JRL	Vol. 12	No. 2	Hal : 136 - 154	Jakarta, Desember 2019	p-ISSN : 2085.38616 e-ISSN : 2580-0442
-----	---------	-------	-----------------	---------------------------	---

WASTE EXCHANGE LIMBAH ONGGOK TAPIOKA DENGAN PROSES BIOLOGIK UNTUK PERIPTAAN POLYUNSATURATED FATTY ACID

Nurul Ummi¹, Dwindrata B. Aviantara²

¹Teknik Industri – Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

²Pusat Teknologi Lingkungan – BPPT

Gd. 820 Geostech PUSPIPTEK Serpong, 15314, Provinsi Banten

Email : aviantara@rocketmail.com

Abstrak

Onggok merupakan sisa dari proses penyarian singkong dengan cara pengepresan dalam produksi tapioka. Komposisinya yang didominasi oleh pati dan serat kasar membuka peluang pemanfaatan limbah onggok sebagai medium fermentasi padat untuk produksi PUFA. Periptaan PUFA secara biologik lazim menggunakan kapang *Aspergillus*. *Aspergillus* mampu menghasilkan asam lemak menyerupai asam lemak yang diperoleh dari minyak kelapa sawit, yakni linolenat dan linoleat. Kapang *Aspergillus* juga dikenal memiliki kemampuan mendegradasi bahan organik termasuk limbah sehingga berpotensi untuk diterapkan dalam mengolah limbah onggok, ampas tahu, molase serta dedak padi. Dengan memanfaatkan onggok sebagai media fermentasi padat seta sumber karbon dalam produksi PUFA maka terdapat potensi pengurangan biaya operasional dalam produksi PUFA. Hal ini akan meningkatkan keunggulan daya saing dalam produksi PUFA termasuk meningkatnya aspek kinerja dari sudut pandang lingkungan. Memanfaatkan limbah sebagai bahan baku dalam proses produksi merupakan penerapan nyata konsep *waste to product* atau *waste exchange* dalam membangun industri proses yang selaras dengan kaidah Sustainable Consumption and Production.

kata kunci : onggok, asam lemak tak jenuh, fermentasi padat, *waste exchange*, *sustainable consumption and production*, kualitas lingkungan

TAPIOCA WASTE EXCHANGE THROUGH BIOLOGICAL PROCESS FOR POLYUNSATURATED FATTY ACID SYNTHESIS

Abstract

Onggok is a solid waste generated from casava extraction during tapioca production. Its composition is dominated by starch and coarse fiber as such opening possibility to use it as a solid state medium for PUFA production. Aspergillus fungi is commonly used in biological syntheses of PUFA. Aspergillus capable of producing a high proportion of unsaturated fatty acid that is similar to obtain from palm oil, i.e. linolenic and linoleic acids. Aspergillus fungi is also recognised to have ability in degrading organic materials including wastes. Thus, such the fungi is potentially be applied in onggok, tofu waste, molasses and rice bran. By utilizing onggok as solid state fermentation medium as well as carbon source in PUFA production then operational cost of PUFA production is reduced. This will improve competitiveness in PUFA production as well as will enhance environmental performance point of view. Waste utilization as raw materials in production process is the real implementation of waste to product or waste exchange concept for the purpose of establishment of process industries that conform to Sustainable Consumption and Production paradigm.

keywords : *onggok, unsaturated fatty acid, solid state fermentation, waste exchange, sustainable consumption and production, environmental quality*

I. PENDAHULUAN

Onggok merupakan sisa dari proses penyarian (*extraction*) singkong dengan cara pengepresan dalam produksi tapioka dengan tahapan sebagaimana disajikan pada Gambar 2. Secara fisik onggok berupa padatan seperti pada tampak Gambar 1 (AgroBisnisInfo.com 2015). Berdasarkan aras (*level*) air dalam onggok maka terdapat dua kelompok onggok yaitu onggok basah dan onggok kering. Onggok basah biasanya dimanfaatkan dalam pakan ternak sapi. Sedangkan onggok kering dimanfaatkan sebagai bahan baku

dalam pembuatan saos, kecap, perekat kertas, atau obat nyamuk. Daerah yang menjadi sentra industri tapioka Indonesia adalah Bogor, Sukabumi, Purbalingga, Pati, Wonogiri serta Lampung. Komposisi kimia onggok didominasi oleh pati serta serat kasar sebagaimana disajikan pada Tabel 1 (Mustika dkk. 2009). Suatu industri tapioka berkapasitas 700 ton/hari dapat menghasilkan limbah onggok sebesar 175 ton/hari (25% dari bahan baku). Berdasarkan komposisi limbah onggok tersebut terdapat potensi pemanfaatan limbah onggok dalam produksi *polyunsaturated fatty acid* (PUFA) yang memiliki nilai ekonomik.

