis Heterogen CaO/Abu Layang; Minyak Nyamplung; Reaksi Transesterifikasi; Biodiesel

I. PENDAHULUAN

Menghadapi situasi akan menipisnya cadangan sumber energi fosil dan meningkatnya kerusakan lingkungan akibat penggunaan energi fosil tersebut, maka penelitian untuk mencari, mengoptimalkan dan menggunakan sumber energi alternatif/terbarukan sangatlah diperlukan. Salah satu energi alternatif nonfosil yang ramah lingkungan adalah biodiesel. Biodiesel merupakan alkil ester rantai panjang atau *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) yang didapatkan dari minyak nabati atau hewani [1], serta memiliki beberapa kelebihan dibanding bahan bakar fosil, yaitu bersifat biodegradable, dapat diperbarui, dan tidak menghasilkan emisi dalam bentuk oksida nitrogen, timbal, sulfur dsb. seperti yang diemisikan oleh minyak diesel [2].

Beberapa tahun terakhir, biodiesel lebih banyak diproduksi dari tanaman pangan [3], seperti biji almond [4], kedelai [5] dan kelapa sawit [6]. Penggunaan bahan baku yang berupa tanaman pangan tersebut akan bersaing dengan kebutuhan pangan manusia, sehingga dibutuhkan bahan baku pembuatan biodiesel yang bukan pangan, seperti biji jarak

pagar [7] dan biji nyamplung [8].

Penggunaan biji tanaman *Calophyllum Inophyllum*, atau yang biasa disebut Nyamplung dan Bintangur sebagai bahan baku pembuatan biodiesel, sedang dikembangkan di Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan (P3HH) telah melaksanakan penelitian pembuatan biodiesel dari biji nyamplung sejak tahun 2005 [9]. Dari penelitian tersebut, didapatkan biodiesel yang semua sifatnya telah memenuhi sifat biodiesel sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 04-7182-2006. Selain itu, biodiesel nyamplung juga telah diuji di jalan raya (*road rally test*), dan memberikan hasil yang memuaskan.

Produksi biodiesel dapat dilakukan dengan dua tahap, yaitu esterifikasi dan transesterifikasi [7]. Jika minyak nabati mengandung asam lemak bebas atau *free fatty acid* (FFA) tinggi (>2%), maka reaksi penyabunan/saponifikasi dapat terjadi pada saat transesterifikasi. Oleh karena itu, sebelum reaksi transesterifikasi, minyak nabati harus di-esterifikasi terlebih dahulu untuk mengurangi kadar FFA [8]. Kadar FFA minyak nyamplung yang cukup tinggi, sekitar 22%, dilaporkan dapat berkurang secara drastis menjadi 1,62% melalui reaksi esterifikasi dengan katalis Al-MCM-41 [10].

Reaksi transesterifikasi adalah reaksi antara minyak atau lemak dengan alkohol untuk membentuk ester dan gliserol. Dalam reaksi transesterifikasi, dibutuhkan katalis untuk meningkatkan laju reaksi dan jumlah alkil ester yang dihasilkan [11]. Pada penelitian yang dilakukan oleh P3HH, katalis yang digunakan untuk transesterifikasi minyak nyamplung adalah NaOH yang merupakan katalis homogen. Katalis homogen dapat meningkatkan laju reaksi lebih cepat dan menghasilkan konversi biodiesel lebih tinggi dibanding katalis heterogen. Akan tetapi, katalis homogen ternyata menimbulkan beberapa masalah, antara lain bercampurnya katalis dengan produk di akhir reaksi karena memiliki fasa yang sama, sehingga diperlukan adanya proses pemisahan [2]. Selain itu, penggunaan katalis homogen dalam reaksi transesterifikasi juga menimbulkan limbah dan emulsi yang

cukup banyak, dan tidak dapat digunakan dalam proses produksi yang berkelanjutan (*continous procces*) [12]. Untuk mengatasi hal ini, katalis heterogen mulai banyak digunakan, karena dapat dengan mudah dipisahkan dari produk, serta limbah yang dihasilkan lebih sedikit [11].

Beberapa katalis heterogen yang telah dikembangkan untuk reaksi transesterifikasi antara lain $\text{KNO}_3/\text{ZrO}_2$ [13], K_3PO_4 [14], nanopartikel MgO [15], $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{KI}$ [16] dan ZnO/Ba [17]. Akan tetapi, bahan kimia yang digunakan untuk sintesis katalis tersebut cukup mahal. Beberapa penelitian telah melaporkan bahwa kulit telur [18] dan cangkang moluska [19] merupakan sumber katalis CaO yang ekonomis. Hasil penelitian sebelumnya [19] menunjukkan bahwa katalis dari hasil kalsinasi kulit telur memiliki kandungan Ca paling tinggi (99,2%), daripada cangkang moluska (*Golden apple snail* – 99,0%, dan *meretrix venus* – 98,6%). Selain itu, luas permukaan aktif dan total volume pori katalis hasil kalsinasi kulit telur juga lebih tinggi ($S_{\text{BET}}=1,1 \text{ m}^2/\text{g}$, total volume pori= $0,005 \text{ cm}^3/\text{g}$) daripada cangkang moluska (*Golden apple snail* dengan $S_{\text{BET}}=0,9 \text{ m}^2/\text{g}$, total volume pori= $0,004 \text{ cm}^3/\text{g}$, dan *meretrix venus* dengan $S_{\text{BET}}=0,5 \text{ m}^2/\text{g}$, total volume pori= $0,002 \text{ cm}^3/\text{g}$). Hal ini menjelaskan mengapa katalis hasil kalsinasi kulit telur menghasilkan FAME dari reaksi transesterifikasi paling tinggi [19].

