

**REVIEW: METODE PENGERINGAN LIPID DARI MIKROALGAE BERPOTENSI SEBAGAI BIODIESEL****Meilya Suzan Triyastuti**<sup>✉</sup>

Teknik Pengolahan Produk Perikanan, Polteknik Kelautan dan Perikanan Bitung, Jl. Tandurusa, Kota Bitung, Sulawesi Utara 95526

DOI: <http://dx.doi.org/10.26623/jtphp.v13i1.1845.kodeartikel>**Info Artikel***Sejarah Artikel:*

Disubmit 05-07-2023

Direvisi 12-07-2023

Disetujui 15-07-2023

*Keywords:**Biodiesel, Lipid, Mikroalga***Abstrak**

Mikroalga mengandung kadar lemak tinggi. Kadar lemak pada mikroalga dapat dimanfaatkan sebagai biodiesel pengganti bahan bakar fosil. Mikroalga mengandung lipid yang tinggi. Mikroalga mempunyai efisiensi yang tinggi yaitu sepuluh kali leboh besar daripada tanaman darat dan dapat mengubah energi matahari menjadi energi kimia. Mikroalga berpotensi sebagai bahan biodiesel yang terbarukan, ramah lingkungan berkelanjutan di masa depan. Jenis mikroalga *chlorella* mempunyai kadar lipid dan produktivitas lipid tinggi. *Convective drying* menghasilkan kadar lipid yang tinggi dan efisien.

**Abstract**

*Microalgae contain high lipid content. The fat content in microalgae can be used as biodiesel to replace fossil fuels. Microalgae have high efficiency which is ten times greater than land plants and can convert solar energy into chemical energy. Microalgae has the potential as a renewable, environmentally sustainable biodiesel material in the future. Chlorella microalgae type has high lipid content and lipid productivity. Convective drying produces high lipid content and is efficient.*

<sup>✉</sup> Alamat Korespondensi:E-mail: [meilya.striyastuti@gmail.com](mailto:meilya.striyastuti@gmail.com)

p-ISSN 2746-0207

e-ISSN 2807-7865

## 1. Pendahuluan

Microalgae merupakan organisme hidup multiseluler atau uniseluler yang berukuran mikro (mulai dari 1µm hingga beberapa cm) (Falkowski et al., 2004). Pertumbuhan mikroalgae yang cepat, biasanya tumbuh dalam suspensi dan panjangnya bisa mencapai ukuran hingga 60m (Guedes et al., 2011). Pigmentasi Mikroalgae memiliki 50.000 jenis spesies mikroalgae yang ada di air tawar dan di air laut, namun hanya 30.000 spesies yang telah dipelajari (Richmond, 2004). Mikroalga mempunyai aktivitas farmakologis seperti aktivitas antioksidan, anti inflamasi, aktivitas nutraceutical, antimikroba, anti-inflamasi, anti-penuaan, agregat, vasokonstriksi, hipokolesterolemia, antioksidan, immunosupresif, fotoprotektif, dan transmisi saraf (Sathasivam et al, 2017; Lauritano et al, 2018). Mikroalgae mempunyai efisiensi yang tinggi yaitu sepuluh kali lebih besar daripada tanaman darat dan dapat mengubah energi matahari menjadi energi kimia dengan memperbaiki diantaranya polisakarida, protein, lipid, vitamin, karoten/β-Karoten, antioksidan, kandungan fenolik, dan mineral. Beraneka ragam jenis mikroalgae menghasilkan lipid dalam jumlah tinggi, pada asam lemak ω=3 rantai panjang diantaranya linolenat, eicosapentaenoic (EPA) dan docosahexaenoic (DHA) sedangkan asam lemak ω-6 meliputi linolenat, asam gamma-linolenat (GLA), arachidonic (ARA).

Hingga saat ini, penggunaan energi dari bahan bakar fosil mencapai 90% sedangkan sumber energi terbarukan hanya sekitar 10%. Eksploitasi minyak konvensional mengalami peningkatan signifikan sehingga cadangan minyak bumi akan menghilang setelah tahun 2050 (Demirbas, 2010; Chen et al, 2011; Campbell, 1998; Ho et al, 2011; Ho et al, 2012). Produksi minyak bumi menyebabkan pencemaran lingkungan dan perubahan iklim global serta degradasi ekologis dan masalah kesehatan biotik sehingga perlu pengembangan sumber energi dan teknologi terbarukan (Hallenbeck dan Benemann, 2002). Kandungan lipid pada mikroalgae hingga mencapai 68 dwt (Maity et al, 2014). Kadar lemak yang tinggi dapat dioalah menjadi berbagai produk seperti biodiesel, *green diesel*, bioetanol, metana, gas bahan bakar. Mikroalgae mempunyai nilai komersial tinggi sebagai bahan baku terbarukan untuk biofuel karena kandungan minyak yang tinggi dan ramah lingkungan (Christenson et al, 2011; Antizar-Ladislao dan Turrión-Gomez, 2008).