Gambar 1. Onggok Singkong

Tabel 1. Komposisi Kimia Onggok

Komponen	Kisaran (%)
Pati	60 – 80
Serat kasar	8 – 22
Protein	0,80 – 6,42
Lemak	0,25 – 0,26
Air	14 – 20

II. TUJUAN

Tulisan ini bertujuan menggali potensi pemanfaatan onggok sebagai medium padatan untuk menghasilkan produk bernilai ekonomi tinggi. Konsep demikian disebut sebagai *waste exchange* atau *waste to product*. Dengan konsep tersebut terdapat peluang membangun industri proses yang berkelanjutan selaras dengan paradigma *sustainable consumption and production*.

III. METODE

Dalam menyusun tulisan ini digunakan metode penelusuran informasi sekunder yang diperoleh dari jurnal (nasional dan internasional), laporan teknis, *textbook*, buku pegangan (*handbook*) serta sejumlah sumber lainnya yang dapat diperoleh dari laman internet.

IV. POLYUNSATURATED FATTY ACID

Polyunsaturated fatty acid (*Polyunsaturated fatty acid* (PUFA) adalah suatu asam lemak yang dalam molekulnya terdapat lebih dari satu ikatan ganda (*multiple bond*). Asam lemak yang termasuk ke dalam kelompok PUFA adalah *essential fatty acid* serta senyawaan pembentuk ciri atau

khas suatu *drying oil*. Berdasarkan bangun kimia PUFA dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu: (i) poliena tersisip metilena, (ii) asam lemak terkonjugasi dan (iii) PUFA jenis lainnya. Yang tergolong ke dalam poliena tersisip metilena adalah omega-3, omega-6 serta omega-9. Dua asam lemak pertama merupakan *essential fatty acid*. Asam lemak omega-9 bukan merupakan *essential fatty acid* dikarenakan manusia dan hewan mampu menyisipkan ikatan tak-jenuh pada atom karbon di posisi nomor 9 melalui proses periptaan biologik (*biological synthesis* atau *biosynthesis*). Perbedaan ketiga jenis asam lemak beserta sumbernya disajikan pada Tabel 2 (Geeshani 2016). Beberapa contoh PUFA poliena tersisip metilena, asam lemak terkonjugasi serta PUFA jenis lainnya disajikan pada Tabel 3 sampai 5 (Wikipedia 2018). Sedangkan bangun molekul contoh dari asam lemak tak jenuh omega-3, omega-6 serta omega-9 disajikan pada Gambar 3.

Beberapa PUFA yang dikenal juga dengan sebutan asam lemak tak jenuh jamak tidak dapat diripta (*synthesized*) oleh sistem tubuh manusia. Oleh sebab itu PUFA seperti omega-3 dan omega-6 harus didapat melalui asupan makanan. Kedua asam lemak tersebut diketahui bermanfaat dalam proses tumbuh kembang anak, peningkatan kecerdasan, serta metabolisme. Sekitar 60% nutrisi untuk proses perkembangan otak berupa lemak (Putri 2016). Dibandingkan dengan asam lemak ikatan jenuh ataupun asam lemak dengan konfigurasi ikatan isomer trans pada umumnya maka PUFA lebih aman untuk dikonsumsi karena menekan peningkatan *Low*

Density Lipoprotein (LDL) dalam tubuh manusia, yakni kolesterol yang memicu timbulnya penyakit jantung dan *stroke*.

Dengan meningkatnya populasi manusia maka kebutuhan nutrisi lemak dan minyak juga meningkat (Sumanti *et al.* 20005).

