

Skripsi

**FORMULASI MIKROKAPSUL MIKROALGA *Dunaliella salina*
MENGUNAKAN KOMBINASI BAHAN PENYALUT
MALTODEKSTRIN DAN GUM ARAB SEBAGAI SUMBER OMEGA-3
PADA FORTIFIKASI *COOKIES* BAGEA SAGU**

ATHALA KEVIN B.G. MATURBONGS

H031 18 1309



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

**FORMULASI MIKROKAPSUL MIKROALGA *Dunaliella salina*
MENGUNAKAN KOMBINASI BAHAN PENYALUT
MALTODEKSTRIN DAN GUM ARAB SEBAGAI SUMBER OMEGA-3
PADA FORTIFIKASI *COOKIES* BAGEA SAGU**

*Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana sains*

Oleh:

ATHALA KEVIN B.G. MATURBONGS

H031 18 1309



MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**FORMULASI MIKROKAPSUL MIKROALGA *Dunaliella salina*
MENGUNAKAN KOMBINASI BAHAN PENYALUT
MALTODEKSTRIN DAN GUM ARAB SEBAGAI SUMBER OMEGA-3
PADA FORTIFIKASI *COOKIES* BAGEA SAGU**

Disusun dan diajukan oleh

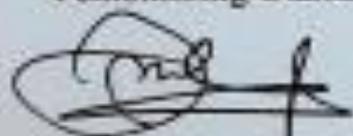
ATHALA KEVIN B.G. MATURBONGS

H031 18 1309

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Sidang Sarjana Program Studi
Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Pada 13 Juli 2022
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

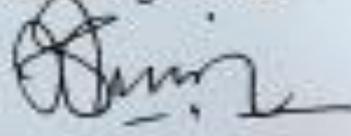
Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Indah Raya, M.Si
NIP. 19641125 199002 2 001

Pembimbing Pertama



Dr. Hasnah Natsir, M.Si
NIP. 19620320 198711 2 001

Ketua Program Studi




Dr. Abdul Karim, M.Si
NIP. 19620710 198803 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Athala Kevin B.G. Maturbongs
NIM : H031181309
Program Studi : Kimia
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa Skripsi dengan judul "Formulasi Mikrokapsul Mikroalga *Dunaliella salina* Menggunakan Kombinasi Bahan Penyalut Maltodekstrin dan Gum Arab sebagai Sumber Omega-3 pada Fortifikasi Cookies Bagea Sagu" adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 13 Juli 2022

Yang Menyatakan,



Athala Kevin B.G. Maturbongs

LEMBAR PERSEMBAHAN

こ
の
・
ケ
ヴ
イ
ン
に
は
夢
が
あ
る
。

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkat, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Formulasi Mikrokapsul Mikroalga *Dunaliella salina* Menggunakan Kombinasi Bahan Penyalut Maltodekstrin dan Gum Arab sebagai Sumber Omega-3 pada Fortifikasi Cookies Bagea Sagu”** sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana.

Shalawat serta salam penulis kirimkan kepada Rasulullah SAW yang telah memberikan tauladan dalam menjalani kehidupan di dunia dan akhirat. Penyusunan skripsi ini memiliki banyak hambatan serta rintangan yang dihadapi penulis, namun pada akhirnya penulis dapat melaluinya berkat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan dan penyelesaian skripsi ini.

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Nenek, Ayahanda, dan Ibunda penulis **Wa Ode Salwiah, J. Robert Maturbongs, S.T, M.T,** dan **Sri Retno Damayanti, S.T, M.Si** yang telah memberi semangat dan dukungan secara finansial maupun non finansial kepada penulis. Terima kasih pula penulis kepada adik penulis **Winona Raissa B.S. Maturbongs** yang turut membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT selalu memberikan perlindungan sekaligus melimpahkan rahmat-Nya kepada mereka semua, aamiin.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibunda **Dr. Indah Raya, M.Si** selaku pembimbing utama dan Ibunda **Dr. Hasnah Natsir, M.Si** selaku pembimbing pertama yang senantiasa meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam membimbing dan mengarahkan penulis dalam penyelesaian skripsi.

Penulis juga mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Ketua dan Sekretaris Departemen Kimia, Ayahanda **Dr. Abdul Karim, M.Si** dan Ibunda **Dr. St Fauziah, M.Si** serta seluruh Dosen Kimia yang telah memberikan ilmunya kepada penulis dan Staf Departemen Kimia yang telah banyak membantu penulis.
2. Tim Penguji Ujian Sarjana Kimia, **Prof. Dr. Nunuk Hariani, MS** (Ketua), **Dr. Djabal Nur Basir, S.Si, M.Si** (Sekretaris), **Dr. Indah Raya, M.Si** (Ex Officio), **Dr. Hasnah Natsir, M.Si** (Ex Officio), dan **Dr. Nur Umriani Permatasari, S.Si, M.Si** (Koordinator Seminar). Terima kasih atas bimbingan dan saran-saran yang diberikan kepada penulis selama menyusun skripsi ini.
3. Seluruh analis Laboratorium terkhusus **Pak Sugeng** dan **Kak Hana** yang telah membantu penulis selama penelitian.
4. Rekan-rekan penelitian di Laboratorium Kimia Anorganik, terkhusus **Fito Gang**. Terima kasih kepada **Febriyanti Pratiwi, Winda Sari**, dan **Yindriani Moghuri** atas kerja samanya selama penelitian.
5. Teman-teman **MIPA 2018, Kimia Unhas 2018, H18ridisasi**, dan **KMK FMIPA Unhas** yang telah memberikan pengalaman yang luar biasa, dan kanda-kanda angkatan **2015, 2016, 2017** dan adik-adik angkatan **2019, 2020, dan 2021**.
6. Teman-teman **UKM KPI Unhas** dan **UKM Renang Unhas** yang menyemangati, menghibur, dan menemani dalam penyelesaian skripsi.
7. Teman-teman **PKM-RE Porang** yakni **Andi Husnul Khatimah, Mega Karunia Sari**, dan **Nurul Sakinah**, terima kasih untuk medali perunggunya.
8. **Anhar Aswan** dan **Ravi Fajrin** sebagai teman nongkrong tiga serangkai, yang selalu menemani penulis dalam penyelesaian skripsi.
9. Teman-teman yang menyempatkan diri untuk membantu penulis, **Fabriani Sabir, Marlina, Hirawati, Fatriani, Maghfirah Sulaiman**, dan **Rindiani**.

10. **Muh. Aswad Ashan, S.P** dan **Farhan Gemilang Sukmana, A.Md.Ak** yang telah penulis anggap sebagai saudara sendiri, terima kasih telah mendengar keluh kesah penulis Terima kasih juga atas sarannya untuk menyelesaikan skripsi, serta telah merawat penulis saat sakit. Mohon maaf selama ini penulis selalu merepotkan.
11. Teman-teman **Majelis Jomblo Classic (Faris, Ijlal, Adnan, Fauzan, Taufiq, Firman, Idzhar, dan Wahyu)** sebagai teman seperjuangan sejak SMA. Terima kasih atas pengalaman uniknya.
12. Teman-teman **Angkoters (Hamra, Evi, Nasya, Qiyaah, Dilla, Icing, Dian, Stefi, dan Tri)** sebagai teman angkot yang terlalu ambis.
13. **Eiichiro Oda, Hirohiko Araki, Masashi Kishimoto, dan Tite Kubo**, terima kasih atas karya beliau-beliau yang telah menghibur penulis dari penyusunan hingga penyelesaian skripsi ini.
14. **One Piece** sebagai serial anime yang setia menghibur hingga hari ini, walaupun serial ini lebih dulu dimulai tapi skripsi penulis yang lebih dulu “tamat”.
15. **Edward Newgate** sebagai karakter anime favorit penulis yang mengajarkan penulis bahwa “*One piece wa jitsuzai suru*”.
16. Semua pihak yang telah banyak membantu penulis selama menyelesaikan penelitian, terima kasih.

