

MONOGRAF

Kinetika Ekstraksi
Karbohidrat dan Lipid
Mikroalga



Chlorella dan Spirulina



Astrilia Damayanti
Megawati



**KINETIKA EKSTRAKSI
KARBOHIDRAT DAN LIPID
MIKROALGA CHLORELLA
DAN SPIRULINA**

Sanksi pelanggaran Pasal 113 Undang-undang Nomor 2014 tentang Hak Cipta

- (1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf I untuk penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 100.000.000 (serratus juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan sevara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 500.000.000.00 (lima ratus juta rupiah).
- (3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 1000.000.000, 00 (satu miliar rupiah).
- (4) Setiao Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 4. 000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

Astrilia Damayanti
Megawati

KINETIKA EKSTRAKSI
KARBOHIDRAT DAN LIPID
MIKROALGA CHLORELLA
DAN SPIRULINA

KINETIKA EKSTRAKSI KARBOHIDRAT DAN LIPID MIKROALGA CHLORELLA DAN SPIRULINA

Hak Cipta dilindungi Undang-undang

All Rights Reserved

Hak Cipta 2021 pada Penulis

Hak penerbitan pada Penerbit Mahata. Mereka yang ingin memperbanyak sebagian isi buku ini dalam bentuk atau cara apa pun harus mendapatkan izin tertulis dari penulis dan penerbit.

Penulis

Astrilia Damayanti
Megawati

Editor

Priyo Sudarmo

Layout

RGB Desain

Desain sampul

Dani RGB

Cetakan I Agustus 2021

ISBN: 978-623-6480-05-2

Penerbit:

CV Mahata (Magna Raharja Tama)

Anggota IKAPI DIY No. 110/DIY/2019

Beran RT 07, No.56, Ds. IX

Tirtonirmolo, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta

Telp. 0823-2755-0400

Email: penerbit.mahata@gmail.com

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas berkat serta rahmat- NYA, penulis bisa menuntaskan penyusunan buku monograf berjudul Kinetika Ekstraksi Karbohidrat dan Lipid: Mikroalga Chlorella dan Spirulina yang berisi mengenai mikroalga, khususnya Chlorella dan Spirulina dan budidayanya, ekstraksi karbohidrat dan lipid, serta kinetika ekstraksi karbohidrat dan lipid pada kedua mikroalga.

Data yang disajikan dalam buku ini diambil dari hasil-hasil penelitian tentang ekstraksi karbohidrat pada Chlorella dan lipid pada Spirulina.

Kinetika ekstraksi yang dibahas dalam buku ini diturunkan dari mekanisme yang melibatkan adanya perpindahan massa senyawa yang diekstrak ke dalam larutan. Hasil penurunan persamaan matematis yang disederhanakan dan diselesaikan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada mahasiswa-mahasiswa Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang (UNNES): Adiyto Nurcahyo dan Annisa Itsnain Nurusyifa yang telah membantu di laboratorium, Rummana Khoirootin Khisan dan Urwatun Wusko yang telah membantu dalam perhitungan kinetika, Fika Nur Auralia yang dengan ikhlas telah berkontribusi pada penyuntingan buku ini; serta kredit gambar cover buku dari “freepik.com”. Semoga bermanfaat.

Semarang, April 2021

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II MIKROALGA : CHLORELLA DAN SPIRULINA	5
2.1. Chlorella	8
2.2. Spirulina	14
BAB III EKSTRAKSI KARBOHIDRAT PADA CHLORELLA DAN LIPID PADA SPIRULINA.....	19
3.1. Ekstraksi Chlorella	19
3.2. Ekstraksi Spirulina	22
BAB IV KINETIKA EKSTRAKSI KARBOHIDRAT PADA CHLORELLA DAN LIPID PADA SPIRULINA	31
4.1. Kinetika Ekstraksi Glukosa pada Chlorella.....	33
4.2. Kinetika Ekstraksi Lipid pada Spirulina	39
BAB V KESIMPULAN	45
DAFTAR PUSTAKA	46
GLOSARIUM.....	57
INDEKS	63
DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mikroalga	5
Gambar 2. 2 Garis besar karbon dan rute penyimpanan energi dalam sel mikroalga	7
Gambar 2. 3 Mikroalga <i>Chlorella</i> sp.....	9
Gambar 2. 4 Struktur Karbohidrat	11
Gambar 2. 5 Budidaya <i>Chlorella</i> sp. menggunakan sistem open pond.....	14
Gambar 2. 6 Mikroalga <i>Spirulina platensis</i>	15
Gambar 2. 7 Tablet <i>Spirulina platensis</i>	17
Gambar 3. 1 Rangkaian alat CSE	20
Gambar 3. 2 Rangkaian alat FBE	21
Gambar 3. 3 Lipid Mikroalga <i>Spirulina platensis</i>	24
Gambar 3. 4 Yield Lipid dari Hasil Ekstraksi Mikroalga <i>Spirulina platensis</i> Waktu 1-5 Menit.....	26
Gambar 3. 5 Pengaruh Daya Terhadap Yield Hasil Ekstraksi Mikroalga <i>Spirulina platensis</i> Waktu 5 Menit	28
Gambar 4. 1 Kinetika ekstraksi karbohidrat pada <i>Chlorella</i> sp. menggunakan metode CSE (a) dan metode FBE (b) dengan pendekatan Model Order 1 (kondisi operasi untuk metode: CSE, berat bahan 1 gram pada suhu 100°C dan FBE, berat bahan 1 gram dan kecepatan aliran udara	34
Gambar 4.2. Kinetika ekstraksi karbohidrat pada <i>Chlorella</i> sp. menggunakan metode CSE (a) dan metode FBE (b) dengan pendekatan Model Order 2 (kondisi operasi: pada metode CSE, berat bahan 1 gram pada suhu 100°C dan pada metode FBE, berat bahan 1 gram dan kecepatan aliran udara 6,12.....	35

Gambar 4.3 Hasil perhitungan ekstraksi antioksidan dari daun sirsak menggunakan metode MAE dengan model kinetika orde 1 (a) dan model kinetika orde 2 (b)	36
Gambar 4.4 Perbandingan antara data dan hasil perhitungan konsentrasi glukosa hasil ekstraksi <i>Chlorella</i> sp. dengan metode CSE (a) dan metode FBE (b)	37
Gambar 4.5 Model kinetika orde 2 pada ekstraksi poliphenols dan flavonoids (A) dan gallic acid, caffeine, dan EGCG (B) dari <i>Camellia sinensis</i> L. oleh Fernando dan Soysa (2015)	38
Gambar 4.6 Model kinetika orde 1 ekstraksi lipid dari <i>Spirulina platensis</i> menggunakan daya (a) 100 W (b) 180 W (c) 300 W (kondisi operasi: berat bahan 30 mg dan volume pelarut 100 ml).....	40
Gambar 4.7 Model kinetika orde 2 ekstraksi lipid pada <i>Spirulina platensis</i> menggunakan daya (a) 100 W (b) 180 W (c) 300 W (kondisi operasi: berat bahan 30 mg dan volume pelarut 100 mL)	41
Gambar 4.8 Perbandingan Data dan Kurva hasil perhitungan konsentrasi lipid hasil ekstraksi <i>Spirulina platensis</i> menggunakan pendekatan model order 1 (pada kondisi operasi: berat bahan = 30 mg, dan volume pelarut = 100 mL)	43
Gambar 4.9 Ekstraksi Antioksidan pada Kulit Buah Manggis menggunakan order 1 (a: 300, c: 450, dan e: 600 Watt)	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia <i>Chlorella</i> sp.	11
Tabel 2. 2 Kandungan Karbohidrat pada Mikroalga.....	12
Tabel 3. 1 Yield Glukosa Hasil Ekstraksi Karbohidrat dari <i>Chlorella</i> sp. Menggunakan Conventional Solvent Extraction	19
Tabel 3. 2 Yield Glukosa Hasil Ekstraksi Karbohidrat pada <i>Chlorella</i> sp. Menggunakan Fluidized Bed Extraction ...	21
Tabel 3.3. Faktor yang mempengaruhi konsentrasi glukosa pada ekstraksi karbohidrat pada <i>Chlorella</i> sp. menggunakan metode CSE	21
Tabel 3. 4. Faktor yang mempengaruhi konsentrasi glukosa pada ekstraksi karbohidrat pada <i>Chlorella</i> sp. menggunakan metode FBE	22
Tabel 3. 5. Yield Lipid dari Hasil Ekstraksi Mikroalga <i>Spirulina</i> <i>platensis</i> Waktu 1-5 Menit	25
Tabel 3. 6 Pengaruh Daya Terhadap Yield Hasil Ekstraksi Mikroalga <i>Spirulina platensis</i> Waktu 5 Menit	28
Tabel 4. 1 Pengaruh Waktu Ekstraksi Terhadap Konsentrasi Glukosa ³³	
Tabel 4. 2 Nilai ke dan Cs pada kinetika esktraksi dengan pendekatan model order 1	34
Tabel 4.3. Nilai ke dan Cs pada model kinetika order 2	36
Tabel 4.4 Nilai ke dan Cs pada ekstraksi lipid <i>Spirulina</i> dengan pendekatan model order 1 (kondisi operasi: berat bahan = 30 g dan volume pelarut = 100 ml)	39
Tabel 4. 5 Nilai ke dan Cs pada model kinetika order 2	42

BAB I

PENDAHULUAN

Energi fosil merupakan bahan bakar yang dibutuhkan di seluruh dunia hingga sekarang dan termasuk satu parameter bernilai yang efisien dalam pembangunan sosial serta ekonomi sesuatu negeri (Atmoko et al., 2014). Tetapi, energi fosil ini selain berdampak negatif terhadap lingkungan karena hasil pembakarannya tetapi juga menyebabkan krisis energi. Oleh sebab itu, para peneliti dan pemerintah di seluruh dunia termotivasi untuk mencari sumber energi alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan agar bisa mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Semua persyaratan tersebut dipenuhi oleh bahan baku dari biomassa (John et al., 2011) berupa mikroalga. Mikroalga merupakan sumber bahan baku generasi ketiga untuk bahan bakar nabati (Ho et al., 2013), termasuk mikroorganisme fotosintetik dengan pertumbuhannya sangat cepat (Khan et al., 2018) dan bisa hidup di air tawar ataupun air limbah (Lam and Lee, 2012; Usher et al., 2015; Lakatos et al., 2019) serta persyaratan pertumbuhan relatif sederhana jika dibandingkan dengan sumber biomassa lainnya (Soccol et al., 2016). Di antara genus mikroalga yang dapat mengakumulasi karbohidrat atau lipid sebagai bahan baku bioetanol atau biodiesel adalah *Chlorella* atau *Spirulina*. Hal ini disebabkan karena kandungan karbohidrat dalam bentuk pati sebanyak 37–55% berat kering (Moreira et al., 2019 dan "given": "R.S.", "non-dropping-particle": "", "parse-names": false, "suffix": ""}, "container-title": "Microchemical Journal", "id": "ITEM-1", "issue": "October 2018", "issued": {"date-parts": ["2019"]}, "page": "119-129", "publisher

": "Elsevier", "title": "Biosorption of copper ions from aqueous solution using *Chlorella pyrenoidosa* : Optimization , equilibrium and kinetics studies", "type": "article-journal", "volume": "145"}, "uris": ["http://www.mendeley.com/documents/?uuid=427784e7-733b-4ced-8bec-4972eebc8e7"]}], "mendeley": {"formattedCitation": "(Moreira et al., 2019 Zhao et al., 2019). Sedangkan untuk lipid sebanyak 28-32% berat kering (Chisti, 2007).

Bioetanol dari mikroalga merupakan sumber energi yang menjanjikan dan menguntungkan meskipun energinya hanya 66% daripada bensin tetapi bioetanol memiliki angka oktan (106-110) lebih tinggi daripada bensin (91-96), sehingga mampu meningkatkan kinerja mesin ketika menggunakan bahan bakar campuran tersebut (Zabed et al., 2017). Sementara itu, keuntungan biodiesel dari mikroalga adalah tidak akan mengganggu stok pangan (Akubude et al., 2019).

Pengambilan glukosa pada *Chlorella sp.* dan *Spirulina* dapat menggunakan proses ekstraksi dengan prosedur konvensional serta modern. Metode ekstraksi glukosa secara konvensional pada *Chlorella sp.* berupa *Conventional Solvent Extraction* (CSE) dipilih karena sangat sederhana, mudah dilakukan dan biaya murah (Handayani et al., 2016), meskipun waktu ekstraksi yang lama, pelarut yang dibutuhkan sangat banyak serta rendemen yang dihasilkan masih mengandung pelarut organik (Fuadi, 2012). Sedangkan penggunaan soxhlet untuk ekstraksi lipid secara konvensional pada *Spirulina* biasa digunakan karena biaya operasi yang rendah, operasinya sederhana, kesesuaian untuk ekstraksi awal dan massal, pemulihan total ekstrak yang baik, waktu dan solven yang dibutuhkan sedikit dibandingkan dengan metode konvensional seperti maserasi (Alara et al., 2018).

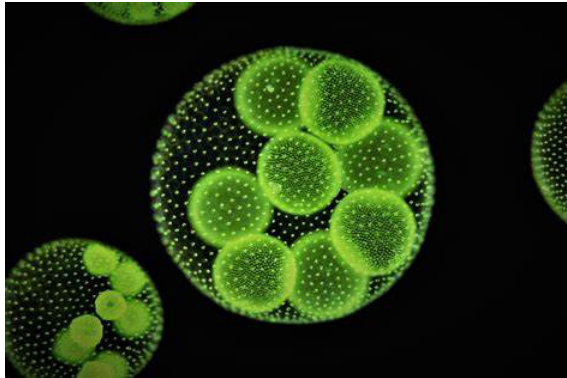
Sementara itu, teknologi ekstraksi modern yang digunakan pada *Chlorella sp.* dan *Spirulina* berupa *Fluidized Bed Extraction* (FBE) (Zhao et al., 2013) dan *Microwave Asisted Extraction* (MAE). Kelebihan metode FBE adalah konsumsi pelarut yang efisien, waktu ekstraksi lebih singkat dan lebih sederhana serta hemat biaya (Gfrerer et al., 2004). Sedangkan kelebihan MAE karena efisiensi dari peralatan, penggunaan pelarut, dan waktu (Esquivel-Hernandez et al., 2017).

Selama ini, ekstraksi karbohidrat pada *Chlorella* dan lipid pada *Spirulina* sudah banyak dilakukan dengan berbagai metode. Namun, belum ada informasi seberapa cepat proses ekstraksi, berapa besar perubahan konsentrasi reaktan (ataupun produk) sebagai fungsi dari waktu, dan bagaimana mekanisme reaksi tersebut. Oleh karena itu, melalui studi kinetika kimia maka laju reaksi secara kuantitatif dan mekanisme reaksi dari ekstraksi lipid pada *Spirulina* dan karbohidrat *Chlorella* dapat diketahui sehingga informasi tersebut bisa digunakan sebagai dasar perancangan reaktor. Apalagi produk akhir kedua mikroalga tersebut berupa bahan bakar bioetanol dan biodiesel, tentunya telah sesuai dengan arah Kebijakan Energi Nasional yang diatur dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006.

BAB II

MIKROALGA : CHLORELLA DAN SPIRULINA

Mikroalga (Gambar 2.1) merupakan makhluk hidup yang memiliki klorofil berukuran mikroskopik atau memiliki diameter 3-30 μm yang hidup di air tawar atau laut dan membutuhkan *carbon dioxide*, beberapa nutrient dan cahaya untuk berfotosintesis (Chisti, 2007).