Sumberdaya alam yang terbatas menyebabkan inovasi dalam perekayasaan produksi PUFA perlu diupayakan, misal dengan memanfaatkan limbah sebagai sumberdaya. Untuk tujuan tersebut onggok tapioka merupakan limbah dengan potensi pemanfaatan dalam periptaan PUFA

Gambar 2. Diagram proses pembuatan tapioka

Tabel 2 Perbedaan dan Sumber Omega-3, Omega-6 dan Omega-9

Omega-3	Omega-6	Omega-9
Ikatan tak jenuh dijumpai pertama kali pada posisi atom karbon ke-3 dihitung dari ujung metil rantai karbon	Ikatan tak jenuh dijumpai pertama kali pada posisi atom karbon ke-6 dihitung dari ujung metil rantai karbon	Ikatan tak jenuh dijumpai pertama kali pada posisi atom karbon ke-9 dihitung dari ujung metil rantai karbon
Merupakan <i>essential fatty acid</i>	Merupakan <i>essential fatty acid</i>	Bukan <i>essential fatty acid</i>
Sumber: buah zaitun, kacang makadamia, bunga kanola, <i>rapeseed</i> , <i>wallflower</i> dan <i>mustard seed</i>	Sumber: unggas, telur, kacang-kacangan, sereal, gandum, minyak nabati serta fitoplankton	Sumber: kenari, biji-bijian yang dapat dimakan, <i>flaxseed oil</i> , <i>Echium oil</i> , minyak rami, minyak ikan dan alga laut

Tabel 3 PUFA Poliena Tersisip Metilena

Nama Umum	Nama Lipida	Nama Kimia
Omega-3		
Asam heksadekatrienoat (HTA)	16:3 (n-3)	Asam cis 7,10,13-heksadekatrienoat
Asam alfa-linolenat (ALA)	18:3 (n-3)	Asam cis-9,12,15-oktadekatrienoat
Asam stearidonat (SDA)	18:4 (n-3)	Asam cis-6,9,12,15-oktadekatetraenoat
Asam eikosatrienoat (ETE)	20:3 (n-3)	Asam cis-11,14,17-eikosatrienoat
Asam eikosatetraenoat (ETA)	20:4 (n-3)	Asam cis-8,11,14,17-eikosatetraenoat
Asam eikosapentaenoat (EPA, asam timnodonat)	20:5 (n-3)	Asam cis-5,8,11,14,17-eikosapentaenoat
Asam heneikosapentaenoat (HPA)	21:5 (n-3)	Asam cis-6,9,12,15,18-heneikosapentaenoat
Asam dokosapentaenoat (DPA, Clupanodonic acid)	22:5 (n-3)	Asam cis-7,10,13,16,19-dokosapentaenoat
Asam dokosaheksaenoat (DHA, asam servonat)	22:6 (n-3)	Asam cis-4,7,10,13,16,19-dokosaheksaenoat
Asam tetrakosapentaenoat	24:5 (n-3)	Asam cis-9,12,15,18,21-tetrakosapentaenoat
Omega-6		
Asam linoleat	18:2 (n-6)	Asam cis-9,12-oktadekadienoat
Asam gamma-linolenat (GLA)	18:3 (n-6)	Asam cis-6,9,12-oktadekatrienoat

Asam eikosadienoat	20:2 (n-6)	Asam cis-11,14-eikosadienoat
Asam dihomo-gamma-linolenat (DGLA)	20:3 (n-6)	Asam cis-8,11,14-eikosatrienoat
Asam Arakidonat (AA)	20:4 (n-6)	Asam cis-5,8,11,14-eikosatetraenoat
Asam dokosadienoat	22:2 (n-6)	Asam cis-13,16-dokosadienoat
Asam adrenat	22:4 (n-6)	Asam cis-7,10,13,16-dokosatetraenoat
Asam dokosapentaenoat (asam osbond)	22:5 (n-6)	Asam cis-4,7,10,13,16-dokosapentaenoat
Asam tetrakosatetraenoat	24:4 (n-6)	Asam cis-9,12,15,18-tetrakosatetraenoat
Asam tetrakosapentaenoat	24:5 (n-6)	Asam cis-6,9,12,15,18-tetrakosapentaenoat
<u>Omega-9</u>		
Asam oleat*	18:1 (n-9)	Asam cis-9-oktadekenoat
Asam eikosanoat*	20:1 (n-9)	Asam cis-11-eikosanoat
Asam mead	20:3 (n-9)	Asam cis-5,8,11-eikosatrienoat
Asam erukat*	22:1 (n-9)	Asam cis-13-dokosenoat
Asam nervonat*	24:1 (n-9)	Asam cis-15-tetrakosenoat

