Volume 7, No. 3, 2026

ISSN 2723-7583 (Online)

Karakteristik Mutu Bubuk *Chlorella vulgaris* Diproduksi Dengan Pengeringan Oven Dan Sinar Matahari

The Quality Characteristics of Chlorella vulgaris Powder Produced by Oven and Sun Drying

Dian Iriani*, Muhammad Fernanda Dahrika, Tjipto Leksono

Program Studi Teknologi Hasil Perikanan , Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau, Kampus Bina Widya KM, 12,5 Simpang Baru, Tampan, Pekanbaru, 28293

*Corresponding author email: dian.iriani@lecturer.unri.ac.id

Submitted: 13 October 2025 / Revised: 30 June 2026 / Accepted: 27 July 2026

http://doi.org/10.21107/juvenil.v7i3.32082

ABSTRAK

Pengeringan merupakan tahap yang cukup krusial didalam proses pengolahan bubuk Chlorella vulgaris. C. vulgaris merupakan mikroalga yang kaya akan nutrisi yang tinggi. Selain memiliki nutrisi yang tinggi, mikroalga ini memiliki kandungan klorofil dan kandungan antioksidan yang baik. Hal tersebut dapat menjadikan pengolahan bubuk Chlorella vulgaris sangat penting. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kandungan kimia pada bubuk Chlorella vulgaris menggunakan pengeringan oven dan pengeringan sinar matahari. Metode penelitian ini menggunakan eksperimen perbandingan. Parameter yang diuji adalah kandungan proksimat (air, abu, lemak, protein, karbohidrat), kandungan serat, akivitas antioksidan, klorofil a dan b. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bubuk Chlorella vulgaris dengan pengeringan oven memiliki kadar air 7,32%, abu 30,36%, lemak 1,07%, protein 34,33%, karbohidrat 24,86%, dan serat 2,06%. Nilai aktivitas antioksidan sebesar 55,21 (µg/mL), klorofil a 20,36 (µg/mL) dan klorofil b 38,29 (µg/mL). Sedangkan bubuk C. vulgaris yang dikeringkan dengan sinar matahari memiliki kadar air 7,07%, abu 23,27%, lemak 1,62%, protein 17,81%, karbohidrat 46,85% dan serat 3,39%. Nilai aktivitas antioksidan IC_{50} yang dikeringkan dengan sinar matahari sebesar 107,38 (µg/mL), klorofil a 17,58 (µg/mL) dan klorofil b 42,68 (µg/mL). Seluruh parameter menunjukkan perbedaan yang sangat nyata ($p<0,01$) antar kedua metode pengeringan. Bubuk *C. vulgaris* hasil pengeringan oven menunjukkan mutu protein dan aktivitas antioksidan yang lebih unggul, sehingga metode pengeringan oven lebih direkomendasikan untuk aplikasi bubuk *C. vulgaris* pada produk pangan maupun non-pangan yang menekankan nilai gizi dan fungsional tinggi.

Kata Kunci: *Mikroalga, Chlorella vulgaris, pengeringan, nilai proksimat*

ABSTRACT

Drying is a crucial stage in the processing of Chlorella vulgaris powder. C. vulgaris is a microalgae that is rich in high nutrients. In addition to having high nutrients, this microalgae has good chlorophyll and antioxidant content. This can make the processing of Chlorella vulgaris powder very important. The purpose of this study was to determine the chemical content of Chlorella vulgaris powder using oven drying and sun drying. This research method uses a comparative experiment. The parameters tested were proximate content (water, ash, fat, protein, carbohydrates), fiber content, antioxidant activity, chlorophyll a and b. The results showed that Chlorella vulgaris powder with oven drying had a water content of 7.32%, ash 30.36%, fat 1.07%, protein 34.33%, carbohydrate 24.86%, and fiber 2.06%. The antioxidant activity value was 55.21 (µg/mL), chlorophyll a 20.36 (µg/mL) and chlorophyll b 38.29 (µg/mL). While the sun-dried C. vulgaris powder had a water content of 7.07%, ash 23.27%, fat 1.62%, protein 17.81%, carbohydrate 46.85% and fiber 3.39%. The IC_{50} antioxidant activity value dried in the sun was 107.38 (µg/mL), chlorophyll a 17.58 (µg/mL) and chlorophyll b 42.68 (µg/mL). All parameters differed significantly ($p<0.01$) between the two drying methods. Oven-dried *C. vulgaris* powder exhibited superior protein content and antioxidant activity, indicating that oven drying is more recommended for applications of *C. vulgaris* powder in food and non-food products that emphasize high nutritional and functional value.