Penulis sadar bahwa masih banyak kekurangan dalam tulisan ini, maka penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dalam perbaikan dan penyempurnaannya. Akhir kata penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Makassar, 13 Juli 2022
Penulis,

Athala Kevin B.G. Maturbongs

ABSTRAK

Mikroalga merupakan mikroorganisme bersel tunggal yang memiliki nilai gizi tinggi sehingga dapat digunakan dalam meningkatkan nilai gizi makanan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kandungan omega-3 yakni DHA dan EPA dari mikroalga *Dunaliella salina* dan membuat formula mikrokapsul *Dunaliella salina* menggunakan metode *spray drying* dan dianalisis morfologinya menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM). Formula mikrokapsul dengan kualitas penyalutan terbaik kemudian digunakan sebagai bahan fortifikasi dalam pembuatan *cookies* bagea sagu. *Cookies* yang telah dibuat kemudian dianalisis karakteristiknya dan kadar DHA dan EPA-nya. Formula *Cookies* bagea sagu menunjukkan peningkatan kadar DHA dan EPA seiring dengan penambahan konsentrasi mikrokapsul *Dunaliella salina* dari 4,705-9,055 mg/g untuk kadar DHA dan 15,180-23,180 mg/g untuk kadar EPA. Penambahan mikrokapsul juga mempengaruhi nilai gizi *cookies* bagea sagu, yakni meningkatkan kadar air, abu, lemak, serat kasar, protein, dan kalori total, namun menurunkan kadar karbohidrat *cookies* bagea sagu. Hasil uji organoleptik *cookies* bagea sagu menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi mikrokapsul *Dunaliella salina* pada *cookies* bagea sagu tidak berpengaruh nyata terhadap daya terima panelis.

Kata kunci: *Cookies* bagea sagu, DHA, EPA, Mikrokapsul, *Dunaliella salina*

ABSTRACT

Microalgae are single-celled microorganisms that have high nutritional value that can be used to increase the nutritional value of foods. This study aimed to determine the DHA and EPA content of the microalgae *Dunaliella salina* and to formulate *Dunaliella salina* microcapsules by using the spray drying method and analyzed the morphology by using Scanning Electron Microscope (SEM) instrument. Microcapsule formula with the best coating quality, then will be used as a fortification material in the production of bagea sago cookies. Cookies that have been made are then analyzed for their characteristics and levels of DHA and EPA. Bagea sago cookies showed an increase on DHA and EPA content based on the increase of *Dunaliella salina* microcapsules from 4,705-9,055 mg/g for DHA content and 15,180-23,180 mg/g for EPA content. The addition of microcapsule also affected the nutrition value of bagea sago cookies, that is increasing the content of moisture, ash, fat, crude fiber, protein, and total calories, but decreasing the carbohydrate content of bagea sago cookies. The organoleptic test showed that the addition of *Dunaliella salina* microcapsule on bagea sago cookies did not really affect the acceptability rate of the panelists.

Keywords: Bagea sago cookies, DHA, EPA, Microcapsule, *Dunaliella salina*

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	5
1.3.1 Maksud Penelitian.....	5
1.3.2 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Mikroalga sebagai Pangan Fungsional.....	6
2.2 Tinjauan Umum <i>Dunaliella salina</i>	8
2.2.1 Fase Pertumbuhan <i>Dunaliella salina</i>	9
2.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan <i>Dunaliella Salina</i>	11
2.3 Tinjauan Umum dan Syarat Mutu Tepung Sagu.....	13
2.4 Tinjauan Umum dan Syarat Mutu <i>Cookies</i> Bagea Sagu.....	15
2.5 Mikroenkapsulasi.....	16
2.6 Bahan Penyalut.....	17

2.6.1 Jenis-Jenis Penyalut	18
2.6.2 Maltodekstrin	18
2.6.3 Gum Arab.....	20
2.6.4 Kombinasi Maltodekstrin dan Gum Arab sebagai Penyalut Mikroalga	21
2.7 Proses Pengeringan Semprot (<i>Spray Drying</i>)	21
2.8 Omega-3.....	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	24
3.1 Bahan Penelitian.....	24
3.2 Alat Penelitian.....	24
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	24
3.4 Prosedur Penelitian.....	25
3.4.1 Pembuatan Medium Conway	25
3.4.2 Kultivasi Mikroalga Laut	25
3.4.3 Pemanenan Biomassa Mikroalga	25
3.5 Penentuan Kurva Kalibrasi Standar DHA dan EPA	26
3.6 Ekstraksi dan Analisis DHA dan EPA Mikroalga	26
3.7 Formulasi Mikrokapsul Mikroalga Melalui Proses <i>Spray Drying</i>	27
3.8 Pembuatan <i>Cookies</i> Bagea Sagu Mikroalga <i>Dunaliella salina</i>	27
3.9 Analisis Proksimat <i>Cookies</i> Bagea Sagu.....	28
3.9.1 Analisis Kadar Air.....	28
3.9.2 Analisis Kadar Abu	29
3.9.3 Analisis Kadar Protein (Metode Kjeldahl).....	29
3.9.4 Analisis Kadar Lemak.....	30
3.9.5 Penentuan Kadar Karbohidrat (<i>by Difference</i>).....	31
3.9.6 Penentuan Nilai Energi/Kalori Makanan	31
3.9.7 Penentuan Kadar Serat Kasar	31

3.10 Analisis Kadar DHA dan EPA <i>Cookies</i> Bagea Sagu	32
3.11 Uji Organoleptik <i>Cookies</i> Bagea Sagu Mikroalga <i>Dunaliella salina</i> .	32
3.12 Pengolahan Data Organoleptik	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Kultivasi Mikroalga <i>Dunaliella salina</i>	34
4.2 Pemanenan Biomassa Mikroalga <i>Dunaliella salina</i>	36
4.3 Ekstraksi DHA dan EPA Mikroalga <i>Dunaliella salina</i>	37
4.4 Kandungan DHA dan EPA Mikroalga <i>Dunaliella salina</i>	38
4.5 Pembuatan Mikrokapsul Mikroalga <i>Dunaliella salina</i>	39
4.6 Pembuatan <i>Cookies</i> Bagea Sagu Mikroalga <i>Dunaliella salina</i>	44
4.7 Kandungan DHA dan EPA <i>Cookies</i> Bagea Sagu <i>Dunaliella salina</i>	45
4.8 Uji Proksimat <i>Cookies</i> Bagea Sagu Mikroalga <i>Dunaliella salina</i>	47
4.8.1 Kadar Air.....	47
4.8.2 Kadar Abu	48
4.8.3 Kadar Lemak.....	49
4.8.4 Kadar Protein	51
4.8.5 Kadar Serat Kasar	52
4.8.6 Kadar Karbohidrat.....	53
4.8.7 Nilai Kalori.....	54
4.9 Uji Organoleptik <i>Cookies</i> Bagea Sagu Mikroalga <i>Dunaliella salina</i>	55
4.9.1 Warna	57
4.9.2 Rasa	58
4.9.3 Aroma.....	59
4.9.4 Tekstur.....	60
4.9.5 Analisis Daya Terima <i>Cookies</i> Bagea Sagu.....	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1 Kesimpulan	62

5.2	Saran.....	62
	DAFTAR PUSTAKA	63
	LAMPIRAN.....	75

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
1	Jenis Mikroalga yang Berpotensi untuk Pangan	7
2	Syarat Mutu Tepung Sagu menurut SNI 3729:2008.....	14
3	Syarat Mutu Cookies menurut SNI 2973:2018.....	16
4	Jenis Bahan Penyalut dalam Proses Mikroenkapsulasi.....	18
5	Komposisi Formulasi Mikrokapsul.....	27
6	Komposisi Pembuatan Cookies Bagea Sagu.....	28
7	Skala Penilaian Uji Organoleptik.....	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1 Mikroalga <i>Dunaliella salina</i>	8
2 Kurva Pertumbuhan Mikroalga.....	11
3 <i>Cookies</i> Bagea Sagu	15
4 Struktur Kimia Maltodekstrin	19
5 Struktur Kimia Gum Arab.....	20
6 Struktur kimia DHA dan EPA.....	23
7 Kultivasi Mikroalga <i>D. salina</i> , Hari Ke-1, Hari Ke-3, dan Hari Ke-12....	34
8 Grafik Hasil Analisis Kadar DHA dan EPA mikroalga <i>D. salina</i>	39
9 Morfologi Mikrokapsul <i>Dunaliella salina</i> , Kontrol (10.000x); Kontrol (1.300x); F1 (10.000x); F1 (1.300x); F2 (10.000x); F2 (1.300x); F3 (10.000x); F3 (1.300x); F4 (10.000x); F4 (1.300x); F5 (10.000x); F5 (1.300x)	41
10 Karakteristik <i>Cookies</i> Bagea Sagu, <i>Cookies</i> Kontrol, <i>Cookies</i> D1 (MDS 10%), <i>Cookies</i> D2 (MDS 20%), dan <i>Cookies</i> D3 (MDS 30%)....	44
11 Kadar DHA dan EPA <i>Cookies</i> Bagea Sagu, <i>Cookies</i> Kontrol, <i>Cookies</i> D1 (MDS 10%), <i>Cookies</i> D2 (MDS 20%), dan <i>Cookies</i> D3 (MDS 30%).....	45
12 Hasil Uji Kadar Air <i>Cookies</i> Bagea Sagu, <i>Cookies</i> Kontrol, <i>Cookies</i> D1 (MDS 10%), <i>Cookies</i> D2 (MDS 20%), dan <i>Cookies</i> D3 (MDS 30%).....	48
13 Hasil Uji Kadar Abu <i>Cookies</i> Bagea Sagu, <i>Cookies</i> Kontrol, <i>Cookies</i> D1 (MDS 10%), <i>Cookies</i> D2 (MDS 20%), dan <i>Cookies</i> D3 (MDS 30%).....	49
14 Hasil Uji Kadar Lemak <i>Cookies</i> Bagea Sagu, <i>Cookies</i> Kontrol, <i>Cookies</i> D1 (MDS 10%), <i>Cookies</i> D2 (MDS 20%), dan <i>Cookies</i> D3 (MDS 30%).....	50
15 Hasil Uji Kadar Protein <i>Cookies</i> Bagea Sagu, <i>Cookies</i> Kontrol, <i>Cookies</i> D1 (MDS 10%), <i>Cookies</i> D2 (MDS 20%), dan <i>Cookies</i> D3 (MDS 30%).....	51
16 Hasil Uji Kadar Serat Kasar <i>Cookies</i> Bagea Sagu, <i>Cookies</i> Kontrol, <i>Cookies</i> D1 (MDS 10%), <i>Cookies</i> D2 (MDS 20%), dan <i>Cookies</i> D3 (MDS 30%)	52