*Merupakan monotakjenuh

Tabel 4 PUFA asam lemak terkonjugasi

Nama Umum	Nama Lipida	Nama Kimia
<u>Asam linoleat terkonjugasi*</u>		
Asam rumenat	18:2 (n-7)	Asam 9Z,11E-oktadeka-9,11-dienoat
	18:2 (n-6)	Asam 10E,12Z-oktadeka-10,12-dienoat
<u>Asam linolenat terkonjugasi**</u>		
Asam α -kalendat	18:3 (n-6)	Asam 8E,10E,12Z-oktadekatrienoat
Asam β -kalendat	18:3 (n-6)	Asam 8E,10E,12E-oktadekatrienoat
Asam jakarat	18:3 (n-6)	Asam 8Z,10E,12Z-oktadekatrienoat
Asam α -eleostearat	18:3 (n-5)	Asam 9Z,11E,13E-oktadeka-9,11,13-trienoat

Nama Umum	Nama Lipida	Nama Kimia
Asam β - eleostearat	18:3 (n-5)	Asam 9E,11E,13E-oktadeka - 9,11,13-trienoat
Asam katalpat	18:3 (n-5)	Asam 9Z,11Z,13E-oktadeka - 9,11,13-trienoat
Asam punikat	18:3 (n-5)	Asam 9Z,11E,13Z-oktadeka- 9,11,13-trienoat
Lainnya		
Asam rumelenat	18:3 (n-3)	Asam 9E,11Z,15E-oktadeka- 9,11,15-trienoat
Asam α -parinarat	18:4 (n-3)	Asam 9E,11Z,13Z,15E-oktadeka- 9,11,13,15-tetraenoat
Asam β -parinarat	18:4 (n-3)	Asam trans-oktadeka-9,11,13,15-tetraenoat
Asam biseopentaenoat	20:5 (n-6)	Asam 5Z,8Z,10E,12E,14Z-eikosanoat

**Merupakan dua ikatan ganda terkonjugasi **Merupakan tiga ikatan ganda terkonjugasi*

Tabel 5 Polyunsaturated fatty acid lainnya

Nama Umum	Nama Lipida	Nama Kimia
Asam pinolenat	18:3 (n-6)	Asam (5Z,9Z,12Z)-oktadeka- 5,9,12-trienoat
Asam podokarpat	20:3 (n-6)	Asam (5Z,11Z,14Z)-eikosa- 5,11,14-trienoat

Gambar 3. Bangun Molekul Contoh Omega-3, Omega-6 dan Omega-9

V. TEKNIK PEMISAHAN PUFA

Terdapat sejumlah teknik yang dapat diterapkan dalam proses produksi pekatan (*concentrate*) PUFA meliputi cara fisika, kimia serta biologi. Contohnya adalah penyulingan (*destillation*), pengkristalan suhu rendah, penyarian (*extraction*), zalir (*fluid*) superkritik, kromatografik, pengkompleksan urea serta pemisahan enzimatik (Patil 2014, Kapoor & Patil 2011, Robio-Rodriguez *et al.* 2010).

Pada metode penyulingan prinsip yang digunakan adalah perbedaan suhu didih antar asam lemak. Metode demikian hanya sangkil (*efficient*) jika minimum perbedaan suhu didih di antara asam lemak setidaknya 10 °C. Biasanya penyulingan campuran asam lemak dilakukan pada tekanan cukup rendah (sekitar 2 mmHg) guna menghindari perombakan struktur molekul asam lemak yang akan dipisahkan. Pada tekanan rendah maka suhu didih asam lemak yang akan dipisahkan juga berkurang sehingga proses pemisahan dapat berlangsung lebih cepat.

Teknik pengkristalan pada suhu rendah dikembangkan untuk pemisahan campuran asam lemak atau ester asam lemak yang dapat larut dalam pelarut organik (biasanya metanol atau aseton) pada suhu ruang namun menjadi tidak larut jika suhu diturunkan menuju ke 0 °C. Titik lebur atau titik leleh asam lemak berubah secara nyata dengan tingkat ketidakjenuhan sehingga pemisahan menjadi dimungkinkan. Terkadang pemisahan campuran asam lemak dengan teknik ini dapat dilakukan secara langsung tanpa

menggunakan pelarut organik. Asam lemak jenuh atau asam lemak dengan derajat ketidakjenuhan rendah (misalnya adalah *monounsaturated fatty acids* atau MUFA) akan mengkristal lebih cepat dibandingkan PUFA sehingga dengan melakukan penyaringan bisa didapatkan pekatan PUFA.

