

TRANSESTERIFIKASI MINYAK IKAN PERAK (*Mene maculata*) DENGAN KATALIS CaO DARI CANGKANG TELUR AYAM

Transesterification of Silver Fish Oil (*Mene maculata*) with CaO Catalyst from Chicken Egg Shells

Kartika Tahya^{1*}, Candra Tahya², Healthy Kainama¹

¹Study Program of Chemistry Education, Faculty of Teacher Training and Education, Pattimura University, Jl. Ir. Putuhena, Ambon-Indonesia.

²Chemistry Education Study Program, Faculty of Education, Pelita Harapan University, Tangerang, Indonesia.

*Corresponding author, e-mail: tika.tahya2012@gmail.com

Received: Jun. 2019 Published: Jul. 2019

ABSTRACT

Silver fish (*Mene maculata*) is a type of pelagic fish found in the Moluccas sea, this fish has a high oil content so that it is easy to extract the oil content for transesterification. The transesterification reaction of oil from silver fish oil needs a catalyst, and heterogenous catalyst is a better choice. This study was determined the fatty acid methyl ester composition of *M. maculata* by transesterification process using heterogeneous CaO catalyst from chicken egg shells through 3 steps i.e. oil isolation, CaO catalyst synthesis, and oil transesterification reactions. Oil isolation was carried out by soxhletation method using petroleum ether with the oil content was 13.51%. Synthesis of CaO catalyst was carried out by calcination at 1000 °C for 2 hours and then characterized by XRD. Fish oil is transesterified using CaO catalyst in a ratio of 11% (w/v) of the mixture. Furthermore, fatty acid methyl esters obtained were analyzed using GC-MS. The results showed 6 methyl ester fatty acids as composition of transesterification products which were methyl myristic (11.85%), methyl palmitoleate (8.71%), methyl palmitic (25.13%), methyl oleic (9.49%), methyl stearic (10.04%), and methyl 5,8,11,14-eikosatetraenoate (1.96%).

Keywords: Fatty acid, heterogeneous catalyst CaO, *Mene maculata*, transesterification.

PENDAHULUAN

Ikan Perak biasanya akan dikonsumsi masyarakat Maluku bila ikan-ikan yang lain mengalami kenaikan harga yang tinggi. Ikan ini pun dikenal sebagai ikan yang berminyak, hal ini dapat terlihat dari kandungan minyak pada ikan Perak sebesar 13,94% (Pupella, 2012). Dengan demikian ikan ini akan mudah diambil kandungan minyaknya untuk dilakukan proses transesterifikasi.

Reaksi transesterifikasi adalah suatu reaksi konversi molekul ester (trigliserida) menjadi molekul ester yang lebih sederhana. Transesterifikasi adalah tahap konversi dari trigliserida (minyak/lipid yakni ester) menjadi alkil ester yang lebih sederhana (Hikmah dan Zuliyana, 2013). Reaksi transesterifikasi minyak/lipid adalah reaksi yang lambat sehingga memerlukan katalis untuk mempercepat terbentuknya produk. Katalis yang sering

digunakan untuk reaksi ini adalah katalis homogen, baik itu katalis asam maupun basa (Canakci dan Van Gerpen, 2001) walaupun katalis heterogen juga bisa digunakan.

Penelitian terkait analisis komponen asam lemak melalui tahap transesterifikasi dengan menggunakan katalis asam (BF₃-metanol) atau katalis basa (natrium metanolat) telah dilakukan (Pupella, 2012). Penggunaan katalis homogen (BF₃-metanol) ternyata memiliki beberapa kekurangan yaitu proses pencucian residu katalis menghasilkan limbah, dan katalis ini tak dapat digunakan kembali sehingga tidak ekonomis (Surbhi dkk., 2011) dan dapat menghasilkan produk yang tidak diinginkan seperti gliserol eter atau dialkil eter bila suhu reaksi di atas 80 °C, juga konversi ester menjadi berkurang dengan adanya air dalam sampel atau katalis (Berchmans dan Hirata, 2007).

Untuk mengatasi kekurangan yang dimiliki oleh katalis homogen, dilakukan pengembangan proses transesterifikasi menggunakan katalis heterogen. Katalis heterogen dapat digunakan kembali, ramah lingkungan, murah dan mampu menghasilkan produk secara maksimal. Kemampuan katalis heterogen dalam proses transesterifikasi sangat baik khususnya katalis basa (MacLeod dkk., 2008). Beberapa katalis heterogen telah bekerja pada produksi biodiesel, misalnya CaO, MgO, dan *hydrotalcites* (Refaat, 2011).