Keywords: *Microalgae, Chlorella vulgaris, drying, proximate value*

PENDAHULUAN

Mikroalga *Chlorella vulgaris* merupakan mikroalga yang tergolong dalam kelas alga hijau atau *Chlorophyceae*. Alga ini tidak memiliki akar, batang, dan daun sejati, tetapi telah memiliki pigmen klorofil sehingga bersifat fotoautotrof. *C. vulgaris* memiliki beberapa keunggulan, yaitu mampu tumbuh dengan cepat, tidak memerlukan area budidaya yang luas, serta dapat tumbuh di air laut, air tawar, maupun air limbah (Dianursanti *et al.,* 2014; Daliry *et al.,* 2017; da Silva A.A., dan Fonseca, 2020).

C. vulgaris memiliki potensi besar sebagai pangan fungsional, pakan alami, pakan ternak, suplemen, penghasil komponen bioaktif, serta bahan farmasi dan kedokteran. Potensi tersebut didukung oleh kandungan nutrien yang beragam pada *C. vulgaris*, seperti protein, karbohidrat, asam lemak tak jenuh, vitamin, klorofil, enzim, dan serat dalam jumlah tinggi (Kawaroe *et al.,* 2019). Selain itu, *C. vulgaris* juga mampu menghasilkan senyawa antibiotik yang disebut Chlorellin, yaitu zat yang dapat melawan penyakit-penyakit yang disebabkan oleh bakteri (Desianti, 2014). Pemanfaatan *C. vulgaris* di bidang pangan dan non-pangan telah banyak dilakukan, di antaranya pada produk cookies (Iriani *et al.,* 2017), produk kosmetik masker wajah (Iriani *et al.,* 2023), serta sebagai pewarna alami pada produk pangan karena kandungan klorofil a dan b dalam jumlah besar (Iriani *et al.,* 2025).

Proses pengembangan (kultivasi) mikroalga *C. vulgaris* meliputi tahapan pembibitan, budidaya, panen, hingga pengolahan menjadi produk olahan. Keberhasilan kultivasi *C. vulgaris* dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti suhu, intensitas pencahayaan, dan media yang digunakan (Iriani *et al.,* 2021). Dalam proses pengolahan mikroalga, terdapat hal penting yang perlu diperhatikan agar kandungan gizi dan senyawa aktif di dalamnya tetap terjaga. Meskipun mikroalga ini relatif mudah dikembangkan, salah satu kendala utama dalam proses pengolahannya terletak pada tahap pengeringan.

Pengeringan *Chlorella* dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu pengeringan oven dan pengeringan sinar matahari. Pengeringan dengan oven memerlukan waktu yang jauh lebih singkat dibandingkan dengan pengeringan sinar matahari. Pada suhu 50–70°C, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kadar air di bawah 10% berkisar antara 6–24 jam, sedangkan pengeringan dengan sinar matahari membutuhkan waktu sekitar 48–72 jam dengan efisiensi pengeringan yang lebih rendah karena sangat bergantung pada kondisi cuaca (Amin *et al.,* 2021; Megawati *et al.,* 2021; Hassan *et al.,* 2024). Laju pengeringan akan meningkat seiring dengan kenaikan suhu, dengan suhu optimal berkisar antara 60–80°C untuk menjaga kualitas biomassa yang dihasilkan (Megawati *et al.,* 2021; Hosseinizand *et al.,* 2018).

Penelitian mengenai bubuk *C. vulgaris* hasil pengeringan oven dan pengeringan sinar matahari menjadi menarik untuk dikaji karena masih terbatasnya informasi mengenai nilai kimia yang dihasilkan dari kedua metode pengeringan tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menelusuri informasi nilai kimia bubuk *C. vulgaris* yang dihasilkan melalui pengeringan oven dan pengeringan sinar matahari. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat mengenai karakteristik mutu bubuk *C. vulgaris* yang dikeringkan dengan kedua metode tersebut.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli-September 2024 di Laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi Hasil Perikanan, dan Laboratorium Kimia Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Riau dan Laboratorium Dasar Universitas Islam Riau.