- 17 Kadar Karbohidrat *Cookies* Bagea Sagu, *Cookies* Kontrol, *Cookies* D1 (MDS 10%), *Cookies* D2 (MDS 20%), dan *Cookies* D3 (MDS 30%)..... 53
- 18 Nilai Kalori *Cookies* Bagea Sagu, Kontrol, *Cookies* D1 (MDS 10%), *Cookies* D2 (MDS 20%), dan *Cookies* D3 (MDS 30%) 54
- 19 Hasil Uji Organoleptik *Cookies* Bagea Sagu, *Cookies* Kontrol, *Cookies* D1 (MDS 10%), *Cookies* D2 (MDS 20%), dan *Cookies* D3 (MDS 30%)..... 56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1 Komposisi Medium Conway.....	75
2 Bagan Kerja.....	76
3 Data Nilai Absorbansi DHA dan EPA.....	83
4 Persentase Perolehan Biomassa Basah Mikroalga <i>D. salina</i>	85
5 Data Perhitungan Penentuan Kadar DHA dan EPA	86
6 Perhitungan Jumlah Konsumsi <i>Cookies</i> Bagea Sagu <i>D. salina</i> untuk Pemenuhan Kebutuhan DHA+EPA pada Orang Dewasa.....	90
7 Data Hasil Analisis Proksimat <i>Cookies</i> Bagea Sagu.....	92
8 Data Perhitungan Penentuan Kadar Karbohidrat dan Nilai Kalori	93
9 Hasil Uji <i>One Way</i> ANOVA dan Uji Lanjut Duncan	95
10 Formulir Panelis Uji Organoleptik <i>Cookies</i> Bagea Sagu.....	96
11 Data Hasil Uji Organoleptik <i>Cookies</i> Bagea Sagu.....	97
12 Perhitungan Daya Terima Panelis.....	98
13 Dokumentasi Kegiatan Penelitian	99

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol/singkatan	Arti
AA	<i>Arachidonic Acid</i>
ALA	<i>Alpha-Linolenic Acid</i>
AOAC	<i>Association of Official Agricultural Chemists</i>
APM/g	Angka Paling Mungkin per gram
CCAP	<i>Culture Collection of Algae and Protozoa</i>
DE	<i>Dekstrosa Equivalen</i>
DHA	<i>Docosahexanoic Acid</i>
EPA	<i>Eicosapentanoic Acid</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
GA	Gum Arab
ISSFAL	<i>International Society for the Study of Fatty Acids and Lipids</i>
kHz	Kilohertz
koloni/g	Koloni per gram
MD	Maltodekstrin
MDS	Mikrokapsul <i>Dunaliella salina</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LDL	<i>Low Density Lipoprotein</i>
MGP	Mutu Gizi Pangan
PMT	Pemberian Makanan Tambahan
PP	<i>Phenolphthalein/Fenolftalein</i>
PUFAs	<i>Polyunsaturated Fatty Acids</i>
SAM	<i>Severe Acute Malnutrition</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscope</i>
SNI	Standar Nasional Indonesia
SSGBI	Studi Status Gizi Balita di Indonesia
UNICEF	<i>United Nations International Children's Emergency Fund</i>
Uv-Vis	<i>Ultraviolet-Visible</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gizi merupakan faktor determinan utama yang berhubungan dengan kualitas sumber daya manusia (Sartika, 2010). Asupan zat gizi melalui makanan dan hidup sehat menentukan pertumbuhan dan perkembangan di masa yang akan datang (Azmy dan Mundiastuti, 2018). Status gizi adalah indikator kesehatan yang penting dimana usia balita merupakan kelompok yang sangat rentan terhadap permasalahan gizi terutama tubuh pendek (*stunting*) yang merupakan kondisi gagal tumbuh pada anak balita karena kurangnya gizi yang bersifat kronis sehingga tinggi badan kurang pada usainya (Wardita dkk., 2021).

Masalah kekurangan gizi sering mendapatkan perhatian di sebagian negara berkembang meliputi berat badan kurang (*underweight*), tubuh pendek (*stunting*), tubuh kurus (*wasting*), dan defisiensi mikronutrien (Maulina, 2021). Kondisi status gizi buruk merupakan kejadian malnutrisi akut yang secara tidak langsung dapat meningkatkan kematian pada bayi (Chabibah dkk., 2021). Risiko jangka pendek akibat kekurangan gizi yaitu bertambahnya morbiditas dan mortalitas, gangguan perkembangan, meningkatnya beban perawatan, dan pengobatan sedangkan risiko jangka panjang dapat mengakibatkan terganggunya kesehatan reproduksi, konsentrasi belajar, dan produktivitas kerja menurun (Adam dkk., 2021).

Studi Status Gizi Balita di Indonesia (SSGBI) (2019) telah menganalisis prevalensi status gizi balita pada tiga indikator yakni prevalensi *wasting*, *stunting*, dan *underweight* (Sudikno dkk., 2019). Berdasarkan hasil analisis, diperoleh data prevalensi *wasting* sebesar 7,4%, prevalensi *stunting* sebesar 27,3%, dan prevalensi *underweight* sebesar 16,1%. Data tersebut menunjukkan bahwa situasi masalah gizi di Indonesia telah melampaui ambang batas prevalensi yang telah ditetapkan oleh WHO, yakni *wasting* <5%, *stunting* <20%, dan *underweight* <10% (Boli, 2020).

Perhitungan mengenai tingkat kecukupan zat gizi yang dilakukan oleh Prasetyo dkk. (2013), memperoleh hasil bahwa nilai mutu gizi konsumsi pangan (MGP) dari seluruh zat gizi yang dikonsumsi oleh subjek masih rendah pada pemenuhan energi, protein, karbohidrat, lemak, vitamin A, vitamin B₁, vitamin B₉, vitamin B₁₂, vitamin C, kalsium, fosfor, besi, dan seng dengan persentase 33,3%. Wong dkk. (2014) dalam Lestari (2016) menyatakan bahwa masalah gizi kurang pada balita secara langsung disebabkan oleh anak yang tidak mendapatkan cukup asupan makanan yang mengandung gizi seimbang.

Kekurangan konsumsi zat gizi makro seperti energi, protein, maupun zat gizi mikro seperti zat besi terutama pada masa pertumbuhan akan mengganggu proses pertumbuhan anak yang dapat berdampak pada *stunting* (Kusdalina dan Suryani, 2021). Selain itu, zat gizi yang berperan vital dalam proses tumbuh kembang sel-sel neuron otak untuk bekal kecerdasan bayi yang dilahirkan adalah asam lemak. Asam lemak tersebut terdiri dari asam lemak esensial (omega-3, EPA, DHA, omega-6, AA) dan asam lemak non esensial (omega-9) (Diana, 2012).

Pencegahan kekurangan gizi dapat dilakukan dengan melakukan suplementasi, perubahan diet, dan fortifikasi. Selain itu, Pemberian Makanan Tambahan (PMT) pada balita gizi kurang juga menjadi salah satu upaya pencegahan dan perbaikan kekurangan gizi. PMT akan lebih baik bila berasal dari campuran pangan lokal dengan fortifikasi atau suplementasi agar dapat memenuhi kecukupan gizi bagi balita gizi kurang (Sugiharto dan Ayustaningwarno, 2014). Fortifikasi diutamakan pada bahan pangan lokal karena tersedia secara berlimpah dan dikonsumsi secara berkelanjutan untuk memperbaiki pemenuhan kebutuhan gizi, terutama pada kelompok berisiko seperti balita dan anak usia sekolah (Permatasari dkk., 2021). Mikroalga *Dunaliella salina* merupakan sumber yang baik untuk diaplikasikan pada bahan melalui fortifikasi pangan.