Gambar 2. 1 Mikroalga

Sumber: <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=BJIheHVC&id=ADA8ADF183D3C22246478104603E1698C>

Morfologi mikroalga dapat berbentuk uniseluler maupun multiseluler namun belum ada pembagian fungsi organ yang jelas pada sel-sel komponennya, sehingga hal ini menjadikan pembeda antara mikroalga dengan tumbuhan tingkat tinggi (Mulyadi et al., 2013). Mikroalga mempunyai kinerja yang mirip seperti tumbuhan bersel banyak akan tetapi tidak memiliki akar, daun dan batang untuk berfotosintesis.

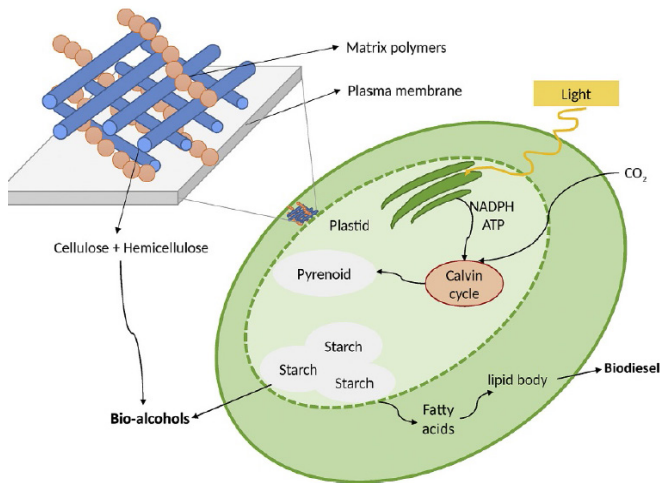
Mikroalga diklasifikasikan menjadi empat kelompok antara lain: diatom (*Bacillariophyceae*), alga hijau (*Chlorophyceae*), alga emas (*Chrysophyceae*) dan alga biru (*Cyanophyceae*) (Prayogo and Arifin, 2015). Mikroalga biasanya dapat ditemukan di air tawar (*limnoplankton*) dan air laut (*haloplankton*) (Jalu and Soeprbowati, 2013). Berdasarkan distribusi vertikal di perairan, mikroalga dibagi menjadi tiga yaitu hidup di daerah euphotik (*ephiplankton*), hidup di daerah disphotik (*mesoplankton*), hidup di daerah aphotik (*bathylankton*) dan yang hidup di dasar perairan/ bentik (*hypoplankton*) (Dedi et al., 2016).

Sebagian mikroalga menghasilkan produk tertentu seperti karotenoid, antioksidan, enzim, polimer, peptida, asam lemak, hingga racun yang mematikan (Argo and Amaliyah, 2020). Persentase komponen tersebut bervariasi tergantung jenis alga. Sebagai contoh, mikroalga *Chlorella vulgaris* mempunyai kandungan protein sebesar 51–58, karbohidrat 12–17, lemak 14–22 dan asam nukleat 4–5%. Komponen-komponen yang terdapat dalam mikroalga dapat dimanfaatkan menjadi bahan seperti kosmetik, pangan, bahan bakar dan masih banyak lagi.

Karbohidrat pada sel mikroalga dapat ditemukan di dinding sel luar contohnya alginat, pektin, agar, dinding sel dalam contohnya, selulosa, hemiselulosa, dan di dalam sel sebagai produk penyimpanan contohnya, pati dalam mikroalga dan glikogen di Cyanobacteria seperti yang disajikan pada Gambar 2.2.

Pertumbuhan mikroalga dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, intensitas cahaya, aerasi, nutrisi dan beberapa faktor lainnya (Hermanto et al., 2011). Suhu optimal untuk kultivasi mikroalga antara 24–30°C (Utami et al., 2012) namun sebagian besar mikroalga dapat mentoleransi suhu antara 16–35°C.

Suhu terbaik untuk kultivasi mikroalga antara 24-30°C (Utami et al., 2012). Sedangkan suhu dibawah 16°C dapat memperlambat pertumbuhan mikroalga dan suhu 35°C dapat menyebabkan kematian pada beberapa spesies mikroalga (Nurhayati and Hermanto, 2013). Sementara itu, menurut Reynolds (1990), suhu optimal bagi pertumbuhan mikroalga adalah 25-40°C dan suhu perairan di Indonesia sangat mendukung untuk pertumbuhan mikroalga.



Gambar 2. 2 Garis besar karbon dan rute penyimpanan energi dalam sel mikroalga
Sumber: Martín-Juárez et al., 2017

Intensitas cahaya memegang peran penting dalam pertumbuhan mikroalga, namun intensitas cahaya yang diperlukan alga untuk tumbuh secara maksimum berbeda-beda. Intensitas cahaya yang dibutuhkan bergantung pada volume kultivasi dan densitas mikroalga (Arihanda and Santosa, 2019). Semakin tinggi densitas dan volume semakin tinggi pula intensitas cahaya yang dibutuhkan. Intensitas cahaya yang diperlukan untuk kultivasi pada elenmeyer adalah 1.000 lux, sedangkan untuk volume kultivasi yang lebih besar dibutuhkan intensitas cahaya 5.000-10.000 lux (Daniyati et al., 2012). Selain intensitas cahaya, lamanya

cahaya bersinar juga memegang peranan penting sebagai pendukung pertumbuhan mikroalga (Musdalifah et al., 2015). Periode penyinaran buatan pada mikroalga minimum 18 jam per hari, Indonesia disinari matahari ± 12 jam per hari. Sinar matahari di Indonesia mencukupi untuk kebutuhan kultivasi mikroalga (Lavens and Sorgeloos, 1996).

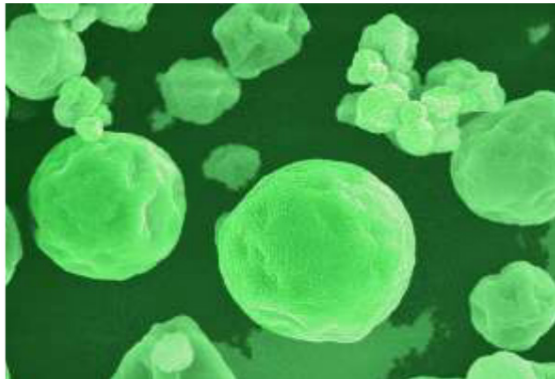
Aerasi dibutuhkan untuk menghindari terjadinya sedimentasi pada sistem kultivasi mikroalga. Perlu diperhatikan, bahwa tidak semua alga dapat mentoleransi aerasi yang kuat karena proses pengadukan yang terlalu kencang dapat menyebabkan kerusakan dan kematian pada sel mikroalga. Menurut (Hariz and Takriff, 2017), aliran turbulen penting dalam kultivasi mikroalga karena dapat meningkatkan laju perpindahan massa dari nutrisi menuju ke sel mikroalga. Kultur dengan aerasi lebih efektif untuk membantu sel mikroalga mengkonsumsi nutrisi yang ada (Ratnawati and Hermana, 2011).

Unsur hara yang diperlukan mikroalga terdiri dari mikronutrien dan makronutrien. Mikronutrien meliputi Fe, Cu, Mn, Zn, Co, Mo, Bo, Vn dan Si. Sedangkan makronutrien meliputi C, H, N, P, K, S, Mg dan Ca (Wiryadi and Witono, 2018). Konsentrasi mikroalga yang dikultivasi secara umum lebih tinggi dari pada yang di alam, sehingga penambahan nutrisi untuk mencukupi kekurangan pada media kultivasi sangat dibutuhkan. Nutrien yang diberikan kepada mikroalga bergantung jenis mikroalga dan kebutuhannya (Lavens and Sorgeloos, 1996).

2.1. Chlorella

Chlorella sp. (Gambar 2.3) merupakan kelompok organisme protista autotrof, yaitu protista yang dapat membuat makanannya sendiri, dan dapat melakukan fotosintesis karena organisme ini memiliki pigmen klorofil. *Chlorella sp.* termasuk salah satu kelompok alga hijau yang paling banyak jumlahnya diantara alga hijau lainnya, 90% *Chlorella* hidup di air tawar dan 10% *Chlorella*

sp. hidup di air laut (Li et al., 2011). Mikroalga adalah tumbuhan mikroskopik yang menggunakan karbondioksida sebagai sumber karbon (Soegiharto et al., 2010), dan salah satu organisme yang dapat tumbuh pada rentang kondisi yang luas di permukaan bumi. Tumbuhan jenis ini banyak ditemukan pada tempat-tempat lembab atau benda-benda yang sering terkena air dan banyak hidup pada lingkungan berair di permukaan bumi.



Gambar 2. 3 Mikroalga *Chlorella sp.*

Sumber : (Barqi, 2015)

Nama Chlorella berasal dari bahasa latin yang terdiri dari kata “chloros” yang berarti hijau dan “ella” yang berarti kecil. Zat bewarna hijau (*chlorophyll*) yang terkandung dalam Chlorella memiliki fungsi sebagai katalisator dalam proses fotosintesis (Vieira et al., 2015). *Chlorella sp.* dapat dikategorikan ke dalam kelompok alga hijau yang memiliki jumlah genera sekitar 450 dan jumlah spesies lebih dari 7500 (Irfiansyah, 2003) among other factors derived from the mother, health services, and infants. This study aimed to analyze the risk factors for infant mortality according to the mother, health services, and infants in Puskesmas Ranuyoso Lumajang. This study was an observational analytic studies using case-control design. Group of cases was all the babies who

died and was recorded during 2013, a control group of infants born in 2013 and passed the first year on June 1st, 2014. Study using secondary data from mother and baby cohort books. The sample was selected by simple random sampling, which consisted of 20 cases and 40 controls. Data were analyzed using statcalc. The results of the study showed that education (OR =0.64, 95% CI=0.15 <OR<3.01. Nama alga hijau didefinisikan karena terdapat kandungan zat hijau (*chlorophyll*) yang dimilikinya sangat tinggi, bahkan melebihi jumlah yang dimiliki oleh beberapa tumbuhan tingkat tinggi.

Klasifikasi *Chlorella sp.* (Kumar and Singh, 1972) adalah sebagai berikut:

- Divisi : *Chlorophyta*
- Kelas : *Chlorophyceae*
- Ordo : *Chlorococcales*
- Sub ordo : *Autosporanaceae*
- Famili : *Oocystaceae*
- Genus : *Chlorella*
- Spesies : *Chlorella sp.*

Bentuk umum sel-sel *Chlorella sp.* adalah bulat atau elips (bulat telur), termasuk *fitoplankton* bersel tunggal (unisellular) yang soliter, namun juga dapat dijumpai hidup dalam koloni atau bergerombol (Prabowo, 2009). Diameter sel berukuran antara 2-12 mikron, berwarna hijau karena pigmen yang mendominasi adalah klorofil (Barsanti and Gualtieri, 2014). *Chlorella sp.* merupakan organisme eukariotik (memiliki inti sel) dengan dinding sel yang tersusun dari komponen selulosa dan pektin sedangkan protoplasmanya berbentuk cawan (Kurnia, 2016).

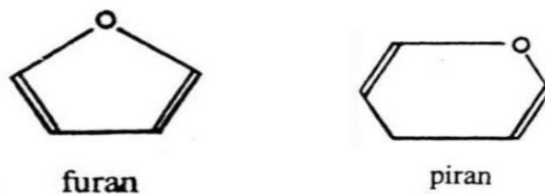
Komposisi kimia *Chlorella sp.* terdiri dari protein, karbohidrat, lipid dan senyawa-senyawa lainnya (Ben-amotz and Tornabene, 1985). Menurut (Renaud et al., 1994) *Chlorella sp.* mengandung klorofil sebesar 1,30% dari berat kering. Komposisi kimia *Chlorella sp.* ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia *Chlorella sp.*

Komposisi Kimia <i>Chlorella sp.</i>	(%)
Kabohidrat	20,6
Protein	30,9
Lipid	20,1
Lain-lain	28,4

Sumber: Fasya et al., 2013

Karbohidrat merupakan komponen essensial semua mikroorganisme hidup yang tersusun dari senyawa karbon, hidrogen dan oksigen yang tedapat di alam. Umumnya, karbohidrat mempunyai rumus empiris CH_2O dan merupakan polisakarida aldehyd dan keton atau turunan mereka (Fitri and Fitriana, 2020). Senyawa yang termasuk dalam karbohidrat terdapat gugus fungsi yaitu gugus -OH, gugus aldehyd dan gugus keton. Pada molekul glukosa, kelima atom karbon yang pertama dengan atom oksigen dapat membentuk cincin segi 6 Gambar 2.4. Oleh karena itu, penulisan rumus struktur karbohidrat sebagai bentuk cincin furan atau piran.



Gambar 2. 4 Struktur Karbohidrat

Sumber: Fitri and Fitriana, 2020

Kandungan karbohidrat mikroalga berbeda-beda tergantung spesies dan kondisi lingkungannya (Rinanti and Purwadi, 2018) seperti pada Tabel 2.2. Karbohidrat mikrolaga terdapat pada lapisan dinding sel luar. Dinding sel bagian luar terdapat kandungan polisakarida seperti pektin dan alginat, sedangkan lapisan dinding sel dalam sebagian besar mengandung selulosa, hemiselulosa dan bahan lainnya (Agustini and Febrian, 2019).

Tabel 2. 2 Kandungan Karbohidrat pada Mikroalga

Nama Spesies	(% berat kering)
<i>C. ellipsoideo</i>	15-21
<i>C. pyrenoidosa</i>	10-67,9
<i>Chlorella sp.</i>	18,4-54,5
<i>C. vulgaris</i>	10,3-44
<i>Tertaselmis suecia</i>	11-47
<i>Anthrospira sp.</i>	15-50
<i>Nannochloris atomus</i>	23
<i>Isochrysis galbana</i>	12,9

Sumber: Assadad et al., 2010

Kandungan karbohidrat pada *Chlorella sp.* mencapai 20,6% dimana kandungan karbohidrat yang tinggi bermanfaat untuk konversi kimia dan fermentasi (Cheng et al., 2017). Pengambilan glukosa pada *Chlorella sp.* dilakukan dengan proses ekstraksi. Ekstraksi glukosa dilakukan dengan tiga metode yaitu *conventional solvent extraction*, *fluidized bed extraction* dan *ultrasonic assisted extraction* (Zhao et al., 2013).

Chlorella sp. memiliki tingkat reproduksi yang tinggi dibuktikan dengan setiap sel *Chlorella sp.* dapat berkembang menjadi 10.000 sel dalam waktu 24 jam (Utami et al., 2012). Pertumbuhan *Chlorella sp.* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti lamanya

penyinaran. Menurut penelitian Utami et al. (2012), penyinaran paling optimal pada *Chlorella sp.* adalah dengan pemberian cahaya 16 jam terang dan 8 jam gelap. Hal itu memberikan pengaruh yang baik pada pertumbuhan *Chlorella sp.* karena dapat memberikan tingkat kepadatan populasi yang tinggi. Selain itu, suhu juga berpengaruh pada pertumbuhan *Chlorella sp.* suhu optimum untuk pertumbuhan *Chlorella sp.* berkisar 24-26°C dimana pada suhu tersebut metabolisme *Chlorella sp.* dapat berlangsung dengan baik (Utami et al., 2012).

Berdasarkan habitat hidupnya *Chlorella* dapat dibedakan menjadi *Chlorella* air tawar dan *Chlorella* air laut. Contoh *Chlorella* yang hidup di air laut adalah *Chlorella vulgaris*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Chlorella virginica* dan lain-lain (Wahyudi, 1999). Umumnya *Chlorella* memiliki karakter planktonis yang dapat melayang di dalam perairan dan diantaranya mampu bersimbiosis dengan hewan lain seperti *Hydra* dan beberapa *Ciliata* air tawar seperti *Paramecium bursaria* (Dolan, 2014).

