



Peranan Waktu Pengadukan Terhadap Karakteristik Kompleksasi Urea sebagai Sarana Pemisahan Asam Lemak Omega dari Minyak Nabati

Dwi Ardiana Setyawardhani^{1,2,*}, Hary Sulisty², Wahyudi Budi Sediawan², dan Mohammad Fahrurrozi²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta
Jl. Ir. Sutami No. 36 A Surakarta, Telp./Fax (0271) 632112

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UGM
Jl. Grafika 2 Kampus UGM Yogyakarta

*Penulis korespondensi: dwi_ardiana@yahoo.com

Abstract

MIXING-TIME EFFECTS OF THE UREA COMPLEXATION CHARACTERISTICS FOR SEPARATING OMEGA FATTY ACIDS FROM VEGETABLE OIL. *Modern society concerns more on health, in which natural foods are highly preferred. Poly-Unsaturated Fatty Acids (PUFAs) such as omega 6 and omega 9 are believed to be very important on degenerative prevention. The PUFAs intake as concentrate is preferred than the one of the whole oil, in order to avoid saturated fatty acids consumption to the human body. Omega 6 and omega 9 fatty acids are mainly content in the vegetable oil. One of the methods of concentrating PUFAs from the oil is urea complexation. For commercial scale, this is very interesting and promising process in Indonesia, which is rich in vegetable oil resources. This method consists of 3 steps : 1) saponification and acidification of the vegetable oil, 2) urea-complexation process and 3) recovery of the PUFAs. The urea-complexation is a separation process based on the molecular size of the aliphatic organic compounds. The objective of the research was to study the effects of mixing time on the crystallization step. This study showed that mixing-time could improve SFA and reduce PUFA in urea inclusion compound, which lead to SFA reduction and PUFA improvement in the concentrate. Mixing also affected the tendency of the fatty acids molecules to form inclusion with urea crystal, and enhanced the substitutions of the guest molecules, especially for polar fatty acids such as MUFA and PUFAs.*

Keywords: *fatty acids; mixing-time; PUFA; urea complexation; vegetable oil*

Abstrak

Pentingnya hidup sehat menjadikan konsumsi bahan alami menjadi bagian dari gaya hidup modern. Salah satu nutrisi penting adalah asam lemak tak jenuh ganda (Poly Unsaturated Fatty Acid - PUFA), seperti omega 6 dan omega 9 yang berfungsi untuk mencegah berbagai penyakit degeneratif. Asam lemak omega 6 dan 9 banyak terkandung di dalam minyak nabati. Konsumsi dalam bentuk konsentrat asam lemak dinilai lebih efektif karena asam lemak jenuh hanya sedikit yang terikut dalam konsumsi. Salah satu metode pengkonsentrasian PUFA adalah kompleksasi urea. Teknologi pengkonsentrasian PUFA sangat berpotensi untuk dikembangkan di dalam negeri mengingat Indonesia kaya akan sumber minyak nabati. Kompleksasi urea terdiri atas 3 tahapan yaitu 1) tahap penyiapan asam lemak bebas dari minyak nabati, 2) tahap kristalisasi (fraksinasi kompleksasi urea), dan 3) tahap pemungutan asam lemak tak jenuh. Proses ini didasarkan pada pemisahan asam lemak

jenuh dan tak jenuh pada minyak nabati berdasarkan perbedaan ukuran diameter molekulnya. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh waktu pengadukan terhadap komposisi asam lemak melalui proses kompleksasi urea pada minyak nabati. Berdasarkan hasil penelitian ini, adanya pengadukan dapat meningkatkan kadar SFA dan menurunkan PUFA di fraksi kristal, yang berdampak pada penurunan kadar SFA di NUCF dan meningkatkan kadar PUFA di NUCF. Adanya pengadukan juga mempengaruhi tendensi asam lemak untuk masuk ke dalam kristal urea dan mempermudah pergantian guest molecules, khususnya bagi asam lemak polar seperti MUFA dan PUFA.