Penyarian menggunakan zalir superkritik dilakukan pada suhu kritis atau tekanan kritis zalir tersebut. Perubahan kecil baik suhu maupun tekanan dalam keadaan kritis dapat menghasilkan perubahan sifat fisik yang drastis seperti kekentalan (*viscosity*) atau kebauran (*diffusivity*). Zalir yang sering digunakan untuk teknik ini adalah karbon dioksida (CO₂) walaupun air (H₂O) memungkinkan pula untuk digunakan. Suhu kritis dan tekanan kritis untuk karbon dioksida adalah 31,1 °C dan 72,9 atm. Sedangkan untuk air adalah 374 °C dan 218 atm. Karena kondisi kritis untuk karbon dioksida lebih mudah dan menguntungkan untuk dicapai maka tidak heran apabila karbon dioksida lebih banyak digunakan sebagai pelarut dalam proses penyarian pada kondisi kritis. Gambar 4 menyajikan diagram kritis untuk karbon dioksida dan air (Annenberg Foundation 2017).

Asam lemak bebas (*free fatty acids*) juga dapat dipisahkan berdasarkan baku tindak (*interaction*) molekul tersebut dengan fasa diam (*stationary phase*) dan fasa gerak (*mobile phase*) dalam kolom kromatografik. Perbedaan jumlah atom karbon maupun derajat ketidakjenuhan sangat berpengaruh terhadap tingkat kemudahan pemisahan campuran asam lemak dalam kolom kromatografik. Kromatografi Cair

Kinerja Tinggi (*High Performance Liquid Chromatography*), *preparative HPLC* serta kromatografi resin perak telah digunakan dalam mendapatkan pekatan PUFA. Juga teknik kromatografi lapis tipis (*thin layer chromatography*) juga pernah diterapkan untuk mendapatkan PUFA sebagai metil ester (Patil 2014).

Pemisahan asam lemak melalui mekanisme pembentukan kompleks dengan urea menggunakan fenomena pembentukan molekul sepi (chela). Urea merupakan padatan kristal dengan bangun kristal berbentuk tetragonal. Namun dengan adanya asam lemak struktur kristal urea berubah menjadi heksagonal karena pembentukan sepi. Hanya molekul asam lemak linear yang dapat membentuk sepi dengan urea. Dengan cara demikian PUFA dapat dipisahkan dari MUFA. Pembentukan kompleks antara urea dengan asam lemak dipandang yang paling sederhana dalam proses pemisahan MUFA dan PUFA (Hamam & Sahidi 2008) walaupun kombinasi berbagai metode juga dimungkinkan untuk mendapatkan pekatan PUFA (Patil & Nag 2011). Pada Gambar 5 disajikan struktur kristal urea dalam bentuk tetragonal dan heksagonal dalam bentuk tiga matra (Guo et al. 2017) dan dua

matra (Shahidi & Wanasundara 1998).

Pemekatan PUFA dengan metode hidrolisis enzimatis atau reaksi esterifikasi menggunakan berbagai lipase. Teknik pemisahan tersebut berdasarkan tekukan (*bending*) rantai asam lemak karena adanya ikatan ganda *cis*-olefinik. Akibat dari tekukan rantai asam lemak tersebut gugus metil ujung menjadi berdekatan dengan ikatan ester sehingga menimbulkan hambatan sterik (*steric hindrance*) untuk menghidrolisisnya. Tekukan yang kuat untuk EPA dan DHA dikarenakan adanya lima dan enam ikatan ganda sehingga hambatan sterik yang ditimbulkan menghalangi lipase untuk dapat mencapai ikatan ester antara asam lemak dengan gliserol. Sebaliknya asam lemak jenuh dan MUFA tidak membentuk hambatan sterik seperti itu sehingga keduanya mudah untuk dihidrolisis oleh lipase. Dalam sejumlah reaksi esterifikasi berbagai lipase yang berbeda menunjukkan kinetika yang berbeda dengan beragam asam lemak. Perbedaan kinetika yang ditunjukkan tersebut dapat pula diterapkan untuk memisahkan EPA dengan DHA menggunakan enzim lipase.