Keunggulan *Chlorella sp.* dibandingkan mikrolaga yang lain adalah dapat berkembangbiak dengan cepat, mudah dibudidayakan karena hidupnya tidak tergantung musim (Syofiyah, 2016). Keseluruhan organnya dapat dimanfaatkan dan mengandung senyawa pemacu pertumbuhan, tidak memerlukan tempat yang luas, serta tidak memerlukan waktu yang lama untuk memanennya (Bariyyah et al., 2013). Budidaya *Chlorella sp.* pada skala kecil dilakukan dengan *open pond culture* dan *close open culture*. *Open pond culture* dilakukan pada kolam alami, namun kelemahan sistem ini adalah sulit dikendalikan karena kemungkinan terkontaminasi dengan mikroalga lain sangat besar seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Budidaya *Chlorella sp.* menggunakan sistem *open pond*
Sumber: Amin et al., 2018

Pada *close open culture* menggunakan *end close photobioreactor*. Banyaknya senyawa yang terkandung pada *Chlorella sp.* serta beberapa keunggulan yang dimiliki menjadikan *Chlorella sp.* ini banyak dimanfaatkan. *Chlorella sp.* dapat digunakan sebagai penstabil limbah karena mikroalga tersebut mampu bersimbiosis dengan bakteri pengoksidasi limbah cair (Restuhadi et al., 2017).

Selain itu, *Chlorella sp.* dimanfaatkan sebagai sumber pangan karena memiliki kadar protein yang cukup tinggi. Pemanfaatan lain mikroalga *Chlorella sp.* yaitu sebagai senyawa aditif (Nur, 2014). Selain itu karbohidrat *Chlorella sp.* juga dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol (Cheng et al., 2017).

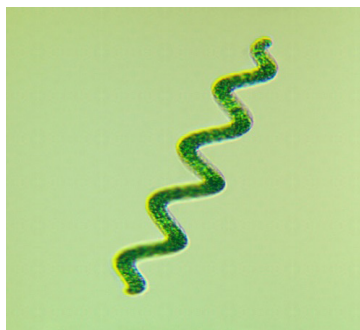
2.2. Spirulina

Spirulina platensis memiliki kandungan nutrisi seperti protein, asam lemak, vitamin, dan antioksidan yang tinggi (Hanani et al., 2020). Bentuk morfologi *Spirulina platensis* menyerupai benang yang merupakan rangkaian sel yang berbentuk silindris dengan dinding sel yang tipis. Filamen *Spirulina platensis* hidup berdiri sendiri dan dapat bergerak bebas (Astiani et al., 2016). Koru

(2016) menambahkan, panjang filamen (*tric home*) 500 μm dengan lebar 6-12 μm . Pada penelitian yang dilakukan (Phang et al., 2000) berpemdaapat bahwa *Spirulina platensis* tidak memiliki inti sel. *Spirulina platensi* memiliki zat warna *Cyanophysin* (hijau kebiruan) sehingga di masukkan dalam kelas *Cyanophyceae*. *Spirulina platensis* adalah mikroalga yang menyebar secara luas, dapat ditemukan di berbagai tipe lingkungan, baik di perairan laut, tawar maupun payau (Ciferri, 1983). Pertumbuhan dan produksi kandungan kimia pada *Spirulina plantesis* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain umur, suhu, intensitas cahaya, nutrien, salinitas (Hanani et al., 2020).

Secara taksonomi menurut Kabinawa (2006), klasifikasi mikroalga *Spirulina platensis* sebagai berikut dan memiliki bentuk seperti Gambar 2.6.

Divisi : *Cyanophyta*
Kelas : *Cyanophyceae*
Ordo : *Nostocales*
Famili : *Oscillatoriceae*
Genus : *Spirulina*
Spesies : *Spirulina platensis*



Gambar 2. 6 Mikroalga *Spirulina platensis*
Sumber: Koru, 2016

Spirulina platensis mulai dikembangkan ke skala komersial karena keunggulannya di dalam reproduksi sel cepat dalam kondisi pertumbuhan alkalis, mudah ditumbuhkan menjadi monokultur, seluruh sel dapat digunakan dan bersifat nontoksik, satu-satunya mikroalga yang memiliki pigmen fikobilin yang bermanfaat untuk meningkatkan sistem kekebalan tubuh, mengandung β -karoten, dan asam lemak tak jenuh rantai panjang. *Spirulina platensis* memiliki beberapa karakteristik serta kandungan nutrisi yang cocok sebagai makanan fungsional. Protein, asam lemak, vitamin, mineral, dan klorofil serta fikosianin adalah komponen yang terkandung di dalam *Spirulina platensis*. Diyakini juga bahwa *Spirulina platensis* bisa dijadikan sebagai produk makanan penyembuh atau obat (Christwardana et al., 2011).

Sebagai bahan pangan yang memiliki tingkat protein dan mikronutrien yang tinggi, *Spirulina platensis* tidak hanya bisa bertindak sebagai protein sel tunggal saja, tetapi juga bisa digunakan sebagai makanan fungsional. Secara umum, *Spirulina platensis* diproduksi dalam kapsul, jus, atau tablet, lihat Gambar 2.7. Selain itu, *Spirulina platensis* juga bisa berfungsi sebagai sumber makanan untuk kekebalan tubuh, dan *Super Oxyde Dismutase* (SOD). Spirulina kering dapat digunakan sebagai sumber pasta campuran, saus, sup, minuman instan, dan makanan suplemen. *Spirulina platensis* bisa dicampur dalam mie, roti, dan biskuit. Hal ini dapat digunakan untuk tujuan menambah gizi yang lebih tinggi untuk makanan, sehingga dapat dikonsumsi 10 g/hari untuk menjaga kesehatan tubuh, tidak hanya untuk anak tetapi juga untuk orang dewasa (Henrikson, 1989).



Gambar 2. 7 Tablet *Spirulina platensis*
Sumber: Christwardana et al., 2011

S. platensis mengandung 60-71% protein, 8% lipid, 16% karbohidrat, 1,6% klorofil-a, 18% pikosianin, 17% betakarotein (Fakhri et al., 2020). Beberapa senyawa tersebut membuat mikroalga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan produk-produk bermanfaat.

BAB III

EKSTRAKSI KARBOHIDRAT PADA CHLORELLA DAN LIPID PADA SPIRULINA

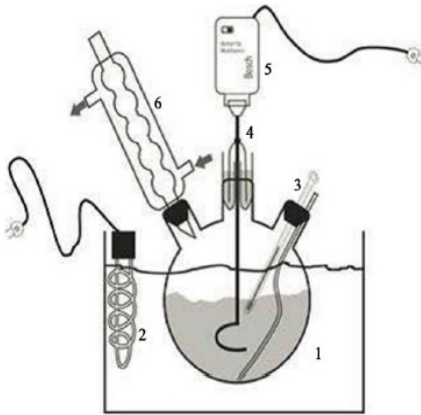
3.1. Ekstraksi Chlorella

Pengambilan karbohidrat menggunakan metode ini dilakukan dalam *water bath* sehingga suhunya dapat dikontrol. Sel alga dipanen dan diliofilisasi menggunakan *freeze drier*. Mikroalga kering sebanyak 1 gram dicampur dengan aquades 50 mL menggunakan *vortex mixer*. Ekstraksi dilakukan dengan perbedaan waktu ekstraksi yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 (Zhao dkk, 2013).

Tabel 3. 1 Yield Glukosa Hasil Ekstraksi Karbohidrat dari *Chlorella sp.* Menggunakan **Conventional Solvent Extraction**

Waktu Ekstraksi (menit)	Yield glukosa (%)
30	6,67
60	6,97
90	8,34

Peralatan ekstraksi karbohidrat *Chlorella sp.* dengan metode CSE disajikan pada Gambar 3.1



Keterangan:

1. *Water bath*
2. *Heating coil*
3. *Thermometer*
4. Pengaduk
5. Mesin pengaduk
6. Kondensor

Gambar 3. 1 Rangkaian alat CSE

Sumber: Abed et al., 2015time to reach equilibrium, the temperature (45°C to 65°C

Fluidized Bed Extraction (FBE) dilakukan di dalam reaktor terfluidasi dengan laju aliran udara yang tinggi. Perlakuan *Chlorella sp.* dimulai dari pencucian sampel sebanyak 1 g dicuci menggunakan aquades dan diencerkan dengan 10 ml pelarut. Aerasi udara ditambahkan ke dalam reaktor, ekstraksi dilakukan dengan perbedaan waktu ekstraksi yang ditujukan pada Tabel 3.2 (Zhao et al., 2013). Peralatan untuk metode FBE dapat dilihat pada Gambar 3.2

Informasi terperinci mengenai pengaruh perbedaan kondisi operasi terhadap konsentrasi glukosa disajikan dalam 2 metode CSE dan FBE yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

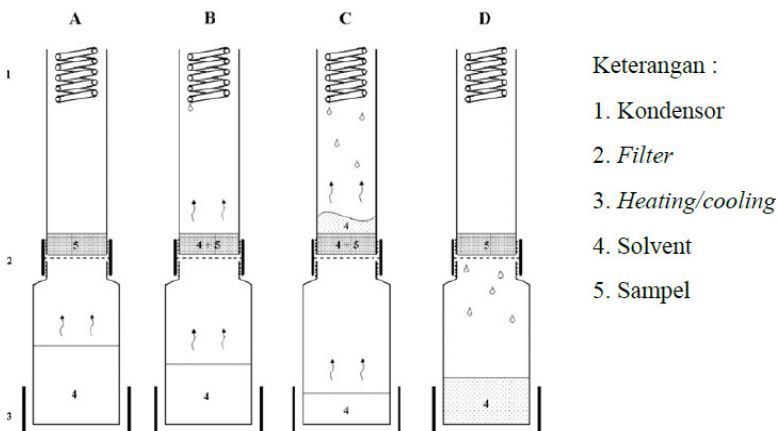
Tabel 3. 2 Yield Glukosa Hasil Ekstraksi Karbohidrat pada *Chlorella sp.* Menggunakan Fluidized Bed Extraction

Waktu Ekstraksi (menit)	Yield glukosa (%)
90	3,53
120	3,77
150	3,93

Tabel 3.3. Faktor yang mempengaruhi konsentrasi glukosa pada ekstraksi karbohidrat pada *Chlorella sp.* menggunakan metode CSE

Run	Waktu (menit)	Temperatur (°C)	Rasio (liquid/solid)(ml/g)	Yield Glukosa (g/100 g DCW)
1	30	100	30	6.67 ± 0.11
2	60	100	30	6.97 ± 0.17
3	90	100	30	8.34 ± 0.18
4	90	60	30	6.44 ± 0.05
5	90	80	30	7.50 ± 0.16
6	90	100	20	8.29 ± 0.15
7	90	100	40	9.06 ± 0.05

Sumber: Zhao dkk, 2013



Gambar 3. 2 Rangkaian alat FBE

Sumber: Sterba et al., 2015

Tabel 3. 4. Faktor yang mempengaruhi konsentrasi glukosa pada ekstraksi karbohidrat pada *Chlorella sp.* menggunakan metode FBE

Run	Waktu (menit)	Laju aliran udara (g/L)	Yield Glukosa (g/100 g DCW)
1	90	6.12	3.53 ± 0.31
2	120	6.12	3.77 ± 0.28
3	150	6.12	3.93 ± 0.19
4	120	4.37	2.91 ± 0.20
5	120	7.65	4.56 ± 0.13
6	120	6.12	2.16 ± 0.21
7	120	6.12	4.81 ± 0.23

Sumber: Zhao dkk, 2013

3.2. Ekstraksi Spirulina

Prosedur ekstraksi lipid mikroalga *Spirulina platensis* menggunakan Soxhlet adalah sebagai berikut: serbuk mikroalga ditimbang sebanyak 4 g kemudian siapkan kertas saring dan kapas untuk proses pembungkusan mikroalga yang telah ditimbang. Kertas saring dilipat dan disesuaikan dengan diameter dari soxhlet itu sendiri. Sebelum mikroalga dimasukkan ke dalam kertas saring, bagian bawah dari kertas saring dilipat dan dimasukkan kapas sebagai lapisan bawahnya, lalu mikroalga dimasukkan kedalam kertas saring dengan corong plastik lalu dipadatkan menggunakan sendok kaca. Setelah dipadatkan, sampel dilapisi kembali bagian atas dengan kapas kemudian kertas saring dapat dilipat bagian atasnya.

Pelarut n-heksana 100 mL dimasukkan ke dalam labu alas datar. Kemudian batu didih dimasukkan ke dalamnya. Proses dilanjutkan dengan merangkai alat untuk proses sokhletasi yang terdiri dari labu alas datar, kondensor spiral, sokhlet, *heating*

mantle, statif, klem, dan pompa air. Setelah alat sokhletasi terpasang dengan baik, pompa air dinyalakan hingga memenuhi kondensor spiral. Kemudian *heating mantle di-setting* pada suhu 68°C. Proses ekstraksi dilakukan sebanyak 25 siklus. Setelah proses ekstraksi selesai, hasil ekstrak yang dihasilkan masih berada pada labu alas datar kemudian dipindahkan menggunakan corong kaca ke gelas beaker 100 mL untuk proses pemurniaan (distilasi).

Pada proses pemurnian, diawali dengan merangkai alat distilasi yang terdiri dari termometer, labu distilasi 250 mL, *heating mantle*, kondensor liebig, *steel head*, adaptor, konektor, statif, klem, *boss head*, erlenmeyer 100 mL, dan pompa air. Setelah rangkaian alat distilasi terpasang dengan baik, nyalakan pompa air hingga memenuhi kondensor liebig. Kemudian *heating mantle di-setting* pada suhu 68°C. Distilasi dilakukan hingga n-heksana sudah berhenti menetes dalam erlenmeyer 100 mL. Kemudian lipid hasil distilasi yang masih berada di labu distilasi 250 mL menuju botol sampel dipindahkan menggunakan corong kaca. Kemudian lipid dipanaskan menggunakan oven pada suhu 70°C hingga beratnya konstan (n-heksana sudah menguap, yield = berat lipid dibagi berat bahan dikali dengan 100%).

Prosedur ekstraksi lipid *Spirulina platensis* menggunakan MAE adalah sebagai berikut: serbuk mikroalga seberat 30 g hasil preparasi dimasukkan ke dalam ekstraktor kaca 250 mL dan ditambahkan dengan pelarut etanol 100 mL. Kemudian dilanjutkan dengan merangkai alat MAE dengan memasukan ekstraktor kaca 250 mL dan memasang seperangkat alat kondensor. Setelah semua alat ekstraksi terangkai sempurna, proses ekstraksi dapat dilakukan dengan menghidupkan pompa untuk mengalirkan air pendingin pada kondensor. Selanjutnya *microwave oven* dihidupkan pada daya

bervariasi (100, 180, dan 300 W). Proses ekstraksi masing-masing daya dilakukan dalam waktu bervariasi (1, 2, 3, 4, dan 5 menit).