Kata kunci: asam lemak; waktu pencampuran; PUFA; kompleksasi urea; minyak nabati

How to Cite This Article: Setyawardhani, D.A., Sulisty, H., Sediawan, W.B., dan Fahrurrozi, M., (2016), *Peranan Waktu Pengadukan Terhadap Karakteristik Kompleksasi Urea sebagai Sarana Pemisahan Asam Lemak Omega dari Minyak Nabati*, Reaktor, 16(2), 81-86, <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.16.2.81-86>

PENDAHULUAN

Perkembangan pemahaman manusia akan pentingnya pencegahan penyakit dan konsumsi bahan alami, membawa perubahan pada gaya hidup masyarakat modern ke arah pola hidup sehat. Asam lemak tak jenuh ganda (*Poly Unsaturated Fatty Acid* - PUFA), seperti *Linoleic Acid* (LA), *Alpha-Linolenic Acid* (ALA), *Eicosa Pentaenoic Acid* (EPA) dan *Docosa Hexaenoic Acid* (DHA) merupakan salah satu nutrisi penting bagi kesehatan. Bagi bayi dan balita, PUFA bermanfaat sebagai sumber nutrisi perkembangan otak dan sistem syaraf. Bagi orang dewasa, kegunaannya sangat luas dalam upaya pencegahan berbagai penyakit degeneratif (Nettleton, 1995). Menurut Kinsella (1986) dan Simopoulos (1996), PUFA mampu menurunkan kadar kolesterol, mengurangi resiko thrombosis, serta mencegah cardiovascular (antiaterotrombotik, antiaritmik dan antihipertensif), hipertensi, inflammatory, autoimmune disorder dan kelainan syaraf tertentu (Poudyal dkk., 2011; Dyerberg, 1986; dan Mehta dkk., 1988).

Free Fatty Acid (FFA) terdiri atas 3 golongan, yaitu: 1) asam lemak jenuh (*Saturated Fatty Acid*-SFA) semisal asam palmitat atau stearat; 2) asam lemak tak jenuh tunggal (*Mono Unsaturated Fatty Acid*-MUFA) semisal asam oleat, dan 3) asam lemak tak jenuh ganda (PUFA), semisal asam linoleat dan linolenat. Asam lemak ω -3 banyak terdapat dalam ikan laut (*marine/fish oil*), seperti tuna, sardin, herring, menhaden dan ikan kod, sedangkan LA (ω -6) merupakan komponen utama hampir semua minyak tumbuhan (nabati) (Nettleton, 1995).

Untuk memperoleh efektifitas pemanfaatan PUFA sebagai sumber asam lemak esensial, konsumsi minyak secara langsung menyebabkan asam-asam lemak lain khususnya asam lemak jenuh akan terikat ke dalam tubuh. Oleh karena itu, PUFA perlu dipisahkan/dikonsentrasikan dari asam lemak jenuh. Berbagai teknik pengambilan, pemisahan dan pembuatan konsentrat PUFA telah banyak diteliti dan dikembangkan. PUFA dapat dipisahkan dari minyak nabati dengan metode kristalisasi solven, kristalisasi suhu rendah, ekstraksi superkritis, enzimatik maupun inklusi urea (Vasquez dan Akoh, 2012; Haraldsson dan Kristinsson, 1998; Chen dan Ju, 2001; Dong dan

Walker, 2008; Shahidi, 2005). Penelitian ini memilih metode kompleksasi urea untuk pemisahan asam lemak karena tidak memerlukan kondisi ekstrim yang dapat mendegradasi PUFA, prosesnya sederhana, kristal cenderung stabil dan berpotensi untuk skala besar (Hayes dkk., 1998). Prinsip metode ini adalah pemisahan asam lemak jenuh dan tak jenuh berdasarkan ukuran diameter molekul. Asam lemak jenuh yang berantai lurus (berdiameter molekul lebih kecil) cenderung mudah membentuk inklusi/kompleks dengan kristal urea yang berbentuk heksagonal. Channel kristal urea berukuran terbatas, sehingga molekul asam lemak jenuh berdiameter lebih kecil akan lebih mudah terinklusi ke dalamnya, dibandingkan dengan asam lemak tak jenuh yang berantai melekul.