Pada penelitian sebelumnya [20] katalis CaO digunakan dalam reaksi transesterifikasi minyak bunga matahari pada temperatur $60 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 100 menit dengan nisbah molar metanol dan minyak sebesar 13:1. Reaksi tersebut menghasilkan konversi FAME sebesar 94%. Sementara itu, pada reaksi transesterifikasi minyak bunga matahari selama 5 jam pada suhu $60 \text{ }^\circ\text{C}$ yang menggunakan katalis CaO berpendukung mesopori silika, menghasilkan konversi biodiesel sebesar 95% [21]. Pada reaksi transesterifikasi minyak kedelai yang berlangsung selama 5 jam dengan nisbah molar metanol dan minyak sebesar 6,9:1, serta menggunakan katalis $\text{CaO}/\text{abu layang}$, menghasilkan konversi biodiesel sebesar 96,97% [5]. Para peneliti menemukan bahwa katalis CaO berpendukung memiliki aktivitas yang lebih bagus dalam reaksi transesterifikasi daripada katalis CaO yang tidak berpendukung [22].

Penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan potensi minyak nyamplung sebagai bahan baku biodiesel, produksi biodiesel yang membutuhkan katalis heterogen agar lebih efisien, serta adanya penelitian yang menunjukkan bahwa katalis $\text{CaO}/\text{abu layang}$ dapat digunakan dalam reaksi transesterifikasi. Pada penelitian ini, akan disintesis katalis heterogen CaO berpendukung abu layang dengan variasi kandungan CaO dalam katalis tersebut. Adapun CaO yang digunakan berasal dari kulit telur ayam, sedangkan abu layangnya didapatkan dari limbah pembakaran batubara PT PLTU PAITON Probolinggo. Abu layang dipilih sebagai pendukung karena memiliki kandungan CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , dan Fe_2O_3 yang cukup tinggi. Dengan demikian, katalis

heterogen $\text{CaO}/\text{abu layang}$ pun dapat dibuat dengan biaya yang lebih murah, mengingat kulit telur maupun abu layang merupakan limbah.

II. METODOLOGI

A. Preparasi CaO dari Kulit Telur Ayam

Kulit telur ayam dicuci dengan aquades, dan dibersihkan dari selaput membran. Pencucian diulang hingga tiga kali. Kemudian, kulit telur dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu $100 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Setelah itu, kulit telur ditumbuk hingga menjadi bubuk. Selanjutnya, bubuk kulit telur dikalsinasi pada suhu $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 1 jam.

B. Preparasi Abu Layang

Air panas ditambahkan ke dalam gelas beaker berisi abu layang, kemudian diaduk menggunakan pengaduk mekanik selama 30 menit. Pencucian ini dilakukan sebanyak tiga kali. Selanjutnya, campuran didekantasi sampai terbentuk dua fraksi. Fraksi di atas dibuang. Setelah pencucian, abu layang dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Abu layang yang sudah kering dihaluskan.

C. Leaching Abu Layang

Abu layang yang telah dipreparasi diambil sebagian, dan dicuci dengan larutan HCl 10% dengan perbandingan berat abu layang dan volume HCl sebesar 1:25 (gr/ml). Setiap 1 gram abu layang harus dicuci dalam 25 ml HCl 10%. Pencucian dilakukan menggunakan pengaduk mekanik dengan kecepatan 300 rpm selama satu jam pada suhu $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Selanjutnya, campuran didekantasi hingga terbentuk dua fraksi. Fraksi di atas dibuang. Kemudian, endapan yang tertinggal dicuci dengan aquades panas hingga tiga kali. Setelah itu, endapan yang didapatkan dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