Gambar 4. Diagram Kritik untuk Karbon Dioksida (atas) dan Air (bawah)

UREA COMPLEXATION

Gambar 5. Kristal Tiga Matra dan Dua Matra Urea

A. flavus

A. terreus

A. ochraceus

A. nidulans

Gambar 6. Penampakan visual berbagai spesies kapang *Aspergillus*

VI. PERIPTAAN PUFA

Periptaan (*synthesis*) *polyunsaturated fatty acids* dapat dilakukan secara kimia maupun biologik. Metode biologik umumnya dilakukan dengan menggunakan kapang (*fungi*). Kapang *Aspergillus* merupakan agensia biologik yang telah banyak diterapkan dalam proses pembuatan kecap, tauco dan miso (Sumanti *et al.* 2005). Misalnya *Aspergillus flavus* mampu menghasilkan lemak sebanyak 28% (w/w), *A. nidulans* 51%, *A.*

ochraceus 48% dan *A. terreus* 57%. Dari berbagai spesies kapang tersebut diketahui bahwa *Aspergillus terreus* mampu menghasilkan asam lemak tertinggi serta memberikan komposisi asam lemak tidak jenuh yang lebih tinggi pula (Sumanti *dkk.* 2005). Jenis asam lemak yang dihasilkan oleh *A. terreus* menyerupai asam lemak yang terdapat dalam minyak kelapa sawit yaitu linolenat dan linoleat. Pada Gambar 6 disajikan berbagai macam kenampakan visual dari beragam spesies *Aspergillus* (The

Aspergillus Website 2018).

Kapang *Aspergillus* dikenal pula memiliki kemampuan mendegradasi bahan organik termasuk limbah sehingga berpotensi untuk diterapkan dalam mengolah limbah ongkok, ampas tahu, molase serta dedak padi. Limbah tersebut oleh kapang *Aspergillus* dapat dijadikan sebagai substrat sumber karbon untuk proses pertumbuhan dan perkembangan kapang tersebut. Untuk dapat tumbuh kembang dengan baik kapang memerlukan sumber karbon, nitrogen, vitamin dan mineral. Sejumlah faktor yang berpengaruh terhadap proses produksi minyak sel tunggal oleh kapang adalah suhu, keasaman

(pH) medium tumbuh, waktu inkubasi, aerasi, sumber karbon, nitrogen, vitamin dan mineral (Sumanti *dkk.* 2005). Nisbah (*ratio*) karbon terhadap nitrogen juga mengendalikan kesangkilan (*efficiency*) proses biologik. Proses biologik yang mengandalkan jasad renik seringkali memiliki pendekatan nilai nisbah karbon : nitrogen : fosfor = 100 : 10 : 1 (terkadang nisbah C : N : P = 100 : 10 : 0,5). Nisbah karbon terhadap nitrogen yang optimal harus menunjukkan kemampuan produksi biomassa maksimum untuk setiap satuan massa substrat, menekan pembentukan produk yang tidak diinginkan, serta memberikan laju kinetik produksi tercepat dengan hasil atau produk yang baik.

Gambar 7. Prosentase PUFA pada Berbagai Ragam Aras Karbon

Gambar 8. Pola Lung (curve) Pertumbuhan Biomassa Kapang *A. oryzae*

Gambar 9. Prosentase PUFA pada Peragaman Nisbah C/N

Penelitian yang dilakukan oleh Putri *dkk* (2016) menunjukkan bahwa pemanfaatan onggok sebagai medium fermentasi padat dalam produksi PUFA memberikan peningkatan jumlah PUFA seiring dengan peningkatan aras karbon

dalam kisaran 2 – 6 % (w/w). Pada aras karbon 6% (w/w) PUFA yang dihasilkan adalah 60,8%. Hasil-hasil pengukurannya ditunjukkan pada Gambar 7. Pemanenan kapang untuk mendapatkan lipida harus dilakukan pada masa

pertumbuhan *stationary*, yakni fase di mana tidak lagi terjadi penambahan bobot kering biomassa kapang seiring dengan waktu. Oleh sebab itu fase *stationary* merupakan saat di mana bobot lipida yang terbentuk adalah maksimum. Pemanenan yang terlalu lama dari titik awal fase *stationary* akan menyebabkan penurunan bobot lipida yang telah terbentuk. Hal ini disebabkan oleh