Selama beberapa dekade terakhir, ada upaya

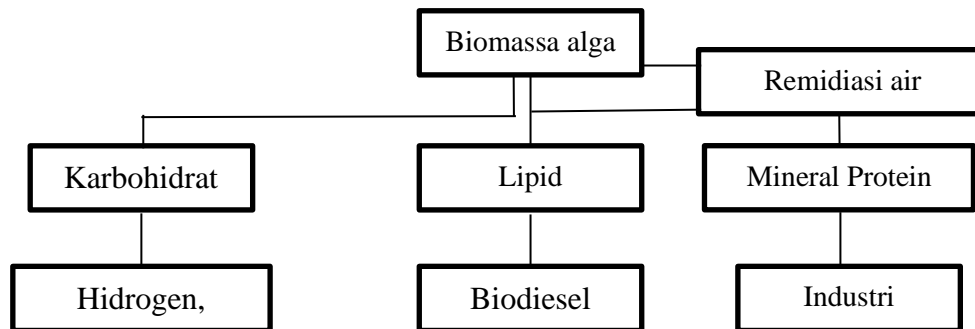
untuk pengembangan metode pengeringan pada senyawa lipid. Degradasi lipid dan yield lipid yang rendah menjadi masalah utama dalam produksi produk mikroalgae. Yield lipid pada mikroalgae biasanya tidak lebih dari 30% dalam basis kering. Hal ini merupakan kelemahan untuk memproduksi biofuel dari mikroalga dalam jumlah yang besar. Pengeringan merupakan langkah terakhir dalam memproses *slurry* alga hingga kadar air 12-15%. Parameter pemilihan metode pengeringan untuk mikroalgae sangat tergantung pada skala produksi, kandungan komponen target, dan aplikasi produk yang dikeringkan. Kandungan komponen target yang mengandung EPA, DHA dan DPA (docosapentaenoic acid) lebih tahan terhadap temperatur tinggi 60-105°C. Pemilihan metode pengeringan atau teknologi pengeringan yang tidak tepat dapat menyebabkan degradasi senyawa bioaktif yang berdampak pada kerusakan permanen kualitas produk. Maka perlu pemilihan metode pengeringan yang tepat untuk menghasilkan produksi produk mikroalgae yang kualitasnya tetap terjaga, efisien dan hemat biaya (Batista et al, 2016; Viegas, 2010; Yang et al, 2014, Mujumdar, A, 2004). Tujuan dari review ini untuk mengetahui berbagai teknologi pengeringan dan jenis mikroalgae yang tepat untuk produksi biodiesel.

## 2. Jenis jenis mikroalgae

Mikroalga memiliki berbagai spesies yang mempunyai manfaat sebagai sumber pangan hingga biofuel. Hal ini ditunjukkan pada gambar 1 diagram alir untuk pemilihan metode pengeringan mikroalga (Chen et al, 2015). Mikroalga mempunyai sumber potensi pangan hingga biofuel yang ditunjukkan pada gambar 2. Beberapa spesies mikroalga kaya minyak. Berbagai jenis spesies mikroalga dengan kadar lipid tertinggi hingga terendah ditunjukkan pada tabel 1. Kadar dan komposisi lipid dari algae bervariasi, hal ini oleh beberapa faktor diantaranya lokasi geografis, musim, temperatur (20-30°C), salinitas, intensitas cahaya (Brown et al, 1997; Maity et al, 2014).



Gambar 1 diagram alir untuk pemilihan metode pengeringan mikroalga



Gambar 2. Mikroalga berdasarkan potensinya

Tabel 1. Kadar Lipid dan Produktivitas dari Mikroalga (Maity et al, 2014);

Spesies mikroalga	Jenis Alga	Kadar Lipid (% dry weight biomass)/ kadar minyak	Produktivitas Lipid(mg/L/hari)	Daftar Pustaka
<i>Arthrospira maxima</i>	Hijau Biru	20,34	-	Baunillo et al, 2012
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	Hijau	24.0-31.0	-	Deng et al, 2009
<i>Botryococcus braunii</i>	Hijau	25.0-75.0	-	Chisti et al, 2007; Sawayama et al, 1999; Dote et al, 1994
<i>Chaetoceros muelleri</i>	Diatom	33.6	21.8	Rodolfi et al, 2009
<i>Chaetoceros calcitrans</i>	Diatom	14.6-16.4/39.8	17.6	Rodolfi et al, 2009; Natrah et al, 2007
<i>Chlorella emersonii</i>	Hijau	25.0-63.0	10.3-50.0	Gouveia dan Oliveira, 2009
<i>Chlorella minutissima</i>	Hijau	57	-	Gouveia dan Oliveira, 2009
<i>Chlorella protothecoides</i>	Hijau	14.6-57.8	1214	Miao dan Wu, 2004; Peng et al, 2001
<i>Chlorella sorokiniana</i>	Hijau	19.0-22.0	44.7	Rodolfi et al, 2009
<i>Chlorella vulgaris</i>	Hijau	19.2	170	Rodolfi et al, 2009

<i>CCAP 211/11b</i>					
<i>Chlorella vulgaris</i>	Hijau	5.0-58.0	11.2-40.0		Rodolfi et al, 2009; Natrah et al, 2007; Gouveia dan Oliveira, 2009; Miao dan Wu, 2004; Peng et al, 2001; Scragg et al, 2002
<i>Chlorella sp.</i>	Hijau	10.0-48.0	42.1		Chisti, 2007
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Hijau	11-26	-		Nigam et al, 2011
<i>Chlorella sp.</i>	Hijau	18.0-57.0	18.7		Gouveia et al,2009
<i>Chlorococcum sp.</i>	Hijau	19.3	53.7		Rodolfi et al, 2009
<i>UMACC 112</i>					
<i>Cylindrotheca sp</i>	Diatom	16.-37	-		Chisti, 2007; Sawayama et al, 1999; Dote et al, 1994; Rodolfi et al, 2009; Natrah et al, 2007; Gouveia dan Oliveira, 2009; Miao dan Wu, 2004; Peng et al, 2001; Scragg et al, 2002; Nigam et al, 2011; Gouveia et al,2009; Pai dan Lai, 2011
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	Merah	20.0-51.1	-		Chisti, 2007
<i>Dunaliella salina</i>	Hijau	16-44	46		Weldy dan Huesemann, 2007
<i>Dunaliella primolecta</i>	Hijau	23	-		Chisti, 2007
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	Hijau	16.7-71.0	-		Minowa et al, 1995
<i>Ellipsoidion sp.</i>	Eustigmatophytes	27.4	47.3		Rodolf et al, 2009
<i>Euglena gracilis</i>	Hijau	14.0-20.0	-		Becker, 1994
<i>Haematococcus pluvialis</i>	Merah darah	15.61-32.99	-		Damiani et al, 2010
<i>Isochrysis galbana</i>	Prymnesiophytes	7.0-40.00	-		Natrah, 2007
<i>Isochrysis sp.</i>	Prymnesiophytes	7.1-33	37.8		Chisti, 2007; Sawayama et al, 1999; Dote et al, 1994; Rodolfi et al, 2009
<i>Monodus subterraneus UTEX 151</i>	Eustigmatophytes	16.1	30.4		Rodolfi et al, 2009
<i>Monallanthus salina</i>	Hijau	20.0-22.-	-		Chisti, 2007
<i>Nannochloris sp.</i>	Hijau	20.0-56.0	60.9-76.5		Chisti, 2007
<i>Nannochloropsis oculata NCTU-3</i>	Hijau	30.8-50.4	142		Chiu et al, 2009
<i>Nannochloropsis oculata.</i>	Hijau	22.7-29.7	84.0-142.0		Chisti, 2007
<i>Nannochloropsis sp.</i>	Eustigmatophytes	12.0-68.0	37.6-90.0		Chisti, 2007; Sawayama et al, 1999; Dote et al, 1994; Rodolfi et al, 2009
<i>Neochloris oleoabundans</i>	Hijau	29.0-65.0	90.0-134.0		Chisti, 2007; Sawayama et al, 1999; Dote et al, 1994; Rodolfi et al, 2009; Natrah et al, 2007; Gouveia dan Oliveira, 2009
<i>Nitzschia sp.</i>	Diatom	16.0-47.0			Chisti, 2007
<i>Oocystis pusilla</i>	Hijau	10.5	-		Mata et al, 2010
<i>Pavlova salina</i>	Prymnesiophytes	30.9	49.4		Rodolfi et al, 2009
<i>Pavlova lutheri</i>	Prymnesiophytes	35.5	40.2		Rodolfi et al, 2009
<i>Phaeodactylum</i>	Diatom	18.8-57.0	44.8		Chisti, 2007