D. Sintesis Katalis $\text{CaO}/\text{Abu Layang}$

Preparasi katalis $\text{CaO}/\text{abu layang}$ dilakukan dengan metode impregnasi basah. Katalis dipreparasi dengan empat macam variasi, yang terdiri dari 50% $\text{CaO}/\text{abu layang}$, 75% $\text{CaO}/\text{abu layang}$, 50% $\text{CaO}/\text{abu layang}$ leaching, dan 75% $\text{CaO}/\text{abu layang}$ leaching. Angka 50% dan 75% menunjukkan variasi kadar CaO pada katalis, yang merupakan perbandingan massa CaO dan pendukungnya. Untuk menghasilkan katalis 50% $\text{CaO}/\text{abu layang}$, bubuk yang didapatkan dari kalsinasi kulit telur, diambil sebanyak 2 gram dan dilarutkan dalam 100 ml aquades, kemudian ditambahkan ke dalam labu leher tiga yang telah berisi 2 gram abu layang yang telah dipreparasi sebelumnya. pH campuran harus berada pada titik 12,15. Jika belum mencapai pH 12,15, dapat ditambahkan larutan asam atau basa. Selanjutnya, campuran tersebut diaduk dalam sistem reflux menggunakan pengaduk mekanik selama 4 jam pada suhu $70 \text{ }^\circ\text{C}$ dan pH 12,15. Setelah itu, campuran didiamkan selama 24 jam dan didekantasi, sehingga didapatkan endapan. Endapan

tersebut dikeringkan dalam oven selama 20 jam pada suhu 100 °C, lalu dikalsinasi pada suhu 1000 °C selama 2 jam. Untuk katalis lainnya dibuat dengan cara yang sama, tetapi jumlah CaO dan abu layang harus sesuai dengan variasi.

E. Degumming Minyak Nyamplung

Minyak nyamplung yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari hasil pres buah nyamplung yang telah dikeringkan di bawah sinar matahari selama 3-5 hari. Minyak tersebut dipanaskan hingga suhu 65 °C, kemudian ditambahkan asam fosfat teknis 85% sebanyak 20% (v/v), dan diaduk menggunakan pengaduk mekanik selama satu jam. Selanjutnya, campuran didiamkan selama semalam, lalu didekantasi. Minyak yang diperoleh dari hasil degumming, kemudian dicuci dengan air panas pada suhu 60-80 °C sampai pH air buangan dari proses pencucian tersebut netral. Minyak hasil netralisasi tersebut dipanaskan pada suhu 105 °C selama 10 menit, kemudian digunakan dalam reaksi esterifikasi.

F. Perhitungan Kadar FFA

Sebanyak dua gram minyak dilarutkan dalam 25 mL isopropanol panas yang telah dinetralkan sebelumnya dengan NaOH. Kemudian, ditambahkan indikator PP sebanyak dua tetes, dan dititrasi dengan NaOH hingga warna keunguan pada larutan tidak hilang sampai 10 detik. Kadar FFA dihitung dengan persamaan:

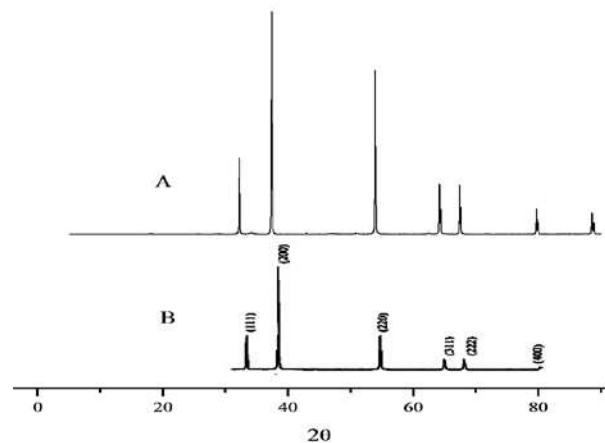
$$\%FFA = \frac{V_{NaOH} \times N_{NaOH} \times Mr \text{ Minyak}}{\text{massa sampel minyak}} \times 100\% \quad (1)$$

G. Reaksi Esterifikasi

Minyak dimasukkan dalam labu leher tiga yang dihubungkan dengan sistem reflux, dan diaduk menggunakan pengaduk mekanik sambil dipanaskan hingga suhu 40 °C, kemudian ditambahkan sejumlah metanol yang telah dicampurkan dengan katalis asam sulfat 18M. Nisbah molar metanol terhadap FFA dalam minyak sebesar 40:1, sedangkan katalis yang ditambahkan sebanyak 5% (v/b) terhadap massa FFA dalam minyak. Campuran diaduk selama 60 menit pada suhu 60 °C, kemudian dimasukkan dalam corong pisah. Lapisan bawah diambil dan dipanaskan pada suhu 105 °C selama 10 menit, lalu digunakan dalam reaksi transesterifikasi.

H. Reaksi Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi dilakukan selama 120 menit pada suhu 60 °C dengan nisbah molar metanol terhadap minyak sebesar 30:1, dan jumlah katalis sebanyak 1,25% (b/b) dari massa minyak. Katalis heterogen dicampurkan terlebih dahulu ke dalam minyak, lalu diaduk dengan pengaduk mekanik dalam sistem reflux sambil dipanaskan hingga mencapai suhu 60 °C. Selanjutnya, sejumlah metanol ditambahkan. Sebagai perbandingan, reaksi transesterifikasi juga dilakukan menggunakan katalis homogen NaOH dengan



Gambar 1. Difraktogram CaO dari kulit telur ayam (A) dan PDF nomor 37-1497 (B)

kondisi reaksi yang sama. Campuran yang diperoleh dari hasil transesterifikasi, dimasukkan dalam corong pisah. FAME yang berada pada lapisan atas dalam corong pisah, diambil dan dipanaskan pada suhu 105 °C selama 10 menit.