Katalis CaO dari cangkang telur ayam dapat memenuhi semua persyaratan katalis heterogen di atas, dan untuk meninjau hasil reaksi transesterifikasi minyak ikan maka dilakukan penelitian ini. Katalis CaO dapat dihasilkan dari sumber alamnya yakni cangkang telur ayam yang banyak mengandung CaCO₃ (Talha dan Sulaiman, 2016). Cangkang telur ayam adalah limbah yang mudah didapat dan murah harganya namun mengandung kandungan aktif katalis CaO hingga 94% (Leung dkk., 2010). Proses pemanasan dengan suhu tinggi menyebabkan hilangnya CO₂ dari CaCO₃ sehingga terbentuk CaO.

Kouzo dkk. (2008) melaporkan bahwa produksi biodiesel dari transesterifikasi minyak kedelai dengan katalis CaO, Ca(OH)₂, CaCO₃ pada 1 jam reaksi dari hasil FAME (*Fatty Acid Methyl Esters*) adalah 93% untuk CaO, 12% untuk Ca(OH)₂, dan 0% untuk CaCO₃.

METODOLOGI

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: satu set alat refluks Pyrex, satu set alat ekstraksi soxhlet, *hot plate*, cawan petri, cawan porselen, neraca analitik (*adam equipment*), *hair dryer*, lumpang, oven (*Memert*), tanur furnace 47900, *vacuum evaporator Buchii*, peralatan refluks, difraktometer sinar X Shimadzu Goniometer XD-3H, Kromatografi Gas-Spektrometer Massa (GC-MS Shimadzu QP-2010), corong pisah dan ayakan 100 mesh, dan beberapa peralatan gelas lain seperti labu alas bulat, gelas kimia, erlemeyer, corong, pipet tetes dan gelas ukur.

Bahan

Bahan penelitian yang digunakan adalah: daging Ikan Perak (*M. maculata*), cangkang telur ayam, metanol p.a (*E. Merck*), petroleum eter p.a (*E. Merck*), Na₂SO₄ *anhydrous* p.a (*E. Merck*), *n-heksana* p.a (*E. Merck*), aquades, dan kertas saring Whatman no. 42.

Prosedur Kerja

Persiapan sampel

Ikan dibersihkan dari sisiknya, dibelah, diambil dagingnya, dipotong kecil-kecil, kemudian dikeringkan menggunakan *hair dryer* sampai kadar air sedikit berkurang kemudian dimasukan dalam oven dengan suhu 47-50 °C sampai ikan kering dan daging ikan dihaluskan menggunakan lumpang.

Isolasi Minyak

Daging ikan Perak kering yang telah dihaluskan ditimbang 100 g, kemudian dibungkus dengan kertas saring, bagian atas ditutup dengan kapas kemudian dimasukan kedalam ekstaktor, dan dimasukan 300 mL petroleum eter. Ekstraksi dilakukan sampai campuran didalam ekstraktor menjadi bening. Ekstrak yang diperoleh kemudian dituangkan dalam gelas ukur yang diketahui beratnya kemudian dievaporasi hingga pelarutnya menguap kemudian ditimbang.

Preparasi Katalis

Cangkang telur ayam dicuci dengan akudes hingga bersih dari lapisan protein di bawah cangkang telur sehingga hanya diambil cangkang terurnya saja. Selanjutnya bahan cangkang telur ini dikeringkan di dalam oven pada suhu 100 °C selama 24 jam. Bahan dasar katalis kemudian digerus menggunakan lumpang dan alu hingga halus kemudian diayak hingga ukuran 100 mesh.

Sintesis Katalis CaO dari Cangkang Telur

Serbuk cangkang telur ayam hasil ayakan kemudian ditimbang sebanyak 100 gram. Proses sintesis katalis CaO dari cangkang telur dilakukan dengan memasukkan padatan serbuk cangkang telur ke dalam tanur. Proses kalsinasi dilakukan dengan pemanasan padatan pada suhu 1000 °C selama 2 jam lalu didinginkan. Setelah itu CaO hasil kalsinasi sebanyak 1 g dikarakterisasi menggunakan alat *X-Ray Diffractometer* (XRD).

