

KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA TABLET BERBASIS MIKROKAPSUL MINYAK MATA TUNA DAN SPIRULINA

Fahri Sinulingga, Wini Trilaksani*, Iriani Setyaningsih

Departemen Teknologi Hasil Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB University
Jalan Agatis, Lingkar Kampus IPB Dramaga, Bogor, Indonesia 16680

Diterima: 13 Agustus 2023/Disetujui: 26 Desember 2023

*Korespondensi: wtrilaksani@apps.ipb.ac.id

Cara sitasi (APA Style 7th): Sinulingga, F., Trilaksani, W., & Setyaningsih, I. (2024). Karakteristik fisikokimia tablet berbasis mikrokapsul minyak mata tuna dan spirulina. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 27(1), 1-15. <http://dx.doi.org/10.17844/jphphi.v27i1.49473>

Abstrak

Omega-3 sangat penting dalam pencegahan dampak penurunan kecerdasan. Kelemahan omega-3 sangat rentan teroksidasi, sehingga diperlukan bahan tambahan yang memiliki aktivitas antioksidan. *Spirulina platensis* dapat diaplikasikan untuk pencegahan oksidasi omega-3 dalam bentuk sediaan kering. Tujuan penelitian ini menentukan formulasi terbaik kombinasi mikrokapsul minyak mata tuna dan *S. platensis* pada pembuatan tablet berdasarkan parameter fisikokimia, bilangan peroksida, dan aktivitas air. Penelitian ini terdiri atas tiga tahapan, yaitu ekstraksi dan mikroenkapsulasi minyak mata tuna, kultivasi *S. platensis*, dan formulasi tablet menggunakan metode kempa. Perlakuan formula tablet dibagi menjadi empat, yaitu F1 (mikrokapsul minyak mata tuna dan vitamin C) (300 mg: 140 mg), F2 (mikrokapsul minyak mata tuna dan kultur *Spirulina*) (280 mg: 160 mg), F3 (mikrokapsul minyak mata tuna dan kultur *Spirulina*) (300 mg: 140 mg), dan F4 (mikrokapsul minyak mata tuna dan *Spirulina* komersial) (300 mg: 140 mg). Hasil penelitian menunjukkan minyak mata tuna telah memenuhi standar dengan bilangan asam $0,26 \pm 0,01$ mg KOH/g, nilai peroksida $4,07 \pm 0,25$ meq/kg, nilai anisidin $8,21 \pm 0,15$ meq/kg, dan total oksidasi $16,35 \pm 0,18$ meq/kg serta efisiensi mikroenkapsulasi 91,14%. Kultur spirulina yang digunakan memenuhi standar mutu spirulina kering dengan air $9,02 \pm 0,07\%$, abu $6,24 \pm 0,06\%$, protein $57,55 \pm 0,21\%$, lemak $2,07 \pm 0,02\%$, dan karbohidrat $25,12 \pm 0,16\%$. Formulasi tablet F3 merupakan perlakuan terbaik dengan karakteristik fisik yang sesuai standar mutu tablet, nilai keregasan terkecil 0,55%, waktu hancur terkecil kurang dari 12 menit, dan kadar lemak 13,57%. Stabilitas bilangan peroksida dan aktivitas air selama penyimpanan menunjukkan formula F3 lebih stabil dibandingkan formula lainnya.

Kata kunci: anisidin, mikroenkapsulasi, oksidasi, omega-3, peroksida

Evaluation of Physicochemical Characteristics of Tuna's Eye Oil Microcapsule-Spirulina Tablets

Abstract

Omega-3 is very important for preventing the effects of decreased intelligence. The limitation of omega-3 is that it is highly susceptible to oxidation, which necessitates the inclusion of additional substances with antioxidant properties. *Spirulina platensis* can be used to prevent the oxidation of omega-3 in the form of dry dosages. The objective of this study was to identify the optimal formulation for incorporating microcapsules of tuna eye oil and *S. platensis* in the production of tablets by considering physicochemical parameters, peroxide value, and water activity. The present study encompasses three distinct phases: extraction and encapsulation of tuna eye oil, cultivation of *S. platensis*, and formulation of tablets using the compression method. Treatments involving the tablet formula were classified into four distinct categories: F1 (containing 300 mg of tuna eye oil microcapsules and 140 mg of vitamin C), F2 (comprising 280 mg of tuna eye oil microcapsules and 160 mg of *Spirulina* culture), F3 (300 mg of tuna eye oil microcapsules and 140 mg of *Spirulina* culture), and F4 (containing 300 mg of tuna eye oil microcapsules and 140 mg of commercial *Spirulina*). The examination demonstrated that the eye oil derived from tuna satisfied the

criteria for fish oil quality, with an acid value of 0.26 ± 0.01 mg KOH/g, a peroxide value of 4.07 ± 0.25 meq/kg, an anisidine value of 8.21 ± 0.15 meq/kg, and a total oxidation value of 16.35 ± 0.18 meq/kg, as well as a microencapsulation efficiency of 91.14%. The cultivation method employed in this study also ensured that the resulting spirulina met the acceptable quality standards. The dry spirulina had water $9.02 \pm 0.07\%$, ash $6.24 \pm 0.06\%$, protein $57.55 \pm 0.21\%$, fat $2.07 \pm 0.02\%$, and carbohydrate $25.12 \pm 0.16\%$. The F3 tablet formulation was the most effective treatment, with physical properties that met the standards for tablet quality. It has a firmness value of 0.55%, disintegration time of less than 12 min, and fat content of 13.57%. The F3 formula demonstrated greater stability with respect to peroxide value and water activity during the storage period than the other formulas.

Keywords: anisidine, microencapsulation, omega-3, oxidation, peroxide

PENDAHULUAN

Indeks sumber daya manusia (*Human Capital Index*) Indonesia berada di urutan 87 dari 157 negara, dengan aspek kesehatan dan kekurangan gizi misalnya tengkes yang masih tinggi (World Bank, 2020). Data Kementerian Kesehatan pada tahun 2021 menunjukkan prevalensi tengkes di Indonesia sebesar 24,4%. Angka ini tergolong tinggi dan melebihi batas standar WHO, yaitu 20% (World Health Organization [WHO], 2019). Tengkes tidak hanya dicirikan dengan tubuh pendek namun juga terjadi gangguan kemampuan kognitif pada anak (WHO, 2010). Kebijakan pemerintah mengenai tengkes masih terfokus pada intervensi gizi protein, vitamin A, vitamin B, zat besi, asam folat, yodium, zink dan kalsium, sedangkan pengembangan ke arah suplementasi omega-3 masih belum banyak dilakukan. Omega-3 khususnya *docosahexaenoic acid* (DHA) sangat dibutuhkan untuk perkembangan kognitif saraf otak, peningkatan absorpsi kalsium di usus, meningkatkan osteoblas, menurunkan osteoklas serta mendorong deposit mineral untuk perkembangan tulang (Schacky, 2021; Sittiprapaporn *et al.*, 2022; Koren *et al.*, 2014).

Minyak mata tuna merupakan produk hasil perikanan yang berasal dari hasil samping industri pengolahan tuna dengan kandungan DHA sebesar 35% (Gamarro *et al.*, 2013; Trilaksana *et al.*, 2020). Kandungan DHA pada minyak mata tuna lebih unggul dibandingkan minyak ikan yang berasal dari salmon 17,1%; patin 4,78%; sardin 6,9%; dan haring 11,50% (Soltan & Gibson, 2008; Mustapha *et al.*, 2014; Mohanty *et al.*, 2016; Aitta *et al.*, 2021). Namun, fortifikasi minyak ikan kaya omega-3 ke dalam produk pangan dilaporkan sangat rentan terhadap oksidasi (Djordjvic *et*

al., 2004). Jamshidi *et al.* (2020) memaparkan pentingnya perlindungan asam lemak omega-3 agar terhindar dari oksidasi melalui teknologi mikroenkapsulasi. Wang *et al.* (2014) melaporkan bahwa mikroenkapsulasi minyak ikan tuna dapat dilakukan dengan bahan penyalut *gelatinc-sodium hexametaphosphate*. Gaonkar *et al.* (2014) menyatakan bahwa mikrokapsul apabila berdiri sendiri cenderung dapat mengalami autoksidasi. *Spirulina platensis* berpotensi sebagai peningkat neurotransmitan, antioksidan radikal *scavenging*, pengkelatan logam, daya reduksi oksidatif, serta mengurangi tingkat oksida nitrat dan peroksida lipid (Mohammadi *et al.*, 2022; Rutar *et al.*, 2022; Bortolini *et al.*, 2022). Upaya peningkatan stabilitas produk dapat dilakukan dengan menggabungkan mikrokapsul minyak mata tuna dan *S. platensis* dalam bentuk tablet.