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *C. Vulgaris* yang dikultivasi di Laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi Hasil Perikanan Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau Pekanbaru. Bahan-bahan kimia terdiri atas fenolflatelin, kalium oksalat, NaOH, H_2SO_4, $FeCl_3$ 0,1%, etanol 96%, fosfat, $K_3Fe(CN)_6$ 1%, formaldehyde, *Buffer Pepton Water* (BPW), dan aseton. Alat yang digunakan adalah neraca analitik, gelas ukur, saringan, cawan porselen, oven listrik, desikator, tabung erlenmeyer, *soxhlet*, labu lemak, tabung reaksi, *stomacher*, cawan petri, dan *spektrofotometer*.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen perbandingan yaitu penggunaan metode pengeringan berbeda terhadap mutu bubuk *C. vulgaris* dengan dua macam perlakuan yaitu bubuk *C. vulgaris* dengan metode pengeringan oven dan metode pengeringan sinar matahari. Kemudian dilakukan perbandingan (*Comperative Methods*) dengan membandingkan kedua

perlakuan tersebut, dengan 5 kali ulangan. Model rancangan yang digunakan dalam uji-T (Bender *et al.,* 1984) :

$$SD^2 = \frac{\sum D^2 - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n-1}$$

$$t - hitung = \frac{\bar{D}}{S\bar{D}}$$

$$S\bar{D} = \sqrt{\frac{SD^2}{n}}$$

Dimana, :D: ∑ rata-rata selisih variable X_1 dan X_2,SD^2: rata-rata standart deviasi variable, n: jumlah ulangan

Prosedur Penelitian

Chlorella yang telah dikultivasi selama 12 hari dipanen **(Gambar 1)** dan disentrifuge untuk mendapatkan pastanya (Iriani *et al.,* 2025). Pasta yang didapat selanjutnya dikeringkan dengan 2 metode pengeringan berbeda yaitu pengeringan oven dan sinar matahari.



Gambar 1. Kultivasi *Chlorella vulgaris*

Pengeringan Oven (Megawati *et al.,* 2021, modifikasi)

Prosedur pengeringan bubuk *C. vulgaris* dengan menggunakan metode oven. Pasta *C. vulgaris* ditimbang sebanyak 50 g kemudian tiriskan secara merata pada nampan. Letakan nampan yang berisi pasta *C. vulgaris* ke dalam oven selama ±6 jam pada suhu fluktasi berkisar pada suhu 35-50℃. Lalu pasta *C. vulgaris* kering, dilakukan proses penggilingan dan pengayakan dengan saringan 100 mesh.

Pengeringan sinar matahari (Madhubalaji *et al.,* 2021 modifikasi)

Pasta *C. vulgaris* ditimbang sebanyak 50 g kemudian tiriskan secara merata pada nampan. Letakan nampan yang berisi pasta *C. vulgaris* pada tempat yang terkena sinar matahari selama ± 6 jam, berkisar pada suhu 35-50℃. Lalu pasta *C. vulgaris* kering, dilakukan proses penggilingan dan pengayakan dengan saringan 100 mesh.

Parameter yang diuji dalam penelitian ini adalah analisis proksimat (kadar air, abu, protein, lemak, serat, dan karbohidrat), uji antioksidan, dan uji klorofil.

Uji Kadar Air (AOAC, 2005)

Pengujian kadar air dilakukan menggunakan metode oven. Pertama, kurs porselen dikeringkan di oven selama 24 jam pada suhu antara 100-105°C, kemudian didinginkan dalam desikator selama 15 menit. Berat kurs porselen dicatat sebagai berat botol (A). Sekitar 2 g sampel dimasukkan ke dalam cawan kurs porselen yang telah dikeringkan di oven pada suhu 100-105°C selama 6 jam. Setelah proses ini, cawan berisi sampel didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan kemudian ditimbang. Selisih berat menunjukkan jumlah air dalam sampel.. Berikut adalah persamaan untuk menghitung kadar air dalam sampel.

$$\text{Kadar air } (\%) = \frac{\text{B} - \text{C}}{\text{B} - \text{A}} \times 100\%$$

Dimana, A adalah Berat cawan kosong (g); B adalah Berat cawan yang berisi sampel (g); C adalah Berat cawan dengan sampel yang sudah dikeringkan (g)

Uji Kadar Abu (AOAC, 2005)

Cawan porselen dipanaskan dalam oven selama 15 menit. Kemudian, cawan tersebut didinginkan dalam desikator. Selanjutnya, sebanyak 3-5 g dari sampel dimasukkan ke dalam cawan porselen, dan cawan tersebut ditimbang. Sampel kemudian dibakar hingga tidak mengeluarkan asap lagi dan ditempatkan

dalam tanur pada suhu 550°C sampai berubah warna menjadi putih, yang menunjukkan bahwa semua sampel telah menjadi abu. Setelah proses ini, cawan tersebut didinginkan kembali dalam desikator dan ditimbang.