Senyawa inklusi adalah susunan senyawa yang terdiri atas 2 komponen saling berikatan melalui ikatan hidrogen dan ikatan Van der Waals (Thakral dan Madan, 2006). Pada ikatan ini lazim dikenal istilah "host" untuk molekul kristalnya, dan "guest" untuk molekul yang masuk/terikat ke dalam kristal. Pada senyawa inklusi urea (*Urea Inclusion Compounds*-UICs), molekul urea saling terikat satu sama lain dengan ikatan hidrogen dalam struktur *spiral/helix* seperti pada rantai DNA, yang menyisakan rongga di tengahnya berbentuk channel (kanal). Kisi-kisi urea tetragonal memiliki diameter 5,5 Å dan akan membesar menjadi 8-12Å berbentuk heksagonal saat terisi oleh molekul tamu (guest) yang berupa senyawa rantai lurus dengan diameter lebih kecil dari diameter kanal (Shahidi, 2005). Ikatan antara host dan guest molecules ini bukan ikatan kimia konvensional biasa seperti ikatan ion atau kovalen, namun di antara kedua molekul tersebut ada interaksi yang lemah sehingga guest molecule dapat bergerak dengan leluasa di dalam rongga/terowongan kristal urea. Molekul-molekul asam lemak saling berkompetisi untuk memasuki kanal. Asam lemak jenuh yang berantai lurus, dengan diameter lebih kecil, cenderung lebih mudah terinklusi ke dalam kristal urea.

Pada produksi konsentrat asam lemak omega, faktor-faktor yang berperan penting di antaranya adalah suhu kristalisasi, perbandingan jumlah urea dan asam lemak, waktu kristalisasi dan pengaruh

pengadukan. Pada penelitian sebelumnya (Setyawardhani dkk., 2014) telah dipelajari pengaruh perbandingan jumlah urea/FFA maupun perbandingan urea/etanol terhadap komposisi asam lemak di dalam konsentrat, serta jumlah perolehan (yield) yang dihasilkan dari sejumlah campuran asam lemak. Semakin tinggi perbandingan urea terhadap FFA, semakin besar pula kadar PUFA di dalam konsentrat, meskipun jumlah perolehannya menurun. Demikian pula apabila etanol yang ditambahkan makin banyak, kelarutan urea dalam etanol semakin besar sehingga menurunkan kecenderungan terbentuknya kristal, yang berakibat menurunnya kadar asam lemak omega dalam konsentrat.

Pengaruh suhu kristalisasi juga telah dipelajari pada penelitian yang dilakukan oleh Setyawardhani dkk. (2015). Suhu merupakan faktor yang sangat penting, karena perubahan komposisi asam lemak yang terjadi cukup signifikan. Suhu yang semakin rendah menurunkan kelarutan inklusi urea-asam lemak, sehingga kristal yang terbentuk semakin banyak dan kadar PUFA dalam konsentrat meningkat.

Penelitian ini bertujuan mempelajari peranan waktu pengadukan pada saat kristalisasi berlangsung, terhadap karakterisasi kompleksasi urea. Kompleksasi urea melibatkan transfer massa molekul asam lemak ke dalam rongga kristal urea, melewati tahanan film di permukaan rongga kristal. Pada peristiwa transfer massa padat-cair, pengadukan diperkirakan mampu menipiskan lapisan film dan mengurangi tahanan antar fase (Treyball, 1984). Hal ini diharapkan dapat mempermudah masuknya molekul asam lemak ke dalam rongga kristal untuk membentuk inklusi urea. Menurut Guil-Guerrero dan Belarbi (2001), pengadukan juga dapat meningkatkan frekuensi tumbukan antar partikel sehingga jumlah dan jenis asam lemak yang membentuk inklusi cenderung meningkat.