Sediaan tablet memiliki keuntungan di antaranya lebih stabil, dosisnya tepat, biaya produksi murah, pengemasannya mudah, sehingga aplikasinya lebih praktis dibanding sediaan lain (Vestland *et al.*, 2015). Suplemen omega-3 yang tersedia secara komersial dominan berbentuk kapsul lunak. Umumnya kapsul lunak dibuat dengan gelatin sapi atau babi yang tidak dapat dikonsumsi sebagian karena faktor agama (Vestland *et al.*, 2016). Suplemen tablet berbasis mikrokapsul minyak mata tuna dan *S. platensis* sebelumnya sudah dilaporkan oleh Huriyah *et al.* (2019), namun masih memiliki kekurangan terhadap mutu minyak yang belum terstandar serta kajian terhadap karakteristik fisikokimia masih terbatas. Sifat fisikokimia pada suatu produk sangat menentukan kualitas oksidasi produk sehingga kajian formulasi bahan harus tepat (Garcia-Moreno *et al.*, 2018; Cao *et al.*, 2023).

Tujuan penelitian ini menentukan formulasi terbaik kombinasi mikrokapsul minyak mata tuna dan *S. platensis* pada pembuatan tablet berdasarkan parameter fisikokimia, stabilitas bilangan peroksida, dan aktivitas air.

BAHAN DAN METODE **Ekstraksi Minyak Ikan Mata Tuna (Trilaksani *et al.*, 2020)**

Sampel mata tuna (*Thunnus* sp.) diperoleh dari hasil samping perusahaan *tuna loin* PT. Promo Indo Ikan, Bali. Rerata bobot mata tuna yang digunakan sebesar 126,25 g dengan diameter 6,56 cm total dan otot daging sebesar 27,17 g sehingga tergolong mata sedang (Trilaksani *et al.*, 2023). Preparasi mata tuna dilakukan dengan mengambil otot daging di seluruh bagian mata tuna, dihancurkan menggunakan *food processor* (Panasonic MK-5086M) hingga menjadi pasta, diekstraksi menggunakan sentrifugasi *high-speed refrigerated centrifuge* (Himac CR 21G)/ (10.000 rpm, 30 menit, 4°C). Sentrifugasi dilakukan untuk memisahkan minyak ikan dengan komponen mata lainnya (daging mata, darah, air, dan sebagainya). Minyak mata tuna hasil ekstraksi dipipet, dimasukkan ke dalam botol kaca yang dilapisi foil alumunium untuk mencegah oksidasi kemudian disimpan pada suhu dingin (-20°C). Minyak mata tuna (rendemen: 5-8% dari total bobot mata tuna) kemudian diuji kualitasnya meliputi bilangan asam dan asam lemak bebas (American Oil Chemists Society [AOCS], 1998), bilangan peroksida (Association of Official Analytical Chemist [AOAC], 2005 No. Ca 5a-40), bilangan anisidin (IUPAC, 1987 No.2504), dan total oksidasi (TOTOX) (AOCS, 1997).

Proses Mikroenkapsulasi Minyak Mata Tuna (Joyce *et al.*, 2018)

Mikroenkapsulasi minyak mata tuna mengacu pada Joyce *et al.* (2018) menggunakan bahan penyalut betasiklodekstrin dan gom arab (1:2). Campuran bahan penyalut dilarutkan dengan air 15% (b/v) dan dipanaskan pada suhu 60°C hingga larut sempurna, didinginkan hingga suhu mencapai 45°C. Perbandingan bahan penyalut dengan minyak mata tuna, yaitu 2:1 dan dihomogenkan. Minyak mata tuna ditambahkan ke dalam larutan penyalut

secara bertahap kemudian dihomogenkan menggunakan alat penghomogen (Wiggen Hause) (20.000 rpm, 10 menit). Emulsi yang dihasilkan dikeringkan menggunakan *spray dryer* (Buchi 190 Ø *nozzle* 0.7 mm) dengan kondisi pengeringan $T_{inlet} = 150-160^{\circ}\text{C}$ dan $T_{outlet} = 90-95^{\circ}\text{C}$. Sampel disimpan pada botol jar yang dilapisi foil alumunium, kemudian dilakukan uji efisiensi mikroenkapsulasi, mikroskop elektron payar (Phenom ProX), dan kadar air (AOAC, 2005).

Kultivasi *S. platensis* (Setyaningsih *et al.*, 2013)

Kultivasi *S. platensis* dilakukan menggunakan media Walne teknis (1 mL/L), suhu 25°C, intensitas cahaya 3.250 lux (40 W) lama pencahayaan 24 jam terang, dan salinitas air laut 15 ppt. Bibit yang digunakan 20% dari volume kultur. *S. platensis* dipanen pada hari ke-14 setelah mencapai *optical density* nylon mesh ukuran 20 µm untuk memisahkan biomassa dan filtratnya. Biomassa dikeringkan menggunakan oven suhu 40°C selama 24 jam dan dihaluskan hingga menjadi serbuk. Pengujian biomassa *S. platensis* terdiri dari analisis rendemen, biomassa kering *S. platensis*, dan proksimat (AOAC, 2005).

Formulasi Tablet Blends Mikrokapsul Minyak Mata Tuna dan *S. platensis* (Huriyah *et al.*, 2019)

Pembuatan formula tablet suplemen dilakukan dengan metode kempa mengacu pada Huriyah *et al.* (2019). Bahan mikrokapsul minyak mata tuna, *S. platensis*, vitamin C, avicel 102, silikon dioksida, talkum, dan magnesium stearat dihomogenkan dan dilakukan pencetakan tablet suplemen menggunakan mesin kempa pencetak tablet (Rimek mini press-II) sesuai formulasi pada *Table 1*.

Formula tablet berbasis mikrokapsul minyak mata tuna dan *S. platensis* terbaik dianalisis berdasarkan karakteristik fisik tablet (Departemen Kesehatan RI [Depkes RI], 1995) dan komposisi kimia formula (AOAC, 2005) serta stabilitas aktivitas air/*water activity* (aW) formula tablet (Figura & Teixeira, 2023).

Table 1 Formulation (500 mg) of tuna's eye oil microcapsule *S. platensis* tablets
Tabel 1 Formulasi tablet (500 mg) mikrokapsul minyak mata ikan tuna dan *S. platensis*

Ingredients (mg)	Formulation treatments			
	F1	F2	F3	F4
Tuna eye oil microcapsule	300	280	300	300
Spirulina powder	-	160	140	-
Spirulina commercial	-	-	-	140
Vitamin C	140	-	-	-
Avicel 102	30	30	30	30
Silicon dioxide	15	15	15	15
Magnesium silicate	10	10	10	10
Magnesium stearate	5	5	5	5

F1 (control); F2 (*Spirulina* culture 160 mg); F3 (*Spirulina* culture 140 mg); F4 (*Spirulina* commercial 160 mg)

Analisis Data

Model rancangan percobaan yang digunakan, yaitu rancangan acak lengkap (RAL) dengan perbedaan formula tablet berbasis mikrokapsul minyak mata tuna dan *Spirulina platensis* terhadap karakteristik fisik dan kandungan kimia formula (sebanyak tiga kali ulangan). Data yang diperoleh dilakukan uji normalitas dan homogenitasnya sebelum dilakukan *analysis of variant* (ANOVA) dengan selang kepercayaan 95% ($\alpha=0,05$), apabila menunjukkan hasil dengan pengaruh yang nyata ($p<0,05$) maka dilakukan uji lanjut *Duncan*. Perangkat lunak yang digunakan adalah Microsoft Excel 2013 dan SPSS versi 22.0.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Mikrokapsul Minyak Mata Tuna

Minyak ikan diperoleh dari bahan baku mata tuna segar vakum dengan penyimpanan

dingin (-20°C) dan nilai organoleptik 7. Minyak mata tuna yang digunakan pada penelitian ini menunjukkan bilangan asam/*acid value* (AV), asam lemak bebas/*free fatty acid* (FFA), bilangan peroksida/*peroxide value* (PV), nilai p-anisidin/*anisidine value* (AnV), dan total oksidasi/*oxidation total* (TOTOX) yang telah memenuhi standar Codex 329-2017 dan layak dijadikan produk pangan. Penanganan bahan baku sesuai standar (SOP) dapat menjaga kualitas kimia bahan baku selama proses penyimpanan (Dawson *et al.*, 2018). Mutu minyak mata tuna dapat dilihat pada *Table 2*.