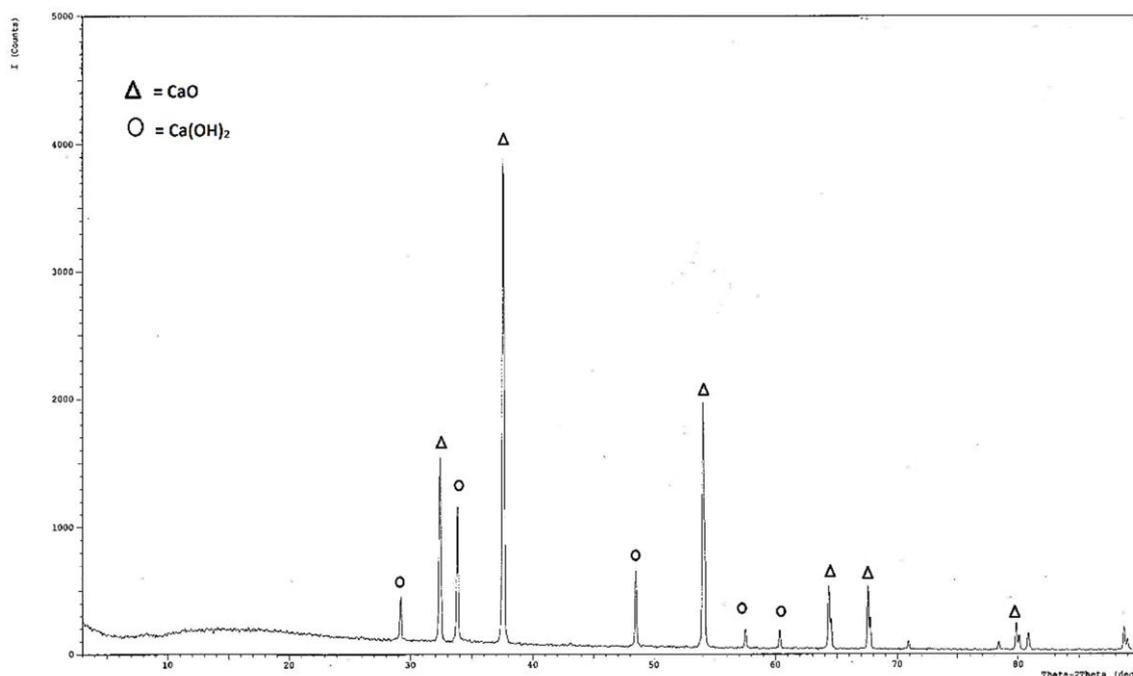
Reaksi Transesterifikasi

Minyak ikan Perak dimasukkan ke dalam alat refluks kemudian ditransesterifikasi dengan metanol (perbandingan volum minyak dan metanol adalah 1:12) dan ditambahkan dengan katalis CaO dari cangkang telur ayam dengan berat 11% (w/v) dari campuran (MacLeod dkk., 2008).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis CaO dari cangkang telur ayam

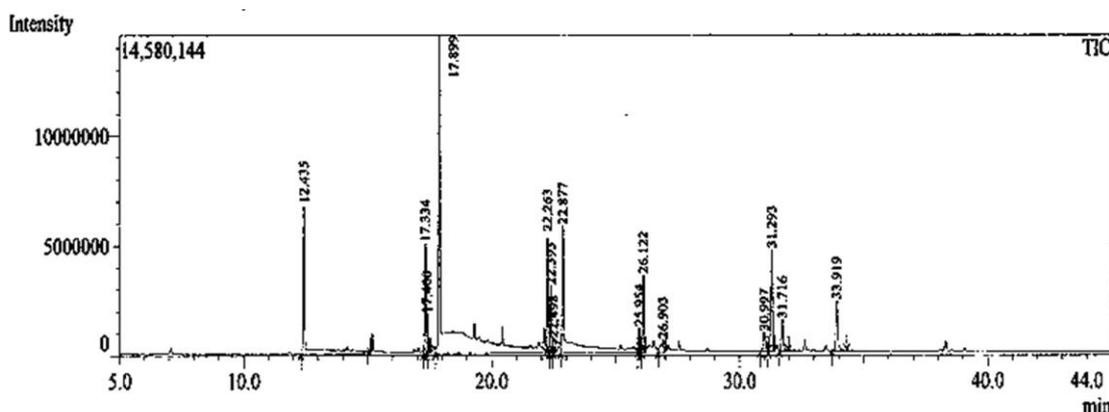
Sintesis katalis CaO diawali dengan proses pembersihan yang bertujuan menghilangkan selaput protein pada cangkang telur dan pengotor lain yang tidak diinginkan kemudian dilakukan



Gambar 1. Difraktogram XRD CaO cangkang telur hasil kalsinasi

Campuran direfluks pada temperatur 63-64 °C selama 7 jam. Campuran hasil reaksi didinginkan dan ada terbentuk 2 lapisan, yaitu di atas metil ester, dan di bawah gliserol. Kedua lapisan dipisahkan menggunakan corong pisah. Kemudian lapisan metil ester selanjutnya dicuci dengan aquades dan dipisahkan, selanjutnya ditambahkan 70 mL n-heksana dan dicuci kembali dengan aquades dan dipisahkan lagi. Selanjutnya ditambahkan Na₂SO₄ *anhydrous* untuk mengikat air, dan dibiarkan semalaman untuk besoknya dilakukan penyaringan, campuran disaring dengan kertas saring Whatman 42, dan n-heksana diuapkan menggunakan *Evaporator* Buchi, selanjutnya metil ester yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan GC-MS.

pengeringan padatan cangkang telur dalam oven pada suhu 100 °C selama 24 jam untuk menguapkan air. Selanjutnya bahan dasar cangkang telur digerus dengan lumpang hingga halus dan diayak hingga ukuran melewati 100 mesh. Proses pengayakan ini bertujuan untuk memperbesar permukaan padatan, semakin kecil ukuran katalis yang diperoleh maka semakin besar luas permukaan katalis tersebut, sehingga diharapkan reaktan akan teradsorpsi lebih banyak pada permukaan katalis sehingga dapat meningkatkan kecepatan reaksi. Proses kalsinasi dengan suhu tinggi untuk menghilangkan pengotor, dan menghilangkan CO₂ dari CaCO₃ sehingga dapat diperoleh CaO. Konversi CaO yang diperoleh dari kalsinasi 100 g cangkang telur adalah sebesar 53,31%.