METODE PENELITIAN

Bahan

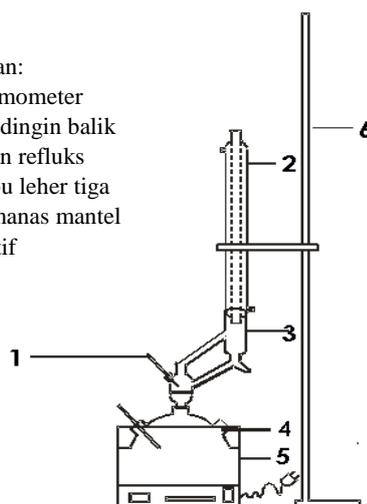
Bahan utama pada penelitian ini adalah minyak kedelai kualitas RBD (*Refined, Bleached, Deodorized*), yang banyak dijual di pasaran sebagai minyak pangan. Bahan pendukung yang dipakai adalah etanol teknis *food grade*, KOH kadar 85,0% dari Merck, urea pro analis dari Merck, aquadest, n-hexana teknis, HCl kadar 37,8% dari Mallinckrodt, dan Na₂SO₄ 99,0% dari Merck.

Alat

Alat yang digunakan dalam proses pengambilan FFA maupun inklusi urea meliputi alat-alat gelas (labu leher tiga dengan rangkaian pendingin), alat pemanas dan pengaduk (tersaji pada Gambar 1), *rotary evaporator*, serta alat pendingin (*freezer*) untuk kristalisasi.

Keterangan:

1. Termometer
2. Pendingin balik
3. Kran refluks
4. Labu leher tiga
5. Pemanas mantel
6. Statif



Gambar 1. Skema rangkaian alat kompleksasi urea

Prosedur

Langkah kerja pada penelitian ini meliputi tiga tahap, yaitu: 1) tahap penyiapan asam lemak bebas dari minyak nabati, 2) tahap kristalisasi (fraksinasi kompleksasi urea), dan 3) tahap pemungutan asam lemak tak jenuh (Wanasundara dan Shahidi 1999).

Tahap penyiapan FFA meliputi penyabunan 25 gram minyak kedelai dengan merefluks pada temperatur 60°C menggunakan campuran 5,75 gram KOH, 11 mL air, dan 66 mL etanol 95%. Hasil penyabunan dicampur dengan aquadest sebanyak 50 mL dan diekstrak selama 1 jam dengan menggunakan n-hexana sebanyak 2 kali masing-masing 100 mL hingga terbentuk lapisan n-hexana dan lapisan air. Fraksi yang tidak tersabunkan yang terekstrak ke dalam n-hexana dibuang. Lapisan air yang terbentuk diasamkan dengan menggunakan larutan HCl 3N hingga mencapai pH = 1. Asam lemak diekstrak dengan menggunakan 50 mL n-hexana hingga terbentuk lapisan n-hexana dan lapisan air. Lapisan air yang terbentuk dibuang, dan lapisan n-hexana dihilangkan kandungannya dengan menggunakan Na₂SO₄. Pelarut n-hexana diuapkan dengan rotary evaporator hingga menyisakan asam lemak bebas.

Tahap kristalisasi dilakukan dengan mencampur 10 gram asam lemak bebas dengan larutan urea-ethanol 95% (w/v) dengan perbandingan urea : ethanol = 35 gram : 175 mL, disertai pemanasan pada suhu 60°C hingga terbentuk campuran homogen. Larutan diaduk selama variasi waktu 15 menit, 30 menit, dan dibandingkan dengan tanpa pengadukan (0 menit) sambil didinginkan perlahan-lahan hingga mencapai suhu -15°C selama waktu kristalisasi yang sama, yaitu 115 jam.

Pada tahap pemungutan asam lemak tak jenuh, kristal urea yang terbentuk (*urea complexing fraction*, UCF) dipisahkan dari larutan (*non-urea complexing fraction*, NUCF) dengan menggunakan kertas saring. Fraksi cairan dimurnikan dengan menambahkan air dengan volume yang sama, mengasamkan filtrat dengan menggunakan HCl 6N hingga pH 4-5, dan

menambahkan n-hexana sebanyak filtrat awal yang terbentuk. Campuran diaduk selama satu jam hingga terbentuk lapisan n-hexana dan lapisan air dan selanjutnya dipisahkan dengan menggunakan corong pemisah. Sisa air di lapisan heksana diserap dengan menggunakan Na_2SO_4 dan n-heksana diuapkan dengan *rotary evaporator* hingga didapatkan konsentrat asam lemak tak jenuh.