Pemanfaatan mikroalga *Dunaliella salina* sebagai bahan fortifikasi pangan dapat diaplikasikan dalam bentuk serbuk, tablet, kapsul, minuman kaleng, permen, dan bahan campuran yang ditambahkan pada makanan lainnya seperti mie instan dan komoditas utama lain untuk meningkatkan nilai gizi dalam kehidupan di masyarakat (Novianti, 2019). Mikroalga *Dunaliella salina* mengandung protein sebanyak 57%, karbohidrat sebanyak 32%, dan lipid sebanyak 6% pada berat keringnya (Becker, 2007). Menurut Kratzer dan Murkovic (2021), *Dunaliella salina* mengandung DHA dan EPA pada rentang 17-45% dari kandungan lipidnya.

Asam lemak omega-3 khususnya DHA dan EPA merupakan senyawa karbon berantai panjang yang memiliki banyak ikatan rangkap dalam struktur molekulnya sehingga mudah mengalami oksidasi dan hidrolisis, sehingga dilakukan metode mikroenkapsulasi untuk menjaga kualitas DHA dan EPA agar tidak teroksidasi dan terhidrolisis (Quellet dkk., 2001). Salah satu bahan pelapis yang digunakan adalah maltodekstrin namun sifat emulsifiernya kurang baik. Salah satu bahan pelapis yang dapat dikombinasikan dengan maltodekstrin untuk menutupi kekurangannya adalah gum arab yang memiliki sifat pembentuk emulsi yang baik (Marpaung dkk., 2021).

Cookies merupakan kue kering yang renyah, tipis, datar (gepeng), dan biasanya berukuran kecil (Sumarni dkk., 2017). Pada standar industri, *cookies* adalah makanan kering yang dibuat dari adonan lunak yang mengandung bahan dasar terigu, pengembang, kadar lemak tinggi, renyah, dan apabila dipatahkan penampang teksturnya kurang padat (Sarofa dkk., 2013). *Cookies* bagea merupakan kue khas Gorontalo yang menggunakan teknik pengolahan yang masih sangat sederhana. Bahan utama *cookies* bagea terbuat dari pati, maka kandungan gizi yang terdapat pada *cookies* bagea tersebut sebagian besar adalah karbohidrat. Rasanya yang manis dengan tekstur yang renyah menyebabkan *cookies* bagea banyak disukai oleh anak-anak sampai orang dewasa (Rahman dan Naiu, 2021).

Peningkatkan kualitas *cookies* bagea baik dari segi fisik maupun kandungan gizinya dapat dilakukan dengan cara substitusi bahan pangan lain. *Cookies* dapat bersifat fungsional bila dalam proses pembuatannya ditambahkan bahan yang mempunyai aktifitas fisiologis dengan memberikan efek positif bagi kesehatan tubuh, misalnya *cookies* yang diperkaya dengan serat, kalsium, atau provitamin A (Muchtadi dan Wijaya, 1996). Penelitian mengenai *cookies* bagea sebelumnya telah dilakukan oleh Bunta dkk. (2013), dengan memformulasikan tepung tulang ikan tuna sebagai sumber kalsium dalam pembuatan *cookies* bagea.

Substitusi bahan untuk meningkatkan nilai gizi pada kue bagea juga telah dilakukan oleh Hasriani dkk. (2018), dengan melakukan substitusi tepung ubi jalar pada kue tradisional bagea sagu untuk pemenuhan nilai gizi. Selama ini, penggunaan mikroalga sebagai bahan untuk meningkatkan nilai gizi pada *cookies* bagea sagu masih belum banyak dilakukan. Berdasarkan pernyataan diatas, maka dilakukan penelitian terkait dengan formulasi mikrokapsul mikroalga *Dunaliella salina* menggunakan kombinasi bahan penyalut maltodekstrin dan gum arab sebagai sumber omega-3 pada fortifikasi *cookies* bagea sagu.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. berapa perolehan kadar DHA dan EPA dari mikroalga *Dunaliella salina* yang diekstraksi dengan metode sonikasi?
2. bagaimana morfologi mikrokapsul *Dunaliella salina* berdasarkan perbandingan konsentrasi formula kombinasi bahan penyalut maltodekstrin dan gum arab yang digunakan?
3. bagaimana karakteristik dari *cookies* bagea sagu hasil fortifikasi mikroalga *Dunaliella salina*?
4. apakah *cookies* bagea sagu yang dihasilkan dari fortifikasi mikroalga *Dunaliella salina* sesuai dengan SNI?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian adalah membuat mikrokapsul mikroalga *Dunaliella salina* dengan kombinasi bahan penyalut maltodekstrin dan gum arab sebagai sumber omega-3 pada fortifikasi *cookies* bagea sagu.

1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. menentukan kandungan dan kadar DHA dan EPA dari mikroalga *Dunaliella salina* yang diekstraksi menggunakan metode sonikasi
2. membuat formulasi mikrokapsul *Dunaliella salina* sebagai sumber gizi tambahan pada *cookies* bagea sagu.
3. menentukan karakteristik dari *cookies* bagea sagu hasil fortifikasi menggunakan mikrokapsul mikroalga *Dunaliella salina*.
4. menghasilkan prototipe *cookies* bagea sagu yang difortifikasi mikrokapsul mikroalga *Dunaliella salina* yang sesuai dengan SNI.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kandungan dan kadar DHA dan EPA dari mikroalga *Dunaliella salina*, mendapatkan formula *cookies* bagea sagu yang terfortifikasi mikrokapsul mikroalga *Dunaliella salina* sebagai sumber gizi tambahan, dan menghasilkan prototipe *cookies* bagea sagu yang terfortifikasi mikrokapsul mikroalga *Dunaliella salina* yang sesuai dengan SNI. Selain itu diharapkan pula menjadi salah satu bahan rujukan atau referensi bagi peneliti selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mikroalga sebagai Pangan Fungsional

Mikroalga atau yang lebih dikenal dengan fitoplankton, sudah mulai diperkenalkan sebagai sumber makanan sejak bertahun-tahun yang lalu, namun respon masyarakat terhadap sumber daya ini terlihat kurang antusias. Padahal mikroalga memiliki kandungan nutrisi yang sangat baik, bahkan lebih baik dibandingkan makanan yang biasa dimakan oleh masyarakat Indonesia pada umumnya (Novianti, 2019). Mikroalga termasuk tumbuhan tingkat rendah yang memiliki nilai gizi yang tinggi, bahkan bisa dikatakan melebihi nilai gizi tumbuhan maupun hewan yang umumnya dijadikan sumber pangan masyarakat. Lebih dari 70.000 spesies alga hidup di perairan seluruh dunia, baik yang uniseluler maupun multiseluler. Mikroalga dapat ditemukan di seluruh perairan, baik di perairan tawar, payau, maupun laut. Mikroalga tersebar pada zona fotik dan berperan sebagai penyumbang utama bagi produktivitas primer di laut (Erlania, 2009).

Menurut McHugh (2003) dalam Hallman (2007), diketahui bahwa sejak 4 abad yang lalu mikroalga telah dimanfaatkan sebagai bahan makanan di Jepang dan 6 abad yang lalu di Cina. Mikroalga digunakan untuk meningkatkan nilai gizi makanan, campuran bahan kosmetik, bahkan mikroalga dibudidayakan sebagai sumber asam lemak tak jenuh yang biasa ditambahkan pada susu formula bayi dan suplemen. Selain itu, pigmen dari mikroalga juga dapat digunakan sebagai bahan pewarna makanan alami. Spolaore dkk. (2006) menyebutkan bahwa nilai tambah lain yang dimiliki oleh mikroalga yaitu sebagai sumber asam lemak tak jenuh atau PUFAs (*Polyunsaturated Fatty Acids*) yang sangat potensial. Asam lemak juga dapat diperoleh dari minyak ikan, namun untuk pemanfaatan tertentu tidak cocok digunakan karena minyak ikan memiliki rasa yang kurang enak, bau amis, dan stabilitas oksidatif yang kurang bagus. Adanya kandungan PUFAs pada minyak

ikan berasal dari konsumsi mikroalga yang terdapat pada perairan oleh ikan (Spolaore dkk., 2006; Erlania, 2009). Mikroalga sebagai sumber protein maupun sebagai sumber pangan telah lama diketahui dan berdasarkan informasi serta penelitian para ahli, mikroalga yang berbasis pangan tidak memberi efek negatif bagi tubuh meski dikonsumsi secara rutin dalam jangka waktu lama maupun singkat.