Ekstrak mikroalga yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3. 3 Lipid Mikroalga *Spirulina platensis*

Sumber: Dokumentasi Pribadi

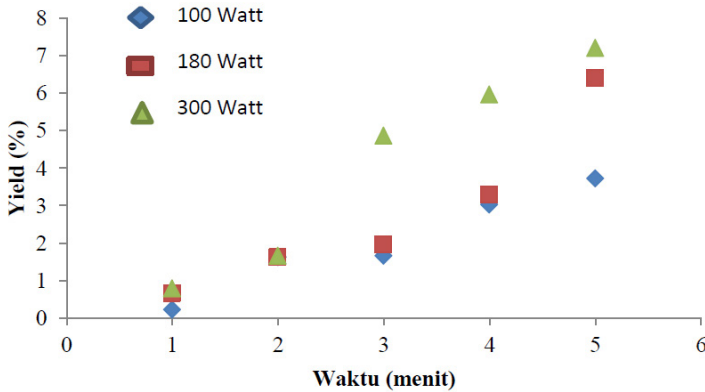
Ekstrak lipid yang diperoleh berupa cairan kental berwarna hijau tua. Hasil yang diperoleh sama berdasarkan (Bintari et al., 2018) dan (Gifron et al., 2018) dimana ekstrak mikroalga *Spirulina platensis* yang diperoleh berwarna hijau tua. Rendemen yang dihasilkan dari ekstrak mikroalga *Spirulina platensis* pada daya 300 W selama 5 menit dengan perbandingan massa bahan baku dengan pelarut 1:3,33 adalah 7,20%, sedangkan pada ekstraksi mikroalga menggunakan *Chlorella sp.* menggunakan metode konvensional maserasi dengan variasi pelarut metanol menghasilkan rendemen 7,0001% (Nursalam, 2013). Metode MAE dipilih karena teknologi tersebut sangat cocok untuk pengambilan senyawa yang bersifat termolabil karena memiliki kontrol suhu yang lebih baik dibandingkan proses ekstraksi secara konvensional (Barqi, 2015). Selain itu, MAE mempunyai beberapa kelebihan antara lain waktu ekstraksi yang relatif singkat, konsumsi energi dan pelarut yang lebih sedikit, akurasi dan presisi yang lebih tinggi, dan setting peralatan yang menggabungkan fitur sokhlet dan kelebihan dari *microwave oven* (Kurniasari et al., 2006).

3.2.1. Pengaruh Waktu Terhadap Yield Lipid Mikroalga *Spirulina platensis* Hasil Ekstraksi dengan Pelarut Etanol 96% Menggunakan Metode MAE

Waktu ekstraksi sangat berpengaruh terhadap rendemen lipid yang dihasilkan. Berdasarkan penelitian Bintari et al. (2018), ekstraksi lipid mikroalga *Tetraselmis chuii* dengan metode MAE, diketahui bahwa semakin lama waktu ekstraksi maka dihasilkan rendemen minyak yang semakin besar. Hal ini disebabkan semakin lama waktu yang dibutuhkan maka semakin besar energi radiasi gelombang mikro yang dikenakan pada mikroalga. Pengaruh waktu ekstraksi (1-5 menit) terhadap yield lipid dari hasil ekstrak mikroalga *Spirulina platensis* menggunakan MAE dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Gambar 3.4

Tabel 3. 5. Yield Lipid dari Hasil Ekstraksi Mikroalga *Spirulina platensis* Waktu 1-5 Menit

Waktu ekstraksi (menit)	Yield (%)		
	100 W	180 W	300 W
1	0,23	0,67	0,80
2	1,63	1,63	1,67
3	1,67	1,96	4,86
4	3,03	3,30	5,96
5	3,73	6,40	7,20



Gambar 3. 4 Yield Lipid dari Hasil Ekstraksi Mikroalga *Spirulina platensis* Waktu 1-5 Menit

Berdasarkan Tabel 3.5 dan Gambar 3.4 dapat dipelajari hubungan antara waktu ekstraksi terhadap yield dari hasil ekstrak mikroalga *Spirulina platensis*. Dapat dipelajari semakin lama waktu ekstraksi maka yield yang dihasilkan semakin banyak. Hal ini disebabkan oleh pemanasan radiasi gelombang mikro meningkat untuk cairan maupun padatan yang dapat merubah energi elektromagnetik menjadi panas. Semakin lama waktu ekstraksi, maka energi elektromagnetik semakin banyak yang dirubah menjadi energi panas sehingga suhu meningkat (Yatun et al., 2016). Hal ini dapat menyebabkan sel-sel pada mikroalga dapat dipecah secara efektif pada kondisi tersebut sehingga yield yang dihasilkan lebih banyak (Zhao et al., 2013). Pada penelitian ini diperoleh pengaruh waktu ekstraksi optimal selama 5 menit dan yield yang diperoleh dari masing-masing daya 100, 180, dan 300 Watt adalah 3,7%; 6,40; dan 7,20%. Penelitian ini sejalan dengan yang dilakukan oleh Bintari et al. (2018) yang menunjukkan bahwa yield lipid yang diperoleh optimal pada waktu 5 menit pada mikroalga *Tetrachelmis chuii* dengan metode MAE pada daya 240, 560, dan 800 Watt adalah 0,45; 0,92; dan 1,25%.

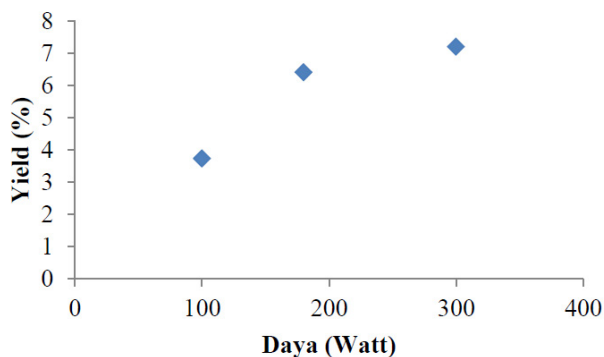
Dipelajari dari segi waktu, ekstraksi lipid mikroalga *Spirulina platensis* secara konvensional untuk memperoleh rendemen sebanyak 1,68% setidaknya memerlukan waktu selama 25 menit (Pramono et al., 2018), sedangkan pada penelitian ini ekstraksi menggunakan metode MAE pada daya 300 W membutuhkan waktu selama 5 menit untuk memperoleh rendemen 7,20%. Selisih waktu yang digunakan hampir 4 kali lipat lebih efisien jika menggunakan metode MAE. Fenomena tersebut disebabkan oleh pecahnya sel pori-pori serbuk mikroalga akibat adanya radiasi gelombang mikro, sehingga pori-pori serbuk mikroalga lebih cepat terbuka dan laju difusi pelarut dari dalam padatan ke cairan lebih cepat (Fadiyah et al., 2020). Sehingga ekstrak yang diperoleh lebih banyak dengan waktu ekstraksi yang lebih singkat.

3.2.2. Pengaruh Daya Terhadap Yield Lipid Mikroalga *Spirulina platensis* Hasil Ekstraksi dengan Pelarut Etanol 96% Menggunakan Metode MAE

Daya *microwave oven* pada ekstraksi menggunakan metode MAE sangat berpengaruh terhadap rendemen lipid yang dihasilkan. Berdasarkan penelitian Bintari et al. (2018), ekstraksi mikroalga *Cladophora sp.* menggunakan metode MAE, menunjukkan bahwa peningkatan daya sebanding dengan rendemen yang diperoleh. Hal ini karena seiring dengan meningkatnya daya sebanding dengan transfer massa hingga mencapai rendemen yang optimum. Pengaruh daya *microwave oven* pada waktu ekstraksi selama 5 menit terhadap yield lipid dari hasil ekstrak mikroalga *Spirulina platensis* menggunakan MAE dapat dilihat pada Tabel 3.6 dan Gambar 3.5

Tabel 3. 6 Pengaruh Daya Terhadap Yield Hasil Ekstraksi Mikroalga *Spirulina platensis* Waktu 5 Menit

Daya (Watt)	Rendemen (%)
100	3,73
180	6,40
300	7,20



Gambar 3. 5 Pengaruh Daya Terhadap Yield Hasil Ekstraksi Mikroalga *Spirulina platensis* Waktu 5 Menit

Berdasarkan Tabel 3.6 dan Gambar 3.5 dapat dipelajari bahwa daya *microwave oven* bervariasi (100, 180, dan 300 Watt) mengalami peningkatan rendemen yang dihasilkan. Rendemen dari ekstrak mikroalga *Spirulina platensis* tertinggi pada daya 300 W yaitu 7,20% dan rendemen yang terendah terjadi pada daya 100 W yaitu 3,73%. Secara garis besar semakin besar daya *microwave oven* yang dilakukan maka rendemen dari hasil ekstraksi semakin tinggi. Fenomena ini diakibatkan karena adanya kenaikan daya *microwave oven* yang menyebabkan energi panas yang dihasilkan lebih besar (Megawati et al., 2020a) sehingga panas tersebut dapat menghancurkan sel pori pada serbuk mikroalga, yang mengakibatkan laju difusi berjalan lebih cepat dan ekstrak yang didapatkan semakin banyak. Dalam hal ini daya *microwave oven* yang dihasilkan oleh bahan yang mengandung

molekul polar saat terekspos di medan magnet yang berisolasi pada frekuensi tertentu, molekul polar berusaha untuk mengikuti orientasi medan dan memposisikan dirinya searah dengan medan. Fenomena ini mengakibatkan gerakan acak dari molekul-molekul dan interaksi acak ini yang membangkitkan panas. Semakin tinggi daya dan meningkatkan panas sebagai kekuatan pendorong untuk menghancurkan sel pori sehingga yield dapat terekstraksi (Megawati et al., 2020a). Pada proses radiasi panas, *microwave oven* berperan sebagai kekuatan pendorong untuk menghancurkan sel pori pada serbuk mikroalga, sehingga senyawa yang terkandung dalam bahan dapat terdifusi keluar dan bercampur dengan pelarut. Fenomena ini didukung oleh penelitian Bintari et al. (2018), tentang ekstraksi lipid *Tetraselmis chuii* dengan daya bervariasi (80, 240, 400, 560, dan 800 Watt) selama 5 menit dengan masing-masing banyaknya rendemen ditunjukkan secara berurutan yaitu 0; 0,13; 0,34; 0,5; dan 0,67%. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin besar daya yang dilakukan, maka rendemen yang diperoleh semakin besar. Semakin cepat panas maka semakin cepat penguapan yang terjadi untuk mengeluarkan senyawa lipid dari mikroalga *Spirulina platensis*.

BAB IV

KINETIKA EKSTRAKSI KARBOHIDRAT PADA CHLORELLA DAN LIPID PADA SPIRULINA

Reaksi kimia dapat berlangsung secara cepat dan lambat (Yuda et al., 2017). Umumnya, pada senyawa anorganik reaksi berlangsung secara cepat. Sedangkan reaksi pada senyawa organik berlangsung lambat. Ekstraksi berhubungan erat dengan waktu ekstraksi, konsumsi pelarut, dan hasil akhir produk yang dimurnikan. Sebuah studi tentang kinetika dan parameter termodinamika sangat penting. Beberapa model telah diusulkan untuk memahami pengaruh pengoperasian parameter pada kinetika ekstraksi (Krishnan and Rajan, 2016). Kinetika ekstraksi penting untuk memfasilitasi desain operasi unit (Megawati et al., 2020b) 450, 600 W, the antioxidant conversions obtained were 15.45, 17.00, 18.33%, respectively. The total phenolic concentration was about 156–202 mg GAE/g. In addition, the extraction kinetic can be quantitatively described by antioxidant diffusivity from inside the solid to the solid's surface and antioxidant mass transfer from the solid's surface into solution with diffusion coefficient (k_c).

Ekstraksi pada dasarnya merupakan proses kimia yang melalui tahapan-tahapan sebagai berikut: transfer massa pelarut ke permukaan padatan, difusi pelarut dari permukaan padatan ke pori-pori, reaksi kimia pelarutan solute oleh pelarut, difusi larutan solut ke permukaan padatan, dan transfer massa larutan solut dari permukaan ke pelarut. Ekstraksi berhenti ketika konsentrasi larutan solut sudah sama dengan konsentrasi solut yang terlarut. Kinetika ekstraksi karbohidrat pada *Chlorella sp* ini menggunakan model matematika untuk kecepatan transfer massa

mengontrol. Model ini dipilih karena ukuran bubuk mikroalga sangat kecil sehingga difusi zat terlarut dari permukaan padatan ke dalam pori-pori padatan sangat cepat, sehingga dapat diabaikan.

Transfer massa pelarut dari larutan ke permukaan padatan pada ekstraksi padat-cair dapat digambarkan dengan order 1 dan 2, yang ditunjukkan pada persamaan (4.1) dan (4.2) (Megawati et al., 2020a), dimana C_t = konsentrasi glukosa atau lipid (mg/l), C_s = kapasitas ekstraksi (mg/l), t = waktu (menit) dan k_e = laju konstanta ekstraksi (l/mg/min) dengan keadaan awal $C_{t(t=0)} = 0$ dan $C_{t(t=t)} = C_t$ (Krishnan and Rajan, 2016).

Pada persamaan (4.1) dan (4.2) dapat diselesaikan menggunakan integral dengan hasil pada persamaan (4.3) dan (4.4) (Fernando and Soysa, 2015).

Pendekatan dengan model order 1 diselesaikan dengan melakukan regresi linier pada persamaan (4.5). Sementara itu, pada perhitungan kinetika menggunakan model order 2 diselesaikan dengan regresi linier pada persamaan (4.6)

4.1. Kinetika Ekstraksi Glukosa pada *Chlorella*

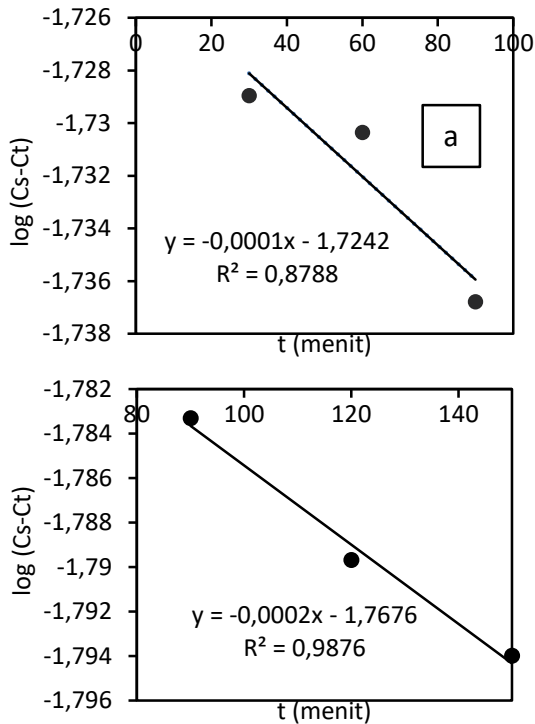
Dari data yield glukosa pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 dapat dikonversi ke dalam konsentrasi glukosa (C_t) menggunakan persamaan (4.7) dan (4.8) sehingga didapatkan hasil konsentrasi glukosa (C_t) pada setiap waktu, yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Pengaruh Waktu Ekstraksi Terhadap Konsentrasi Glukosa

CSE		FBE	
Waktu (menit)	C_t (mg/l)	Waktu (menit)	C_t (mg/l)
30	0,00133	90	0,00353
60	0,00139	120	0,00377
90	0,00167	150	0,00393

Ekstraksi dengan cara CSE dan FBE merupakan cara ekstraksi karbohidrat yang relative umum, kondisi operasional yang berbeda berpengaruh pada hasil glukosa yang diperoleh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu ekstraksi yang lama dapat meningkatkan hasil glukosa yang disebabkan oleh fakta bahwa sel-sel alga dapat dipecah secara efektif pada kondisi tersebut (Zhao et al., 2013). Kondisi optimal CSE diperoleh pada waktu 90 menit.