I. Analisa Kadar FAME dengan Kromatografi Gas

Analisis kandungan metil ester dalam sampel hasil reaksi transesterifikasi menggunakan kromatografi gas dengan detektor FID dilakukan pada suhu terprogram dari 80 - 230°C. Sebagai internal standar digunakan klorobenzen, sedangkan metil stearat dan metil palmitat digunakan sebagai standar metal ester. Ke dalam tiap 1 mL sampel ditambahkan dengan 10 µL klorobenzen dan dari campuran tersebut diambil 1 µL sampel untuk diinjeksikan ke kromatografi gas.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Preparasi dan Karakterisasi CaO dari Kulit Telur Ayam

Hasil karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan bahwa senyawa yang dihasilkan dari kalsinasi kulit telur ayam pada suhu 1000 °C adalah CaO.

Dalam difraktogram tersebut (Gambar 1), muncul puncak-puncak yang merupakan karakter dari CaO pada $2\theta = 32,26^\circ; 37,41^\circ; 53,90^\circ; 64,20^\circ; 67,43^\circ; 79,71^\circ; 88,57^\circ$. Hasil ini sesuai dengan database PDF nomor 37-1497.

Senyawa utama yang menyusun hampir seluruh bagian kulit telur adalah kalsit (CaCO_3), sehingga pemanasan pada suhu tinggi dapat mengubahnya menjadi CaO [23]. Hasil ini juga sesuai dengan penelitian sebelumnya [24], bahwa CaCO_3 dalam kulit telur ayam akan terdekomposisi menjadi CaO akibat kalsinasi suhu tinggi.



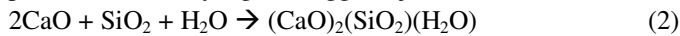
Hasil analisa XRF menunjukkan bahwa senyawa yang didapatkan dari hasil kalsinasi kulit telur ayam pada suhu 1000 °C tersebut mengandung 99,48% unsur Ca serta unsur Co, Fe, Cu, S, Lu, dan Er dalam jumlah yang sangat sedikit. Dengan kandungan Ca yang demikian tinggi, maka kulit telur ayam sangat berpotensi untuk menjadi sumber CaO yang ekonomis.

B. Preparasi dan Karakterisasi Katalis CaO/Abu Layang

Padatan CaO hasil kalsinasi kulit telur diimpregnasikan pada permukaan abu layang atau abu layang *leaching* dengan variasi prosen berat CaO terhadap abu layang sebesar 50% dan 75%, sehingga diperoleh empat macam katalis, yaitu 50CFA dan 75CFA (sebutan untuk katalis dengan abu layang tanpa *leaching*) serta 50CFAL dan 75CFAL (sebutan untuk katalis dengan abu layang hasil proses *leaching*). Hasil XRD (Gambar 2 adan 3) menunjukkan intensitas CaO dalam katalis 75CFA dan 75CFAL lebih tinggi daripada katalis 50CFA dan 50CFAL. Puncak karakter dari CaO tampak mendominasi pada difraktogram 75CFA dan 75CFAL. Sedangkan pada difraktogram 50CFA dan 50CFAL, puncak CaO tidak terlalu terlihat. Hal ini disebabkan kadar CaO dalam 75CFA dan 75CFAL jauh lebih tinggi daripada 50CFA dan 50CFAL.

Difraktogram katalis CFA tidak berbeda jauh dengan katalis CFAL pada kadar CaO yang sama. Akan tetapi, dapat dilihat bahwa katalis CFAL memiliki fasa kuarsa yang lebih banyak daripada katalis CFA, sebab abu layang *leaching* memiliki fasa kuarsa lebih banyak. Perlakuan *leaching* menyebabkan beberapa mineral terlarut, sehingga kadar fasa kuarsa meningkat.

Pada difraktogram keempat katalis tersebut muncul puncak karakter dari fasa dikalsium silikat (CS) pada $2\theta = 31^\circ, 32^\circ, 37^\circ, 47^\circ, \text{ dan } 54^\circ$ [25]. Adanya dikalsium silikat (Ca_2SiO_4) menunjukkan bahwa CaO telah berinteraksi dengan permukaan abu layang, sehingga terjadi reaksi:

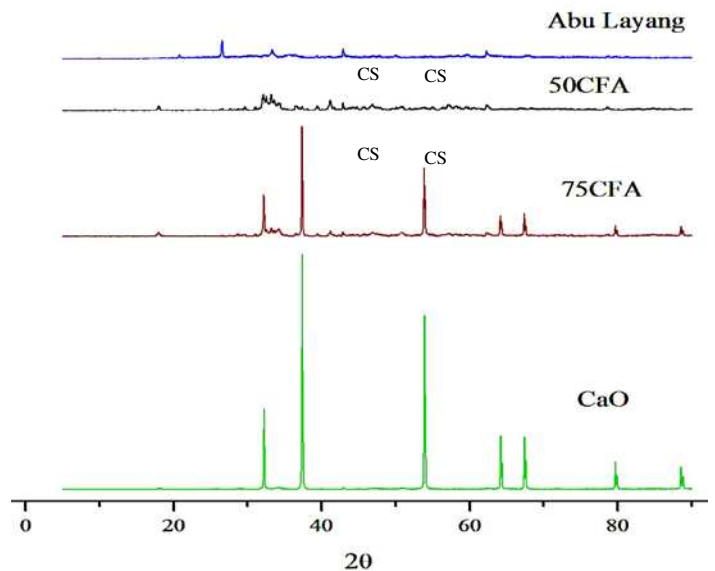


Dengan adanya molekul air, CaO dan SiO_2 bereaksi membentuk dikalsium silikat hidrat. Akan tetapi, karena kalsinasi pada suhu 1000°C , molekul air terlepas sehingga dihasilkan dikalsium silikat (Ca_2SiO_4) [5]. Adanya molekul dikalsium silikat juga dibuktikan dari spektra FTIR pada gambar 4.7. Pada spektra FTIR (Gambar 4) dari katalis CFAL (Gambar 4), muncul pita serapan di daerah sekitar 991 cm^{-1} yang menunjukkan adanya ikatan Si-O-Ca [25].

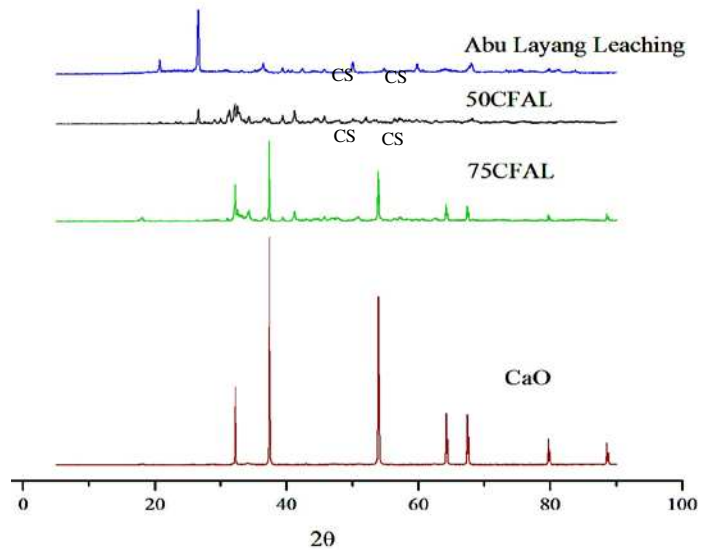
Pada keempat spektra FTIR muncul pita serapan pada bilangan gelombang $1415\text{ cm}^{-1}, 879\text{ cm}^{-1}, \text{ dan } 700\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi gugus CO_3^{2-} . Adanya pita serapan dari gugus CO_3^{2-} disebabkan oleh kontak senyawa dengan udara ruangan, sehingga CO_2 terserap pada permukaan CaO dan membentuk CaCO_3 [26]. Kontak tersebut terjadi secara singkat, yaitu ketika preparasi sampel untuk analisa FTIR.

C. Degumming Minyak Nyamplung

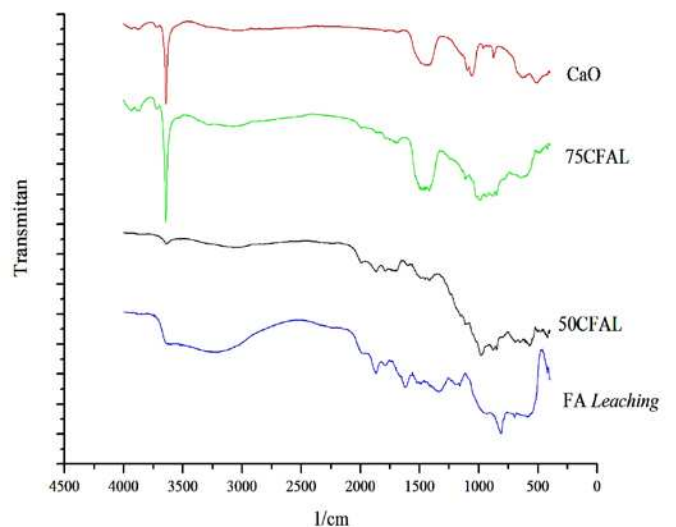
Minyak nyamplung hasil pres biji nyamplung berwarna hijau gelap. Namun, setelah penambahan asam fosfat, warna minyak berangsur-angsur berubah menjadi kecoklatan, dan pada akhir proses degumming minyak berubah warna menjadi coklat kemerahan. Asam fosfat merupakan asam poliprotik yang dapat melepas proton, sehingga bereaksi dengan fosfolipid yang terkandung dalam minyak. Reaksi tersebut menghasilkan gliserol dan endapan hitam yang merupakan residu gum. Setelah minyak dinetralkan dari sisa