Gambar 2. Kromatogram hasil transesterifikasi minyak ikan Perak (*M. maculata*)

Karakterisasi CaO dari cangkang telur ayam ras dengan difraktometer sinar-X (XRD)

Difaktogram hasil XRD pada cangkang telur yang dikalsinasi pada suhu 1000 °C (Gambar 1) menghasilkan pola difraksi yang ditunjukkan oleh puncak-puncak pada $2\theta = 29,1849; 32,3808; 33,8084; 34,0246; 37,5414; 48,4970; 48,7765; 54,0491; 57,5377; 60,3488; 64,3488; 67,5666; 79,8408; 80,8259; 88,7071$.

Tingkat kristalinitas dari CaO cangkang telur terlihat pada puncak difraksi yang dihasilkan sempit dan tajam yang menunjukkan bahwa katalis CaO yang diperoleh memiliki tingkat kristalinitas yang tinggi.

Minyak Ikan Perak (*Mene maculata*)

Isolasi minyak ikan Perak (*M. maculata*) dilakukan dengan metode ekstraksi soxhletasi

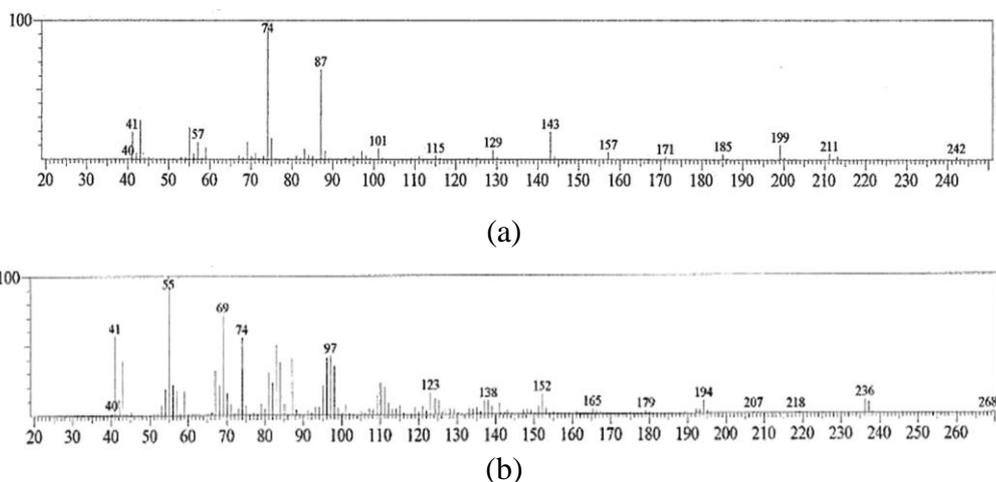
Tabel 1. Hasil transesterifikasi minyak ikan Perak menggunakan GC-MS.

| No. | Waktu Retensi (menit) | Senyawa Metil Ester | Komposisi (%) |
|-----|-----------------------|----------------------------------|---------------|
| 1. | 12,433 | Metil miristat | 11,85 |
| 2. | 17,333 | Metil palmitoleat | 8,71 |
| 3. | 17,900 | Metil palmitat | 25,13 |
| 4. | 22,267 | Metil oleat | 9,49 |
| 5. | 22,875 | Metil stearat | 10,04 |
| 6. | 25,950 | Metil-5,8,11,14-eikosatetraenoat | 1,96 |