Perhitungan kinetika ekstraksi dengan pendekatan model order 1 ini dilakukan dengan *trial and error* nilai C_s , sehingga persamaan (4.5) dapat dihitung. Hasil perhitungan tersebut dilanjutkan dengan melakukan regresi linier, yaitu regresi pada plot antara log dengan t , hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.1. Nilai-nilai gradien/kemiringan dan intersep digunakan untuk menghitung C_s dan k_e berdasarkan persamaan (4.5). *Trial and error* nilai C_s yang benar adalah yang memberikan nilai C_s dari grafik yang tidak berbeda jauh dengan nilai untuk *trial and error* tadi. Pada perhitungan ini, nilai k_e dan C_s dapat dilihat pada Tabel 4.2.



Gambar 4. 1 Kinetika ekstraksi karbohidrat pada *Chlorella sp.* menggunakan metode CSE (a) dan metode FBE (b) dengan pendekatan Model Order 1 (kondisi operasi untuk metode: CSE, berat bahan 1 gram pada suhu 100oC dan FBE, berat bahan 1 gram dan kecepatan aliran udara

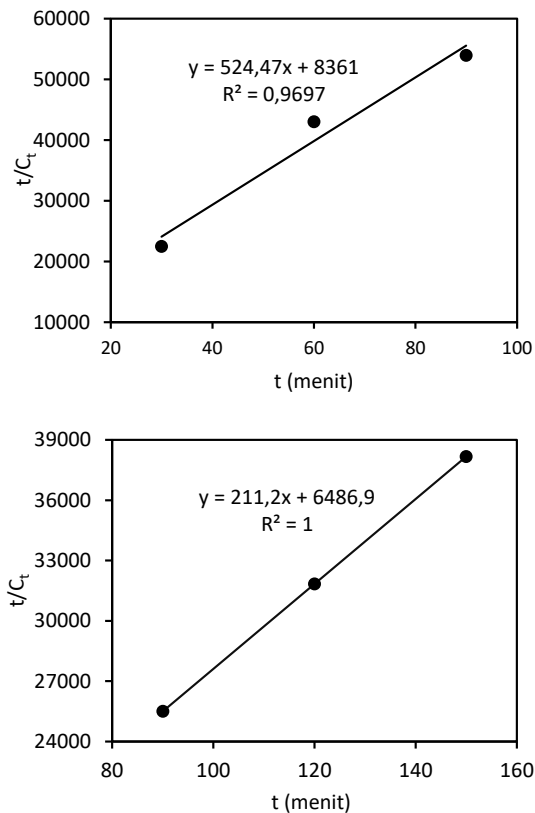
Tabel 4. 2 Nilai ke dan Cs pada kinetika ekstraksi dengan pendekatan model order 1

Metode	(L/mg/min)	(mg/L)
CSE	0,00023	0,0188
FBE	0,00046	0,0170

Sementara itu, perhitungan order 2 dilakukan menggunakan persamaan (4.6). Langkah-langkah perhitungannya berbeda dengan pada order 1. Langkah awal langsung membuat plot grafik antara t/C_t dengan t , yang kemudian dilinierisasi sehingga mendapatkan nilai kemiringan/slope dan intersep. Bila nilai koefisien determinan

(R^2) di atas 0,85 atau terlihat lebih baik/lebih besar daripada order 1, maka penekatan dengan model order 2 lebih sesuai. Pada perhitungan ini, grafik plot dan hasil regresinya seperti Gambar 4.2.

Nilai-nilai konstanta laju ekstraksi (k_e) dan kapasitas ekstraksi (C_e) dihitung dari nilai-nilai kemiringan dan intersep berdasarkan persamaan (4.6). Hasil perhitungan kinetika menggunakan order 2 disajikan pada Tabel 4.3. Kecepatan ekstraksi (k_e) yang diperoleh sebesar 32,899 L/mg/min dan kapasitas ekstraksi (C_e) sebesar 0,001907 mg/L, sedangkan kondisi optimal pada metode CSE dan FBE diperoleh masing-masing pada waktu 90 dan 150 menit.

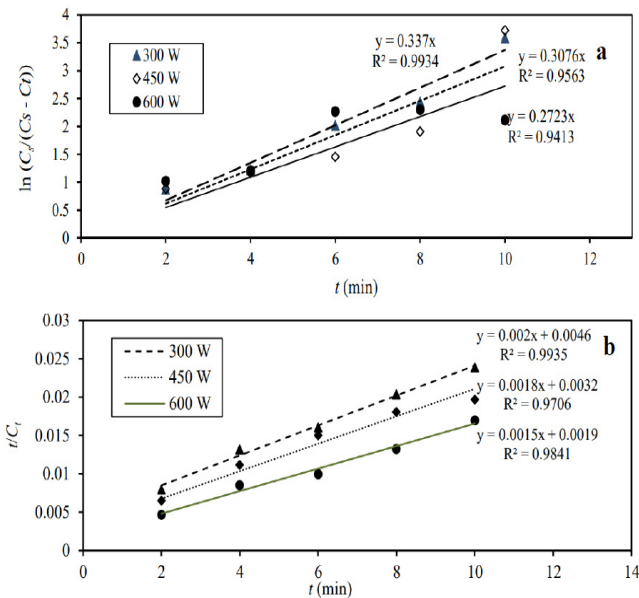


Gambar 4.2. Kinetika ekstraksi karbohidrat pada *Chlorella sp.* menggunakan metode CSE (a) dan metode FBE (b) dengan pendekatan Model Order 2 (kondisi operasi: pada metode CSE, berat bahan 1 gram pada suhu 100oC dan pada metode FBE, berat bahan 1 gram dan kecepatan aliran udara 6,12

Tabel 4.3. Nilai ke dan Cs pada model kinetika order 2

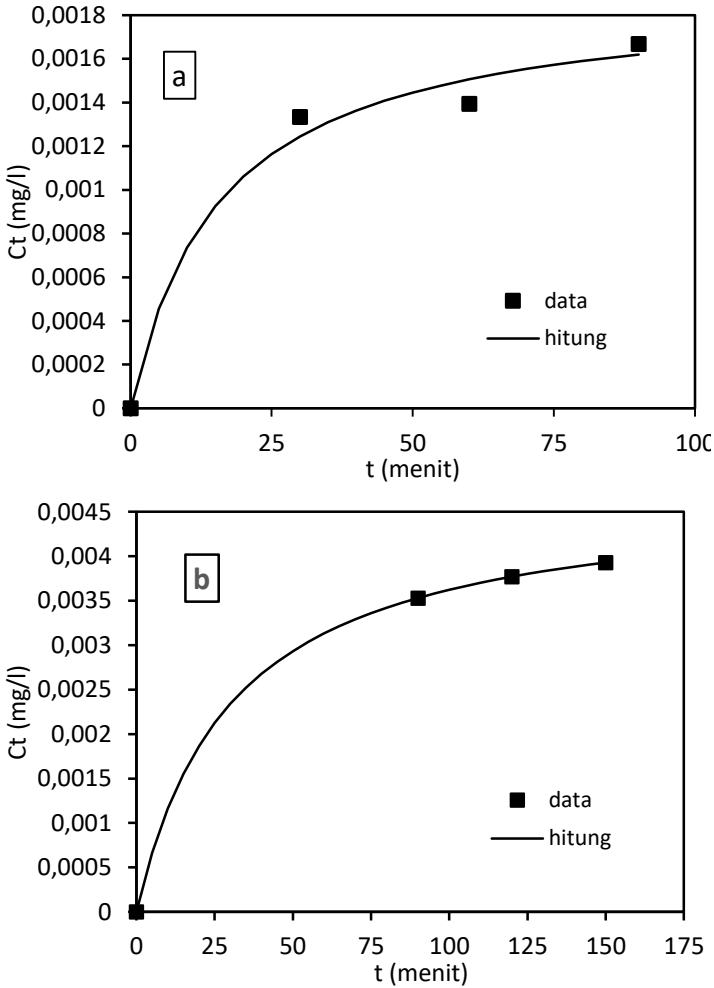
Metode	(l/mg/min)	(mg/l)
CSE	32,899	0,001907
FBE	6,8762	0,004735

Perhitungan kinetika ekstraksi karbohidrat *Chlorella sp.* menggunakan metode CSE dan FBE yang digambarkan dalam order 1 dan order 2 didapatkan hasil bahwa order 2 lebih memenuhi dibandingkan dengan order 1. Dibuktikan dengan nilai koefisien determinan (R^2) pada order 2 mendekati 1 (Gambar 4.2). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Megawati et al., 2020a) pada kinetika ekstraksi antioksidan dari daun sirsak menggunakan MAE. Dalam penelitiannya, kinetika yang ditinjau menggunakan perhitungan order 1 dan orde2 2. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa order 2 lebih memenuhi dilihat dari koefisien determinan (R^2) yang mendekati 1. Grafik order 1 dan 2 pada penelitian (Megawati et al., 2020a) disajikan pada Gambar 4.3.



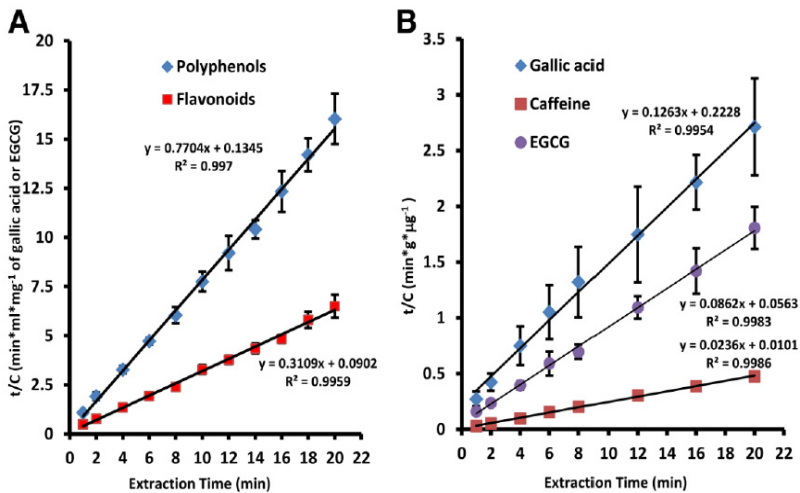
Gambar 4.3 Hasil perhitungan ekstraksi antioksidan dari daun sirsak menggunakan metode MAE dengan model kinetika orde 1 (a) dan model kinetika orde 2 (b)

Informasi mengenai kesamaan antara konsentrasi glukosa data dan hasil perhitungan dari masing-masing metode menggunakan pendekatan order 2 disajikan pada Gambar 4.4. Gambar ini menunjukkan bahwa order 2 terlihat dapat mengekspresikan data percobaan dengan tingkat kesesuaian yang tinggi.



Gambar 4.4 Perbandingan antara data dan hasil perhitungan konsentrasi glukosa hasil ekstraksi *Chlorella sp.* dengan metode CSE (a) dan metode FBE (b)

Pada Gambar 4.4 memberikan informasi mengenai kesamaan antara data dan hasil perhitungan konsentrasi glukosa dari masing-masing metode. Dapat dilihat bahwa order 2 dapat menjelaskan secara kuantitatif ekstraksi karbohidrat *Chlorella sp.* dengan menggunakan metode CSE dan FBE. Order 2 terlihat lebih sesuai dari pada order 1. Pendekatan order 2 ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Fernando dan Soysa (2015) yang mengekstrak daun teh hitam (*Camellia sinensis L.*). Grafik regresinya dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Model kinetika order 2 pada ekstraksi poliphenols dan flavonoids (A) dan gallic acid, caffeine, dan EGCG (B) dari *Camellia sinensis L.* oleh Fernando dan Soysa (2015)

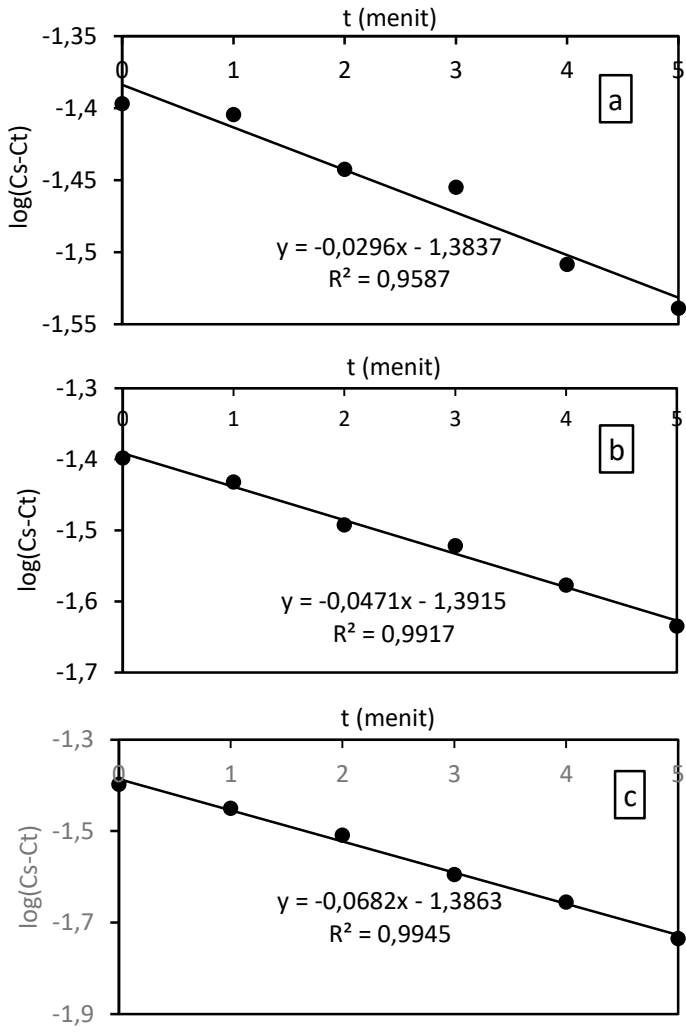
4.2. Kinetika Ekstraksi Lipid pada Spirulina

Hasil *trial* dan *error* untuk mendapatkan nilai C_s dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing daya yaitu daya 100, 180, dan 300 W. Nilai-nilai C_s yang sesuai tercantum pada Tabel 4.4. Nilai-nilai tersebut makin tinggi ketika daya yang digunakan makin tinggi. Berarti kapasitas ekstraksi akan meningkat jika daya *microwave oven* ditinggikan. Kemampuan pelarut akan optimal pada daya tinggi. Sementara itu, grafik hasil linierisasinya dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan nilai-nilai konstanta kecepatan ekstraksi (k_e) disajikan pada Tabel 4.4. Pada daya tinggi, ekstraksi lipid pada spirulina akan makin banyak dan makin cepat.