Mikroalga dapat dimasukkan dalam klasifikasi pangan fungsional mengingat bahwa mikroalga dapat berfungsi sebagai penyedia sumber protein, karbohidrat, dan lemak alami yang bermanfaat dalam penyediaan energi dalam tubuh. Mikroalga juga mampu berfungsi sebagai sumber vitamin, bahkan memberikan efek penyembuh dan detoksifikasi dalam tubuh. Mikroalga dapat dijumpai di pasaran dalam bentuk tablet, kapsul, minuman kaleng, permen, dan dicampur dalam pangan lain untuk meningkatkan nilai nutrisi dan rasanya. Mikroalga yang sering dijumpai adalah dari jenis *Arthosphira*, *Chlorella*, *Dunaliella salina*, dan *Aphanizomenon flos-aquae* (Nur, 2014). Beberapa jenis mikroalga yang berpotensi sebagai pangan fungsional dapat dilihat pada Tabel 1 (Becker, 2007).

Tabel 1. Jenis Mikroalga yang Berpotensi untuk Pangan

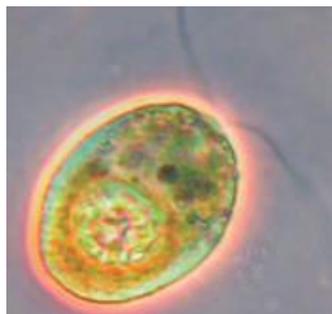
Jenis Mikroalga	Protein (%)	Karbohidrat (%)	Lipid (%)
<i>Anabaena cylindria</i>	43-56	25-30	4-7
<i>Aphanizemon flos-aquae</i>	62	23	3
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	48	17	21
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	57	26	2
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	12-17	14-22
<i>Dunaliella salina</i>	57	32	6
<i>Euglena gracilis</i>	39-61	14-18	14-20
<i>Spirulina platensis</i>	46-63	8-14	4-9
<i>Spirulina maxima</i>	60-71	13-16	6-7
<i>Synechococcus sp.</i>	63	15	11

2.2 Tinjauan Umum *Dunaliella salina*

Dunaliella salina merupakan alga uniseluler yang bersifat halofilik termasuk filum Chlorophyta (Smith dkk., 2010). *Dunaliella salina* memiliki bentuk sel yang bervariasi yaitu elips, bulat telur, dan silinder tergantung konsentrasi kadar garam lingkungan dan mempunyai dua flagella yang sama panjang. *Dunaliella salina* memiliki panjang 2-28 μm dan lebar 1-15 μm (Ben-Amotz dkk., 2009). *Dunaliella salina* berwarna hijau, tetapi pada kondisi dengan salinitas dan intensitas pencahayaan yang tinggi, mikroalga ini bisa berubah warna menjadi merah dan melindungi karotenoid pada selnya (Dhanam, 2013). Menurut Sakthivel dkk. (2011) klasifikasi *Dunaliella salina* adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Divisi : Chlorophyta
Kelas : Chlorophyceae
Ordo : Volvocales
Famili : Dunnaliellaceae
Genus : *Dunaliella*
Spesies : *Dunaliella salina*

Dunaliella salina merupakan salah satu spesies dari mikroalga yang dieksploitasi karena memiliki kandungan β -karoten yang tinggi, mencapai 14% dari bobot keringnya. Berikut adalah gambar mikroalga *Dunaliella salina* yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mikroalga *Dunaliella salina* (Ramos dkk., 2011)

Mikroalga *Dunaliella salina* mempunyai kandungan nutrisi yaitu protein 25,67 gram, karbohidrat 40,21 gram, lemak 18,02 gram, dan memiliki kandungan serat 2,1 gram pada analisis proksimat nutrisi biomassa *Dunaliella salina* dalam 100 gram biomassa kering (Muhaemin dan Kaswadji, 2010). Jenis mikroalga ini juga sudah dimanfaatkan sebagai bahan fortifikasi pangan di Eropa. *Dunaliella* mengakumulasi gliserol dan β -karoten di dalam selnya dengan konsentrasi yang tinggi. *Dunaliella* yang termasuk pada kelompok Chlorophyta, seperti halnya 25 spesies Chlorophyta lainnya yang diklasifikasikan sebagai sumber makanan, tidak menghasilkan zat yang bersifat toksik (Anonymous, 2008; Erlania; 2009). Biomassa *Dunaliella* memiliki manfaat besar dalam hal peningkatan molekul protein rekombinan dan penurunan risiko kanker (Borowitzka dan Siva, 2007), sehingga berguna untuk terapi, diet, dan aplikasi industri (Sahin, 2021).

2.2.1 Fase Pertumbuhan *Dunaliella salina*

Pertumbuhan mikroalga *Dunaliella salina* menurut Rosdiana (2019) dibagi menjadi 5 fase yaitu fase *lag* (adaptasi), fase eksponensial (logaritmik), fase penurunan laju pertumbuhan (deklinasi), fase stasioner, dan fase kematian. Kurva fase pertumbuhan mikroalga dapat dilihat pada Gambar 2.

1. Fase *Lag* (Adaptasi)

Fase *lag* merupakan pertumbuhan fase awal dimana penambahan kelimpahan mikroalga terjadi dalam jumlah sedikit. Fase ini mudah diobservasi pada saat kultivasi mikroalga baru saja dilakukan atau sesaat setelah bibit mikroalga dimasukkan pada media kultivasi. Pada fase ini biasanya terjadi *stressing* secara fisiologi karena terjadi perubahan kondisi lingkungan media kultivasi dari media awal ke media yang baru. Hal ini dapat mempengaruhi metabolisme mikroalga. Perubahan tersebut mengakibatkan mikroalga mengalami proses penyesuaian terlebih dahulu sebelum mengalami pertumbuhan.

2. Fase Eksponensial

Fase eksponensial merupakan tahapan pertumbuhan lanjut yang dialami mikroalga setelah fase *lag*. Mikroalga yang dikultivasi akan mengalami penambahan biomassa secara cepat. Hal ini ditunjukkan dengan penambahan jumlah sel yang sangat cepat melalui pembelahan sel mikroalga.

3. Fase Penurunan Laju Pertumbuhan

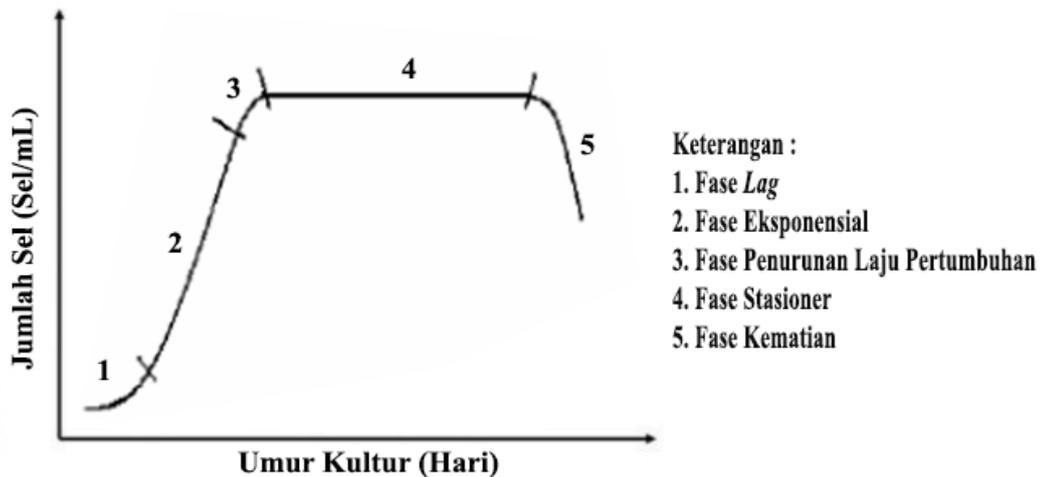
Fase penurunan laju pertumbuhan terjadi dengan indikasi pengurangan kecepatan pertumbuhan sampai sama dengan fase awal pertumbuhan, yaitu kondisi yang stagnan dimana tidak terjadi penambahan sel. Pada fase ini ditandai dengan berkurangnya nutrisi dalam media, sehingga mempengaruhi kemampuan pembelahan sel yang menyebabkan jumlah sel semakin menurun.

4. Fase Stasioner

Fase stasioner diindikasikan dengan adanya pertumbuhan mikroalga yang terjadi secara konstan akibat dari keseimbangan katabolisme dan anabolisme di dalam sel. Fase ini ditandai dengan rendahnya tingkat nutrisi dalam sel mikroalga. Umumnya untuk kelimpahan yang rendah dalam kultivasi terjadi fase stasioner yang pendek, sehingga menyulitkan pada saat pemanenan.