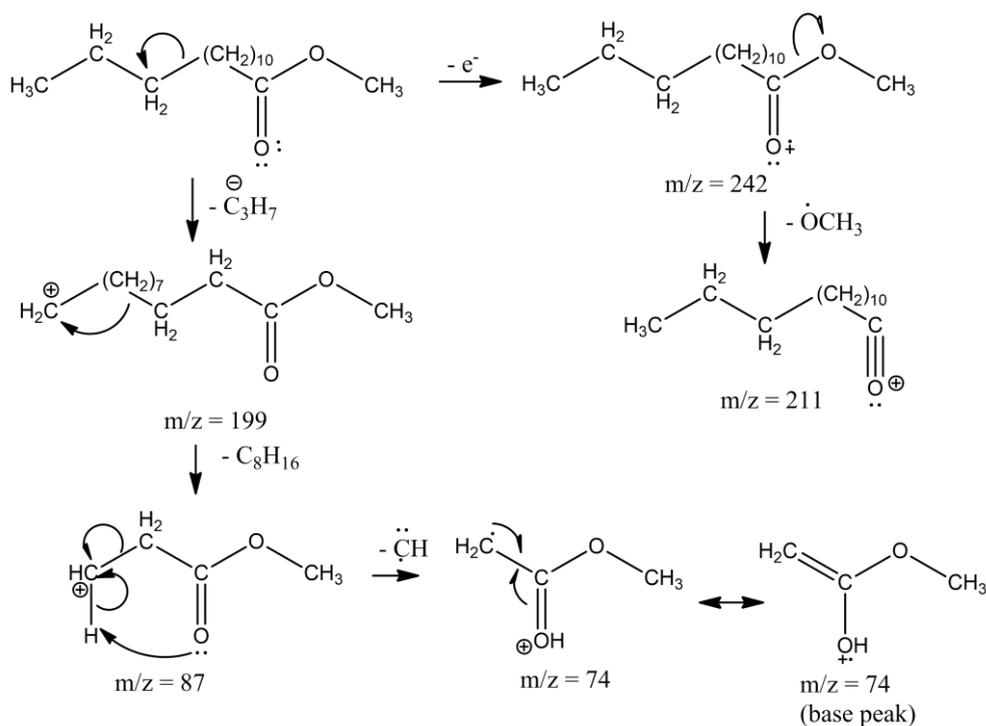
Dari 15 puncak yang terlihat terdapat 3 puncak yang paling kuat yaitu pada $2\theta = 32,3808$ dengan intensitas 1148, $2\theta = 37,5414$ dengan intensitas 3293, dan $2\theta = 54,0491$ dengan intensitas 1823 merupakan puncak khas CaO. Cangkang telur yang telah dikalsinasi yang memiliki ciri puncak CaO, yaitu pada $2\theta = 32,3808; 37,5414; 54,0491; 64,3488; 67,5666; 79,8408$. Puncak kecil pada $2\theta = 29,1849; 33,8084; 48,7769$ merupakan puncak khas $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang menunjukkan adanya hidrasi dari kalsium oksida. Kalsium oksida segar mengalami penyerapan air dari udara dan hal ini tidak dapat dihindarkan karena sifat dari CaO yang higroskopis (Demirbas, 2009).

menggunakan petroleum eter. Metode ekstraksi soxhletasi dipilih karena secara umum digunakan untuk ekstraksi lemak dari bahan makanan. Selain itu, metode ini dipilih karena pelarut yang digunakan lebih sedikit (meningkatkan efisiensi penggunaan bahan), mengurangi biaya produksi, dan ekstrak yang dialirkan melalui pipa sifon tetap tinggal di dalam labu sehingga pelarut yang digunakan untuk mengesktrak sampel selalu baru (Brewer dkk., 2016).

Pemilihan petroleum eter sebagai pelarut karena lebih selektif dan bersifat nonpolar sehingga cocok untuk mengestraksi minyak yang juga bersifat nonpolar yang didasarkan pada prinsip "like dissolves like".