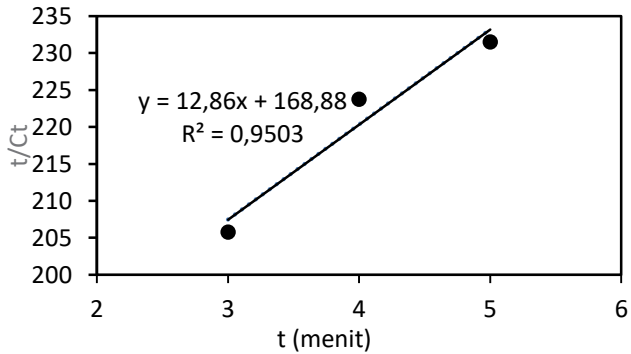
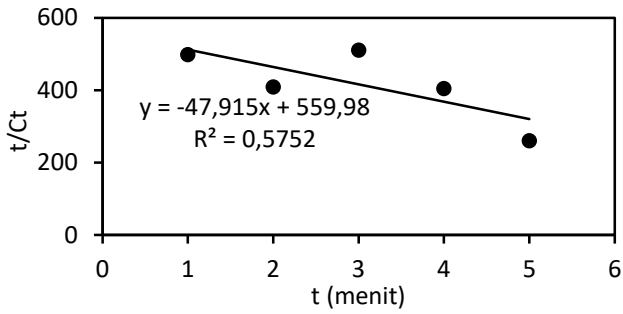
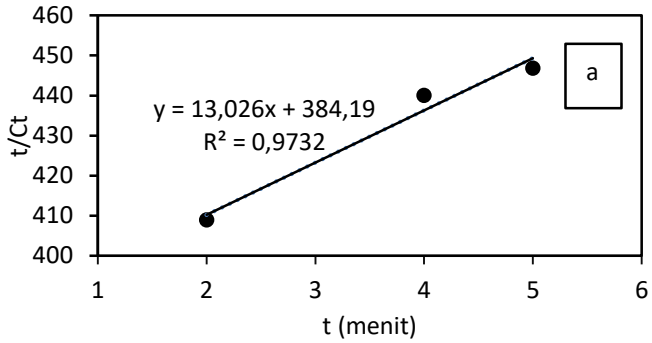
Tabel 4.4 Nilai k_e dan C_s pada ekstraksi lipid Spirulina dengan pendekatan model order 1 (kondisi operasi: berat bahan = 30 g dan volume pelarut = 100 ml)

Daya (W)	k_e (l/mg/min)	C_s (mg/l)
100	0,067708	0,040983
180	0,114229	0,042993
300	0,165586	0,043222

Model order 2 dapat dihitung menggunakan persamaan (6). Seperti model order 1, pada order 2 juga diselesaikan menggunakan regresi linear (Megawati et al., 2020b). Pada order 2 perhitungan k_e dan C_s dilakukan tanpa *trial and error*, namun dengan langsung membuat grafik antara t dengan t/C_t kemudian diregresi linear seperti Gambar 4.7. Langkah ini akan memperoleh nilai intersep dan gradien garis linier, serta R^2 . Hasil perhitungan k_e dan C_s tercantum pada Gambar 4.7.



Gambar 4.6 Model kinetika orde 1 ekstraksi lipid dari *Spirulina platensis* menggunakan daya (a) 100 W (b) 180 W (c) 300 W (kondisi operasi: berat bahan 30 mg dan volume pelarut 100 ml)



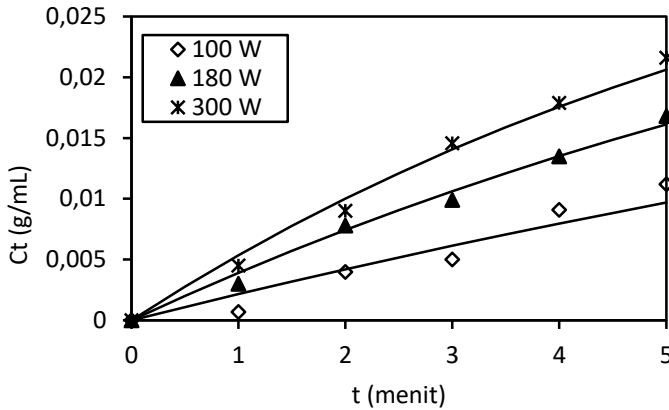
Gambar 4.7 Model kinetika orde 2 ekstraksi lipid pada *Spirulina platensis* menggunakan daya (a) 100 W (b) 180 W (c) 300 W (kondisi operasi: berat bahan 30 mg dan volume pelarut 100 mL)

Tabel 4. 5 Nilai k_e dan C_s pada model kinetika order 2

Daya (W)	k_e (l/mg/min)	C_s (mg/l)
100	0,002673	0,986875
180	4,099874	-0,02087
300	0,36021	0,07776

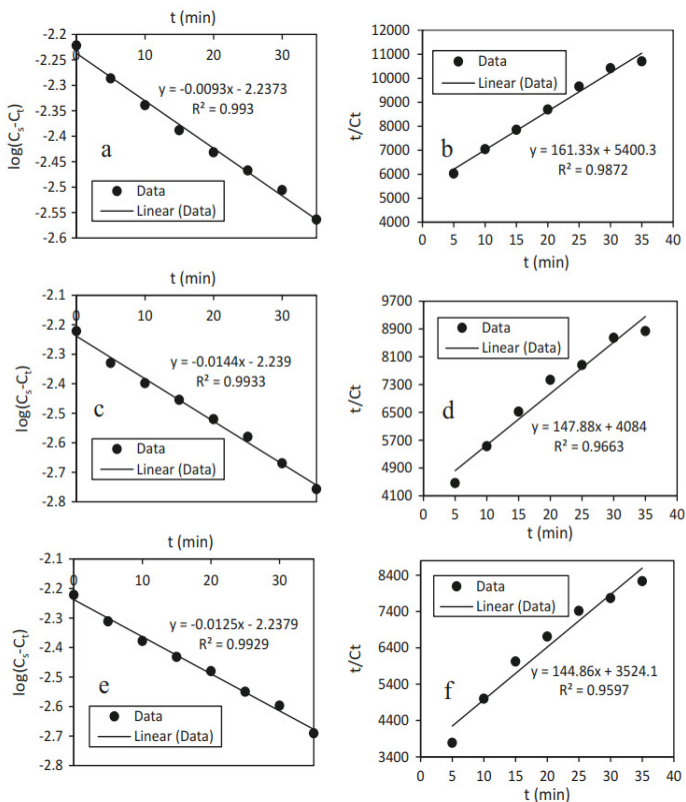
Berdasarkan nilai-nilai kapasitas ekstraksi (C_s) yang diperoleh, yaitu terdapat nilainya negatif, berarti pendekatan model order 2 tidak sesuai untuk ekstraksi lipid pada *Spirulina*. Kinetika reaksi ekstraksi lipid pada *Spirulina platensis* menggunakan order 1 lebih sesuai digunakan. Hal ini juga dibuktikan dengan nilai koefisien determinan (R^2) pada grafik lebih besar dari 0,85, yaitu 0,96, 0,99, dan 0,99 untuk daya 100, 180, dan 300 W. Kesesuaian antara data dengan hasil perhitungan disajikan pada gambar 4.8. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya pada ekstraksi antioksidan pada kulit buah manggis oleh Megawati dkk (2020) (Megawati et al., 2020c) 450, 600 W, the antioxidant conversions obtained were 15.45, 17.00, 18.33%, respectively. The total phenolic concentration was about 156–202 mg GAE/g. In addition, the extraction kinetic can be quantitatively described by antioxidant diffusivity from inside the solid to the solid's surface and antioxidant mass transfer from the solid's surface into solution with diffusion coefficient (k_c yang ditunjukkan pada Gambar 4.8.

Jadi, pendekatan model order 1 lebih sesuai dibandingkan order 2. Nilai dari konstanta laju ekstraksi (k_e) dan kapasitas ekstraksi (C_s) dapat dipelajari pada Tabel 4.4.



Gambar 4.8 Perbandingan Data dan Kurva hasil perhitungan konsentrasi lipid hasil ekstraksi *Spirulina platensis* menggunakan pendekatan model order 1 (pada kondisi operasi: berat bahan = 30 mg, dan volume pelarut = 100 mL)

Berdasarkan hasilnya, kecepatan ekstraksi dan kapasitas ekstraksi meningkat sebanding dengan meningkatnya daya yang digunakan. Hal ini terjadi karena suhu saat ekstraksi akan meningkat ketika digunakan daya yang lebih tinggi (Megawati et al., 2020b). Hal ini sejalan dengan penelitian pada ekstraksi flavonoid pada *Terminnelia bellerica* menggunakan MAE. Hasil serupa juga didapatkan pada penelitian kinetika ekstraksi antioksidan pada daun sirsak menggunakan MAE. Meningkatnya suhu pada ekstraksi akan sebanding dengan meningkatnya kinetika konstan, begitu juga dengan kapasitas ekstraksi (Megawati et al., 2020b).



Gambar 4.9 Ekstraksi Antioksidan pada Kulit Buah Manggis menggunakan order 1 (a: 300, c: 450, dan e: 600 Watt)

BAB V

KESIMPULAN

1. Ekstraksi karbohidrat pada *Chlorella sp.* menggunakan metode CSE dan FBE mengikuti kinetika reaksi order 2.
2. Nilai konstanta laju ekstraksi (k_e) (l/mg/min) dan kapasitas ekstraksi (C_e) (mg/l) pada model kinetika order 2 untuk CSE adalah 32,899 dan 0,001907. Sementara, untuk FBE adalah 6,8762 dan 0,004735.
3. Ekstraksi lipid pada *Spirulina platensis* menggunakan metode MAE mengikuti kinetika reaksi order 1.
4. Nilai konstanta laju ekstraksi (k_e) (l/mg/min) dan kapasitas ekstraksi (C_e) (mg/l) pada model kinetika order 1 dengan kondisi operasi (berat bahan = 30 g, volume pelarut = 100 mL) untuk masing-masing daya 100, 180, dan 300 W adalah 0,067708 dan 0,040983; 0,114229 dan 0,042993; serta 0,165586 dan 0,043222.

DAFTAR PUSTAKA

- Abed, K.M., Kurji, B.M., Abdul-majeed, B.A., 2015. Extraction and Modelling of Oil from *Eucalyptus camadulensis* by Organic Solvent. *J. Mater. Sci. Chem. Eng.* 3, 35–42.
- Agustini, N.W.S., Febrian, N., 2019. Hidrolisis Biomassa Mikroalga *Porphyridium cruentum* Menggunakan Asam (H_2SO_4 dan HNO_3) dalam Produksi Bioetanol. *J. Kim. dan Kemasan* 41, 1–10.
- Akubude, V.C., Nwaigwe, K.N., Dintwa, E., 2019. Production of biodiesel from microalgae via nanocatalyzed transesterification process : A review. *Mater. Sci. Energy Technol.* 2, 216–225.
- Alara, O.R., Abdurahman, N.H., Ukaegbu, C.I., 2018. Soxhlet extraction of phenolic compounds from *Vernonia cinerea* leaves and its antioxidant activity. *J. Appl. Res. Med. Aromat. Plants* 11, 12–17.
- Amin, M., Chetpattananondh, P., Khan, M.N., Sami, F.M. and S.K., 2018. Extraction and Quantification of Chlorophyll from Microalgae *Chlorella* Extraction and Quantification of Chlorophyll from Microalgae *Chlorella* sp . 1–8.
- Argo, B.D., Amaliyah, F.A., 2020. Pengaruh Gelombang Mikro terhadap Kualitas Hasil Minyak Atsiri Jahe (*Zingiber officinale*) dengan Hidrodistilasi. *agriTECH* 40, 332–339.
- Arihanda, D.D.P., Santosa, S.G.W., 2019. Kadar Total Lipid Mikroalga *Nannochloropsis oculata* Hibberd , 1981 (Eustigmatophyceae : Eustigmataceae) Berdasarkan Perbedaan Salinitas dan Intensitas Cahaya. *J. Mar. Res.* 8, 229–236.

- Assadad, L., Utomo, B.S.B., Sari, R.N., 2010. Pemanfaatan mikroalga sebagai bahan baku bioetanol. *Squalen* Vol. 5, 51–58.
- Astiani, F., Dewiyanti, I., Mellisa, S., 2016. Pengaruh media kultur yang berbeda terhadap effect of different culture media on growth rate and biomass of. *J. Ilm. Mhs. Kelaut. dan Perikan. Unsyiah* 1, 441–447.
- Atmoko, W.P., Widjanarko, D., Pramono, 2014. Pengaruh Temperatur Pada Proses Transesterifikasi Terhadap Karakteristik Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas. *J. Mech. Eng. Learn.* 3, 39–46.
- Bariyyah, S.K., Fasya, A.G., Abidin, M., Hanapi, A., 2013. Uji Aktivitas Antioksidan Terhadap Dpph Dan Identifikasi Golongan Senyawa Aktif Ekstrak Kasar Mikroalga *Chlorella* sp. Hasil Kultivasi Dalam Medium Ekstrak Tauge. *Alchemiy* 2, 195–204.
- Barqi, Wildan Syaeful, 2015. PENGAMBILAN MINYAK MIKROALGA *CHLORELLA* SP. DENGAN METODE MICROWAVE ASSISTED EXTRACTION.
- Barqi, W.S., 2015. Pengambilan minyak mikroalga *Chlorella* sp. dengan metode microwave assisted extraction. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Barsanti, L., Gualtieri, P., 2014. *Algae : Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*. 2nd edition. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Ben-amotz, A., Tornabene, T.G., 1985. Chemical profile of selected spesies of microalgae with emphasis on lipids. *J.Phycol.* 21, 72–81.
- Bintari, Y.R., Haryadi, W., Rahardjo, T.J., 2018. Ekstraksi lipida dengan metode microwave assisted extraction dari mikroalga yang potensial sebagai biodiesel. *J. Ketahanan Pangan* 2, 180–189.
- Bintari, Yoni Rina, Haryadi, W., Rahardjo, T.J., 2018. Ekstraksi Lipida Dengan Metode Microwave Assisted Extraction DARI. *J. Ketahanan Pangan* 2, 180–189.