Enkapsulasi minyak ikan dilakukan menggunakan *spray dryer* sehingga dihasilkan mikrokapsul. Karakteristik mikrokapsul minyak mata tuna menghasilkan nilai efisiensi $91,14\pm 0,06\%$. Pramestia *et al.* (2015) melaporkan bahwa efisiensi mikroenkapsulasi dengan perbandingan bahan penyalut dan minyak ikan lemuru 1:1 adalah 90,41%.

Table 2 Quality of tuna eye oil
Tabel 2 Kualitas minyak mata ikan tuna

Parameters	Tuna eye oil	Tuna eye oil ¹	Skipjack tuna eye oil ²	Codex 329-2017
Free fatty acid (%)	0.61±0.03	0.53	-	-
Acid value (mg KOH/g)	0.26±0.01	1.05	1.4	<3
Peroxide value (meq/kg)	4.07±0.25	14.08	18	<5
Anisidine value (meq/kg)	8.21±0.15	3.24	15	<20
Oxidation total (meq/kg)	16.35±0.18	31.40	51	<26

¹Huriyah *et al.* (2019); ²Pudtikajorn & Bejakul (2020)

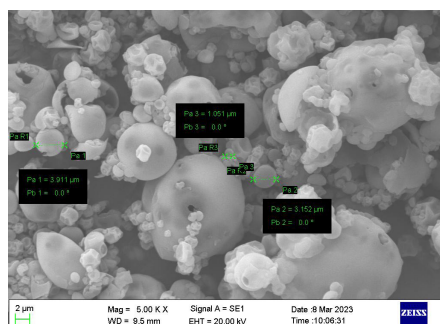
Efisiensi mikro kapsul yang berbeda dapat dipengaruhi oleh perbedaan jenis penyalut, karakteristik kimia, dan karakteristik emulsinya (Salih *et al.*, 2021). Bahan penyalut pada penelitian ini menggunakan kombinasi betasiklodekstrin dan gom arab yang lebih mampu menurunkan kandungan minyak permukaan, sehingga nilai efisiensinya lebih tinggi dibandingkan dengan kombinasi maltodekstrin dan gom arab (Bajac *et al.*, 2022). Betasiklodekstrin merupakan polisakarida siklik yang terdiri dari tujuh unit glukosa yang memiliki kemampuan membentuk kompleks dengan senyawa hidrofobik melalui interaksi nonkovalen antara rongga hidrofobik dari betasiklodekstrin dan bagian hidrofobik dari molekul minyak ikan (Magnusdottir *et al.*, 2002).

Kadar air mikro kapsul minyak mata tuna pada penelitian ini $4,55 \pm 0,06\%$ dan lebih tinggi dibanding persyaratan kadar air produk serbuk kering yaitu antara 3-4%. Kandungan air yang tinggi perlu diantisipasi dengan melakukan pengeringan suhu ruang melalui *vacuum dryer* (Annamalai *et al.*, 2020). Karakteristik fisik mikro kapsul minyak mata tuna dapat dilihat melalui mikroskop elektron payar (SEM). Hasil SEM menunjukkan mikro kapsul yang dihasilkan berbentuk bulat dan lonjong dengan beberapa lekukan (*Figure 1*).

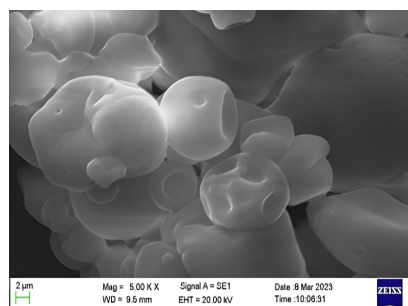
Mikro kapsul minyak mata tuna pada penelitian ini memiliki permukaan yang halus dengan beberapa lekukan dan tanpa retakan. Mikro kapsul minyak mata tuna yang diamati pada perbesaran 10.000 \times memiliki bentuk

yang bulat dengan beberapa lekukan dan berukuran 3,97 μm (*Figure 1a*). Pengamatan dengan perbesaran 5.000 \times (*Figure 1b*) memperlihatkan distribusi mikro kapsul minyak ikan yang berbentuk bulat dengan beberapa lekukan dan berdekatan satu sama lain. Makin baik efisiensi mikroenkapsulasi maka morfologi mikro kapsul semakin seragam (Aghbashlo *et al.*, 2013; Pang *et al.*, 2017). Wang *et al.* (2011) melaporkan bahwa suhu *inlet* pada *spray drying* merupakan faktor penting dalam memengaruhi morfologi mikro kapsul minyak ikan. Suhu *inlet* 160 $^{\circ}\text{C}$ menghasilkan mikro kapsul yang rawan beraglomerasi karena kandungan air yang tinggi sehingga membentuk jembatan antar-partikel, menyebabkan retakan, dan menghancurkan partikel mikro kapsul.

Pelekukan pada permukaan mikro kapsul terjadi akibat adanya penyusutan partikel selama proses pengeringan yang tidak sempurna. Suhu *inlet* yang terlalu tinggi juga menyebabkan penyusutan, akibat evaporasi yang sangat cepat, dan tekanan yang tinggi di dalam partikel (Alamilla-Beltran *et al.*, 2005). Mongenot *et al.* (2000) melaporkan bahwa pelekukan terjadi akibat kandungan minyak yang lebih rendah dalam mikro kapsul sehingga mendorong terjadinya pelekukan pada awal proses pengeringan. Hal tersebut yang menyebabkan efisiensi mikroenkapsulasi tidak sampai 100% dan dapat diatasi dengan perbaikan teknik mikroenkapsulasi misalnya peningkatan kecepatan, waktu homogenisasi, dan stabilitas emulsinya sebelum dilakukan pengeringan (Di Girgio *et al.*, 2019).



(A)



(B)

Figure 1 Structure of tuna's eye oil microcapsules using a scanning electron microscope (A) 10,000 \times magnification, (B) 5,000 \times magnification

Gambar 1 Struktur mikro kapsul minyak mata tuna menggunakan mikroskop elektron payar (A) perbesaran 10.000 \times (B) perbesaran 5.000 \times

Karakteristik Kimia *S. platensis*

Spirulina sp. yang dipanen pada hari ke-14 mendapatkan hasil rendemen sebesar $31,83 \pm 0,78\%$ dengan nilai OD 0,87. Hasil OD pada penelitian ini lebih besar dibanding penelitian sebelumnya yakni 29,25%, OD 0,73 dan 24%, OD 0,53 (Huriyah *et al.*, 2019; Notonegoro *et al.*, 2018). Perbedaan rendemen tersebut dipengaruhi oleh nilai OD selama waktu kultivasi, semakin tinggi nilai OD rendemen yang dihasilkan juga semakin besar (Setyaningsih *et al.*, 2013). Karakteristik nilai gizi *S. platensis* dipengaruhi oleh faktor lingkungan pada saat kultur, meliputi salinitas, pupuk, dan intensitas cahaya (Hanani *et al.*, 2020; Afriani *et al.*, 2018). Kandungan gizi *S. platensis* diperoleh melalui analisis proksimat, meliputi kandungan air, abu, protein, lemak, dan karbohidrat. Hasil analisis proksimat *S. platensis* dan dibandingkan dengan standar sebagai suplemen dapat dilihat pada Table 3.