Analisis sampel asam lemak di kedua fraksi dilakukan dengan rangkaian Gas Chromatography Shimadzu seri GC 2010/GCMS QP2010S. Komposisi relatif asam lemak dihitung berdasarkan luas area puncak dari masing-masing asam lemak pada kromatogram, relatif terhadap total asam lemak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

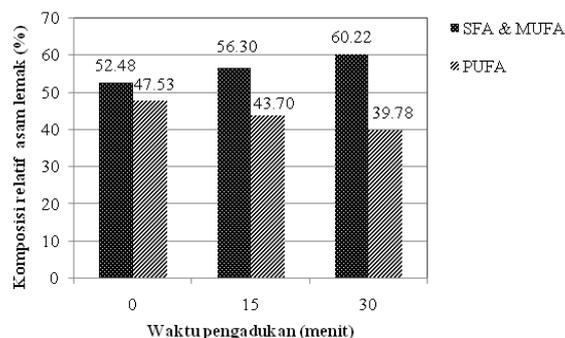
Minyak kedelai yang digunakan dalam penelitian ini mengandung asam palmitat (C16:0), stearat (C18:0), oleat (C18:1), linoleat (C18:2) dan linolenat (C18:3). Penelitian ini mempelajari pengaruh waktu-pengadukan terhadap perubahan komposisi asam-asam lemak tersebut di kedua fraksi. Analisis terhadap keduanya menunjukkan bahwa dengan adanya pengadukan maupun tidak, seluruh asam lemak terdistribusi baik di fasa konsentrat (NUCF) maupun di fasa UCF (kristal). Senyawa organik berantai lurus lebih mudah membentuk inklusi dibanding senyawa bercabang, dengan syarat minimal panjang molekul yang harus dipenuhi. Dalam hal ini, SFA, MUFA dan PUFA yang terlibat merupakan senyawa berantai lurus, sehingga berdasarkan hasil prediksi menggunakan *molecular connectivity index*, *Wiener's index* dan *eccentric connectivity index* yang digambarkan melalui *topological descriptors*, asam-asam lemak tersebut mampu membentuk inklusi dengan urea (Thakral dan Madan, 2006).

Molekul asam lemak jenuh bersifat rigid (kaku) sehingga berdiameter kecil dan relatif mudah memasuki rongga kristal urea. Ikatan rangkap menjadikan molekul asam lemak lebih lentur dan melekok sehingga diameternya bertambah besar. Makin banyak jumlah ikatan rangkap, makin lentur dan makin besar pula ukuran molekul asam lemak, sehingga makin sulit terinklusi ke dalam kristal urea.

Adanya pengadukan terbukti mempermudah pembentukan inklusi urea. Pada fraksi UCF terlihat adanya peningkatan komposisi total SFA dan MUFA pada kompleksasi yang disertai dengan pengadukan bila dibandingkan dengan tanpa-pengadukan. Penambahan waktu pengadukan dari 15 menit menjadi 30 menit juga memberikan kecenderungan yang sama. Di sisi lain, konsentrasi PUFA di fraksi UCF menunjukkan kecenderungan yang sebaliknya, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.

Pengadukan mampu menipiskan lapisan film di permukaan rongga kristal urea, sehingga dapat menurunkan tahanan transfer massa. Molekul asam lemak dapat berpindah lebih cepat dari bulk cairan ke permukaan rongga kristal. Hal ini dapat mempermudah masuknya molekul asam lemak ke

dalam rongga kristal dan membentuk inklusi, khususnya bagi asam lemak yang berukuran lebih kecil. Waktu-pengadukan yang semakin lama juga terbukti mempermudah asam oleat (MUFA) untuk lebih mudah terinklusi ke dalam kristal urea dibandingkan PUFA, karena memiliki ukuran molekul yang lebih kecil.