- Cheng, D., Li, D., Yuan, Y., Zhou, L., Li, X., Wu, T., Wang, L., Zhao, Q., Wei, W., Sun, Y., 2017. Improving carbohydrate and starch accumulation in *Chlorella* sp. AE10 by a novel two - stage process with cell dilution. *Biotechnol. Biofuels* 10, 1–14.
- Chisti, Y., 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnol. Adv.* 25, 294–306.
- Christwardana, M., Hadiyanto, H., Nur, M.M.A., 2011. *Spirulina Platensis* : Potensinya Sebagai Bahan Pangan Fungsional. *J. Apl. Teknol. Pangan* 2, 1–4.
- Ciferri, O., 1983. *Spirulina*, the edible microorganism. *Microbiol Rev.* 47, 551–578.
- Daniyati, R., Yudoyono, G., Rubiyanto, A., 2012. Desain Closed Photobioreaktor *Chlorella Vulgaris* Sebagai Mitigasi Emisi CO₂. *J. SAINS DAN SENI ITS* 1, B-1-B-5.
- Dedi, F., Alimudin, A.H., Ardiningsih, P., 2016. Ekstraksi Minyak Mikroalga *Nannochloropsis oculata* Menggunakan Metode Tekanan Osmotik. *OrbitalJurnal Ilmu dan Terap. Kim.* 1, 27–39.
- Dolan, J.R., 2014. Mixotrophy in ciliates : A review of *Chlorella* symbiosis and chloroplast retention. *Mar. Microb. Food Webs* 115–132.
- Esquivel-Hernandez, D.A., Ibarra-Garza, I.P., Rodri'guez-Rodriguez, J., Cu ellar-Bermudez, S.P., Rostro-Alanis, M.D.J. Aleman-Nava, G.S., Garcia-P erez, J.S., Parra-Saldivar, R., 2017. Green extraction technologies for high-value metabolites from algae: a review. *Biofuels Bioprod. Biorefin* 11, 215–231.
- Fadiyah, I., Lestari, I., Mahardika, R.G., 2020. KAPASITAS ANTIOKSIDAN EKSTRAK BUAH RUKAM (*Flacourtia rukam*) MENGGUNAKAN METODE MICROWAVE ASSISTED EXTRACTION (MAE) Antioxidant Capacity of Rukam Fruit Extract (*Flacourtia rukam*) Using Microwave Assisted Extraction (

- Mae) Method. Indo. J. Chem. Res. 7, 107–113.
- Fakhri, M., Antika, P.W., Ekawati, A.W., Arifin, N.B., 2020. Pertumbuhan, Kandungan Pigmen, dan Protein Spirulina platensis yang Dikultur Pada $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ Dengan Dosis yang Berbeda. J. Aquac. Fish Heal. 9, 38–47.
- Fasya, A.G., Khamidah, U., Amaliyah, S., Bariyyah, S.K., Romaidi, 2013. Uji aktivitas antibakteri ekstrak metanol mikroalga Chlorella sp. hasil kultivasi dalam medium ekstrak tauge (met) pada tiap fase pertumbuhan. Alchemy 2, 162 – 169.
- Fernando, C.D., Soysa, P., 2015. Extraction Kinetics of phytochemicals and antioxidant activity during black tea (*Camellia sinensis* L.) brewing. Nutr. J. 14, 1–7.
- Fitri, A.S., Fitriana, Y.A.N., 2020. Analisis Senyawa Kimia pada Karbohidrat. Sainteks 17, 45–52.
- Fuadi, A., 2012. Ultrasonik Sebagai Alat Bantu Ekstraksi Oleoresin Jahe. J. Teknol. 12, 14–21.
- Gfrerer, M., Chen, S., Lankmayr, E.P., Quan, X., Yang, F., 2004. Comparison of different extraction techniques for the determination of chlorinated pesticides in animal feed. Anal Bioanal Chem 378, 1861–1867.
- Gifron, M., Agustina, N., Wela, D., 2018. Pengolahan Limbah Kulit Durian dan Baterai Bekas Menjadi Salah Satu Sumber Energi Listrik yang Ramah Lingkungan. Al-Fiziya J. Mater. Sci. Geophys. Instrum. Theor. Phys. 1.
- Hanani, T., Widowati, I., Susanto, A., 2020. Kandungan Senyawa Beta Karoten pada Spirulina platensis dengan Perlakuan Perbedaan Lama Waktu Pencahayaan. Bul. Oseanografi Mar. 9, 55–58.
- Handayani, H., Sriherfyna, F.H., Yunianta, 2016. Ekstraksi Antioksidan Daun Sirsak Metode Ultrasonic Bath (Kajian Rasio Bahan : Pelarut dan Lama Ekstraksi). J. Pangan dan Agroindustri 4, 262–272.

- Hariz, H.B., Takriff, M.S., 2017. Growth and Biomass Production of Native Microalgae *Chlorella* sp., *Chlamydomonas* sp. and *Scenedesmus* sp. Cultivated in Palm Oil Mill Effluent (POME) at Different Cultivation Conditions. *Trans. Sci. Technol.* 4, 298–311.
- Henrikson, R., 1989. *Earth Food Spirulina : How this remarkable blue-green algae can transform your health and our planet.* USA:Ronore Enterprises, Inc. pp.29.
- Hermanto, M.B., Hawa, L.C., Fiqtinovri, S.M., 2011. Perancangan Bioreaktor untuk Pembudidayaan Mikroalga. *J. Teknol. Pertan.* 12, 153–162.
- Ho, S.-H., Huang, S.-W., Chen, C.-Y., Hasunuma, T., Kondo, A., Chang, J.-S., 2013. Characterization and optimization of carbohydrate production from an indigenous microalga *Chlorella vulgaris* FSP-E. *Bioresour. Technol.* 135, 157–165.
- Irfiansyah, M.R., 2003. TEKNIK KULTUR *Chlorella* sp. SKALA MASSAL UNTUK PAKAN Rotifera sp. DAN STARTER TAMBAK DI BBPBAP JEPARA, JAWA TENGAH. Univ. Airlangga, Surabaya 1–21.
- Jalu, F.N.P., Soeprbowati, T.R., 2013. Pemanfaatan Plasma Lucutan Pijar Korona Sebagai Pupuk Alternatif Pada Kultur *Chlorella vulgaris* B. *Semin. Nas. Biol.* 300–302.
- John, R.P., Anisha, G.S., Nampoothiri, K.M., Pandey, A., 2011. Micro and macroalgal biomass: a renewable source for bioethanol. *Bioresour. Technol.* 102, 186–193.
- Khan, M.I., Shin, J.H., Kim, J.D., 2018. 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.* 17, 1–21.
- Koru, E., 2016. *Earth Food Spirulina (Arthrospira): Production and Quality Standarts.* ITEXLi. in. El-samragy, Y. *Food Additive.* 2nd

- edition. pp.191.
- Krishnan, R.Y., Rajan, K.S., 2016. Microwave assisted extraction of flavonoids from *Terminalia bellerica* : Study of kinetics and thermodynamics. *Sep. Purif. Technol.* 157, 169–178.
- Kumar, H. D. and Singh, H.N., 1972. A Textbook on Algae., *Bulletin of the Torrey Botanical Club.*
- Kurnia, I., 2016. Optimasi pertumbuhan dan hidrolisis lignoselulosa dari mikroalga *Chlorella vulgaris* untuk meningkatkan kadar glukosa sebagai bahan baku bioetanol. Skripsi. Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan ALam Universitas Andalas Padang.
- Kurniasari, L., Hartati, I., Ratnani, R.D., Sumantri, I., 2006. Kajian ekstraksi minyak jahe menggunakan Microwave Assisted Extraction (MAE). *Momentum* 4, 47–52.
- Lakatos, G.E., Ranglová, K., Manoel, J.C., Grivalský, T., Kopecký, J., Masojídek, J., 2019. Bioethanol production from microalgae polysaccharides. *Folia Microbiol. (Praha).* 64, 627–644.
- Lam, M.K., Lee, K.T., 2012. Microalgae biofuels : A critical review of issues , problems and the way forward. *Biotechnol. Adv.* 30, 673–690.
- Lavens, P., Sorgeloos, P., 1996. Manual on the production and use of live food for aquaculture. Italy:FAO Fisheries Technical Paper.
- Li, Y., Chen, Y.-F., Chen, P., Min, M., Zhou, W., Martinez, B., Zhu, J., Ruan, R., 2011. Characterization of a microalga *Chlorella* sp . well adapted to highly concentrated municipal wastewater for nutrient removal and biodiesel production. *Bioresour. Technol.* 102, 5138–5144.
- Martín-Juárez, J., Markou, G., Muylaert, K., Lorenzo-Hernando, A., Bolado, S., 2017. Breakthroughs in bioalcohol production from microalgae: Solving the hurdles. *Munoz, R. Gonzalez-Fernandez,*

- C. Microalgae-Based Biofuels Bioprod. From Feed. Cultiv. to End-Products-Woodhead Publ. 183–207.
- Megawati, Fardhyanti, D.S., Widjanarko, D., Hanifah, Bungsu, G.M., Rizky, M.H.F., 2020a. Kinetics of soursop leaves antioxidant extraction using microwave- assisted extraction Kinetics of soursop leaves antioxidant extraction using microwave-assisted extraction. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 572 012041.
- Megawati, Fardhyanti, D.S., Widjanarko, D., Hanifah, Bungsu, G.M., Rizky, M.H.F., 2020b. Kinetics of soursop leaves antioxidant extraction using microwave-assisted extraction. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 572.
- Megawati, Ginting, R.R., Kusumaningtyas, R.D., Sediawan, W.B., 2020c. Mangosteen Peel Antioxidant Extraction and Its Use to Improve the Stability of Biodiesel B20 Oxidation II, 29–61.
- Moreira, V.R., Lebron, Y.A.R., Freire, S.J., Santos, L.V., Palladino, F., Jacob, R.S., 2019. Biosorption of copper ions from aqueous solution using *Chlorella pyrenoidosa* : Optimization , equilibrium and kinetics studies. *Microchem. J.* 145, 119–129.
- Mulyadi, H.A., Zainuri, M., Wodowati, I., Suprijanto, J., 2013. Komposisi Kelimpahan Meroplankton Di Perairan Pesisir Kabupaten Pemalang, Provinsi Jawa Tengah. *Semin. Nas. Tah. X Has. Penelit. Kelaut. dan Perikan.* 1–8.
- Musdalifah, Rustam, Y., Amini, S., 2015. Kultivasi dan ekstraksi minyak dari mikroalga *Botryococcus braunii* dan *Nannochloropsis* sp. *Bioma* 11, 1–14.
- Nur, M.M.A., 2014. Potensi Mikroalga sebagai Sumber Pangan Fungsional di Indonesia (Overview). *Eksergi* 11, 1–6.
- Nurhayati, T., Hermanto, M.B., 2013. Penggunaan Fotobioreaktor Sistem Batch Tersirkulasi terhadap Tingkat Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella vulgaris* , *Chlorella* sp . dan *Nannochloropsis oculata* The

- Recirculation Batch System of Photobioreactor Against Growth Rate of *Chlorella vulgaris* Microalg. J. Keteknikan Pertan. Trop. dan Biosist. 1, 249–257.
- Nursalam, 2013. UJI TOKSISITAS SENYAWA STEROID FRAKSI ETIL ASETAT MIKROALGA *Chlorella* sp. DENGAN METODE BSLT DAN IDENTIFIKASI MENGGUNAKAN SPEKTROFOTOMETER FTIR. J. Chem. Inf. Model. 53, 1689–1699.
- Phang, S.M., Miah, M.S., Yeoh, B.G., Hashim, M.A., 2000. Spirulina cultivation in digested sago starch factory wastewater. J. of Applied Phycol. 12, 395–400.
- Prabowo, D.A., 2009. Optimasi pengembangan media untuk pertumbuhan *Chlorella* sp. pada skala laboratorium. Skripsi. Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor.
- Pramono, I.A., Haryadi, W., Raharjo, T.J., 2018. Optimasi Ekstraksi Lipid dari *Spirulina platensis* Menggunakan Tekanan Osmotik dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik dan Produksi Metil Esternya Secara Enzimatis. Berk. MIPA 25, 116–128.
- Prayogo, I., Arifin, M., 2015. Teknik Kultur Pakan Alami *Chlorella* sp. dan Rotifera sp. Skala Massal dan Manajemen Pemberian Pakan Alami pada Larva Kerapu Cantang. Samakia J. Ilmu Perikan. 6, 125–134.
- Ratnawati, R., Hermana, J., 2011. Efek Penambahan Unsur Kalium dan Aerasi Terhadap Kinerja Alga-Bakteri untuk Mereduksi Polutan pada Air Boezem Morokrengan, Surabaya. Pros. Semin. Nas. VIII Tek. Lingkung. ITS dan Semin. Nas. VII Ikat. Alumni Tek. Penyehatan Indones. 137–147.
- Renaud, S.M., Parry, D.L., Thinh, L.-V., 1994. Microalgae for use in tropical aquaculture I Gross chemical and fatty acid composition of

- twelve species of microalgae from the Northern Territory, Australia. pdf. *J. Appl. Phycol.* 6, 337–345.
- Restuhadi, F., Zalfiatri, Y., Pringgodani, D.A., 2017. Pemanfaatan Simbiosis Mikroalga *Chlorella* sp. dan Starbact® untuk Menurunkan Kadar Polutan Limbah Cair Sagu. *J. Ilmu Lingkungan*. 11, 140–153.
- Rinanti, A., Purwadi, R., 2018. Pemanfaatan Mikroalga Blooming dalam Produksi Bioethanol tanpa Proses Hidrolisis (Utilization of Blooming Microalgae in Bioethanol Production without Hydrolysis Process). *Semin. Nas. Kota Berkelanjutan* 1, 281.
- Soccol, C.R., Brar, S.K., Faulds, C., Ramos, L.P., 2016. Green Fuels Technology: Biofuels. In: *Biodiesel and Bioethanol from Microalgae*; de Morais, E.G. Moraes, L. de Morais, M.G. Costa, J.A.V. Springer:Switzerland pp.359-386.
- Soegiharto, A.T., Putri, S.K., Ariyanti, D., 2010. Mikroalga : Biomasa Potensial untuk Produksi Biodiesel. *Energi Alam Terbarukan* 3, 1–9.
- Sterba, K., Čejka, P., Čulík, J., Jurková, M., Krofta, K., Pavlovič, M., Mikyška, A., Olšovská, J., 2015. Determination of Linalool in different hop varieties using a new method based on fluidized-bed extraction with gas chromatographic-mass spectrometric detection. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 73, 151–158.
- Syofiyah, M., 2016. Uji toksisitas senyawa steroid fraksi etil asetat mikroalga *Chlorella* sp. dengan metode BSLT dan identifikasi menggunakan spektrofotometer FTIR. *Skripsi. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang*.
- Usher, P.K., Ross, A.B., -valero, M.A.C., Tomlin, A.S., Gale, W.F., 2015. An overview of the potential environmental impacts of large-scale microalgae cultivation An overview of the potential environmental impacts of large-scale microalgae cultivation. *Biofuels* 5, 37–41.

- Utami, N.P., Suherman, Y.M., Haetami, K., 2012. Pertumbuhan *Chlorella* sp. yang Dikultur pada Perioditas Cahaya yang Berbeda. *J. Perikan. dan Kelaut.* 3, 237–244.
- Vieira, C., Hachemi, I., Mäki-arvela, P., Smeds, A., Aho, A., Pereira, S., Cristiane, M. d. S.G., Carbonetti, G., Peurla, M., Paranko, J., Kumar, N., Aranda, D.A.G., Murzin, D.Y., 2015. Algal products beyond lipids: Comprehensive characterization of different products in direct saponification of green alga *Chlorella* sp. *Algal Res.* 11, 156–164.
- Wahyudi, P., 1999. *Chlorella*: Mikroalga Sumber Protein Sel Tunggal. *J. Sains dan Teknol. Indones.* 1, 35–41.
- Wiryadi, F., Witono, J.R.B., 2018. Pengaruh Aerasi dan Penambahan Nitrogen terhadap Laju Pertumbuhan. *Pros. Semin. Nas. Tek. Kim. “Kejuangan” Pengemb. Teknol. Kim. untuk Pengolah. Sumber Daya Alam Indones.* Yogyakarta, 12 April 2018 3–8.
- Yatun, I., Firdaus, K.D.L.L., Rahmah, A.A., Kurniasari, L., Aprianto, 2016. Ekstraksi oleoresin kayu manis (*Cinnamomum burmanni*) menggunakan ekstraktor berbantu gelombang mikro pada Microwave Assisted Extraction (MAE). *Pros. SNST ke-7 Tahun 2016 Fak. Tek. Univ. Wahid Hasyim Semarang* 33 33–37.
- Yuda, R.C., Irdiansyah, Prihatiningtyas, I., 2017. Studi Kinetika Pengaruh Suhu Terhadap Ekstraksi Minyak Atsiri Dari Kulit Jeruk Nipis Dengan Pelarut Etanol. *J. Chemurg.* 01, 22–26.
- Zabed, H., Sahu, J.N., Suely, A., Boyce, A.N., Faruq, G., 2017. Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 71, 475–501.
- Zhao, G., Chen, X., Wang, L., Zhou, S., Feng, H., Chen, W.N., Lau, R., 2013. Ultrasound assisted extraction of carbohydrates from microalgae as feedstock for yeast fermentation. *Bioresour. Technol.* 128, 337–344.

Zhao, X.-C., Tan, X.-B., Yang, L.-B., Liao, J.-Y., Li, X.-Y., 2019. Cultivation of *Chlorella pyrenoidosa* in anaerobic wastewater : The coupled effects of ammonium , temperature and pH conditions on lipids compositions. *Bioresour. Technol.* 284, 90–97.