Hasil kadar air *Spirulina* kultivasi diperoleh 9,02%. Nilai tersebut sesuai dengan SNI 8468-2018 mengenai *Spirulina* kering yaitu maksimal 10%. Huriyah *et al.* (2019) dan Bensehaila *et al.* (2018) melaporkan bahwa kadar air *S. platensis* sebesar 5,26% dan 5,42%. Tinggi rendahnya kandungan air pada sampel dipengaruhi oleh proses pengeringan dan tempat penyimpanan. Suhu yang digunakan selama pengeringan sebesar 40°C selama 24 jam bertujuan mempertahankan aktivitas antioksidan senyawa aktif agar tidak mengalami kerusakan. Komposisi kimia kultur *Spirulina* (Table 3) diperoleh nilai protein 57,55% dan lemak 2,07%. Kadar protein semua formulasi sesuai dengan SNI 8468-2018 mengenai standar *Spirulina* kering

untuk suplemen. Kandungan protein dan lemak yang dihasilkan pada penelitian lebih tinggi dibandingkan Huriyah *et al.* (2019) yang melaporkan bahwa kandungan protein dan lemak *Spirulina* sebesar 55,51% dan 0,82%. Protein yang tertinggi pada *Spirulina* komersial sesuai dengan penelitian Ye *et al.* (2018) nilainya $>60\%$. Tinggi rendahnya kandungan kimia pada *Spirulina* dipengaruhi oleh proses metabolisme selama kultivasi, lama proses pengeringan, serta lama dan tempat penyimpanan (Bensehaila *et al.*, 2015; Ekantari *et al.*, 2017; Setyaningsih *et al.*, 2014).

Karakteristik Fisik Tablet

Tablet merupakan sediaan padat yang memiliki kandungan bahan aktif dan bahan pengisi (eksipien). Pembuatan tablet pada penelitian ini merujuk pada Huriyah *et al.* (2019) dengan metode kempa. Tablet berbasis mikrokapsul dan *Spirulina* hasil kultur memiliki warna hijau kebiruan (F2 dan F3) bila dibandingkan dengan penambahan *Spirulina* komersial cenderung memiliki warna hijau tua (F4) (Ye *et al.*, 2018) serta tanpa pemberian *Spirulina* dengan warna putih kekuningan (F1). Perbedaan yang mencolok antara warna *Spirulina* hasil kultur dan *Spirulina* komersial diduga disebabkan metode kultivasi yang berbeda. Ye *et al.* (2018) mengatakan bahwa cahaya merupakan sumber energi pada proses fotosintesis. Hal ini menandakan intensitas, kualitas, dan periode penyinaran dapat memengaruhi sifat fisikokimia *Spirulina*. Tablet mikrokapsul minyak mata tuna dan *Spirulina* dapat dilihat pada Figure 2.

Karakteristik fisik tablet dapat dievaluasi dengan melakukan perbandingan standar kualitas tablet yang sesuai dengan

Table 3 Chemicals composition of *Spirulina* biomass (wet basis)

Tabel 3 Komposisi kimia biomassa *Spirulina* (basis basah)

Parameters (%) (w/w)	<i>Spirulina</i> culture	Commercial <i>Spirulina</i>	<i>Spirulina</i> ¹	SNI 8468-2018: dried <i>Spirulina</i>
Moisture	9.02 ± 0.07	8.33 ± 0.14	5.26	Max. 10
Ash	6.24 ± 0.06	4.78 ± 0.07	5.64	-
Protein	57.55 ± 0.21	62.61 ± 0.27	55.51	Min. 50
Fat	2.07 ± 0.02	1.65 ± 0.036	0.82	Min. 2
Carbohydrate	25.12 ± 0.16	23.62 ± 0.36	32.77	-

¹Huriyah *et al.* (2019)



Figure 2 Tuna's eye oil microcapsule-*Spirulina* tablets; F1 (control); F2 (*Spirulina* powder 160 mg); F3 (*Spirulina* culture 140 mg); F4 (*Spirulina* commercial 160 mg).

Gambar 2 Tablet mikrokapsul minyak mata tuna dan *Spirulina*; F1 (kontrol); F2 (kultur *Spirulina* 160 mg); F3 (kultur *Spirulina* 140 mg); F4 (*Spirulina* komersial 140 mg).

persyaratan mutu tablet (Depkes RI, 1995). Evaluasi karakteristik tablet berbasis mikrokapsul minyak mata tuna dan *S. platensis* meliputi keseragaman bobot, keseragaman ukuran, kekerasan, keregasan/kerapuhan, dan waktu hancur. Hasil analisis menunjukkan bahwa semua tablet telah memenuhi standar mutu berdasarkan Depkes RI (1995). Hasil evaluasi dapat dilihat pada *Table 4*.

Keseragaman bobot dan ukuran merupakan parameter penentu variasi bobot serta ukuran tablet yang dihasilkan. Bobot dan ukuran tablet yang seragam mengandung jumlah zat yang berkhasiat dalam proporsi yang sama. Faktor yang memengaruhi keseragaman bobot dan ukuran tersebut adalah jumlah atau volume bahan pengisi dan kondisi alat yang telah disesuaikan (Zheng *et al.*, 2017). Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan perbedaan proporsi mikrokapsul minyak mata tuna dan *S. platensis* tidak memberikan pengaruh terhadap keseragaman bobot tablet ($p > 0,05$) selaras dengan penelitian sebelumnya (Huriyah *et al.*, 2019); Ahmad *et al.*, 2019; Syukroni *et al.*, 2017)). Keseragaman bobot dan ukuran pada

semua formulasi telah memenuhi kesesuaian dengan persyaratan pembuatan tablet dari Depkes RI (1995). Syarat keseragaman tablet dengan bobot 500 mg tidak boleh terdapat lebih dari dua tablet yang penyimpangannya melebihi 5% dari bobot rata-ratanya dan tidak boleh ada satupun tablet yang penyimpangan bobotnya melebihi 10% dari bobot rata-ratanya (Depkes RI, 1995).

Pengukuran kekerasan tablet bertujuan mengetahui ketahanan tablet dalam melawan tekanan mekanik seperti guncangan, kikisan selama pembungkusan, pengangkutan, dan pemakaian. *Table 4* menunjukkan rerata kekerasan tablet berada pada rentang 4-4,50 Kp. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan perbedaan proporsi mikrokapsul minyak mata tuna dan *S. platensis* memberikan pengaruh terhadap kekerasan tablet ($p < 0,05$) dan nilai kekerasan tablet pada penelitian ini termasuk kepada rentang standar mutu tablet berdasarkan Depkes RI (1995) yaitu 4-8 Kp. Penelitian ini juga sesuai dengan Syukroni *et al.* (2017) menggunakan bahan excipien avicel 102 mendapatkan nilai kekerasan yang sesuai standar mutu tablet yang baik.