5. Fase Kematian

Fase kematian diindikasikan oleh kematian sel mikroalga yang terjadi karena adanya penurunan kandungan nutrisi dalam media kultivasi dan kemampuan metabolisme mikroalga yang menurun akibat dari umur yang sudah tua. Hal ini ditandai dengan penurunan jumlah sel yang cepat dan secara morfologi pada fase ini mikroalga banyak mengalami kematian dibandingkan dengan melakukan pertumbuhan melalui pembelahan. Warna air media berubah, terjadi buih di permukaan media, dan warna yang pudar serta gumpalan mikroalga yang mengendap di dasar wadah. Susunan perkembangan secara umum ditandai dengan sedikitnya empat tahap yang terpisah.



Gambar 2. Kurva Pertumbuhan Mikroalga (Sugiati, 2016)

2.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan *Dunaliella Salina*

Pertumbuhan mikroalga sangat dipengaruhi oleh faktor fisika dan kimia lingkungan baik secara langsung maupun tidak langsung. Menurut Wulandari (2009), faktor fisika yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga diantaranya adalah suhu dan kecerahan atau cahaya, sedangkan faktor kimia yaitu pH, salinitas, dan kebutuhan nutrien.

1. Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam mengatur proses kehidupan dan penyebaran organisme. Pengaruh suhu secara langsung terhadap mikroalga adalah meningkatkan reaksi kimi sehingga laju fotosintesis meningkat seiring dengan kenaikan suhu (Simanjuntak, 2009). *Dunaliella salina* merupakan mikroalga yang bersifat *eurythermal* atau dapat bertahan terhadap kisaran suhu yang lebar. Alga ini dapat bertahan pada suhu rendah hingga dibawah titik beku sampai suhu tinggi yaitu 40°C (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995). Suhu yang optimal untuk pertumbuhan *Dunaliella salina* yaitu antara 10-30°C (Ben-Amotz dkk., 2009).

2. Cahaya

Energi matahari dibutuhkan oleh mikroalga di laut dalam proses fotosintesis. Laju fotosintesis akan meningkat bila intensitas cahaya meningkat dan menurun bila intensitas cahaya berkurang, sehingga cahaya berperan sebagai faktor pembatas utama dalam fotosintesis atau produktivitas primer (Facta dkk., 2006). Pertumbuhan *Dunaliella salina* sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya intensitas cahaya yang digunakan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pital dan Lele (2004), intensitas cahaya yang optimal untuk pertumbuhan *Dunaliella salina* adalah 1200 Lux.

3. Derajat Keasaman

Derajat keasaman suatu perairan merupakan salah satu parameter kimia yang cukup penting dalam memantau kestabilan perairan (Simanjuntak, 2009). Menurut Isnansetyo dan Kurniastuty (1995), *Dunaliella salina* dapat mentoleransi kondisi pH di air antara 9-10.

4. Kebutuhan Nutrisi

Pertumbuhan suatu jenis mikroalga sangat erat kaitannya dengan ketersediaan unsur hara mikro dan makro pada perairan serta dipengaruhi oleh kondisi lingkungan perairan. Setiap unsur hara mempunyai fungsi khusus yang tercermin pada pertumbuhan dan kepadatan yang dicapai. Unsur nitrogen (N), fosfat (P), dan sulfat (S) sangat penting untuk pembentukan protein dan kalium (K) berfungsi dalam metabolisme karbohidrat. Zat besi (Fe) dan natrium (Na) berperan untuk pembentukan klorofil serta silika (Si) dan kalsium (Ca) merupakan bahan pembentuk dinding sel dan vitamin B₁₂ banyak digunakan untuk memacu pertumbuhan melalui ransangan fotosintetik (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995). Menurut Pital dan Lele (2004), nitrogen merupakan salah satu persyaratan utama dalam media pertumbuhan mikroalga *Dunaliella salina*.

5. Salinitas

Dunaliella salina merupakan mikroalga yang mampu bertahan hidup dalam lingkungan yang memiliki kadar garam tinggi (Smith, 2010). Pital dan Lele (2004) menjelaskan bahwa *Dunaliella salina* dapat mengalami penyusutan sel pada kondisi salinitas di luar sel lebih tinggi daripada di dalam sel (hipertonik), sebaliknya pada kondisi salinitas yang rendah di luar sel (hipotonik) akan terjadi pembengkakan sel karena molekul air di luar akan bergerak masuk ke dalam sel. Salinitas yang optimal untuk menunjang pertumbuhan *Dunaliella salina* yaitu 18-22 ppt (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995).

2.3 Tinjauan Umum dan Syarat Mutu Tepung Sagu

Tepung yang umum digunakan dalam pembuatan *cookies* adalah tepung terigu yang memiliki kadar protein pembentuk gluten yang rendah. Gluten yang terbentuk hanya berfungsi untuk membentuk karakteristik *cookies* yang diinginkan, hal ini menunjukkan bahwa peran gluten pada pembuatan *cookies* sangat kecil, sehingga fortifikasi tepung terigu dengan tepung non terigu dapat dikembangkan. Salah satu tepung yang dapat menggantikan terigu adalah tepung sagu yang merupakan sumber karbohidrat lokal. Tepung sagu adalah tepung yang sering digunakan dalam pembuatan berbagai jenis lahan makanan (Hemeto dkk., 2019). Menurut Makmur (2018), tepung sagu mengandung energi sebesar 209 kkal, protein 0,3 g, karbohidrat 51,6 g, lemak 0,2 g, kalsium 27 g, fosfor 13 mg, dan zat besi 0,6 mg. Pengolahan sagu menjadi produk bagea sagu dilakukan dengan menggunakan tepung sagu. Tepung sagu diperoleh dari pemrosesan peras batang rumbia atau pohon sagu (*Metroxylon sago* Rottb) (Gaspersz, 2014). Standar mutu tepung sagu di Indonesia tercantum dalam SNI 3729:2008 yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Syarat Mutu Tepung Sagu menurut SNI 3729:2008

No.	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1	Keadaan		
1.1	Bentuk	-	Serbuk halus
1.2	Bau	-	Normal (Bebas dari bau asing)
1.3	Warna	-	Putih, khas sagu
1.4	Rasa	-	Normal
2	Benda asing	-	Tidak ada
3	Serangga dalam semua bentuk stadia dan potongan-potongannya yang tampak	-	Tidak ada
4	Jenis pati lain selain pati sagu	-	Tidak ada
5	Kehalusan, lolos ayakan 100 mesh (b/b)	%	Min. 95
6	Kadar air (b/b)	%	Maks. 13
7	Kadar abu (b/b)	%	Maks. 0,5
8	Kadar pati	%	Min. 65
9	Kadar serat kasar (b/b)	%	Maks. 0,5
10	Derajat asam	mL NaOH 1 N/100 g	Maks. 4
11	Residu SO ₂	mg/kg	Maks. 30
12	Cemaran logam		
12.1	Timbal (Pb)	mg/kg	Maks. 1
12.2	Tembaga (Cu)	mg/kg	Maks. 10
12.3	Raksa (Hg)	mg/kg	Maks. 0,05
13	Cemaran arsen (As)	mg/kg	Maks. 0,5
14	Cemaran Mikroba		
14.1	Angka lempeng total	koloni/g	Maks. 10 ⁶
14.2	<i>E.Coli</i>	APM/g	Maks. 10
14.3	Kapang	koloni/g	Maks. 10 ⁴

2.4 Tinjauan Umum dan Syarat Mutu *Cookies* Bagea Sagu

Cookies adalah kue kering yang rasanya manis dan bentuknya kecil-kecil, tergolong makanan yang dipanggang. Biasanya dalam proses pembuatan *cookies* ditambahkan lemak atau minyak yang berfungsi untuk melembutkan atau membuat renyah (Astawan, 2009). Tekstur *cookies* mempunyai tekstur yang renyah dan tidak mudah hancur seperti dengan kue-kue kering pada umumnya. *Cookies* dengan penggunaan tepung non terigu biasanya termasuk ke dalam golongan *short dough* (Putri, 2018). Dilihat dari bahan dasarnya yaitu sagu, *cookies* bagea memiliki ciri khas tersendiri karena selain rasanya enak *cookies* bagea ini juga termasuk unik karena hampir serupa dengan biskuit (Banudi dkk., 2017). Bentuk *cookies* bagea sagu dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *Cookies* Bagea Sagu (Setiawati dan Makkasau, 2019)

SNI 2973:2018 menyatakan bahwa *cookies* adalah jenis biskuit yang terbuat dari adonan lunak, renyah, dan bila dipatahkan penampangnya tampak bertekstur kurang padat. Dalam pembuatan *cookies* bagea sagu, terdapat beberapa parameter yang harus memenuhi syarat mutu yang telah diatur oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 2973:2018. Syarat mutu *cookies* menurut Standar Nasional Indonesia yang berlaku dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Syarat Mutu *Cookies* menurut SNI 2973:2018