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{\text{C} - \text{A}}{\text{B} - \text{A}} \times 100\%$$

Dimana. A adalah Berat cawan kosong (g); B adalah Berat cawan dengan sampel (g); C adalah Berat cawan dengan sampel yang sudah dikeringkan (g)

Uji Kadar Lemak (AOAC, 2005)

Labu lemak dipanaskan dalam oven pada suhu 105℃ selama 15 menit, lalu didinginkan selama 15 menit dalam desikator sebelum ditimbang (A). Sebanyak 5 g sampel ditimbang (B) dan kemudian dibungkus dengan kertas saring yang bebas lemak. Sampel ini dioven semalaman pada suhu 105℃ dan ditimbang saat masih panas. Selanjutnya, sampel dimasukkan ke dalam labu soxhlet dan diekstraksi menggunakan larutan petroleum eter (PE) selama 4-5 jam hingga larutan PE menjadi jernih. Setelah itu, sampel dibiarkan angin-anginan hingga kering (PE menguap), lalu dioven lagi selama 24 jam pada suhu 105℃. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam eksikator selama 15 menit dan ditimbang kembali (C). Perhitungan kadar lemak dapat dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kadar lemak (\%)} = \frac{(\text{C} - \text{A})}{\text{B}} \times 100\%$$

Dimana, A adalah Berat labu alas kosong (g); B adalah Berat sampel (g); C adalah Berat lemak hasil ekstraksi (g)

Uji Kadar Protein (AOAC, 2005)

Sampel ditimbang sebanyak 0,1 sampai 0,5 g, masukkan ke dalam labu Kjeldhal 100 mL. Didestruksi (pemanasan dalam keadaan mendidih) hingga larutan menjadi hijau jernih dan SO_2 hilang. Larutan dibiarkan dingin dan pindahkan ke labu 50 mL dan diencerkan dengan akuades sampai tanda tera, masukkan ke dalam alat destilasi, tambahkan dengan 5-10 mL NaOH 30-33% dan dilakukan destilasi. Destilat ditampung dalam larutan 10 mL asam borat 3% dan beberapa tetes indikator (larutan bromcresol green 0,1% dan 29 larutan metil merah 0,1% dalam alkohol 95% secara terpisah dan dicampurkan antara 10 mL bromcresol green dengan 2 mL metil merah). Dititrasi dengan larutan HCl 0,02 N sampai larutan berubah warna menjadi merah muda. Berikut adalah persamaan yang digunakan unuk menghitung kadar protein.

$$\text{Kadar protein (\%)} = \frac{(\text{VA} - \text{VB})\text{HCl} \times \text{N HCl} \times 6{,}25 \times 14{,}008}{\text{W sampel} \times 1000}$$

Dimana, VA adalah ml HCl untuk titrasi sampel; VB adalah ml HCl untuk titrasi blangko; N adalah Normalitas HCl; W adalah Berat sampel (g)

Uji Kadar Karbohidrat (AOAC, 2005)

Kadar karbohidrat dilakukan secara by *difference*, yaitu hasil pengurangan dari 100% dengan kadar air, kadar abu, kadar protein, dan kadar lemak sehingga kadar karbohidrat tergantung pada faktor pengurangan. Hal ini karena karbohidrat sangat berpengaruh kepada zat gizi lainnya. Kadar karbohidrat dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

%Karbohidrat = 100% - (% air + % protein + % lemak + % abu)

Uji Kadar Serat Kasar (AOAC, 2005)

Masukkan sampel sebanyak 2 g ke dalam sebuah beaker glass yang berukuran 500 mL. Tambahkan kedalam beaker 200 mL 1,25% asam sulfat (H_2O_4). Kemudian letakkan beaker glass diatas hot plate, setelah itu biarkan larutan mendididh selama 30 menit, hitung waktu mulai mendidih. Selama mendidih guncangkan beaker glass tersebut untuk melepas sampel-sampel yang mungkin melekat pada dinding. Lalu saring isi beaker glass melalui sebuah coliform buchenr funnel, bilas beaker glass itu dengan 50 mL air panas (80-90℃) dan cuci melalui corong sebanyak 3 kali. Kemudian biarkan filter menghisap mengeringkan risidu tersebut. Pindahkan residu dari corong itu ke beaker, tambahkan 200 mL 1,25% natrium hidroksida (NaOH). Selanjutnya disaring dan dibilas dengan 25 mL 1,25% asam sulfat (H_2SO_4) yang panas. Tuangkan bilasan melalui corong. Cucilah risidu sebanyak 3 kali 50 mL air panas, kemudian cuci 25 mL methanol, biarkan filter penghisap mengeringkan residunya. Kemudian dilakukan pembakaran di dalam muffle furnace selama 20 menit pada suhu 600℃. Setelah itu dinginkan dalama desikator.