Table 4 Characteristic evaluation of tuna's eye oil microcapsule *Spirulina* tablets
Tabel 4 Evaluasi karakteristik tablet mikrokapsul minyak mata tuna dan *Spirulina*

Parameters	Tablet Formulation				Tablet quality requirements (Depkes RI, 1995)
	F1	F2	F3	F4	
Diameters (cm)	1	1	1	1	3×tablet thickness
Thickness (cm)	0.4	0.4	0.4	0.4	>D>11/3 tablet thickness
Roughness (Kp)	4.04±0.13 ^a	4.50±0.21 ^c	4.47±0.11 ^c	4.26±0.06 ^b	4-8 Kp
Fragility (%)	0.78±0.05 ^c	0.57±0.01 ^a	0.55±0.02 ^a	0.64±0.02 ^b	<1%
Disintegration time	0:15:06	0:12:58	0:11:54	0:14:17	<15 min

F1 (control); F2 (*Spirulina* culture 160 mg); F3 (*Spirulina* culture 140 mg); F4 (*Spirulina* commercial 160 mg)

Keregasan tablet merupakan parameter yang lain untuk menguji kekuatan tablet dan merupakan persen bobot yang hilang setelah mengalami sebuah guncangan. Makin tinggi keregasan tablet mengindikasikan mutu tablet yang kurang baik (Lachman *et al.*, 1994). Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan perbedaan proporsi mikrokapsul *Spirulina* memberikan pengaruh terhadap keregasan tablet ($p < 0,05$) dan sesuai dengan syarat $< 1\%$ (Depkes RI, 1995). Formula F2 memiliki nilai keregasan terkecil 0,57% dan F3 0,55% yang tidak berpengaruh nyata ($p > 0,05$). Hasil penelitian ini berbeda dengan Ahmad *et al.* (2019) mendapatkan nilai keregasan pada formula terbaik 0,27%. Perbedaan bahan bioaktif dan eksipien dapat memengaruhi nilai tersebut. Nilai keregasan tablet dapat dilakukan perbaikan eksipien avicel 102, magnesium stearat dengan penambahan 2% natrium karboksimetil selulosa (Na-CMC) upaya mengikat dan menstabilkan formula tablet (Yi *et al.*, 2016).

Waktu hancur merupakan lamanya sediaan untuk pecah menjadi partikel-partikel yang lebih kecil sebelum larut dan diabsorpsi. Berdasarkan Depkes RI (1995) waktu hancur suatu tablet adalah tidak lebih dari 15 menit. *Table 4* menunjukkan waktu hancur terbaik pada formula F3 dibandingkan formula yang lain. Penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya, yaitu formula terbaik memiliki waktu hancur kurang dari 15 menit (Ahmad *et al.*, 2019; Huriyah *et al.*, 2019). Faktor yang memengaruhi lama waktu hancur suatu tablet adalah interaksi antara bahan pengisi. Penambahan bahan pengisi *spray dried lactose* dan natrium bikarbonat mampu meningkatkan laju alir serta

mempermudah daya hancur pada saat masuk kedalam cairan yang bersifat polar seperti air (Augsburger & Hoag, 2008); Eyjolfsson, 2001).

Komposisi Kimia Formula Produk

Komposisi kimia memberikan informasi kandungan gizi makro maupun mikro pada suatu produk. Kandungan proksimat dapat menentukan kualitas produk selama penyimpanan. Hasil analisis proksimat tablet dapat dilihat pada *Table 5*.

Hasil analisis ragam menunjukkan perlakuan perbedaan konsentrasi proporsi mikrokapsul minyak mata tuna dan *Spirulina* pada formulasi tablet berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap kadar air, abu, lemak, protein, dan karbohidrat. Kadar air formula F1 memiliki nilai paling tinggi dibanding formula F2, F3, dan F4; dan telah sesuai dengan standar BPOM, (2014). Kadar air yang rendah dapat memperpanjang masa penyimpanan tablet. Tablet yang mengandung kadar lemak tinggi harus menghindari kadar air yang tinggi, hal ini sebagai upaya menghindari kerusakan oksidatif. Formula F2, F3, F4 memiliki interaksi positif antara mikrokapsul minyak mata tuna, *Spirulina*, dan bahan eksipien. *Spirulina* umumnya bersifat higroskopis dan meningkatkan kadar air pada produk (Allada, 2016), namun pada penelitian ini tidak terjadi karena kadar air pada mikrokapsul minyak mata tinggi sehingga perlu dilakukan pengurangan dengan pengeringan suhu rendah (± 40 °C).

Perlakuan dengan penambahan *Spirulina* baik kultur maupun komersial dari 140 mg-160 mg dapat meningkatkan kadar protein dari 0,19% (kontrol) menjadi 13,58% (*Spirulina* kultur 160 mg); 9,46% (*Spirulina*

Table 5 Chemical composition of tuna's eye oil microcapsule *Spirulina* tablets

Tabel 5 Komposisi kimia tablet mikrokapsul minyak mata tuna dan *Spirulina*

Parameters	F1	F2	F3	F4
Moisture	6.86±0.04 ^d	5.94±0.034 ^a	6.15±0.03 ^c	6.03±0.03 ^b
Ash	7.77±0.03 ^d	5.15±0.012 ^a	7.05±0.02 ^c	6.84±0.05 ^b
Fat	18.06±0.03 ^d	13.44±0.04 ^b	13.57±0.03 ^c	13.24±0.03 ^a
Protein	0.19±0.01 ^a	13.58±0.08 ^d	9.46±0.03 ^b	12.89±0.03 ^c
Carbohydrate	67.12±0.07 ^d	61.89±0.06 ^b	63.77±0.11 ^c	61.00±0.06 ^a

F1 (control); F2 (*Spirulina* culture 160 mg); F3 (*Spirulina* culture 140 mg); F4 (*Spirulina* commercial 160 mg)

kultur 140 mg); dan 12,89% (*Spirulina* komersial 160 mg). Kadar abu dan protein yang lebih tinggi terdapat pada perlakuan F2 yang disebabkan karena konsentrasi penambahan *Spirulina* lebih banyak dibandingkan F3 dan F4 (konsentrasi lebih kecil). *S. platensis* memiliki kadar abu dan protein yang tinggi sesuai dengan yang dilaporkan Ye *et al.* (2018), yaitu memiliki kadar abu >5% dan protein mencapai 60%. Kadar abu yang tinggi pada perlakuan F3 mengindikasikan bahwa sediaan tablet ini mengandung mineral yang tinggi misalnya kalsium, magnesium, zink dan zat besi (Ekantari *et al.*, 2017). Kadar protein perlakuan F3 lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian Syahrul & Dewita (2016) yang melaporkan bahwa kandungan protein pada suplemen makanan berbasis minyak ikan patin, *Chlorella*, dan konsentrat protein ikan patin 5,83%. Saputra *et al.* (2014) melaporkan bahwa tablet hisap dengan menggunakan *Spirulina* tanpa penambahan bioaktif lainnya memiliki kandungan protein 24,32%.

Perlakuan dengan penambahan *Spirulina* baik kultur maupun komersial dari 140 mg-160 mg dapat menurunkan kadar lemak dari 18,06% (kontrol) menjadi 13,44% (*Spirulina* kultur 160 mg); 13,57% (*Spirulina* kultur 140 mg); dan 13,24% (*Spirulina* komersial 160 mg). Kadar lemak tertinggi pada perlakuan F1 (tanpa pemberian *Spirulina*) 18,06% berbeda nyata dengan formula lainnya ($p < 0,05$). Hal ini disebabkan pada perlakuan F1 mengandung konsentrasi mikrokapsul minyak mata tuna yang lebih banyak, sehingga kadar lemak yang dihasilkan juga lebih tinggi dibandingkan perlakuan lain. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Syahrul & Dewita (2016) yang menyatakan bahwa kadar lemak yang terdapat pada suplemen makanan minyak ikan patin dan *Chlorella* dengan perbandingan 60:40 yaitu 13,24%. Huriyah *et al.* (2019) juga melaporkan kadar lemak yang tinggi disebabkan karena konsentrasi mikrokapsul minyak mata tuna yang lebih banyak.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan perbedaan konsentrasi mikrokapsul minyak mata tuna dan *S. platensis* berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap kandungan karbohidrat tablet. Karbohidrat

tertinggi pada perlakuan F1 menunjukkan bahwa mikrokapsul didominasi oleh bahan penyalut yang tergolong polisakarida. Data penelitian ini sejalan dengan Huriyah *et al.* (2019) yang menyebutkan bahwa formula tablet tanpa penambahan *S. platensis* memiliki kandungan karbohidrat yang lebih tinggi.

Stabilitas Bilangan Peroksida Selama Penyimpanan

Bilangan peroksida (*peroxide value* PV) menjadi salah satu parameter penting pada penentuan kualitas produk berbasis minyak ikan dan memiliki nilai <5 meq/kg berdasarkan standar Codex 329-2017. Penambahan *S. platensis* pada formula tablet bertujuan menghambat proses oksidasi pada produk selama penyimpanan. Kestabilan bilangan peroksida pada tablet selama penyimpanan dapat dilihat pada *Figure 3*.