<i>tricornutum</i>				
<i>Porphyridium cruentum</i>	Merah	9.0-18.8/60.7	34.8	Mata et al, 2010
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	Hijau	6-7/16-40	-	Becker, 1994
<i>Scenedesmus obliquus</i>	Hijau	11-22/35-55	-	Becker, 1994
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Hijau	1.9-18.4	35.1	Rodolfi et al, 2009
<i>Schizochytrium sp.</i>	Kuning-Hijau	50-57	-	Chisti, 2007
<i>Scenedesmus sp. DM</i>	Hijau	19.6-21.1	40.8-53.9	Rodolfi et al, 2009
<i>Skeletonema sp.</i>	Diatom	13.3-31.8	27.3	Rodolfi et al, 2009
<i>Skeletonema costatum</i>	Diatom	13.5-51.3	17.4	Rodolfi et al, 2009
<i>Spirulina platensis</i>	Hijau	10.30±0.10	-	Peng et al, 2001
<i>Spirulina maxima</i>	Hijau	4.0-9.0	-	Mata et al, 2010
<i>Thalassiosira pseudonana</i>	Diatom	20.6	17.4	Rodolfi et al, 2009
<i>Tetraselmis suecica</i>	Hijau	8.5-23.0	27.0-36.4	Chisti, 2007; Sawayama et al, 1999; Dote et al, 1994; Rodolfi et al, 2009
<i>Tetraselmis sp</i>	Hijau	12.6-14.7	43.4	Rodolfi et al, 2009

Berbagai jenis spesies mikroalga memiliki kadar lipid yang berbeda. Kadar lipid pada mikroalga dibedakan menjadi 3 : kadar lipid sangat tinggi (kadar lipid >60%dw), kadar lipid sedang (40-60%), kadar lipid rendah (<40%). Produktivitas lipid pada mikroalga hijau lebih tinggi dibandingkan mikroalga merah dan merah darah. Pemilihan jenis mikroalga

berdasarkan kadar lipid dan produktivitas lipid merupakan langkah sangat penting untuk produksi biofuel alga. Mikroalga jenis *chlorella* mempunyai potensi sebagai biodiesel karena kadar lipid yang tinggi (Maity et al, 2014).

Tabel 2. Berbagai Jenis Produksi Biofuel dari spesies Mikroalga yang berbeda

Mikroalga	Jenis Alga	Biofuel	Produktivitas Biofuel	Daftar Pustaka
<i>Arthrospira maxima</i>	Hijau	Hidrogen, Biodiesel	40-69%	Baunillo et al, 2012;Deng et al, 2009; Chisti, 2007; Sawayama et al, 1999; Dote et al, 1994; Rodolfi et al, 2009; Natrah et al, 2007; Gouveia and Oliveira, 2009; Miao and Wu, 2004; Peng et al, 2001; Scragg et al, 2002; Nigam and Rai, 2011; Gouveia et al, 2009; Pai and Lai, 2011; Weldy, 2007; Minowa et al, 1995; Becker, 1994; Damiani et al, 2010; Chiu et al, 2009; Mata et al, 2010;Ananyev et al, 2008
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	Hijau	Hidrogen	2,5 mL h <sup>-1</sup> /11,73 g/L	Ghirardi et al, 2000; Choi et al, 2010; Saleem et al, 2012; Hemschemeier et al, 2009; Burgess, 2011
<i>Chlorella</i>	Hijau	Biodiesel		Huntley and Redalje, 2007; Seefeldt, 2007
<i>Chlorella biomass</i>	Hijau	Etanol	22,6 g/L	Zhou et al, 2011
<i>Chlorella minutissima</i>	Hijau	Metanol		Kotzabasis and Hatzithanasiou, 1999
<i>Chlorella protothecoides</i>	Hijau	Biodiesel	15.5 g L <sup>-1</sup>	Chen and Walker, 2011; Li et al, 2007