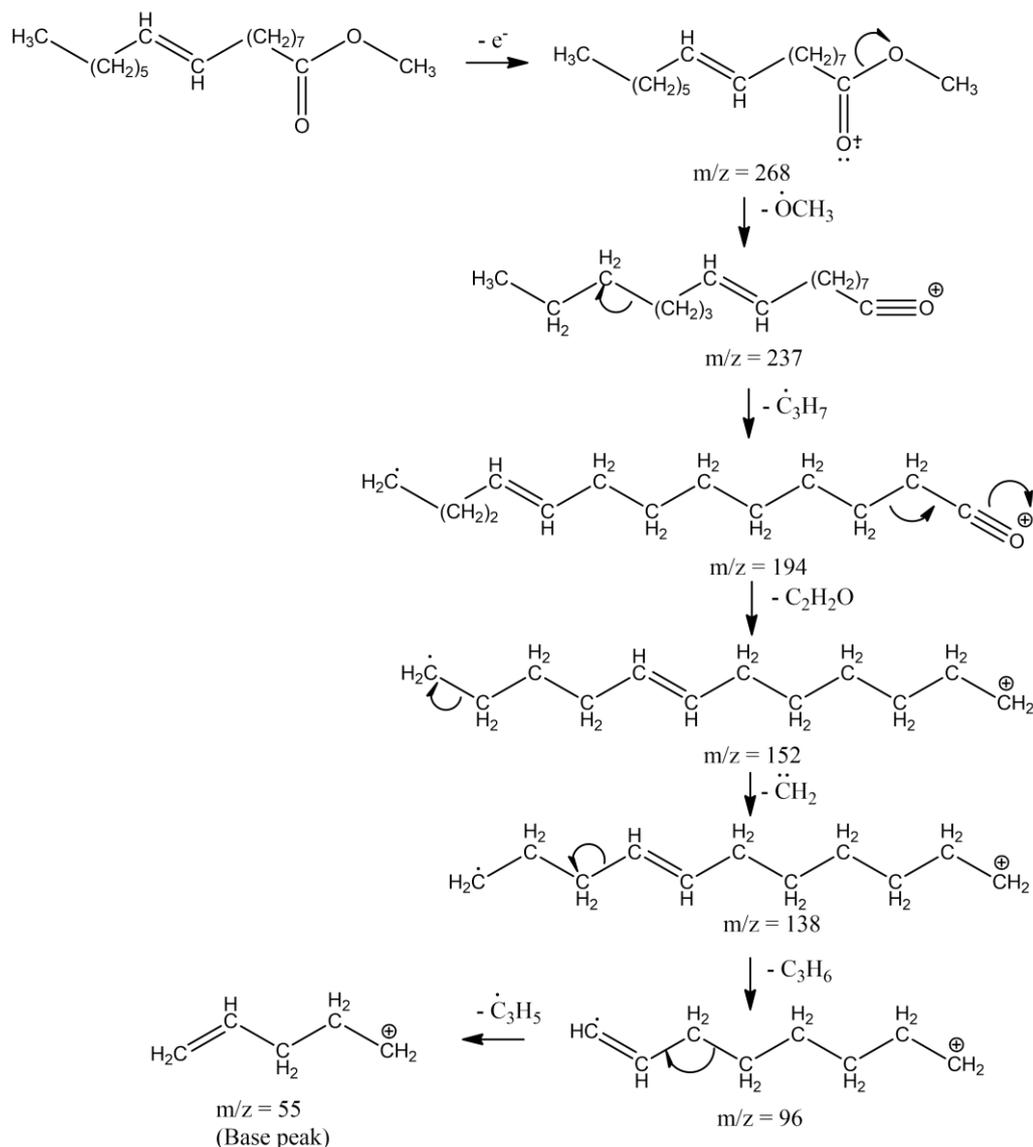
Gambar 3. Spektrum massa senyawa (a) metil miristat dengan waktu retensi 12,433 menit, (b) metil palmitoleat dengan waktu retensi 17,333 menit.



Gambar 4. Usulan Fragmentasi metil miristat dengan waktu retensi 12,433 menit.

Petroleum eter juga memiliki sifat yang stabil dan mudah menguap sehingga baik untuk digunakan dalam proses ekstraksi. Sebelum dilakukan isolasi minyak, daging ikan terlebih dahulu dikeringkan untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat dalam sampel. Jika terdapat kandungan air dalam daging, maka minyak sukar diekstraksi dengan pelarut

nonpolar (petroleum eter) karena pelarut non-polar sukar masuk ke dalam jaringan yang basah oleh air (polar) air sehingga kurang efisien untuk proses ekstraksi (Talha dan Sulaiman, 2016). Berdasarkan hasil penimbangan dan perhitungan, kadar air yang terdapat dalam daging ikan Perak (*M. maculata*) adalah 67,44%.



Gambar 5. Usulan Fragmentasi metil palmitoleat dengan waktu retensi 17,333 menit.

Proses Transesterifikasi

Pada penelitian ini, hasil yang diperoleh dari ekstraksi 100 g ikan kering adalah 13,51g (13,51%) minyak ikan berwarna coklat tua. Selanjutnya diambil sebanyak 2,07 g minyak ikan untuk ditransesterifikasi menggunakan CaO dan metanol. Perbandingan minyak dan methanol yaitu 1:12 untuk mendapatkan metil ester yang maksimal, sesuai dengan penelitian yang dilaporkan oleh (Di Serio dkk., 2007).

Pertambahan metanol berlebih mendorong kesetimbangan bergeser ke arah pembentukan produk sehingga dapat mengakibatkan hasil metil ester yang diperoleh meningkat (Demirbas,

2009). Tetapi, kendalanya adalah kelebihan metanol dapat menghambat pemisahan fase gliserol dan fase metil ester (Wei dkk., 2009). Waktu reaksi transesterifikasi dipilih selama 7 jam karena hasil metil ester akan mencapai nilai maksimum pada waktu reaksi selama 7 jam (Eevera dkk., 2009).