Hasil penelitian menunjukkan kombinasi *S. platensis* dan mikrokapsul minyak mata tuna mampu menekan bilangan peroksida pada tablet selama penyimpanan. Formula F3 dan F4 memiliki stabilitas yang lebih baik dari F1 tanpa penambahan *S. platensis* dan F2 dengan *S. platensis* konsentrasi yang lebih rendah. Nooranisa dan Ekantari (2020) melaporkan bahwa penambahan *S. platensis* pada es krim mampu meningkatkan umur simpan dan memperbaiki fisikokimia produk. Amirdivani & Baba (2011) melaporkan bahwa aktivitas antioksidan dan total fenolik pada *S. platensis* mampu meningkatkan nilai antioksidan sehingga mencegah terjadinya ketengikan produk akibat oksidasi. *Spirulina platensis* mengandung karotenoid dan fikosianin yang dilaporkan dapat melindungi minyak ikan dari oksidasi dan memiliki aktivitas antibakteri (Mohammadi *et al.*, 2022; Sarada *et al.*, 2011).

Stabilitas Aktivitas Air (aW) Selama Penyimpanan

Nilai aW menunjukkan jumlah ketersediaan air bebas pada suatu bahan yang dapat digunakan oleh mikroorganisme untuk dapat tumbuh dengan baik, untuk mikroorganisme bakteri >0,9; khamir 0,8-0,9; dan 0,6-0,7 untuk kapang (Figura & Teixeira 2023). Perubahan nilai aW tablet mikrokapsul

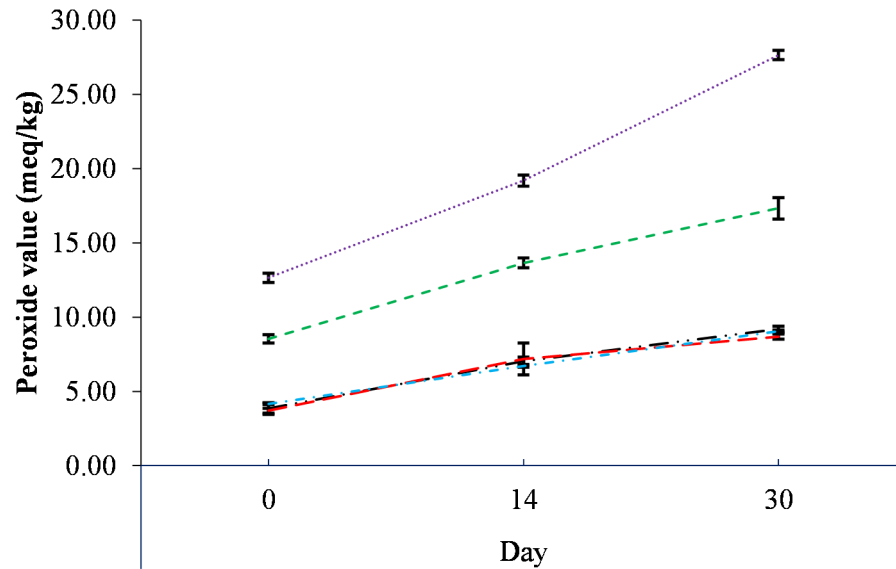


Figure 3 Stability of peroxide value of tuna's eye oil microcapsules *Spirulina* tablets during storage; microcapsule (.....), F1 (-----), F2 (-----), F3 (-----), F4 (-----)

Gambar 3 Stabilitas bilangan peroksida tablet mikrokapsul minyak mata tuna dan *Spirulina* selama penyimpanan; mikrokapsul (.....), F1 (-----), F2 (-----), F3 (-----), F4 (-----)

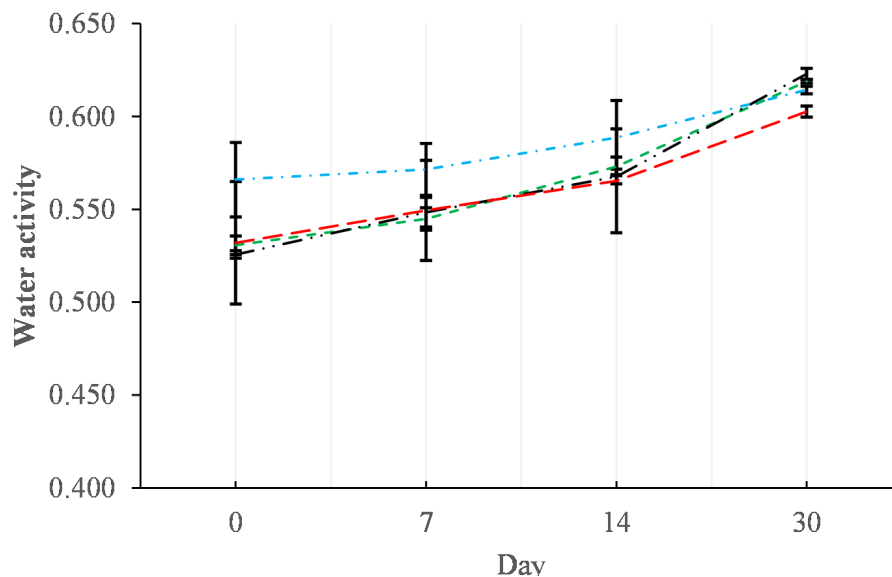


Figure 4 Stability of water activity of tuna's eye oil microcapsules *Spirulina* tablets during storage; microcapsule (.....), F1 (-----), F2 (-----), F3 (-----), F4 (-----)

Gambar 4 Stabilitas aktivitas air tablet mikrokapsul minyak mata tuna dan *Spirulina* selama penyimpanan; mikrokapsul (.....), F1 (-----), F2 (-----), F3 (-----), F4 (-----)

minyak mata tuna dan *S. platensis* pada penelitian ini selama penyimpanan 30 hari di dalam botol plastik HDPE dapat dilihat pada *Figure 4*.

Hasil pengamatan aW selama penyimpanan 30 hari menunjukkan bahwa keempat formula mengalami perubahan (0,52-0,60) selama penyimpanan. Hasil aW

semua perlakuan masih di bawah nilai aW untuk pertumbuhan mikrob dan melakukan proliferasi yaitu aW <0,65 (Fontana, 2007). Batas minimum pertumbuhan mikrob pada produk pangan terjadi pada aW >0,62 (Robertson, 2010). Hasil penelitian menunjukkan nilai aW pada tablet ini kurang stabil bila dibandingkan Huriyah

et al. (2019) dengan aW 0,5-0,54 selama penyimpanan sebulan, namun masih tetap aman dari kerusakan akibat aktivitas mikroorganisme. Kenaikan nilai aW selama masa penyimpanan dapat dipicu oleh perubahan suhu, kelembapan dan sifat bahan yang higroskopis (Lubis *et al.*, 2016). Peningkatan stabilitas aW sangat perlu dilakukan agar dapat menekan laju kerusakan tablet sebagai upaya meningkatkan keamanan pangan seperti dengan sterilisasi komersial.