<i>Chlorella regularis</i>	Hijau	Etanol		Endo et al, 1977
<i>Chlorella vulgaris</i>	Hijau	Etanol		Hirano et al, 1997
<i>Chlorococcum humicola</i>	Hijau	Etanol	7,2 g/l atau 10 g/l	Harun and Danquah, 2011
<i>Chlorococcum infusionum</i>	Hijau	Etanol	0,26 g etanol/g alga	Harun et al, 2011
<i>Chlorococcum sp.</i>	Biru-Hijau	Biodiesel	10.0 g L <sup>-1</sup>	Harun et al, 2010
<i>Chlorococcum sp.</i>	Biru-Hijau	Etanol	3,83 g L <sup>-1</sup>	Harun et al, 2010
<i>Dunaliella sp.</i>	Hijau	Etanol	11.0 g L <sup>-1</sup>	Shirai et al, 1998
<i>Haematococcus pluvialis</i>	Merah	Biodiesel	420 GJ/ha/yr	Li Y et al, 2008; Li Q et al, 2008
<i>Neochlorosis oleabundans</i>	Hijau	Biodiesel	56.0 g g <sup>-1</sup>	Gouveia and Oliveira, 2009
<i>Platymonas subcordiformis</i>	Hijau	Hidrogen		Guan et al, 2004
<i>Scenedesmus obliquus</i>	Hijau	Metanol, Hidrogen		Zhou et al, 2011; Schulz, 1999; Papaz et al, 2012
<i>Spirogyra</i>	Hijau	Etanol		Aoyama et al, 1997
<i>Spirulina platensis</i>	Hijau	Hidrogen	1,8 μmol mg <sup>-1</sup>	Converti et al, 2009
<i>S. platensis UTEX 1926</i>	Biru-Hijau	Metana	0,40 m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup>	Costa et al, 2008
<i>Spirulina Leb 18</i>	Biru-Hijau	Metana	0,79 g L <sup>-1</sup>	Costa et al, 2008

Pada tabel 2 menunjukkan bahwa berbagai spesies mikroalga memiliki produktivitas biofuel yang berbeda. Produktivitas biofuel dari alga hijau lebih tinggi dibandingkan alga lainnya. Mikroalga *Chlorella sp.* dan *Chlorococcum sp.* mempunyai potensi untuk produksi biodiesel, biofuel, bioetanol dan hidrogen. Berdasarkan produktivitas biofuel, mikroalga *Haematococcus pluvialis* dan *Neochlorosis oleabundans* merupakan pilihan jenis mikroalga yang baik untuk produksi biodiesel (Maity et al, 2014).

### 3. Pengeringan

Mikroalga kering merupakan bahan baku yang baik untuk produksi biodiesel. Pengeringan mikroalga dilakukan hingga kadar air 12-15%. Gambar 1 menunjukkan bahwa metode pengeringan mikroalga. Metode pengeringan algae diantaranya *solar drying*, *convective drying*, *solar drying*, *spray drying*, *freeze drying* (Chen et al, 2015).

#### Solar drying

*Solar drying* merupakan metode pengeringan sederhana dengan biaya murah namun membutuhkan waktu pengeringan yang lama dan area pengeringan yang luas. Selain itu sangat bergantung pada kondisi cuaca yang fluktuatif sehingga menurunkan kualitas produk akibat terjadinya degradasi produk dan terpapar mikrobiologi. Saat ini, alga laut dikeringkan menggunakan *solar drying* (Rathore dan Panwar, 2011; Saleh dan Badran, 2009). Suhu pengeringan optimal untuk mengeringkan *Gracilaria chilensis* menggunakan metode *solar drying* pada 41,3°C. Pengeringan *Gracilaria chilensis* sangat efektif menggunakan metode *solar drying* jika parameter dioptimalkan (Poblete et al, 2019). *Solar drying* dengan sistem tertutup menggunakan suhu dari 35°C-60°C, kelembaban produk <10% dalam waktu

pengeringan 3-5 jam. Kualitas produk alga menggunakan *solar drying* yang tidak stabil namun tidak berdampak signifikan pada proses ekstraksi minyak jika dibandingkan dengan pengeringan oven dan pengeringan beku (Prakash et al, 1997; Balasubramanian et al, 2013; Guldhe et al, 2014).

#### Convective drying

*Convective drying* merupakan metode pengeringan konvensional yang dimanfaatkan untuk mengeringkan bahan organik dengan proses simultan yang melibatkan perpindahan massa dan panas (Babalís & Belessiotis, 2004). *Convective drying* atau pengeringan oven salah satu metode pengeringan yang populer untuk dehidrasi mikroalga. Pengeringan *spirulina platensis* dengan metode *convective drying* menghasilkan *Polyunsaturated fatty acids* (PUFAs) sebesar 34,4%, phycocyanin sebesar 37% dan gamma-linolenic acid sebesar 20,6 dengan kondisi pengeringan optimum pada suhu 55°C dan ketebalan bahan 3,7 mm (Oliveira et al, 2010).

Oliveira et al. (2010) menyatakan bahwa kandungan asam lemak dalam mikroalga *spirulina platensis* yang segar dan setelah pengeringan tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Namun, kandungan asam linoleat dan asam linolenat tidak mengubah nutrisi mikroalga dan tidak mengubah struktur kimia. Komposisi asam lemak dari mikroalga *spirulina platensis* yang segar dan setelah pengeringan ditunjukkan pada tabel 3. Kandungan MUFA (Monosaturated Fatty Acids) dan PUFA dalam spirulina sebesar 51% dari total asam lemak. Selain itu, *spirulina platensis* mengandung asam linoleat dan asam linolenat sebesar 13,9 % dan 20,6%. Kandungan MUFA dan PUFA sensitif terhadap panas serta paparan cahaya karena proses oksidasi (Morist et al., 2001).