Gambar 2. Difraktogram dari CaO, 50CFA, 75CFA, dan abu layang



Gambar 3. Difraktogram dari CaO, 50CFAL, 75CFAL, dan abu layang *leaching*



Gambar 4. Spektra FTIR dari CaO hasil kalsinasi kulit telur ayam pada suhu 1000°C , katalis 75CFAL, katalis 50CFAL, dan abu layang *leaching*

asam, warna minyak berubah menjadi kuning kemerahan dan membeku pada suhu ruang. Pengukuran dengan titrasi menunjukkan bahwa kadar FFA dalam minyak sebesar 17,77%. Karena kadar FFA dalam minyak lebih dari 2%, maka perlu dilakukan reaksi esterifikasi terlebih dahulu.

D. Reaksi Esterifikasi

Reaksi esterifikasi dilakukan untuk mengurangi kadar FFA dalam minyak dengan cara mengkonversi FFA menjadi FAME. Setelah reaksi esterifikasi, kadar FFA dalam minyak berkurang secara signifikan menjadi 0,83% dengan konversi sebesar 95,36%, minyak tidak lagi membeku pada suhu ruang, dan berwarna lebih merah.

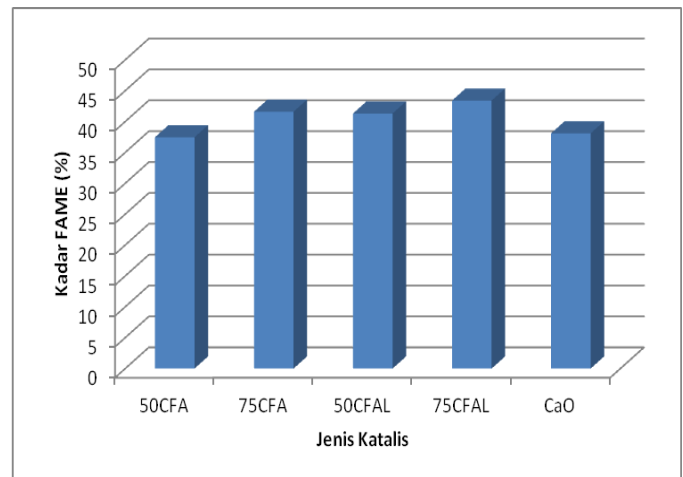
Reaksi metanol dengan FFA bersifat reversibel dan lambat. Agar reaksi berjalan ke arah kanan dan produk yang dihasilkan tinggi, maka nisbah molar reaktan harus tinggi. Oleh karena itu, dalam reaksi esterifikasi kali ini, nisbah molar metanol dengan FFA dalam minyak sebesar 40:1, seperti pada penelitian sebelumnya [27].

E. Reaksi Transesterifikasi

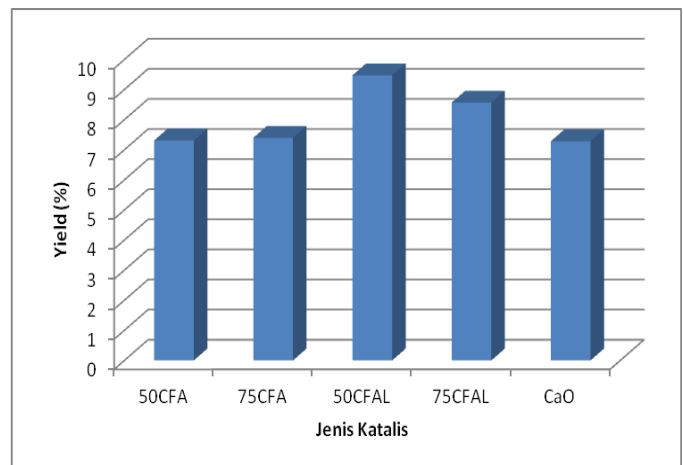
Aktivitas katalis diuji dalam reaksi transesterifikasi pada kondisi yang sama. Masing-masing reaksi transesterifikasi dilakukan pada suhu 60 °C selama 120 menit dengan nisbah molar metanol dengan minyak sebesar 30:1 dan jumlah katalis yang ditambahkan sebesar 1,25% (b/b) dari massa minyak [28].

Seperti yang terlihat pada Gambar 6, katalis 75CFAL menghasilkan kadar FAME paling tinggi sebesar 48,75%, diikuti oleh katalis 75CFA sebesar 47,23%, katalis 50CFAL sebesar 46,91%, katalis CaO sebesar 43,34%, dan katalis 50CFA sebesar 42,45%. Kadar FAME yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi menggunakan katalis CaO ternyata memiliki selisih yang cukup nyata dengan kadar FAME yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi menggunakan katalis CFA dan CFAL. Sebagian besar katalis CaO dengan pendukung abu layang dalam penelitian ini memiliki aktivitas lebih tinggi daripada katalis CaO tanpa pendukung, mengingat kadar FAME yang dihasilkan oleh katalis 75CFA, 50CFAL, dan 75CFAL lebih tinggi daripada katalis CaO. Seperti yang telah dilaporkan sebelumnya [22], bahwa katalis CaO dengan pendukung memiliki aktivitas lebih tinggi daripada CaO tanpa pendukung.