KESIMPULAN

Minyak mata tuna dan *Spirulina* hasil kultur telah memenuhi standar mutu bahan baku. Efisiensi mikroenkapsulasi minyak mata tuna 91,14%. Formula F3 memiliki karakteristik fisik terbaik dan telah sesuai dengan standar dengan perbandingan mikrokapsul minyak: *Spirulina* (300 mg:140 mg). Stabilitas bilangan peroksida dan aktivitas air selama penyimpanan menunjukkan formula F3 lebih stabil dibandingkan formula lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi melalui program BIMA skema pendanaan Proposal Tesis Magister (PTM) dengan nomor 18933/IT3.D10/PT.01.02/M/T/2023 yang diketuai oleh Dr. Ir. Wini Trilaksani, MSc sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

Afriani, S., Uju, & Setyaningsih, I. (2018). Komposisi kimia *Spirulina platensis* yang dikultivasi dalam fotobioreaktor dengan fotoperiode berbeda. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 21(3), 471-479. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v21i3.24719>

Ahmad, M. G., Setyaningsih, I., & Trilaksani, W. (2019). Formulasi dan bioaktivitas suplemen tablet berbasis *Spirulina* dan hidrolisat kolagen kulit ikan nila. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 22(3), 453-463. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v22i3.28925>

Aitta, E., Marsol-Vall, A., Damerou, A., & Yang, B. (2021). Enzyme-assisted extraction of fish oil from whole fish and by-products of baltic herring (*Clupea harengus membras*). *Foods*, 10(8), 1-12. <https://doi.org/10.3390/foods10081811>

Alamilla-Beltran, L., Chanona-Perez, J. J., Jimenez-Aparicio, A. R., & Gutierrez-Lopez, G. F. (2005). Description of morphological changes of particles along spray drying. *Journal of Food Engineering*, 67(1-2), 179-184. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.063>

Allada, R. (2016). Hygroscopicity categorization of pharmaceutical solids by gravimetric sorption analysis: A systematic approach. *Asian Journal of Pharmaceutics (AJP)*, 10(4), 179-184. <https://doi.org/10.22377/ajp.v10i04.867>

American Oil Chemists Society. (1997). Official Methods and Recommended Practices of AOCS International.

American Oil Chemists Society. (1998). Free Fatty Acids. In: Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society.

Amirdivani, S., & Baba, A. S. (2011). Changes in yogurt fermentation characteristics, and antioxidant potential and in vitro inhibition of angiotensin-1 converting enzyme upon the inclusion of peppermint, dill and basil. *LWT-Food Science and Technology*, 44 (6), 1458-1464. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.01.019>

Annamalai, J., Aliyamveetil Abubacker, Z., Lakshmi, N. M., & Unnikrishnan, P. (2020). Microencapsulation of fish oil using fish protein hydrolysate, maltodextrin, and gum Arabic: Effect on structural and oxidative stability. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 29(3), 293-306. <https://doi.org/10.1080/10498850.2020.1723765>

Association of Official Analytical Chemist. (2005). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical of Chemist.

Augsburger, L., L., & Hoag, S., W. (2008). Pharmaceutical dosage forms: tablets. Rational design and formulation, vol. 2.

- 3rd ed. Informa Healthcare.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan. (2014). Persyaratan Mutu Obat Tradisional. BPOM Nomor 12 Tahun 2014.
- Badan Standardisasi Nasional. (2018). *Spirulina* spp kering- syarat mutu dan pengolahan. SNI 8469:2018.
- Bajac, J., Nikolovski, B., Lončarević, I., Petrović, J., Bajac, B., Đurović, S., & Petrović, L. (2022). Microencapsulation of juniper berry essential oil (*Juniperus communis* L.) by spray drying: microcapsule characterization and release kinetics of the oil. *Food Hydrocolloids*, 125 (1), 2-10. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107430>
- Bortolini, D. G., Maciel, G. M., Fernandes, I. D. A. A., Pedro, A. C., Rubio, F. T. V., Brancod, I. G., & Haminiuk, C. W. I. (2022). Functional properties of bioactive compounds from *Spirulina* spp.: Current status and future trends. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 5(10), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100134>
- Cao, X., Luo, Q., Song, F., Liu, G., Chen, S., Li, Y., & Lu, Y. (2023). Effects of oxidative torrefaction on the physicochemical properties and pyrolysis products of hemicellulose in bamboo processing residues. *Industrial Crops and Products*, 191, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115986>
- Codex Alimentarius Commission. (2017). Standard for Fish Oils CODEX STAN 329-2017.
- Dawson, P., Al-Jeddawi, W., & Remington, N. (2018). Effect of Freezing on the shelf life of Salmon. *International Journal Food Science*, 1(12), 1-12. <https://doi.org/10.1155/2018/1686121>
- Departemen Kesehatan Republik Indonesia. (1995). Farmakope Indonesia. Edisi IV.
- Di Giorgio, L., Salgado, P. R., & Mauri, A. N. (2019). Encapsulation of fish oil in soybean protein particles by emulsification and spray drying. *Food Hydrocolloids*, 87(12), 891-901. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.024>
- Djordjevic, D., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2004). Oxidative stability of whey protein-stabilized oil-in-water emulsions at pH 3: Potential ω -3 fatty acid delivery systems (Part B). *Journal of Food Science*, 69(5), 56-62. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb10697.x>
- Ekantari, N., Harmayani, E., Pranoto, Y., & Marsono, Y. (2017). Calcium of *Spirulina platensis* has higher bioavailability than those of calcium carbonate and high-calcium milk in Sprague Dawley rats fed with vitamin D-deficient diet. *Pakistan Journal of Nutrition*, 16(3), 179-186. <https://doi.org/10.3923/pjn.2017.179.186>
- Eyjolfsson, R. (2001). Mixing of pharmaceutical powders in tablet manufacture. *Pharmazie*. 56(7), 590-1.
- Figura, L. O., & Teixeira, A. A. (2023). Water activity. In *Food Physics: Physical Properties-Measurement and Applications* (pp. 1-57). Cham: Springer International Publishing.
- Fontana, A., J. (2007). Appendices D: Minimum water activity limits for growth of microorganisms. *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*. Blackwell Publishing.
- Gamarro, E. G., Orawattanamateekul, W., Sentina, J., & Gopal, T. S. (2013). By-products of tuna processing. *GLOBEFISH Research Programme*, 112(12), 1-48.
- Gaonkar, A., Vasisht, N., Khare, A., & Sobel, R. (2014). Microencapsulation in the food industry: a practical implementation guide. Academic Press.
- García-Moreno, P. J., Pelayo, A., Yu, S., Busolo, M., Lagaron, J. M., Chronakis, I. S., & Jacobsen, C. (2018). Physicochemical characterization and oxidative stability of fish oil-loaded electrosprayed capsules: Combined use of whey protein and carbohydrates as wall materials. *Journal of Food Engineering*, 231(13), 42-53. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.03.005>
- Hanani, T., Widowati, I., & Susanto, A. B. (2020). Kandungan senyawa beta karoten pada *Spirulina platensis* dengan perlakuan perbedaan lama waktu pencahayaan. *Buletin Oseanografi Marina April*, 9(1), 55-58. <https://doi.org/10.14710/buloma.v9i1.24681>
- Huriyah, B., Setyaningsih, I., & Trilaksana, W.