Tabel 3. Komposisi Asam Lemak dari Mikroalga *spirulina platensis* yang segar dan setelah pengeringan

Asam Lemak (%)	<i>Spirulina</i> segar <sup>*+</sup>	<i>Spirulina</i> kering <sup>*+</sup>
C11:0	3,50±0,01 <sup>a</sup>	3,48±0,02 <sup>a</sup>
C16:0	32,50±0,02 <sup>a</sup>	32,53±0,01 <sup>a</sup>
C16:1ω7	13,09±0,02 <sup>a</sup>	13,10±0,02 <sup>a</sup>
C18:0	2,89±0,01 <sup>a</sup>	2,90±0,01 <sup>a</sup>
C18:1ω9	3,10±0,02 <sup>a</sup>	3,20±0,02 <sup>a</sup>
C18:2ω6 trans	13,88±0,01 <sup>a</sup>	13,86±0,02 <sup>a</sup>
C18:3ω6 cis	20,60±0,02 <sup>a</sup>	20,56±0,01 <sup>a</sup>
Jenuh	38,89±0,01 <sup>a</sup>	38,91±0,01 <sup>a</sup>
Tak jenuh tunggal	16,19±0,02 <sup>a</sup>	16,30±0,02 <sup>a</sup>
Tak jenuh jamak	34,48±0,01 <sup>a</sup>	34,42±0,01 <sup>a</sup>
PUFA / SFA	0,88±0,02 <sup>a</sup>	0,88±0,02 <sup>a</sup>

Asam lemak mempunyai sifat yang sensitif terhadap panas namun asam lemak translinolenat tidak berubah setelah proses pengeringan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Zepka et al. (2007) bahwa pengeringan mikroalga *aphanothece microcopia nageli* pada kondisi operasi yang berbeda menggunakan *convective drying*. Walaupun tidak ada perbedaan hasil minyak yang signifikan namun pengeringan mikroalga dengan *convective drying* lebih efisien dibandingkan dengan *solar drying* (Guldhe et al, 2014). Biomassa kering hasil *convective drying* dan *freeze drying* mengandung asam lemak bebas (FFAs) yang hampir sama. Namun, biomassa kering hasil *sun drying* mengandung mikroalga dengan asam lemak bebas lebih tinggi dibandingkan menggunakan *freeze drying* (Balasubramanian et al, 2013). Kandungan FFA menurunkan efisiensi trans-esterifikasi ketika menggunakan katalis alkali (seperti NaOH) karena efek saponifikasi. Oleh karena itu, mikroalga yang dikeringkan dengan *sun drying* bukan proses yang efisien untuk produksi biodiesel (Chen et al, 2015).

#### Spray Drying

*Spray drying* merupakan proses pengeringan dengan cara penyemprotan biomassa ke dalam sebuah ruang yang terdapat aliran udara panas dengan temperatur terkontrol sehingga mencapai penguapan air dan menghasilkan biomassa kering yang sangat cepat (Cecchi, 2003). Pengeringan mikroalga menggunakan *spray drying* menghasilkan mikroalga kering yang berkualitas berwarna hijau gelap. Proses pengeringan dan suhu *spray drying* mempengaruhi warna bubuk mikroalga (Milledge dan Heaven, 2013; Oliveira et al, 2009). Selain itu, *spray drying* mempunyai kelebihan diantaranya : cocok untuk bahan yang sensitif terhadap panas, waktu pengeringan yang efisien, sifat padatan kering (*bulk density*, distribusi ukuran, porositas) (Biz et al, 2019). Yield dari *spray drying* menghasilkan nutrisi yang lebih banyak dibandingkan *convective drying* (kehilangan protein 10-20%) (Chen et al, 2015). Namun, *spray drying* mempunyai kekurangan pada energi yang tidak efisien (Foust et al, 1980). Biomassa mikroalga yang dikeringkan menggunakan *spray drying* sensitif terhadap lipolisis saat disimpan dibandingkan *freeze drying*, namun kandungan karotenoid dalam mikroalga

menggunakan *spray drying* mudah teroksidasi daripada *freeze drying* (Ryckebosch, 2011).

#### Freeze Drying

*Freeze drying* atau liofilisasi merupakan proses pengeringan dengan menghilangkan air secara sublimasi. Proses pengeringan biomassa menggunakan *freeze drying* meliputi membekukan biomassa sebelum vakum sublimasi, kemudian peningkatan suhu secara bertahap, pengurangan tekanan, air beku mengalir dari padatan ke gas, tanpa mengubah sifat-sifat biomassa (Menegazzo and Fonseca, 2019). Mikroalga *Phaeodactylum tricorutum* kering setelah pengeringan dengan *spray drying* dan *freeze drying* menghasilkan kandungan FFA yang sama. Namun setelah penyimpanan selama 35 hari, kandungan FFA pada mikroalga dengan metode *freeze drying* mengalami peningkatan dibandingkan dengan *spray drying* (Ryckebosch et al, 2011).

### 4. Kesimpulan

Indonesia mempunyai 2/3 lautan yang beriklim tropis. Hal ini sangat mudah melakukan produksi mikroalga karena mikroalga dapat berfotosintesis dan tumbuh subur adanya sinar matahari. Mikroalga berpotensi sebagai bahan biodiesel yang terbarukan, ramah lingkungan berkelanjutan di masa depan. Mikroalga yang mempunyai kadar lipid tinggi dapat dimanfaatkan sumber biodiesel alga. Mikroalga yang mempunyai kadar lipid dan produktivitas lipid tinggi yaitu mikroalga jenis *chlorella*. Proses pengeringan mempengaruhi yield lipid sehingga diperlukan proses pengeringan yang tepat untuk menghasilkan kadar lipid yang tinggi. *Convective drying* menghasilkan kadar lipid yang tinggi dan efisien.