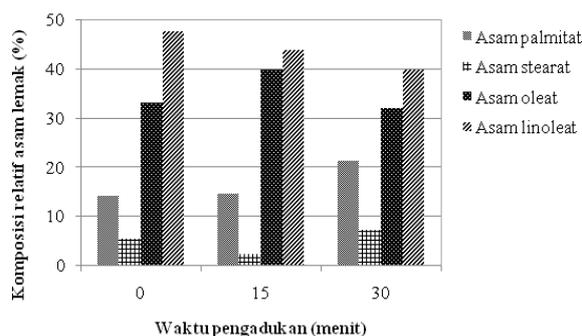


Gambar 2. Perubahan komposisi asam lemak di fraksi kristal (UCF) sebagai fungsi pengadukan

Selain dapat mengurangi tahanan transfer massa, pengadukan juga dapat meningkatkan frekuensi tumbukan antara partikel urea dengan asam-asam lemak, yang mengakibatkan penambahan jumlah dan jenis asam lemak yang dapat terinklusi ke dalam kristal urea (Guil-Guerrero dan Belarbi, 2001). Pada kristalisasi tanpa pengadukan, baik asam palmitat, stearat, oleat dan linoleat dapat terinklusi ke dalam kristal. Dengan adanya pengadukan, asam linolenat (C18-3) bahkan dapat terinklusi ke dalam urea meskipun hanya sedikit, yaitu sebesar 0,09% (tidak ditampilkan pada gambar). Namun hal ini tidak dikehendaki karena dalam kompleksasi urea, PUFA diharapkan sebanyak mungkin terkonsentrasi di fraksi NUCF.

Pengadukan juga dapat merusak kestabilan senyawa inklusi, khususnya untuk senyawa yang memiliki perbedaan polaritas besar. Rongga bagian dalam kristal urea bersifat kurang polar dibandingkan bagian luar, sehingga molekul organik nonpolar cenderung tertarik ke dalam kisi-kisi kristal. Polaritas semakin meningkat dengan kenaikan derajat ketidakjenuhan asam lemak. SFA bersifat non polar sehingga lebih mudah terinklusi ke dalam urea, dan sebaliknya.

Asam-asam lemak dengan rantai karbon yang sama panjang memperlihatkan fenomena kompetisi, sebagaimana yang terjadi pada asam stearat dan oleat. Selama 15 menit pengadukan, asam oleat lebih banyak yang terinklusi ke dalam kristal. Namun dengan bertambahnya waktu pengadukan menjadi 30 menit, inklusi urea-oleat dapat terurai kembali dan digantikan dengan asam non polar yang sama panjang, yaitu stearat. Hal ini terlihat pada perubahan komposisi kedua asam lemak tersebut di fraksi UCF (Gambar 3). Ketidakstabilan inklusi urea-PUFA juga tampak pada penurunan kadar PUFA di fraksi UCF (Gambar 2).



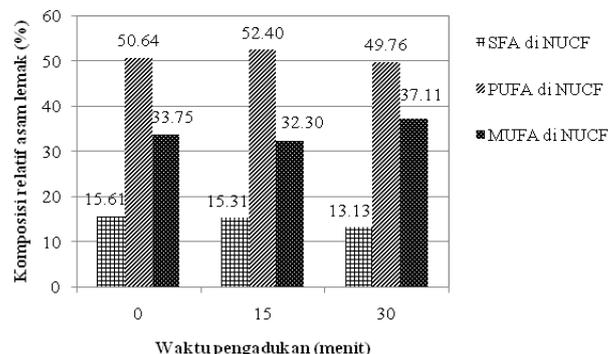
Gambar 3. Perubahan komposisi masing-masing asam lemak di fraksi kristal (UCF) sebagai fungsi pengadukan

Senyawa inklusi bersifat stabil pada saat rongga terisi *guest molecule*, namun menjadi runtuh saat terlepas, hingga terbentuk kristal urea murni. Di dalam senyawa inklusi dapat terjadi pergantian *guest molecule*, dengan syarat proses itu terjadi saat rongga masih berisi *guest molecule* yang lama (Rujas dkk., 2007). Ada kemungkinan bahwa pengadukan yang terlalu lama memicu terjadinya pelepasan dan pergantian *guest molecules* (khususnya MUFA dan PUFA) dengan molekul yang kurang polar.