No.	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan SNI 2973:2018
1	Keadaan		
1.1	Bau	-	Normal
1.2	Warna	-	Normal
1.3	Rasa	-	Normal
2	Kadar air	%	Maks. 5
3	Kadar abu	%	Maks. 0,1
4	Kadar protein	%	Min. 4,5
5	Kadar serat kasar	%	Maks 0,5
6	Kadar lemak	%	Min. 9,5
7	Kadar karbohidrat	%	Min. 70
8	Kalori per 100 gram	kkal	Min. 400
9	Cemaran logam		
9.1	Timbal (Pb)	mg/kg	Maks. 0,5
9.2	Kadmium (Cd)	mg/kg	Maks. 0,2
9.3	Timah (Sn)	mg/kg	Maks. 40
9.4	Raksa (Hg)	mg/kg	Maks. 0,05
10	Cemaran arsen (As)	mg/kg	Maks. 0,5
11	Cemaran Mikroba		
11.1	Angka lempeng total	koloni/g	Maks. 10 ⁵
11.2	<i>Enterobacteriaceae</i>	koloni/g	Maks. 10 ²
11.3	<i>Salmonella</i>	negatif/25g	Tidak boleh ada
11.4	<i>S. aureus</i>	koloni/g	Maks. 10 ⁴
11.5	Kapang dan khamir	koloni/g	Maks. 10 ⁴

2.5 Mikroenkapsulasi

Mikroenkapsulasi adalah proses untuk mengendalikan pelepasan bahan aktif, melindungi senyawa yang rentan terhadap kondisi lingkungan seperti panas, cahaya, dan oksigen (Najafi dkk., 2011). Balasubramani dkk. (2015) menyatakan bahwa mikroenkapsulasi merupakan suatu proses penyalutan mikropartikel dengan menggunakan bahan pembentuk dinding. Menurut Koç dkk. (2011), mikroenkapsulasi merupakan proses pelapisan bahan aktif dengan satu jenis atau lebih bahan penyalut. Proses mikroenkapsulasi dapat dilakukan dengan

menggunakan metode fisika, kimia, dan fisikokimia. Metode kimia meliputi polimerisasi *in situ*. Metode fisika meliputi semprot kering (*spray drying*), semprot beku (*freeze drying*), dan penyalutan dengan bahan penyalut. Metode fisikokimia dilakukan dengan koaservasi dan penguapan pelarut (Fitriani dkk., 2010). Mikroenkapsulasi mengubah bahan padat maupun cair menjadi bentuk kapsul dalam ukuran mikro (0,2-5000 μm). Pembentukan kapsul dalam ukuran mikro membutuhkan material penyalut yang bersifat emulsifier, dapat membentuk lapisan film, dan dapat membuat bahan aktif menjadi mudah mengalir (*a free flowing powder*), sehingga mudah ditambahkan dalam bahan pangan. Komposisi material pelapis yang digunakan akan menentukan karakteristik fisik mikrokapsul seperti zat padat terlarut dan waktu lepas (*release*) (Purnamayati dkk., 2016). Menurut Santoso dkk. (2019) mikroenkapsulasi dilakukan untuk:

1. Mengubah bentuk cairan menjadi padat
2. Mengubah koloid dan sifat permukaan
3. Mencegah terjadinya reaksi antara zat-zat yang lain
4. Penutupan rasa dan bau yang tidak sedap
5. Melindungi dari pengaruh lingkungan
6. Menjaga dari zat yang beracun dan dapat merusak
7. Mengontrol pelepasan obat yang disalut (ketersediaan hayati)
8. Meningkatkan stabilitas tablet
9. Menghantarkan obat spesifik industri farmasi

2.6 Bahan Penyalut

Bahan penyalut adalah bahan yang ditambahkan untuk meningkatkan volume, sifat fungsional, dan cita rasa produk pangan. Pertimbangan dalam memilih bahan penyalut yang akan digunakan yaitu bahan yang mempunyai karakteristik secara kimiawi kompatibel dan tidak bereaksi dengan bahan inti,

memiliki kekuatan, fleksibilitas, impermeabilitas, tidak berasa, tidak higroskopis, viskositas rendah, ekonomis, dapat melebur, tidak rapuh, keras, tipis, dan stabil (Srifiana dkk., 2014; Rasyid, 2019).

Bahan penyalut yang digunakan pada pengeringan dapat terdiri hanya satu jenis penyalut atau penggabungan dari beberapa jenis penyalut yang berbeda. Hal ini berkaitan dengan karakterisasi serbuk yang diinginkan (Jayanudin dkk., 2017; Rasyid, 2019). Bahan penyalut yang biasa digunakan dalam enkapsulasi, diantaranya adalah gum, pati, natrium kaseinat, dan polimer (Martín dkk., 2010; Priambodo, 2015).

2.6.1 Jenis-Jenis Penyalut

Desmawarni (2007) dalam Priambodo (2015), mengelompokkan jenis bahan penyalut yang digunakan dalam proses mikroenkapsulasi menjadi lima kelas yakni gum, karbohidrat, lemak, bahan anorganik, dan protein. Pembagian jenis bahan penyalut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Jenis Bahan Penyalut dalam Proses Mikroenkapsulasi

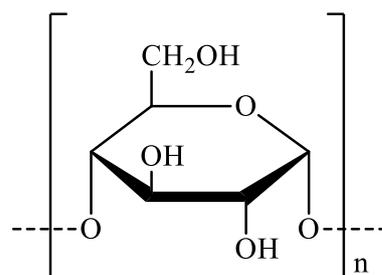
Kelas	Jenis
Gum	Gum arab, agar, natrium alginat, karagenan
Karbohidrat	Pati, dekstrin, sukrosa, sirup jagung, CMC (<i>Carboxymethylcellulose</i>), etil selulosa, metil selulosa, nitro selulosa, asetil selulosa, asetat butilat phitat selulosa.
Lemak	Lilin, parafin, tristearin, asam stearat, monogliserida, lilin tawon
Bahan Anorganik	Kalsium fosfat, silikat
Protein	Gluten, kasein, gelatin, albumin

2.6.2 Maltodekstrin

Maltodekstrin ($C_6H_{12}O_5$). nH_2O didefinisikan sebagai produk hidrolisat pati (polimer sakarida tidak manis) dengan panjang rantai rata-rata 5-10 unit/molekul

glukosa. Maltodekstrin secara teori diproduksi dengan menggunakan hidrolisis terkontrol melalui enzim (α -amilase) atau asam (Desmawarni, 2007; Priambodo, 2015). Maltodekstrin merupakan salah satu penyalut yang baik dan sering digunakan karena kemampuannya dalam membentuk emulsi, memiliki viskositas yang rendah, mudah ditemukan, mudah penanganan prosesnya, cepat terdispersi, memiliki kelarutan yang tinggi, mampu membentuk matriks sehingga mengurangi terjadinya pencoklatan, mampu menghambat kristalisasi, memiliki daya ikat yang kuat dan bersifat stabil pada emulsi minyak dalam air (Laohasongkram dkk., 2011).

Maltodekstrin dengan DE (*Dekstrosa Equivalen*) yang rendah (kurang dari 20) efektif untuk digunakan dalam mikroenkapsulasi *flavor*. Maltodekstrin dapat larut dalam air dingin dengan sempurna sehingga dapat melepaskan *flavor* secara cepat dalam penggunaannya pada aplikasi tertentu, namun *flavor* dan rasa manis pada maltodekstrin sangat rendah sehingga dapat cepat hilang dalam penggunaannya. Maltodekstrin memiliki harga yang terjangkau dari segi biaya dan mudah diperoleh. Maltodekstrin kurang mampu dalam emulsifikasi (lipofil atau hidrofil). Maltodekstrin tersusun dari unit glukosa dan tidak efektif untuk menstabilkan minyak atau *flavor* dalam larutan berviskositas. Maltodekstrin dapat dikombinasi dengan bahan seperti gum arab atau pati termodifikasi lainnya untuk keperluan stabilitas emulsi (Desmawarni, 2007; Priambodo, 2015). Berikut ini adalah struktur kimia dari maltodekstrin yang dapat dilihat pada Gambar 4.