### 5. Daftar Pustaka

- Deng X, Li Y, Fei X. Microalgae: a promising feedstock for biodiesel. *Afr J Microbiol Res* 2009;3(13):1008e14.
- Chisti Y. Biodiesel from microalgae. *Biotechnol Adv* 2007;25(3):294e306. [55] Sawayama S, Minowa T, Yokoyama SY. Possibility of renewable energy production and CO<sub>2</sub> mitigation by thermochemical liquefaction of micro- algae. *Biomass Bioenergy* 1999;17(1):33e9.
- Dote Y, Sawayama S, Inoue S, Minowa T, Yokoyama S. Recovery of liquid fuel from hydrocarbon-rich microalgae by thermochemical liquefaction. *Fuel* 1994;73(12):1855e7.
- Rodolfi L, Chini Zittelli G, Bassi N, Padovani G, Biondi N, Bonini G, Tredici MR. Microalgae for oil: strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor. *Biotechnol Bioeng* 2009;102(1):100e12.
- Natrah FMI, Yosoff FM, Shariff M, Abas F, Mariana NS. Mariana, Screening of Malaysian indigenous microalgae for antioxidant properties and nutritional value. *J Appl Phycol* 2007;19:711e8.
- Gouveia L, Oliveira AC. Microalgae as a raw material for biofuels production. *J Ind Microbiol Biotechnol* 2009;36:269e74.
- Miao XL, Wu QY. High yield bio-oil production from fast pyrolysis by metabolic controlling of *Chlorella protothecoides*. *J Biotechnol* 2004;110: 85e93.
- Peng W, Wu Q, Tu P, Zhao N. Pyrolytic characteristics of microalgae as renewable energy source determined by thermogravimetric analysis. *Bio-resour Technol* 2001;80(1):1e7.
- Scragg AH, Illman AM, Carden A, Shales SW. Growth of microalgae with increased calorific values in a tubular bioreactor. *Biomass Bioenergy* 2002;23(1):67e73.
- Nigam S, Rai MP, Sharma R. Effect of nitrogen on growth and lipid content of *Chlorella pyrenoidosa*. *Am J Biochem Biotechnol* 2011;7(3):124e9.
- Gouveia L, Marques AE, da Silva TL, Reis A. *Neochloris oleabundans* UTEX #1185: a suitable renewable lipid source for biofuel production. *Ind Micro- biol Biotechnol* 2009;36:821e6.
- Pai T, Lai W. Analyzing algae growth and oil production in a batch reactor under high nitrogen and phosphorus conditions. *Int J Appl Sci Eng* 2011;9(3): 161e8.
- Weldy CS, Huesemann M. Lipid production by *Dunaliella salina* in batch culture: effects of nitrogen limitation and light intensity. *U.S. Dept Energy J Undergrad Res* 2007;7(1):115e22.
- Minowa T, Yokoyama S, Kishimoto M, Okakura T. Oil production from algal cells by direct thermochemical liquefaction. *Fuel* 1995;74:1735e8.
- Becker EW. *Microalgae: biotechnology and microbiology*. London: Cambridge University Press; 1994.
- Damiani MC, Popovich CA, Constenla D, Leonardi PI. Lipid analysis in *Hae- matococcus* *pluvialis* to assess its potential use as a biodiesel feedstock. *Bio- resour Technol* 2010;101:3801e7.
- Chiu SY, Kao CY, Tsai MT, Ong SC, Chen CH, Lin CS. Lipid accumulation and CO<sub>2</sub> utilization of *Nannochloropsis oculata* in response to CO<sub>2</sub> aeration. *Bio- resour Technol* 2009;100:833e8.
- Mata TM, Martins AA, Caetano NS. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. *Renew Sust Energ Rev* 2010;14:217e32.
- Ananyev G, Carrieri D, Dismukes GC. Optimization of metabolic capacity and flux through environmental cues to maximize hydrogen production by the Cyanobacterium *arthropsira* (*Spirulina*) *maxima*. *Appl Environ Microbiol* 2008;74:6102e13
- Ghirardi ML, Zhang L, Lee JW, Flynn T, Seibert M, Greenbaum E, et al. Microalgae: a green source of renewable H<sub>2</sub>. *Trends Biotechnol* 2000;18(2): 506e11.
- Choi SP, Nguyen MT, Sim SJ. Enzymatic pretreatment of *Chlamydomonas reinhardtii* biomass for ethanol production. *Bioresour Technol* 2010;101(14): 5330e6.
- Saleem M, Chakrabarti MH, Raman AAA, Hasan DB, Daud WMAW, Mustafa A. Hydrogen production by *Chlamydomonas reinhardtii* in a two-stage process with and without illumination at alkaline pH. *Int J Hydrogen Energy* 2012;37(6):4930e4.
- Hemschemeier A, Melis A, Happe T. Analytical approaches to photobiological hydrogen production in unicellular green algae. *Photosynth Res* 2009;102(2e3):523e40.
- Burgess SJ, Tamburic B, Zemichael F, Hellgardt K, Nixon PJ. Solar-driven hydrogen production in green algae. *Adv Appl Microbiol* 2011;75:71e110.
- Huntley ME, Redalje DG. CO<sub>2</sub> mitigation and renewable oil from photosyn- thetic microbes: a new appraisal. *Mitig Adapt Strat Glob Change* 2007;12: 573e608.
- Seefeldt LC. Utah group plans to make biodiesel from algae. *Ind Bioprocess* 2007;29:5e6.
- Zhou N, Zhang Y, Wu X, Gong X, Wang Q. Hydrolysis of *Chlorella* biomass for fermentable sugars in the presence of HCl and MgCl<sub>2</sub>. *Bioresour Technol* 2011;102(21):10158e61.
- Kotzabasis K, Hatzithanasiou A, Bengoa- Ruigomez MV, Kentouri M, Divanach P. Methanol as alternative carbon source for quicker efficient production of the microalgae *Chlorella minutissima*: role of the concentration and frequency of administration. *J Biotechnol* 1999;70:357e62.
- Chen Y-H, Walker TH. Biomass and lipid production of heterotrophic microalgae *Chlorella protothecoides* by using biodiesel-derived crude glycerol. *Biotechnol Lett* 2011;33:1973e83.
- Li X, Xu H, Wu Q. Large-scale biodiesel production from microalga *Chlorella protothecoides* through heterotrophic cultivation in bioreactors. *Biotechnol Bioeng* 2007;98(4):764e71.
- Endo H, Hosaya H, Koibuchi T. Growth yields of *Chlorella regularis* in dark- heterotrophic continuous cultures using acetate: studies on *Chlorella regu- laris*,

heterotrophic fast-growing strain (III). *J Ferment Tech* 1977;55:369e79.