Asam palmitat sebagai molekul yang terpendek rantai karbonnya, lebih mudah terinklusi ke dalam urea dengan adanya pengadukan. Kadarnya dapat ditingkatkan menjadi 14,46% dan 21,19% dengan adanya pengadukan selama 15 dan 30 menit. Kecenderungan ini sesuai dengan penelitian Hassan (1994) dan Setyawardhani dkk. (2015) yang menyatakan bahwa untuk senyawa karbon rantai sedang, makin pendek rantai karbon makin mudah terinklusi ke dalam kristal urea.

Perubahan komposisi asam lemak di fasa konsentrat (NUCF) secara keseluruhan merupakan implikasi dari perubahan komposisi di fasa UCF. Pada Gambar 4 terlihat bahwa di fraksi NUCF, pengadukan berpengaruh terhadap penurunan kadar SFA dan peningkatan kadar PUFA. Namun pada kristalisasi dengan pengadukan selama 30 menit, kadar PUFA sedikit menurun hingga 49,76%. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya kadar MUFA di NUCF sebagai akibat dari terurainya inklusi urea-oleat. Hasil yang sama ditunjukkan pula oleh Bi dkk. (2010), yang meneliti kompleksasi urea pada ester asam lemak, menyatakan bahwa pengadukan selama 40 menit hanya sedikit meningkatkan kadar ester linoleat di fraksi NUCF, dan setelahnya hampir-hampir tidak ada perubahan lagi. Fenomena ini terjadi karena pengadukan mampu mengubah tendensi asam-asam lemak untuk membentuk inklusi dengan urea, dan mempermudah pergantian *guest molecules* bagi asam lemak tak jenuh yang membentuk inklusi-kurang-stabil. Perubahan komposisi yang konsisten di fraksi NUCF terutama terjadi pada SFA, namun tidak demikian halnya dengan MUFA dan PUFA. Apabila waktu pengadukan diperpanjang, kemungkinan

perubahan komposisi asam lemak di fraksi konsentrat juga relatif kecil.



Gambar 4. Perubahan komposisi asam lemak di fraksi konsentrat (NUCF) sebagai fungsi pengadukan

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa lamanya waktu-pengadukan pada saat kristalisasi mampu menurunkan tahanan transfer massa asam lemak ke permukaan rongga kristal urea sehingga kadar SFA di UCF meningkat. Pengadukan juga mampu meningkatkan frekuensi tumbukan antar partikel sehingga menambah jumlah dan jenis asam lemak yang membentuk inklusi. Waktu pengadukan yang terlalu lama dapat merusak kestabilan UICs sehingga inklusi yang terbentuk dengan MUFA dan PUFA dapat terurai dan digantikan dengan SFA. Selain itu pengadukan juga berperan dalam perubahan tendensi asam lemak untuk terinklusi ke dalam urea dan mempermudah pergantian *guest molecules*, khususnya bagi asam lemak polar seperti MUFA dan PUFA.

DAFTAR PUSTAKA

- Bi, Y., Ding, D., and Wang, D., (2010), Low-melting-point biodiesel derived from corn oil via urea complexation, *Bioresource Technology*, 101, pp.1220-1226.
- Chen, T.C. and Ju, Y.H., (2001), Polyunsaturated concentrates from borage and linseed oil fatty acids, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 78(5), pp.485-488.
- Dong, M. and Walker, T.H., (2008), Production and recovery of polyunsaturated fatty acids-added lipids from fermented canola, *Bioresource Technology*, 99, pp. 8504-8506.
- Dyerberg, J., (1986), Linolenate-derived polyunsaturated fatty acids and prevention of atherosclerosis, *Nutrition Review*, 44, pp.125-134.
- Guil-Guerrero, J.L. and Belarbi, E.H., 2001, Purification process for cod liver oil, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 78(5), pp. 477-484.
- Haraldsson, G.G. and Kristinsson, B., (1998), Separation of eicosapentaenoic acid and