Sementara itu, katalis CFAL memiliki aktivitas lebih tinggi daripada katalis CFA. Abu layang *leaching* memiliki fasa kuarsa lebih banyak daripada abu layang tanpa *leaching*. CaO terimpregnasi pada permukaan abu layang dengan cara berinteraksi dengan fasa kuarsa membentuk dikalsium silikat (Ca_2SiO_4). Dengan demikian, semakin banyak fasa kuarsa dalam abu layang, semakin banyak pula CaO yang terimpregnasi pada permukaan abu layang, sehingga sisi aktif katalis menjadi semakin banyak. Dengan meningkatnya sisi aktif katalis, maka kemungkinan terjadinya reaksi pun semakin tinggi, sehingga produk yang dihasilkan semakin banyak.



Gambar 5. Kadar FAME (%) yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi minyak nyamplung menggunakan katalis hasil preparasi



Gambar 6. Yield FAME (%) yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi minyak nyamplung menggunakan katalis hasil preparasi

Akan tetapi, reaksi transesterifikasi tersebut menghasilkan *yield* yang sedikit, seperti yang terlihat pada Gambar 6.

Yield paling tinggi hanya memiliki nilai sebesar 10,76% yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi dengan katalis 50CFAL, diikuti oleh katalis 75CFAL dengan nilai *yield* sebesar 9,62%, katalis 75CFA sebesar 8,40%, katalis CaO sebesar 8,29%, dan katalis 50CFA sebesar 8,28%. Nilai *yield* yang rendah sangat tidak efisien bagi produksi biodiesel dalam skala besar. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi hasil reaksi transesterifikasi, salah satunya adalah jumlah katalis yang ditambahkan ke dalam reaksi. Pada penelitian kali ini, katalis yang ditambahkan ke dalam reaksi sebesar 1,25% (b/b) seperti yang telah dilakukan dalam penelitian sebelumnya [28]. Pada penelitian tersebut nilai *yield* maksimal, sebesar 89%, didapatkan dari reaksi dengan jumlah katalis sebesar 1,25% (b/b). Sedangkan pada penelitian lain yang menggunakan katalis heterogen, kondisi optimal tercapai dengan penambahan katalis sebesar 10% [19], 8% [29], dan 6% [17]. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk menentukan kondisi optimal

(nisbah molar metanol dengan minyak dan jumlah katalis yang digunakan) bagi reaksi transesterifikasi minyak nyamplung dengan katalis heterogen CFAL, mengingat kadar FAME yang dihasilkan cukup tinggi.