- (2019). Formulasi tablet kaya gizi dan antioksidan berbasis *Spirulina, virgin fish oil* mata tuna, dan ekstrak buah bakau. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Perikanan dan Kelautan*, 14(2), 117-128. <http://dx.doi.org/10.15578/jpbkp.v14i2.606>
- International Union on Pure and Applied Chemistry. (1987). Standard methods for the analysis of oils and fats and derivatives, 7th. Paquot C dan Hautfenne A (ed). Oxford (UK): Blackwell Scientific.
- Jamshidi, A., Cao, H., Xiao, J., & Simal-Gandara, J. (2020). Advantages of techniques to fortify food products with the benefits of fish oil. *Food Research International*, 137(8), 109353. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109353>
- Joyce, P., Gustafsson, H., & Prestidge, C. A. (2018). Enhancing the lipase-mediated bioaccessibility of omega-3 fatty acids by microencapsulation of fish oil droplets within porous silica particles. *Journal of Functional Foods*, 47(10), 491-502. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.06.015>
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2021). Hasil Pemantauan Status Gizi Tahun 2020.
- Koren, N., Simsa-Maziel, S., Shahar, R., Schwartz, B., & Monsonogo-Ornan, E. (2014). Exposure to omega-3 fatty acids at early age accelerate bone growth and improve bone quality. *The Journal of nutritional biochemistry*, 25(6), 623-633. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2014.01.012>
- Lubis, A., F., Purwaningsih, S., Tarman, K. (2016). Aktivitas antioksidan pada formula tablet teripang keling (*Holothuria atra*). *Berkala Perikanan Terubuk*, 44(2), 52-69.
- Magnusdottir, A., Másson, M., & Loftsson, T. (2002). Self-association and cyclodextrin solubilization of NSAIDs. *Journal of inclusion phenomena and macrocyclic chemistry*, 44(6), 213-218.
- Mohanty, B.P., Ganguly, S., Mahanty, A., Sankar, V., Anandan, R., Chakraborty, K., Paul, B.N., Sarma, D., Dayal, J.S., Venkateshwarlu, G., Mathew, S., Asha, K.K., Karunakaran, D., Mitra, T., Chanda, S., Shahi, N., Das, P., Akhtar, M.S., Vijayagopal, P., & Sridhar, N. (2016). DHA and EPA content and fatty acid profile of 39 food fishes from India. *Biomed Research International*, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2016/4027437>
- Mohammadi, M., Soltanzadeh, M., Ebrahimi, A. R., & Hamishehkar, H. (2022). *Spirulina platensis* protein hydrolysates: Techno-functional, nutritional and antioxidant properties. *Algal Research*, 65(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102739>
- Mongenot, N., Charrier, S., & Chalier, P. (2000). Effect of ultrasound emulsification of cheese aroma encapsulation by carbohydrates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(13), 861-867. <https://doi.org/10.1021/jf990494n>
- Mustapha, R.A., Bolajoko, O., Akinola, O.O. (2014). Omega-3 and Omega-6 Fatty Acids Potential of Smoked and Boiled Catfish (*Clarias Gariepinus*). *Curr Res Nutr Food Sci*, 2(2), 1-11. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.2.2.06>
- Noorannisa, S., & Ekantari, N. (2020). Stability of *Spirulina platensis* ice cream and shelf life prediction using accelerated shelf life test method based on physical and antioxidant analysis. *Web of Conferences*, 147, 03007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014703007>
- Notonegoro, H., Setyaningsih, I., & Tarman, K. (2018). Kandungan senyawa aktif *Spirulina platensis* yang ditumbuhkan pada media walne dengan konsentrasi NaNO_3 berbeda. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 13(2), 111-123. <https://doi.org/10.15578/JPBKP.V13I2.555>
- Pramestia, S. P., Riyanto, B., & Trilaksana, W. (2015). Mikroenkapsulasi minyak ikan kaya asam lemak omega-3 sebagai bahan fortifikasi pada sup krim kepiting instan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 18(2), 162-176. <https://doi.org/10.17844/jphpi.2015.18.2.162>
- Pudtikajorn, K., & Benjakul, S. (2020). Simple wet rendering method for extraction of prime quality oil from skipjack tuna eyeballs. *European Journal of Lipid*

- Science and Technology*, 122(8),1-28. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202000077>
- Robertson, G., L. (2010). Food quality and indices of failure. Food Packaging and Shelf Life: A Practical Guide. CRC Press.
- Rutar, J. M., Hudobivnik, M. J., Necemer, M., Mikus, K. V., Arcon, I., & Ogrinc, N. (2022). Nutritional quality and safety of the *Spirulina* dietary supplements sold on the slovenian market. *Foods*, 849(23), 1-20. <https://doi.org/10.3390/foods11060849>
- Salih, A. W., Najim, S. M., & Al-Noor, J. M. (2021). Some physical, chemical and sensory properties of fish oil extracted from fish wastes by physical and chemical methods. *Biological and applied environmental research*, 5(12), 152-162. <https://doi.org/10.51304/baer.2021.5.1.152>
- Saputra, J. S. E., Agustini, T. W., & Dewi, E. N. (2014). Pengaruh penambahan biomassa serbuk *Spirulina platensis* terhadap sifat fisik, kimia, dan sensori pada tablet hisap (Lozenges). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 17(3), 281-291.
- Sarada, D. V., Sreenath Kumar, C., & Rengasamy, R. (2011). Purified C-phycocyanin from *Spirulina platensis* (nordstedt) geitler: a novel and potent agent against drug resistant bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27, 779-783. <https://doi.org/10.1080/09670262.2010.550386>
- Schacky, C. V. (2021). Importance of EPA and DHA blood levels in brain structure and function. *Nutrients*. 13(4), 1-18. <https://doi.org/10.3390/nu13041074>
- Setyaningsih, I., Tarman, K., Satyantini, W. H., & Baru, D. A. (2013). Pengaruh waktu panen dan nutrisi media terhadap biopigmen *Spirulina platensis*. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 16(3), 191-198.
- Setyaningsih, I., Trilaksani, W., Masruroh, E., Fahleny, R., & Gentini, V. T. (2014). Kajian kerusakan tablet hisap *Spirulina* selama penyimpanan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 19(3), 179-182.
- Sittiprapaporn, P., Bumrungpert, A., Suyajai, P., & Stough, C. (2022). Effectiveness of fish Oil-DHA supplementation for cognitive function in Thai children: A randomized, doubled-blind, two-dose, placebo-controlled clinical trial. *Foods*, 11(17), 2-14. <https://doi.org/10.3390/foods11172595>
- Soltan, S.S.A.M., & Gibson, R.A. (2008). Levels of omega 3 fatty acids in Australian seafood. *Asia Pac. J. Clin. Nutr*, 17(3): 385-390.
- Syaharul, S., & Dewita, D. (2016). Suplemen makanan kesehatan (*health food*) bernutrisi tinggi dari *Chlorella* dan minyak ikan patin. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 19(3), 251-255. <https://doi.org/10.17844/jphpi.2016.19.3.251>
- Syukroni, I., & Trilaksani, W., & Uju. (2017). Recovery and valorization of snakehead fish (*Channa striata*) surimi wash water as stock albumin tablet. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 6(11), 2277-8616
- Trilaksani, W., Riyanto, B., Ramadhan, W., Sinulingga, F., & Fauziah, S. (2023). The characteristics of PUFAs-rich virgin fish oil as affected by size of tuna eye. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(12), 6545-6556. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d241216>
- Trilaksani, W., Riyanto, B., Azzahra, F., Santoso, J., & Tarman, K. (2020, September 9-11). Recovery of tuna virgin fish oil and formulation as a product model of emulsion food supplement [Conference session]. The World Seafood Congress 2019 – “Seafood Supply Chains of the Future: Innovation, Responsibility, Sustainability” 9–11 September 2019, Penang, Malaysia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/414/1/012027>
- Vestland, T. L., Jacobsen, Ø., Sande, S. A., Myrset, A. H., & Klaveness, J. (2015). Compactible powders of omega-3 and β-cyclodextrin. *Food chemistry*, 185(8), 151-158.
- Vestland, T. L., Jacobsen, Ø., Sande, S. A., Myrset, A. H., & Klaveness, J. (2016). Characterization of omega-3

- tablets. *Food Chemistry*, 197(11), 496-502. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.142>
- Wang, B., Adhikari, B., & Barrow, C. J. (2014). Optimisation of the microencapsulation of tuna oil in gelatin–sodium hexametaphosphate using complex coacervation. *Food chemistry*, 158(12), 358-365. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.135>
- Wang, R., Tian, Z., & Chen, L. (2011). A novel process for microencapsulation of fish oil with barley protein. *Food research international*, 44(9), 2735-2741. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.013>
- World Bank Group. (2020). The human capital index 2020 update: the human capital in the time of COVID-19. www.worldbank.org/mfd.
- World Health Organization. (2010). Nutrition Landscape Information System (NLIS) Country Profile Indicators: Interpretation Guide. World Health Organization.
- World Health Organization. (2019). Global Nutrition Targets 2025: Stunting Policy Brief (WHO/NMH/NHD/14.3). World Health Organization.
- Ye, C., Mu, D., Horowitz, N., Xue, Z., Chen, J., Xue, M., et al., & Zhou, W. (2018). Life cycle assessment of industrial scale production of spirulina tablets. *Algal research*, 34(8), 154-163. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.07.013>
- Zheng, Y., Zhu, F., Lin, D., Wu, J., Zhou, Y., & Mark, B. (2017). Optimization of formulation and processing of *Moringa oleifera* and spirulina complex tablets. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(1), 122-126. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.08.017>