Berbeda dengan respon yang ditunjukkan oleh pengaruh peragaman aras karbon, peragaman nisbah karbon terhadap nitrogen justru memberikan respon yang sebaliknya. Dengan meningkatnya nisbah C/N dalam kisaran 20 – 50 PUFA yang dihasilkan semakin berkurang. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 9 (Putri *et al.* 2016). Teknik yang digunakan untuk memekatkan PUFA adalah penyarian (*extraction*) dengan menggunakan pelarut etanol pada suhu 45 °C selama 3 jam. Perbandingan volume (mL) pelarut etanol terhadap bobot biomassa (mg) kapang adalah 15:1. Sebelum penyarian dilakukan dinding sel kapang harus dipecah dengan proses sonifikasi (yakni perlakuan pemberian getaran melalui pendedahan (*exposure*) gelombang elektronik ultrasonik) agar lipida yang terdapat dalam sel dapat larut dalam etanol. Prinsip yang digunakan dalam semua proses penyarian adalah *like dissolve like* yakni bahan dengan kepolaran yang serupa atau berdekatan cenderung untuk bergabung. Dalam hal ini kepolaran etanol menyerupai kepolaran asam lemak sehingga lipida dapat dikeluarkan dari sel kapang. Kepolaran ini dapat diprediksikan dari struktur molekul etanol dan

kurangnya zat hara pada fase *stationary* sehingga lipida yang terbentuk digunakan kembali sebagai sumber karbon (Abu-Elreesh & Abd-El-Haleem 2013). Fase *stationary* pertumbuhan untuk kapang *Aspergillus oryzae* biasanya terjadi pada kisaran hari ke 3 – 5 dari masa pertumbuhan sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 8 (Putri *et al.* 2016).

asam lemak. Sifat polar etanol disumbang oleh gugus hidroksil (-OH) sedangkan kepolaran asam lemak disumbang selain gugus hidroksil juga oleh gugus karbonil (-C=O). Baik etanol maupun asam karboksilat sama-sama memiliki kemampuan membentuk jembatan hidrogen.

VII. POTENSI REKAYASA PROSES

Pemanfaatan onggok sebagai medium fermentasi padat pada dasarnya adalah pemanfaatan sumber karbon yang terdapat dalam onggok melalui proses enzimatik. Teknik demikian mengurangi risiko perancuan (*contamination*) oleh bakteri dikarenakan tidak adanya air-bebas serta rendahnya pH. Intraselular enzim dihasilkan oleh kapang *Aspergillus oryzae* untuk mencerna karbon yang terdapat dalam onggok. Karena enzim adalah katalis biologik maka dimungkinkan untuk merekayasa kinetika enzimatik dengan mengatur aras pH dan suhu operasi. Biasanya kinetika reaksi akan meningkatkan dua kali lipat bila suhu reaksi meningkat setiap 10 °C. Namun karena enzim adalah protein maka terdapat suhu di mana proses denaturasi protein bisa terjadi. Hal

ini harus dihindari karena akan mendeaktivasi kemampuan enzim dalam mencerna substrat. Demikian pula dengan pH medium reaksi yang mana proses enzimatik memiliki rentang pH yang khas. Faktor lain yang tidak kalah penting adalah waktu inkubasi (Pinasthika 2018) dan laju agitasi (Arcanggi 2018) sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 10 dan 11. Dengan mengatur kondisi operasional ini maka produksi PUFA dapat dioptimalkan.

VIII. SIMPULAN

Onggok merupakan sisa produksi tapioka yang masih mengandung bahan organik sebagai sumber karbon bagi pertumbuhan kapang *Aspergillus*

oryzae. Dengan memanfaatkan onggok sebagai media fermentasi padat dalam produksi *polyunsaturated fatty acids* (PUFA) maka potensi pengurangan biaya operasional dalam produksi PUFA dimungkinkan. Hal ini akan meningkatkan keunggulan kinerja operasi produksi tidak hanya dari sudut pandang daya saing bisnis namun juga lingkungan. Selain itu dengan memanfaatkan limbah sebagai bahan baku proses maka penerapan konsep *waste to product* atau *waste exchange* menjadi terwujud. Dampaknya adalah potensi penurunan beban lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah onggok. Pada gilirannya *Sustainable Consumption and Production* akan mendekati kenyataan.