Digunakan juga katalis CaO sebanyak 11% (w/v) campuran metanol-minyak dan suhu reaksi sesuai yang dikemukakan oleh (Wei dkk., 2009) untuk mendapatkan produk metal ester yang optimal. Dalam hal ini, suhu reaksi dijaga pada suhu 63-64 °C. Semakin tinggi suhu reaksi dapat meningkatkan hasil metil ester, tetapi ketika suhu

reaksi lebih tinggi dari titik didih metanol, maka akan terbentuk gelembung yang menghambat perpindahan massa produk pada permukaan fase (Zabeti dkk., 2009). Selain itu, pengadukan dengan batang magnetik agar campuran dapat terdistribusi merata dan terjadi kontak yang optimal antara katalis dan reaktan. Sebagaimana hasil yang dilaporkan Zabeti dkk. (2009) bahwa pengadukan yang tidak merata akan membentuk 3 fasa yaitu metanol, minyak dan katalis.

Fase padat dari katalis CaO membutuhkan pengadukan yang cepat untuk mendapatkan kondisi distribusi katalis yang merata. Katalis direaksikan terlebih dahulu dengan metanol sehingga terbentuk $\text{Ca}(\text{OCH}_3)_2$ (Liu dkk., 2007). Adanya ion metoksi, pencampuran ini dilakukan mencegah terbentuknya air dalam reaksi yang menyebabkan saponifikasi (Ma dan Hanna, 1999). Hasil akhir diperoleh 2 lapisan lapisan atas merupakan metil ester dan lapisan bawah merupakan gliserol kemudian lapisan atas dan bawah dipisahkan.

Analisis hasil Transesterifikasi Minyak Ikan Perak (*Mene maculata*) menggunakan GC-MS

Hasil transesterifikasi minyak ikan Perak (*M. maculata*) yang dianalisis menggunakan GC-MS adalah diperoleh 15 puncak kromatogram seperti pada Gambar 2. Setelah dilakukan identifikasi terhadap spektrum massa dari puncak-puncak yang dominan maka terdapat 6 senyawa yang dapat diidentifikasi seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Puncak kromatogram dengan waktu retensi 12,433 menit dan 17,333 menit memberikan spektrum massa yang ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan spektrum massa pada Gambar 3(a) maka dapat dibuat usulan mekanisme fragmentasinya seperti pada Gambar 4. Pada spektrum massa (Gambar 3a), terlihat bahwa puncak awal $m/z = 242$ sebagai ion molekuler metil miristat. Kemudian yang puncak kedua yang muncul adalah puncak dengan $m/z = 211$ yang berasal dari lepasnya gugus metoksi ($\bullet\text{OCH}_3$) (a) dari ion molekuler ($m/z = 242$) yang menandakan adanya senyawa metil ester. Puncak dengan $m/z = 119$ berasal dari lepasnya gugus propil (b) dari ion molekuler. Adanya ikatan jenuh ditunjukkan dengan munculnya puncak pada $m/z = 43, 57, 71, \text{ dan } 85$, yang merupakan deret ion $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}^+$. Sedangkan deret ion

$\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{O}_2^+$ untuk ester alifatik muncul puncak pada $m/z = 101, 115, 129, 143, 157, 185, \text{ dan } 199$. Puncak pada $m/z = 87$ berasal dari lepasnya gugus $-\text{C}_8\text{H}_{16}$ dari $m/z = 199$. Puncak dasar muncul pada $m/z = 74$ berasal dari ion $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2^+$ yang merupakan hasil pemecahan β melalui reaksi penataan ulang McLafferty dari $m/z = 87$. Dari fragmentasi tersebut, maka dapat diketahui bahwa senyawa dengan waktu retensi 12,433 menit adalah metil miristat.

Berdasarkan spektrum massa pada Gambar 3(b) maka dapat dibuat usulan mekanisme fragmentasinya seperti pada Gambar 5. Ion molekuler senyawa metil ester muncul dengan $m/z = 268$. Adanya satu ikatan $\text{C}=\text{C}$ ditunjukkan dengan munculnya deret ion $\text{C}_n\text{H}_{2n-1}^+$ yaitu pada puncak $m/z = 41, 55, 69, 83, 96, 111, 125, \text{ dan } 139$, yang diikuti oleh limpahan kecil dari deret ion $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}^+$ pada puncak $m/z = 43, 57, 71, \text{ dan } 85$.