- docosahexaenoic acid in fish oil by kinetic resolution using lipase, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 75(11), pp. 1551-1556.
- Hassan, N.M., (1994), The adsorption of long-chain n-paraffin from isooctane solution on crystalline urea, *Sep. Technology*, 4, pp. 62-64.
- Hayes, D.G., Bengtsson, Y.C., van Alstine, J.M., and Setterwell, F., (1998), Urea complexation for the rapid, ecologically responsible fractionation of fatty acids from seed oil, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 75(10), pp. 1403-1409.
- Kinsella, J.E., (1986), Food components with potential therapeutic benefits : the n-3 polyunsaturated fatty acids of fish oil, *Food Technology*, 40(2), pp. 89-97.
- Mehta, L., Lopez, L.M., Lowton, D., and Wargovich, T., (1988), Dietary supplementation with omega-3 polyunsaturated fatty acids in patients with stable coronary diseases : effects on indices of platelet and neutrophil function and exercise performance, *Am. J. of Medicine*, 84, pp. 45-52.
- Nettleton, J.A., (1995), *Omega-3 Fatty Acids and Health*, Chapman & Hall, New York, pp. 1-10; 77; 249.
- Poudyal, H., Panchal, S.K., Diwan, V., and Brown, L., (2011), Omega-3 fatty acids and metabolic syndrome : effects and emerging mechanisms of action, *Progress in Lipid Research*, 50, pp. 372-387.
- Rujas, J.M., Desmedt, A., Harris, K.D.M., and Guillaume, F., (2007), Kinetics of molecular transport in a nanoporous crystal studied by confocal raman microspectrometry: single-file diffusion in a densely filled tunnel, *The Journal of Physical Chemistry*, 111, pp. 12339-12334.
- Setyawardhani, D.A., Sulisty, H., Sediawan, W.B. dan Danarto, Y.C., (2014), Pengaruh perbandingan urea-asam lemak terhadap pemisahan asam lemak jenuh dan tak jenuh dalam minyak nabati dengan kompleksasi urea, *Prosiding Seminar Nasional "Kejuangan"*, UPN Veteran, Yogyakarta, pp. J31-J36.
- Setyawardhani, D.A., Sulisty, H., Sediawan, W.B. and Fahrurrozi, M., (2015), Separating polyunsaturated fatty acids from vegetable oil using urea complexation : the crystallization temperature effects, *J. Eng. Sc. Tech*, Sp. Issue 3, January, pp.41-49.
- Shahidi, F., (2005), *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, 6th ed., vol.3, Wiley Interscience, John Wiley & Sons Inc. Publ., pp. 585-606.
- Simopoulos, A.P., (1996), Omega-3 Fatty Acids. Part I : Metabolic Effects of Omega-3 Fatty Acids and essentiality. In G.A. Spiller, *Handbook of Lipid in Human Nutrition*, pp.56-61.
- Thakral, S. and Madan, A.K., (2006), Topological models for prediction of adductibility of branched aliphatic compounds in urea, *J. Incl. Phenom. Macrocycl. Chem.*, 56, pp.405-412.
- Treyball, R.E., (1984), *Mass-Transfer Operations*, 3rd ed., McGraw-Hill International Book Company, pp 4, 107-108.
- Vasquez, L. and Akoh, C.C., (2012), Enrichment of stearidonic acid in modified soybean oil by low temperature crystallization, *Food Chemistry*, 130, pp. 147-155.
- Wanasundara, U.N. and Shahidi, F., (1999), Concentration of omega-3 polyunsaturated fatty acids of sea blubber oil by urea complexation : optimization of reaction condition, *Food Chemistry*, 65, pp. 41-49.
- Wu, M., Ding, H., Wang, S., and Xu, S., (2008), Optimizing conditions for the purification of linoleic acid from sunflower oil by urea complex fractionation, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 85, pp.677-684.