Hirano A, Ueda R, Hirayama S, Ogushi Y. CO<sub>2</sub> fixation and ethanol production with microalgal photosynthesis and intracellular anaerobic fermentation. *Energy* 1997;22(2e3):137e42.

Harun R, Danquah MK. Influence of acid pre-treatment on microalgal biomass for bioethanol production. *Process Biochem* 2011;46(1):304e9.

Harun R, Danquah MK, Forde GM. Microbial biomass as a fermentation feedstock for bioethanol production. *J Chem Technol Biotechnol* 2010;85:199e203.

Shirai F, Kunii K, Sato C, Teramoto Y, Mizuki E, Nakayama S. Cultivation of microalgae in the solution from the desalting of soy sauce waste treatment and utilization of the algal biomass for ethanol fermentation. *World J Microbiol Biotechnol* 1998;14:839e42.

Li Y, Horsman M, Wu N, Lan CQ, Dubois-Calero N. Biofuels from microalgae. *Biotechnol Prog* 2008;24(4):815e20.

Li Q, Du W, Liu D. Perspectives of microbial oils for biodiesel production. *Appl Microbiol Biotechnol* 2008;80:749e56.

Guan YF, Deng MC, Yu XJ, Zhang W. Two-stage photo-biological production of hydrogen by marine green alga *Platymonas subcordiformis*. *Biochem Eng J* 2004;19:69e73.

Schulz R, Schnackenberg J, Stangier K, Wünschiers R, Zinn T, Senger H. In: Zaborsky Oskar R, editor. Light-dependent hydrogen production of the green alga *Scenedesmus obliquus*. New York and London: BioHydrogen Plenum Press; 1999. pp. 243e51.

Papazi A, Andronis E, Ioannidis NE, Chaniotakis N, Kotzabasis K. High yields of hydrogen production induced by meta-substituted dichlorophenols biodegradation from the green alga *Scenedesmus obliquus*. *PLoS One* 2012;7(11):e49037

Eline Ryckebosch, Koenraad Muylaert, Mia Eeckhout, Tony Ruysen, and Imogen Foubert. 2011. Influence of Drying and Storage on Lipid and Carotenoid Stability of the Microalga *Phaeodactylum tricorutum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.59, 11063–11069

Cecchi HM. Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos. 2 ed Campinas, SP: Unicamp; 2003.

Ryckebosch, E.; Muylaert, K.; Eeckhout, M.; Ruysen, T.; Foubert, I. Influence of drying and storage on lipid and carotenoid stability of the microalga *Phaeodactylum tricorutum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2011, 59, 11063–11069.

A. S. Foust, L.A. Wenzel, C.W. Clump, L. Maus, L.B. Andersen, Prinsip-prinsip Operasi Unit, John-Wiley & Sons, New York, 1980.

Ana Paula Biz, Lúcio Cardozo-Filho, Everton Fernando Zanoelo, Drying dynamics of microalgae (*Chlorella pyrenoidosa*) dispersion droplets. *Chemical*

*Engineering & Processing: Process Intensification* 138 (2019) 41–48 Contents

Milledge, J.J.; Heaven, S. A review of the harvesting of micro-algae for biofuel production. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 2013, 12, 165–178.

Oliveira, E.G.; Rosa, G.S.; Moraes, M.A.; Pinto, L.A.A. Characterization of thin layer drying of *Spirulina platensis* utilizing perpendicular air flow. *Bioresource Technology* 2009, 100, 1297–1303.

Ching-Lung Chen, Jo-Shu Chang, and Duu-Jong Lee. Dewatering and Drying Methods for Microalgae. *Drying Technology*, 33: 443–454, 2015

Balasubramanian, R.K.; Yen Doan, T.T.; Obbard, J.P. Factors affecting cellular lipid extraction from marine microalgae. *Chemical Engineering Journal* 2013, 215–216, 929–936.

Guldhe, A.; Singh, B.; Rawat, I.; Ramluckan, K.; Bux, F. Efficacy of drying and cell disruption techniques on lipid recovery from micro- algae for biodiesel production. *Fuel* 2014, 128, 46–52.

Zepka, L.Q., Lopes, E.J., Goldbeck, R. & Queiroz, M.I. (2007). Production and biochemical profile of the microalgae *Aphanotheca microscopica* Na`geli submitted to different drying conditions. *Chemical Engineering and Process: Process Intensification*, 47, 1305–1310.

Oliveira, E.G.; Duarte, J.H.; Moraes, K.; Crexi, V.T. Pinto, L.A.A. Optimisation of *Spirulina platensis* convective drying: Evaluation of phycocyanin loss and lipid oxidation. *International Journal of Food Science and Technology* 2010, 45, 1572–1578.

Babalís, S.J. & Belessiotis, V.G. (2004). Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. *Journal of Food Engineering*, 65, 449–458

Rodrigo Pobletea, Ernesto Cortes, Juan Macchiavello, José Bakit. 2019. Factors influencing solar drying performance of the red algae *Gracilaria chilensis*. *Renewable Energy*. Doi:10.1016/j.renene.2018.04.042

Prakash, J.; Pushparaj, B.; Carozzi, P.; Torzillo, G.; Montaini, E.; Materassi, R. Microalgal biomass drying by a simple solar device. *International Journal of Solar Energy* 1997, 18(4), 303–311.

Balasubramanian, R.K.; Yen Doan, T.T.; Obbard, J.P. Factors affecting cellular lipid extraction from marine microalgae. *Chemical Engineering Journal* 2013, 215–216, 929–936.

Guldhe, A.; Singh, B.; Rawat, I.; Ramluckan, K.; Bux, F. Efficacy of drying and cell disruption techniques on lipid recovery from micro- algae for biodiesel production. *Fuel* 2014, 128, 46–52.

N. S. Rathore, N.L. Panwar, Design and development of energy efficient solar tunnel dryer for industrial drying, *Clean Technol. Environ. Policy*. 13 (2011) 125–132.