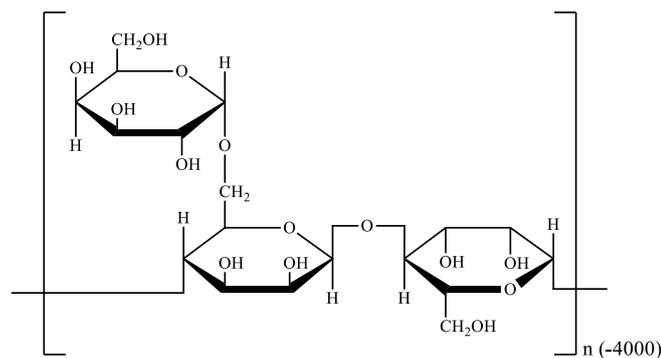


Gambar 4. Struktur Kimia Maltodekstrin (Armay, 2010)

2.6.3 Gum Arab

Gum arab (*gum Acacia*) merupakan gum alami yang paling dikenal. Gum arab berasal dari getah yang dihasilkan dari berbagai spesies pohon-pohon *Acacia*. Dari banyaknya spesies *Acacia* yang telah ditemukan, hanya terdapat tiga jenis yang dimanfaatkan secara komersial, yaitu *Acacia senegal*, *Acacia seyal*, dan *Acacia laeta*. Secara fisik, gum arab merupakan molekul bercabang banyak dan kompleks. Bentuk struktur yang demikian menyebabkan gum arab memiliki kekentalan yang rendah (Desmawarni, 2007; Priambodo, 2015).

Komponen penyusun gum arab antara lain adalah gula sederhana seperti D-galaktosa, L-arabinosa, L-rhamnosa, dan unit asam glukoronat. Selain kelarutannya yang tinggi, karakteristik utama gum arab adalah bersifat pembentuk tekstur, pembentuk film, pengikat, dan juga pengemulsi yang baik dengan adanya komponen protein di dalam gum arab. Gum arab dapat mempertahankan *flavor* dari makanan yang dikeringkan melalui proses *spray drying* karena gum ini dapat membentuk lapisan yang dapat melindungi dari proses perubahan destruktif. Meski begitu gum arab memiliki kelemahan yakni harganya yang cukup mahal dan ketersediaannya terbatas serta ketahanan oksidasinya rendah. Untuk meminimalisir kelemahan tersebut, penggunaan gum arab biasanya dicampur dengan dekstrin seperti maltodekstrin (Desmawarni, 2007; Priambodo, 2015). Struktur kimia dari gum arab dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur Kimia Gum Arab (Palayukan, 2020)

2.6.4 Kombinasi Maltodekstrin dan Gum Arab sebagai Penyalut Mikroalga

Maltodekstrin memiliki kekurangan dalam menyalut yakni kemampuan emulsinya rendah dan retensinya bersifat volatil marjinal. Hal ini menjadikan maltodekstrin membutuhkan pencampuran dengan bahan penyalut lain guna meminimalisir kelemahan tersebut (Fernandes dkk., 2014). Gum arab dapat digunakan dalam kombinasi penyalut dengan maltodekstrin karena kelarutannya tinggi, kemampuan emulsi yang baik, dan viskositas rendah pada konsentrasi tinggi (Atefi dkk., 2017).

Penggabungan dua jenis penyalut yang berbeda akan menghasilkan nilai efisiensi enkapsulasi yang berbeda dibandingkan dengan menggunakan satu jenis bahan penyalut. Kombinasi bahan penyalut pada proses enkapsulasi digunakan untuk melindungi dan mengatasi kelemahan-kelemahan bahan inti seperti sensitif terhadap suhu, udara, dan cahaya yang dapat menyebabkan komponen aktifnya terdegradasi (Jayanudin dkk., 2017).

2.7 Proses Pengeringan Semprot (*Spray Drying*)

Proses pengeringan semprot (*spray drying*) pada prinsipnya merupakan proses pengeringan yang menggunakan alat pengering semprot (*spray dryer*). Secara umum ada dua tahapan penting yang terjadi pada proses mikroenkapsulasi dengan *spray drying* ini yaitu tahap emulsifikasi dan atomisasi. Perbedaan teknik enkapsulasi akan menghasilkan sifat kimia fisik partikel yang berbeda. Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi enkapsulasi melalui proses *spray drying* yang paling utama adalah karakteristik emulsi termasuk kestabilan dan proses enkapsulasi mencakup rata-rata alir, temperatur *inlet/outlet*, dan kecepatan aliran gas. Proses atomisasi akan membentuk ukuran tetesan partikel

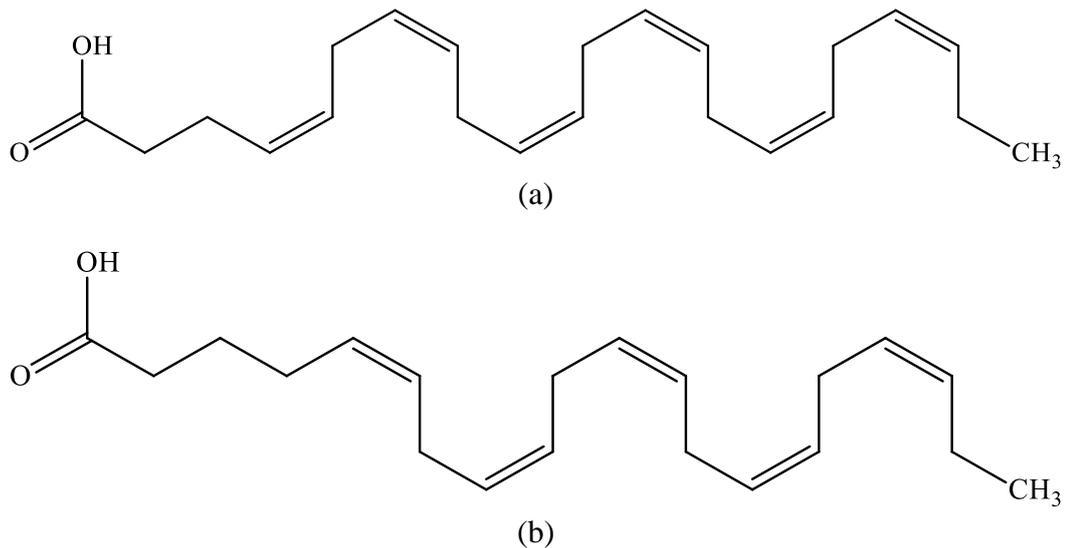
1-10 mikron. Proses pengeringan dilakukan dengan temperatur tinggi secara relatif, untuk temperatur *inlet* bisa mencapai 210°C dan temperatur *outlet* hingga 90°C (Hasibuan dkk., 2017).

Pengeringan semprot banyak dipakai karena ekonomis dan fleksibel, peralatan juga sudah banyak tersedia, dan dapat menghasilkan partikel yang memiliki kualitas yang bagus. Enkapsulasi dengan pengering semprot dilakukan dengan melarutkan, mengemulsifikasi, dan mendispersikan zat aktif dalam larutan pembungkus yang kemudian mengumpalkan larutan zat aktif kedalam *hot chamber* sehingga dihasilkan mikrokapsul zat aktif yang telah terenkapsulasi (Septevani dkk., 2013).

2.8 Omega-3

Asam lemak omega-3 adalah asam lemak tidak jenuh ganda yang mempunyai ikatan rangkap banyak, ikatan rangkap pertama terletak pada atom karbon ketiga dari gugus metil omega, ikatan rangkap berikutnya terletak pada nomor atom karbon ketiga dari ikatan rangkap sebelumnya. Gugus metil omega adalah gugus terakhir dari rantai asam lemak. Asam lemak otak yaitu asam lemak esensial serta omega-3 merupakan zat gizi yang harus terpenuhi kebutuhannya. Zat gizi berperan vital dalam proses tumbuh kembang sel-sel neuron otak untuk bekal kecerdasan bayi yang dilahirkan. Asam lemak omega-3 merupakan turunan dari prekursor pendahulunya, yakni asam lemak esensial linoleat dan linolenat. Asam lemak esensial tidak bisa dibentuk dalam tubuh dan harus dipasok langsung dari makanan. Kemudian prekursor itu masuk dalam proses elongasi dan desaturasi yang menghasilkan tiga bentuk asam lemak omega-3, ALA (asam alfa-linolenat), EPA (eikosapentaenoat), serta DHA (dokosaheksaenoat) (Diana, 2012). Konsumsi

DHA dan EPA dalam jangka waktu panjang dapat berdampak positif terhadap penderita jantung koroner, yaitu dapat menurunkan risiko kematian mendadak hingga 45% jika dibandingkan dengan penderita yang tidak mengonsumsi DHA dan EPA. DHA dan EPA juga mampu menurunkan kolesterol dalam darah, khususnya LDL, anti agregasi platelet, dan anti inflamasi (Haris, 2004; Maulana dkk., 2014). Struktur dari DHA dan EPA dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur kimia (a) DHA dan (b) EPA (Patel dan Matsakas, 2020)