Puncak dengan $m/z = 237$ berasal dari ion $\text{C}_{16}\text{H}_{29}\text{O}^+$ yang dihasilkan dari lepasnya gugus metoksi ($\bullet\text{OCH}_3$) dari ion molekuler ($m/z = 268$) yang menandakan adanya senyawa metil ester. Fragmen dengan $m/z = 194$ berasal dari lepasnya gugus propil dari fragmen $\text{C}_{16}\text{H}_{29}\text{O}^+$ $m/z = 237$. Fragmen dengan $m/z = 152$ berasal dari lepasnya gugus $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}$ dari fragmen dengan $m/z = 194$. Dengan lepasnya gugus $-\text{CH}_2$ dari fragmen $m/z = 152$ menghasilkan $m/z = 138$ dan lepasnya radikal gugus C_3H_6 dari fragmen $m/z = 138$ menghasilkan fragmen dengan $m/z = 96$. Fragmen dengan $m/z = 96$ melepaskan radikal $\bullet\text{C}_3\text{H}_5$ sehingga menghasilkan fragmen dengan $m/z = 55$ yang merupakan puncak dasar. Dari fragmentasi tersebut, maka dapat diketahui bahwa senyawa dengan waktu retensi 17,333 menit adalah metil palmitoleat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan diperoleh metil ester dari ekstraksi 100 g ikan kering adalah 13,51 g (13,51%) minyak berwarna coklat tua. Persen komposisi 6 metil ester asam lemak hasil transesterifikasi minyak ikan Perak (*M. maculata*) yaitu metil miristat (11,85%); metil palmitoleat (8,71%); metil palmitat (25,13%); metil oleat (9,49%); metil stearat (10,04%); dan metil-5,8,11,14-eikosaetraenoat (1,96%). CaO yang dihasilkan dari cangkang telur ayam dapat berperan sebagai

katalis dalam proses transesterifikasi asam lemak dari minyak ikan Perak (*M. maculata*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Program Studi Pendidikan kimia Universitas Pattimura dan Universitas Pelita Harapan yang telah membantu selama proses penelitian hingga diterbitkannya hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Brewer, D.R., Franco, J.M., Garcia-Zapateiro, L.A., 2016, Rheological properties of oil-in-water emulsions prepared with oil and protein isolates from sesame (*Sesamum Indicum*), *Food Sci. Technol.*, 36(1), 64–69.
- Berchmans, H.J., Hirata, S., 2007, Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids, *Bioresour. Technol.*, 99(2008), 1716–1721.
- Canakci, M., Gerpen, J, Van., 2001, Biodiesel production from oil and fats with high free fatty acids, *Am. Soc. Agric. Eng.* 44(6), 1429–36.
- Demirbas, A., 2009, Progress and recent trends in biodiesel fuels, *Energy Convers. Manag.*, 50(1), 14–34.
- Di Serio, M., Cozzolino, M., Giordano, M., Tesser, R., Patrono, P., Santacesaria, E., 2007, From Homogeneous to Heterogeneous Catalysts in Biodiesel Production, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 46(20), 6379–6384.
- Everera, T., Rajendran, K., Saradha, S., 2009, Biodiesel production process optimization and characterization to assess the suitability of the product for varied environmental conditions, *Renew. Energy*, 34(3), 762–765.
- Hikmah, M.N., Zuliyana., 2013, Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Dedak dan Metanol dengan Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi, *Skripsi: Universitas Diponegoro*. Semarang.
- Kouzu, M., Kasuno, T., Tajika M., Sugimoto Y., Yamanaka S., Hidaka J., 2008, Calcium oxide as a solid base catalyst for transesterification of soybean oil and its application to biodiesel production, *Fuel*, 87(12), 2798 – 2806.
- Leung, D.Y.C., Wu, X., Leung, M.K.H., 2010, A review on biodiesel production using catalyzed transesterification, *Appl. Energy*, 87(4), 1083–1095.
- Liu, Y., Lotero, E., Goodwin, J.G., Mo, X., 2007, Transesterification of poultry fat with methanol using Mg–Al hydrotalcite derived catalysts, *Appl. Catal. A-Gen*, 331(Complete), 138–148.
- Ma, F., Hanna, M.A., 1999, Biodiesel production: a review, *Bioresour. Technol.*, 70(1), 1–15.
- MacLeod, C.S., Harvey, A.P., Lee, A.F., Wilson, K., 2008, Evaluation of the activity and stability of alkali-doped metal oxide catalysts for application to an intensified method of biodiesel production, *Chem. Eng. J.*, 135(1–2), 63–70.
- Pupella, R., 2012, Analisis Komponen Asam Lemak dari Ikan Parang-Parang (*Chirocentrus dorab*) dan Ikan Perak (*Mene maculata*), *Skripsi: Program Studi Pendidikan Kimia, FKIP UNPATTI, Ambon*.
- Refaat, A.A., 2011, Biodiesel production using solid metal oxide catalysts. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 8(1), 203–221.
- Surbhi, S., Ajay K.A., Rajendra P.B., Deepak, K.T., 2011, Biodiesel production using heterogeneous catalysts. *Bioresour. Technol.*, 102(3), 2151–2161.
- Talha, N.S., Sulaiman, S., 2016, Overview of catalysts in biodiesel production. *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, 11(1), 439–442.
- Wei, Z., Xu, C., Li, B., 2009, Application of waste eggshell as low-cost solid catalyst for biodiesel production. *Bioresour. Technol.*, 100(11), 2883–2885.
- Zabeti, M., Daud, W.M.A.W., Aroua, M.K., 2009, Activity of solid catalysts for biodiesel production: A review. *Fuel Process. Technol.*, 90(6), 770–777.