- A. Saleh, I. Badran, Modeling and experimental studies on a domestic solar dryer, 496 *Renew. Energy*. 34 (2009) 2239–2245.
- Hallenbeck PC, Benemann JR. Biological hydrogen production: fundamentals and limiting processes. *Int J Hydrogen Energy* 2002;27:1185e93.
- Demirbas A. Social, economic, environmental and policy aspects of biofuels. *Energy Educ Sci Technol Part B Soc Educ Stud* 2010;2:75e109.
- Chen CY, Yeh KL, Aisyah R, Lee DJ, Chang JS. Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: a critical re- view. *Bioresour Technol* 2011;102:71e81.
- Chew KW, Yap JY, Show PL, Suan NH, Juan JC, Ling TC, Lee DJ, Chang JS: Microalgae biorefinery: high value products perspectives. *Bioresour Technol* 2017, 229:53-62.17.
- Campbell CJ, Laherrère JH. The end of cheap oil. *Sci Am* 1998;278(3):78e83.
- Ho S-H, Chen C-Y, Lee D-J, Chang J-S. Perspectives on microalgal CO<sub>2</sub>-emis- sion mitigation systems e a review. *Biotechnol Adv* 2011;29:189e98.
- Ho S-H, Chen C-Y, Chang J-S. Effect of light intensity and nitrogen starvation on CO<sub>2</sub> fixation and lipid/carbohydrate production of an indigenous micro- alga *Scenedesmus obliquus* CNW-N. *Bioresour Technol* 2012;113:244e52.
- L. Christenson, R. Sims, Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts, *Biotechnol. Adv.* 29 (2011) 686–702.
- Batista, G.A.S. Surek, C. Benincá, M.L. Corazza, E.F. Zanoelo, Cyclic pressur- ization assisted extraction of lipids from microalgae for biodiesel production: non- equilibrium and equilibrium data, *Fuel* 163 (2016) 133–138, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.09.051>.
- B. Antizar-Ladislao, J.L. Turrión-Gomez, Second-generation biofuels and local bioenergy systems, *Biofuels Bioprod. Biorefin.* 2 (2008) 455–469.
- Brown, MR, SW Jeffrey, JK Volkman, GA Dunstan. “Nutritional properties of microalgae for mariculture”. *Aquaculture* 151 (1997): 315– 331
- Batista, G.A.S. Surek, C. Benincá, M.L. Corazza, E.F. Zanoelo, Cyclic pressur- ization assisted extraction of lipids from microalgae for biodiesel production: non- equilibrium and equilibrium data, *Fuel* 163 (2016) 133–138, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.09.051>.
- V. Viegas, Extraction and Characterization of the Lipids from *Chlorella pyrenoidosa* for Faaes Production, Dissertation Federal University of Rio Grande, Rio Grande, Brazil, 2010.
- Mobin, S. M. A., Chowdhury, H., Alam, F., 2019. Commercially important bioproducts from microalgae and their current applications – A review. *Energy Procedia*. Vol 160, 752-760.
- F. Yang, W. Xiang, X. Sun, H. Wu, T. Li, L. Long, A novel lipid extraction method from wet microalga *Picochlorum* sp. at room temperature, *Mar. Drugs* 12 (2014) 1258–1270, <https://doi.org/10.3390/md12031258>.
- Falkowski, P.G., Katz, M.E., Knoll, A.H., Quigg, A., Raven, J.A., Schofield, O., Taylor, F.J.R., 2004. The evolution of modern eukaryotic phytoplankton. *Sci*. 305, 354-360.
- Richmond, A., 2004. *Handbook of microalgal Culture: biotechnology and applied phycology*, Blackwell Science Ltd., USA.
- Guedes C., Barbosa A., Amaro C.R., Pereira H.M., & Malcata X. (2011). Microalgae and cyanobacterial cell extracts for use as natural antibacterial additives against food pathogens. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(4), 862–870.
- Raja, R., Hemaiswarya, S., Ashok Kumar, N., Sridhar, S., Rengasamy, R., 2008. A perspective on the biotechnological potential of microalgae. *Crit. Rev. Microbiol.* 34, 77–88.
- W. Becker, *Microalgae for human and animal nutrition*, in: *Handb. Microalgal Cult.*, John Wiley & Sons, Ltd., 2013, pp. 461–503, <http://dx.doi.org/10.1002/9781118567166.ch25>.
- Sathasivam R, Radhakrishnan R, Hashem A, Abd-Allah EF: Microalgae metabolites: a rich source for food and medicine. *Saudi J Biol Sci* 2017. in press.
- Lauritano C, Martí n J, de la Cruz M, Reyes F, Romano G, Lanora A: First identification of marine diatoms with anti-tuberculosis activity. *Nat Sci Rep* 2018, 8:2284-2294.
- Chew KW, Yap JY, Show PL, Suan NH, Juan JC, Ling TC, Lee DJ, Chang JS: Microalgae biorefinery: high value products perspectives. *Bioresour Technol* 2017, 229:53-62.17.
- Khan MI, Shin JH, Kim JD: The promising future of microalgae:current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. *Microb Cell Fact* 2018, 17:36-57.
- Rodrigues DB, Menezes CR, Mercadante AZ, Jacob-Lopes E, Zepka LQ: Bioactive pigments from microalgae *Phormidium autumnale*. *Food Res Int* 2015, 77:273-279.
- Mobin, S. M. A., Chowdhury, H., Alam, F., 2019. Commercially important bioproducts from microalgae and their current applications – A review. *Energy Procedia*. Vol 160, 752-760.
- Hu H, Li J Y, Pan X R, Zhang F, Ma L L, Wang H J, Zeng R J: Different DHA or EPA production responses to nutrient stress in the marine microalga *Tisochrysis lutea* and the freshwater microalga *Monodus subterraneus*. *Sci Total Environ* 2019, 656:140-149.
- Mujumdar, A. 2004. *Guide To Industrial Drying*. International Workshop and Symposium on Industrial Drying. Mumbai. India