GLOSARIUM

Aldehid	Aldehid merupakan salah satu kelompok senyawa organik yang memiliki gugus fungsional karbonil yang terikat pada rantai karbon di satu sisi dan atom hidrogen di sisi yang lain.
Alginat	Alginat adalah polimer linier organik polisakarida yang terdiri dari monomer α -L asam guluronat (G) dan β -D asam manuronat (M), atau dapat berupa kombinasi dari kedua monomer tersebut.
Antioksidan	Antioksidan merupakan molekul yang mampu memperlambat atau mencegah proses oksidasi molekul lain.
Biomassa	Biomassa adalah semua senyawa organik yang berasal dari tanaman budidaya, alga, dan sampah organik.
Distilasi	Suatu metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan kecepatan atau kemudahan menguap (volatilitas) bahan.
Ekstraksi	Suatu proses pemisahan suatu zat berdasarkan perbedaan kelarutannya terhadap dua cairan tidak saling larut yang berbeda, biasanya air dan yang lainnya pelarut organik.
Elektromagnetik	Elektromagnetik adalah cabang ilmu fisika yang mempelajari hubungan antara medan listrik dan medan magnet di dalam rangkaian listrik yang menghasilkan gaya gerak listrik dan medan elektromagnetik.

Energi	Energi adalah properti fisika dari suatu objek, dapat berpindah melalui interaksi fundamental, yang dapat diubah bentuknya namun tak dapat diciptakan maupun dimusnahkan.
Enzim	Enzim adalah biomolekul berupa protein yang berfungsi sebagai katalis (senyawa yang mempercepat proses reaksi tanpa habis bereaksi) dalam suatu reaksi kimia organik.
Filamen	Filamen adalah benda yang berbentuk seperti benang yang tipis.
Flavonoid	Senyawa yang memiliki banyak manfaat, termasuk sebagai antioksidan untuk melawan radikal bebas.
Fosil	Fosil adalah sisa-sisa atau bekas-bekas makhluk hidup yang menjadi batu atau mineral. Untuk menjadi fosil, sisa-sisa hewan atau tanaman ini harus segera tertutup sedimen.
Fotosintesis	Fotosintesis adalah suatu proses biokimia pembentukan karbohidrat dari bahan anorganik yang dilakukan oleh tumbuhan, terutama tumbuhan yang mengandung zat hijau daun, yaitu klorofil.
Gelombang mikro	Gelombang elektromagnetik dengan frekuensi super tinggi (Super High Frequency, SHF), yaitu berada di atas 3 GHz.

Karbohidrat	Karbohidrat adalah biomolekul yang terdiri dari atom karbon (C), hydrogen (H), dan oksigen (O), biasanya dengan perbandingan atom hidrogen–oksigen 2:1 (seperti pada molekul air) dan rumus empiris $C_m(H_2O)_n$ (dengan m bisa saja sama atau berbeda dengan n).
Karotenoid	Karotenoid adalah pigmen organik yang ditemukan dalam kloroplas dan kromoplas tumbuhan dan kelompok organisme lainnya seperti alga (“ganggang”), sejumlah bakteri (fotosintetik maupun tidak), dan beberapa fungi (non-fotosintetik).
Keton	Keton bisa berarti gugus fungsi yang dikarakterisasikan oleh sebuah gugus fungsi karbonil ($O=C$) yang terhubung dengan dua atom karbon ataupun senyawa kimia yang mengandung gugus karbonil.
Kinetika kimia	Kinetika kimia atau kinetika reaksi mempelajari laju reaksi dalam suatu reaksi kimia.
Klorofil	Klorofil adalah pigmen yang dimiliki oleh berbagai organisme dan menjadi salah satu molekul berperan utama dalam fotosintesis.
Konversi	Konversi adalah perubahan dari satu sistem pengetahuan ke sistem yang lain.
Kultivasi	Kultivasi adalah pengolahan lahan dan pengerjaan lahan pertanian.

Lipid	Lipid adalah kelompok molekul alami yang meliputi lemak, lilin, sterol, vitamin yang larut dalam lemak (seperti vitamin A, D, E, dan K), monogliserida, digliserida, trigliserida, fosfolipid, dan lain-lain.
Microwave	Microwave adalah jenis oven yang menggunakan radiasi gelombang mikro untuk memanaskan makanan, biasanya memiliki frekuensi 2.450 MHz dan panjang gelombang sekitar 12,24 cm.
Mikroalga	Mikroalga adalah organisme tumbuhan paling primitif berukuran seluler yang umumnya dikenal dengan sebutan nama fitoplankton.
Mikroorganisme	Mikroorganisme atau mikroba adalah organisme yang berukuran sangat kecil sehingga untuk mengamatnya diperlukan alat bantuan.
Mikroskopik	Mikroskopis adalah sifat ukuran yang sangat kecil dan tidak dapat dilihat dengan mata telanjang sehingga diperlukan mikroskop untuk dapat melihatnya dengan jelas.
Nutrien	Nutrien adalah substansi biokimia yang digunakan tubuh dan harus diperoleh dengan jumlah yang adekuat (memenuhi syarat) dari makanan yang kita makan.
Organisme	Organisme adalah produsen primer perairan yang mampu berfotosintesis layaknya tumbuhan tingkat tinggi lainnya.
Pektin	Pektin adalah segolongan polimer heterosakarida yang diperoleh dari dinding sel tumbuhan darat.

Pelarut	Pelarut adalah suatu zat yang melarutkan zat terlarut (cairan, padat atau gas yang berbeda secara kimiawi), menghasilkan suatu larutan.
Peptida	Peptida adalah molekul yang terbentuk dari dua atau lebih asam amino.
Plankton	Plankton adalah salah satu organisme hanyut apapun yang hidup dalam zona pelagik (bagian atas) samudera, laut, dan badan air tawar.
Polimer	Polimer adalah rantai berulang dari atom yang panjang, terbentuk dari pengikat yang berupa molekul identik yang disebut monomer.
Racun	Racun adalah zat padat, cair, atau gas, yang dapat mengganggu proses kehidupan sel suatu organisme.
Radiasi	Radiasi adalah proses di mana energi bergerak tanpa melalui media atau melalui ruang, dan akhirnya diserap oleh benda lain.
Regresi	Analisis regresi adalah salah satu metode untuk menentukan hubungan sebab-akibat antara satu variabel dengan variable yang lain.
Rendemen atau yield	Rendemen atau yield adalah keuntungan atau kelebihan dalam pendapatan suatu reaksi.
Solute	Solute adalah zat terlarut.
Ekstraksi soxhlet	Ekstraksi soxhlet adalah metode ekstraksi padat-cair yang sering digunakan di laboratorium sintetik atau analitik dan diperlukan bila senyawa yang diinginkan hanya menunjukkan kelarutan terbatas dalam pelarut, dan pengotornya tidak larut dalam pelarut tersebut.

Spirulina

Spirulina adalah suplemen herba yang mengandung beragam vitamin, mineral, dan antioksidan yang baik untuk kesehatan tubuh.

INDEKS

A

aerasi 6, 8, 63
aldehid 11, 63
antioksidan 6, 14, 36, 42, 43

B

Bacillariophyceae 6
bahan bakar 1, 2, 3, 6
bathylankton 6
bensin 2
betakarotein 17
biodiesel 1, 2, 3, 46, 47, 51
bioetanol 1, 2, 3, 14, 47, 51
Bioetanol 2, 46

C

Chlorella i, iii, v, 1, 2, 3, 6, 8, 9,
10, 11, 12, 13, 14, 19, 20,
21, 22, 24, 31, 33, 34, 35,
36, 37, 38, 45, 46, 47, 48,
49, 50, 51, 52, 53, 54, 55,
56
Chlorella sp 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12,
13, 14, 19, 20, 21, 22, 24,
31, 34, 35, 36, 37, 38, 45,
46, 52
Chlorella vulgaris 6, 13, 53
Chlorophyceae 6, 10
Chrysophyceae 6
close open culture 13, 14

Conventional Solvent Extraction
19

Conventional solvent extraction
(CSE) 2
conventional solvent extraction,
fluidized bed extraction 12

Cyanobacteria 6
Cyanophyceae 6, 15
Cyanophysin 15

D

Distilasi 23

E

ekstraksi v, 3, 12, 19, 20, 21, 22,
23, 24, 25, 26, 27, 28, 31,
32, 34, 35, 36, 37, 38, 39,
41, 42, 43, 45, 51, 52
energi alternatif 1
energi elektromagnetik 26
Energi fosil 1
ephiplankton 6

F

fitoplankton 10
flavonoid 43
Fluidized Bed Extraction (FBE)
3, 20
fotosintesis 8, 9
fotosintetik 1

furan 11

G

gelombang mikro 25, 26, 27, 55

glikogen 6

glukosa 2, 11, 12, 19, 20, 21, 22,
32, 33, 37, 38, 51

H

haloplankton 6

heating mantle 23

hemiselulosa 6, 12

hypoplankton 6

I

Intensitas cahaya 7

K

karbohidrat v, 1, 3, 6, 11, 12, 14,
17, 19, 21, 22, 31, 34, 35,
36, 38, 45

keton 11

kinetika kimia 3

konvensional 24, 27

kultivasi 6, 7, 8, 49

kultivasi mikroalga 6, 8

L

laju reaksi 3

limnoplankton 6

lipid v, 1, 2, 3, 11, 17, 22, 23,
24, 25, 26, 27, 29, 32, 39,
41, 42, 43, 45

M

makronutrien 8

maserasi 2, 24

mesoplankton 6

metabolisme 13

Microwave Asisted Extraction

(MAE) 3

microwave oven 23, 24, 27, 28,
39

mikroalga v, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8,
12, 13, 14, 15, 16, 17, 22,
23, 24, 25, 26, 27, 28, 32,
47, 49, 51, 52, 54

Mikroalga i, iii, v, 1, 5, 6, 9, 12,
15, 19, 24, 25, 26, 27, 28,
46, 47, 48, 50, 52, 54

mikroorganisme 1

N

nontoksik 16

O

open pond culture 13

organisme 8, 10

P

pati 1, 6

pelarut 2, 3, 20, 23, 24, 27, 29,
31, 32, 39, 41, 43, 45

pelarut organik 2

pikosianin 17

piran 11

polisakarida 11, 12

protista 8

R

radiasi 25, 26, 27, 29

rendemen 2, 24, 25, 27, 28

Rendemen 24, 28

S

selulosa 6, 10, 12

solven 2

soxhlet 2

Soxhlet 22, 46

Spirulina v, 1, 2, 3, 14, 15, 16,
17, 22, 23, 24, 25, 26, 27,
28, 39, 41, 42, 43, 45, 48,
49, 50, 53

Spirulina platensis 14, 15, 16, 17,
22, 23, 24, 25, 26, 27, 28,
41, 42, 43, 45

T

Transfer massa 32

U

ultrasonic assisted extraction 12

unisellular 10

V

vortex mixer 19

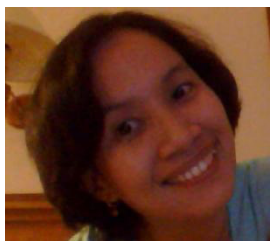
Y

Yield 19, 21, 22, 25, 26, 27, 28

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS



Astrilia Damayanti, lahir di Semarang 8 September 1973. Lulus sebagai sarjana teknik kimia dari Universitas Diponegoro, tahun 1996. Tahun 1998 mengajar di Universitas Muhammadiyah Semarang (Unimus) dan Universitas Pandanaran (Unpand). Penulis melanjutkan pendidikan magister di Institut Teknologi Bandung 2002 dan lulus tahun 2005, serta memperoleh gelar doktor tahun 2018 dari Universitas Gadjah Mada. Tahun 2021 memperoleh gelar insinyur dari Universitas Diponegoro. Mulai April 2006 hingga saat ini aktif sebagai staf pengajar di Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.



Megawati, lahir di Kediri 06 November 1972. Lulus sebagai sarjana teknik kimia dari Institut Teknologi Sepuluh November di Surabaya, tahun 1996. Sejak tahun 1996 menjadi *engineer* di PT Aweco Perkasa, selama 6 tahun. Tahun 2004, ia memperoleh gelar magister teknik dari Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jurusan Teknik Kimia. Mulai tahun 2006 hingga saat ini aktif sebagai staf pengajar di Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang. Tahun 2011, ia memperoleh gelar doktor dari Universitas Gadjah Mada.

Buku monograf ini merupakan hasil penelitian selama dua tahun (2019-2020) di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang (UNNES)

Keterbatasan energi fosil mendorong upaya mengembangkan energi alternatif terbarukan dan ramah lingkungan, diantaranya Bioetanol. Bioetanol dari mikroalga merupakan sumber energi yang menjanjikan dan menguntungkan meskipun energinya hanya 66% daripada bensin tetapi bioetanol memiliki angka oktan (106-110) lebih tinggi daripada bensin (91-96), sehingga mampu meningkatkan kinerja mesin ketika menggunakan bahan bakar campuran tersebut. Sementara itu, keuntungan biodiesel dari mikroalga adalah tidak akan mengganggu stok pangan.

Pengambilan glukosa pada *Chlorella* sp. dan *Spirulina* dilakukan menggunakan proses ekstraksi dengan metode konvensional dan modern. Fluidized Bed Extraction (FBE) dilakukan di dalam reaktor terfluidasi dengan laju aliran udara yang tinggi. Perlakuan *Chlorella* sp. dimulai dari pencucian sampel lalu aerasi dengan penambahan udara ke dalam reaktor dengan perbedaan waktu. Ekstraksi lipid *Spirulina platensis* menggunakan MAE dimana serbuk mikroalga dimasukkan ke dalam ekstraktor kaca dalam Microwave dan ditambahkan pelarut etanol lalu dipompa dialirkan air pendingin pada kondensor. Daya Microwave oven bervariasi (100, 180, dan 300 W) dengan waktu bervariasi (1, 2, 3, 4, dan 5 menit).

Namun, belum ada informasi seberapa cepat proses ekstraksi, berapa besar perubahan konsentrasi reaktan (atau produk) sebagai fungsi dari waktu, dan bagaimana mekanisme reaksi tersebut. Oleh karena itu, melalui studi kinetika kimia maka laju reaksi secara kuantitatif dan mekanisme reaksi dari ekstraksi lipid pada *Spirulina* dan karbohidrat *Chlorella* dapat diketahui sehingga informasi tersebut bisa digunakan sebagai dasar perancangan reaktor.

Ekstraksi karbohidrat pada *Chlorella* sp. menggunakan metode CSE dan FBE mengikuti kinetika reaksi order 2, dimana kapasitas ekstraksi akan meningkat jika daya microwave oven ditinggikan karena kemampuan pelarut akan optimal pada daya tinggi.

Kinetika reaksi ekstraksi lipid pada *Spirulina platensis* menggunakan order 1, dimana diketahui kecepatan ekstraksi dan kapasitas ekstraksi meningkat sebanding dengan meningkatnya daya yang digunakan.

Hasil menunjukkan bahwa Nilai konstanta laju ekstraksi (k_e) (L/mg/min) dan kapasitas ekstraksi (C_s) (mg/L) pada model kinetika order 2 untuk CSE adalah 32,899 dan 0,001907. Sementara, untuk FBE adalah 6,8762 dan 0,004735. Adapun Nilai konstanta laju ekstraksi (k_e) (L/mg/min) dan kapasitas ekstraksi (C_s) (mg/L) pada model kinetika order 1 dengan kondisi operasi (berat bahan = 30 g, volume pelarut = 100 mL) untuk masing-masing daya 100, 180, dan 300 W adalah 0,067708 dan 0,040983; 0,114229 dan 0,042993; serta 0,165586 dan 0,043222.