Gambar 10. Pengaruh Waktu Inkubasi pada Bobot Kering Asam Lemak

Gambar 11. Pengaruh Laju Agitasi Pada Perolehan Asam Lemak

DAFTAR PUSTAKA

- Abu-Elreesh G. & D. Abd-El-Haleem. 2013. An effective lipid-producing fungal sp. strain DGB 1 and its use for biodiesel production. *African Journal of Biotechnology*. Vol.12(34):5347-5353
- AgroBisnisInfo.com. 2015. Kandungan nutrisi onggok <http://www.agrobisnisinfo.com/2015/03/kandungan-nutrisi-onggok.html> [Diunduh pada 16 Januari 2020]
- Annenberg Foundation. 2017. Chemistry: challenges and solutions. Harvard-Smithsonian Centre for Astrophysics <https://www.learner.org/courses/chemistry> [Diunduh pada 13 Oktober 2018]
- Arcanggi A.R.P., P. Arum, A. Rafif & A. Eka. 2018. Tapioca and tofu waste utilization to produce AA, DHA and EPA. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (105):1-10
- Geeshani. 2016. Difference between omega-3, -6, and -9 <http://pediaa.com/difference-between-omega-3-6-and-9/> [Diunduh pada 11 Oktober 2018]
- Guo W., Y. Zhu, Y. Han, Y. Wei & B. Luo. 2017. Separation mechanism of fatty acid from waste cooking oil and its flotation performance in iron ore desiliconization. *Minerals*. Vol. 7(244):1-14
- Hamam F. & F. Shahidi. 2008. Incorporation of selected long-chain fatty acid into trilinolein and trilinolenin. *Food Chemistry* (106):33-39

- Kapoor R. & U. Patil. 2011. Importance and production of omega-3 fatty acids from natural resources. *International Food Research Journal* (18):491-497
- Kawid Kapan. 2013. Onggok dari limbah menjadi peluang bisnis <https://kawidkapan.blogspot.com/2013/05/onggok-dari-limbah-menjadi-peluang.html> [Diunduh pada 15 Oktober 2018]
- Mustika R., A.A. Nugraha, K. Barnita. 2009. Pemanfaatan onggok singkong sebagai sumber asam laktat dalam pembuatan bioplastik kemasan makanan. Institut Pertanian Bogor
- Patil D. 2014. Recent trend in production of polyunsaturated fatty acids (PUFA) concentrates: review article. *Journal of Food Research and Technology*. Vol.2(1):15-23
- Patil D. & A. Nag. 2011. Production of PUFA concentrates from poultry and fish processing waste. *Journal of the American Oil Chemist's Society* (88): 589-593
- Pinasthika N.P., R. Arbiанти, T.S. Utami & H. Hermansyah. 2018. Effect of medium and incubation time on production of AA, DHA and EPA from *Aspergillus oryzae* by solid state fermentation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (105):1-6
- Putri L.R.K., R. Arbiанти, T.S. Utami & H. Hermansyah. 2016. Produksi PUFA dari *Aspergillus oryzae* berbasis onggok dan ampas tahu dengan variasi konsentrasi karbon dan rasio karbon-nitrogen. *Proceeding Seminar Nasional Teknik Kimia – Teknologi Oleo Petro Kimia Indonesia*, Pekan Baru 1 – 2 Oktober 2016:123-132
- Rubio-Roriguez N., S. Beltran, I. Jaime, S.M. de Diego, M.T. Sanz & J.R. Carballido. 2010. Production of omega-3 polyunsaturated fatty acid concentrates: a review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (11):1-12
- Shahidi F. & U.N. Wanasundara. 1998. Omega-3 fatty acid concentrates: nutritional aspects and production technologies. *Trends in Food Science & Technology*. Vol.9(6):230-240
- Sumanti D.M., C. Tjahyadi, M. Herudiyanto & T. Sukarti. 2005. Mekanisme produksi minyak sel tunggal dengan sistem fermentasi padat pada media onggok-ampas tahu dengan menggunakan kapang *aspergillus terreus*. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan* Vol.XVI(1):51-61
- The Aspergillus Website. 2018. *Aspergillus and aspergillosis*. <https://www.aspergillus.org.uk/> [Diunduh pada 14 Oktober 2018]
- Wikipedia. 2018. Polyunsaturated fatty acids. https://en.wikipedia.org/wiki/Polyunsaturated_fatty_acid#Conjugated_fatty_acids [Diunduh pada 15 Oktober 2018]