IV. KESIMPULAN

Katalis CaO/abu layang dapat dihasilkan melalui impregnasi CaO pada abu layang. CaO yang digunakan didapatkan dari kalsinasi kulit telur ayam pada suhu 1000 °C. Hasil uji aktivitas katalis dalam reaksi transesterifikasi menunjukkan bahwa katalis CaO berpendukung abulayang memiliki aktivitas lebih tinggi daripada katalis CaO tanpa pendukung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dra. Ratna Ediati, MS., Ph.D selaku dosen pembimbing atas semua saran dan bimbingannya selama penyelesaian artikel, rekan tim penelitian, dan Laboratorium Kimia Material dan Energi serta Laboratorium Studi Energi dan Rekayasa atas fasilitas yang telah dipergunakan untuk menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K.G. Georgianni, A.P. Katsoulidis, P.J. Pomonis, dan M.G. Kontominas, "Transesterification of soybean frying oil to biodiesel using heterogeneous catalysts", *Fuel Processing Technology*, 90, (2009) 671-676.
- [2] Y.C. Sharma, B. Singh, dan S.N. Upadhyay, "Advancements in development and characterization of biodiesel: A review", *Fuel* 87, (2008) 2355-2373.
- [3] M.M. Gui, K.T. Lee, dan S. Bhatia, "Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock", *Energy* 33, (2008) 1646-1653.
- [4] A. Demirbas, "Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey", *Energy Conversion and Management* 44, (2003) 2093-2109.
- [5] R. Chakraborty, S.Bepari, dan A. Banerjee, "Transesterification of soybean oil catalyzed by fly ash and egg shell derived solid catalysts", *Chemical Engineering Journal* 165, (2010) 798-805.
- [6] H.C. Ong, T.M.I. Mahlia, H.H. Masjuki, dan R.S. Norhasyima, "Comparison of palm oil, *Jatropha curcas* and *Calophyllum inophyllum* for biodiesel: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, (2011) 3501-3515.
- [7] S. Shah dan M.N. Gupta, "Lipase catalyzed preparation of biodiesel from *Jatropha* oil in a solvent free system", *Process Biochemistry* 42, (2007) 409-414.
- [8] V. Sathya-Selvabala, K.D. Selvaraj, J. Kalimuthu, P.M. Periyaraman, dan S. Subramanian, "Two-step biodiesel production from *Calophyllum inophyllum* oil: Optimization of modified β -zeolite catalyzed pre-treatment", *Bioresource Technology* 102, (2011)1066-1072.
- [9] Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, "Pembuatan biodiesel dari biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.)", (2008).
- [10] I. Zahroyani, "Sintesis katalis Al-MCM-41 dan aplikasinya pada esterifikasi minyak biji nyamplung (*Calphyllum inophyllum* L.)", Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya, (2011).
- [11] Z. Helwani, M.R. Othman, N. Aziz, J. Kim, dan W.J.N. Fernando, "Solid heterogeneous catalysts for transesterification of triglycerides with methanol: A review", *Applied Catalysis A: General* 363, (2009) 1-10.
- [12] M. Zabeti, W.M.A.W. Daud, dan M.K. Aroua, "Activity of solid catalysts for biodiesel production: A review", *Fuel Processing Technology* 90, (2009) 770-777.
- [13] J. Jitputti, B. Kitiyanan, P. Rangsunvigit, K. Bunyakiat, L., Attanatho, dan P. Jenvanitpanjakul, "Transesterification of crude palm kernel oil and crude coconut oil by different solid catalysts", *Chemical Engineering Journal* 116, (2006), 61-66.
- [14] G. Guan, K. Kusakabe, and S.Yamasaki "Tri-potassium phosphate as a solid catalyst for biodiesel production from waste cooking oil". *Fuel Process Technology* 90, (2009) 520-524.
- [15] L. Wang dan J.Yang, "Transesterification of soybean oil with nano-MgO or not in supercritical and subcritical methanol", *Fuel* 86, (2007) 328-333.
- [16] S. Furuta, H. Matsuhashi, and K. Arata, "Biodiesel fuel production with solid amorphouszirconia catalysis in fixed bed reactor", *Biomass and Bioenergy* 30, (2006) 870-873.
- [17] W. Xie and Z.Yang, "Ba-ZnO catalysts for soybean oil transesterification", *Catalysis Letters* 117, (2007) 159-165.
- [18] L. Wang dan J.Yang, "Transesterification of soybean oil with nano-MgO or not in supercritical and subcritical methanol", *Fuel* 86, (2007) 328-333.
- [19] N. Viriya-empikul, P. Krasae, B. Puttasawat, B. Yoosuk, N. Chollacoop, dan K. Faungnawakij, "Waste shells of mollusk and egg as biodiesel production catalysts", *Bioresource Technology* 101, (2009) 3765-3767.
- [20] M.L. Granados, Z.M.D. Poves, M.D. Alonso, R. Mariscal, C.F. Galisteo, R. Moreno-Tost, J. Santamaría, dan J.L.G. Fierro, "Biodiesel from sunflower oil by using activated calcium oxide", *Applied Catalyst B: Environmental* 73, (2007) 317-326.
- [21] M.C.G. Albuquerque, I. Jiménez-Urbistondo, Santamaría-González., J.M. Mérida-Robles, R. Moreno-Tost, E. Rodríguez-Castellón, Jiménez-López., D.C.S. Azevedo, C.L. Cavalcante, dan P. Maireles-Torres, "CaO supported on mesoporous silicas as basic catalysts for transesterification reactions", *Applied Catalysis A: General* 334, (2008) 35-43.
- [22] P. Boey, G.P. Maniam, S. Abd Hamid, "Performance of calcium oxide as heterogeneous catalyst in biodiesel production: a review", *Chemical Engineering Journal* 168, (2011) 15-22.
- [23] J. Boro, D. Deka, dan A.J. Thakur, "A review on solid oxide from waste shells as catalyst for biodiesel production", *Renewable and Sustainable Energy* (2012), doi: 10.1016/j.rser.2011.09.011.
- [24] B. Engin, H. Demirtas, dan M. Eken, "Temperature effects on egg shells investigated by XRD, IR and ESR techniques", *Radiation Physics and Chemistry* 75, (2006) 268-277.
- [25] D. Jain, C. Khatri, dan A.Rani, "Fly ash supported calcium oxide as recyclable solid base catalyst for Knoevenagel condensation reaction", *Fuel Processing Technology* 91, (2010) 1015-1021.
- [26] M. Verziu, S. Coman, R. Richard, dan V. Parvulescu, "Transesterification of vegetable oils over CaO catalysts", *Catalyst Today* 167, (2011), 64-70.
- [27] E.C. Buchlotz, "Biodiesel Synthesis and Evaluation: An Organic Chemistry Experiment", *Journal of Chemical Education* 84, No.2 (Feb, 2007).
- [28] B.K. Venkanna dan V. Reddy, "Biodiesel production and optimization from *Calophyllum inophyllum* Linn Oil (honne oil)—a three stage method", *Bioresource Technology* 100 (21), (2009), 5122-5125.
- [29] X. Liu, H. He, Y. Wang, S. Zhu, dan X. Piao, "Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst". *Fuel* 87 (2008), 216-221.