$$\text{Kadar serat kasar (\%)} = \frac{(\text{B} - \text{C} - \text{A})}{\text{Berat sampel}} \times 100\%$$

Dimana, B adalah Berat cawan dan residua serat sebelum pembakaran; C adalah Berat

cawan dan residu setelah pembakaran; A adalah Berat kertas kering

Uji Aktivitas Antioksidan metode DPPH (H (2,2-*diphenyl*-1- *picrylhidrazyl*) (Zhang *et al.,* 2006)

Aktivitas antioksidan dari hasil ekstraksi dianalisis dengan metode DPPH kemudian diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 517 nm. Pengujian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu hasil ekstrasi ditimbang 30 mg, dilarutkan dalam 30 mL metanol, sehingga didapatkan konsentrasi 1000 mg/mL/pengenceran methanol (1000, 500, 250, 125, dan 62,5 ppm). Aktivitas antioksidan ditentukan dengan konsentrasi dipipet sebanyak 4,5 mL menggunakan pipet mikro lalu dimasukan dalam labu takar, kemudian ditambahkan 0,5 mL larutan DPPH 100 ppm. Dilakukan homogenasi campuran yang dibiarkan selama 30 menit ditempat gelap, serapan tersebut diukur dengan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 517 nm. Aktivitas antioksidan sampel ditentukan oleh besarnya hambatan serapan radikal DPPH melalui perhitungan persentase inhibisi serapan DPPH dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\%\ Hambatan\ (Inhibisi): \frac{\text{Absorbasi kontrol} - \text{Absorbansi sampel}}{\text{Absorbasi kontrol}} \times 100\%$$

Dimana, A kontrol adalah Nilai absorbansi tidak mengandung sampel

A sampel adalah Nilai absorbansi sampel

Nilai konsentrasi sampel dan persen inhibisinya diplot masing-masing pada sumbu x dan y pada persamaan regresi linear, persamaan yang dibentuk adalah y=a+bx, digunakan untuk mencari nilai IC_{50} (*inhibitor concentration* 50%) dari masing-masing sampel yang diuji dengan menyatakan nilai y sebesar 50 dan nilai x yang akan diperoleh sebagai IC_{50}. Nilai ini menyatakan besar konsentrasi larutan sampel yang dibutuhkan pada saat mereduksi radikal bebas DPPH dengan besar 50%.

Uji Kadar Klorofil a dan b (Lichtenthaler, 1987)

Sebanyak 5 mg ekstrak *C. vulgaris* diuji dengan menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang (Abs) 652 dan 665 nm menggunakan pelarut metanol 96% dengan konsentrasi 5 mg ekstrak/ 5 mL. Kemudian, Penghitungan kandungan klorofil a dan b ditentukan dengan rumus:

Klorofil a (µg/mL) = 16,72 (Abs665) – 9,15 (Abs652)

Klorofil b (µg/mL) = 34,09 (Abs652) – 15,28 (Abs665)

Analisis Data

Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel dan dianalisis menggunakan ANAVA pada taraf kepercayaan 95% untuk menguji perbedaan antar perlakuan. Apabila t-hitung > t-tabel, maka H_0 ditolak (terdapat perbedaan nyata antar perlakuan), sedangkan apabila t-hitung < t-tabel, maka H_0 diterima (tidak terdapat perbedaan nyata antar perlakuan).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian kadar proksimat (air, abu, lemak, protein, karbohidrat, serat kasar) pada bubuk chlorella yang dikeringkan dengan oven (PO) dan sinar matahari (PM) dapat dilihat pada **tabel 1**.

Kadar air

Analisis kadar air pada bubuk *C. vulgaris* bertujuan untuk mengetahui besarnya kandungan air yang tersisa setelah proses pengeringan. Berdasarkan **Tabel 1**, kadar air bubuk *Chlorella* yang dikeringkan dengan sinar matahari (7,07%) lebih rendah dibandingkan pengeringan oven (7,32%). Nilai ini masih lebih tinggi dibandingkan bubuk *Chlorella* hasil pengeringan *freeze dryer* yang hanya sebesar 2,68% (Iriani *et al.,* 2025). Hasil uji statistik menunjukkan bahwa kadar air bubuk *Chlorella* pada kedua metode pengeringan berbeda sangat nyata ($p<0,01$).

Tabel 1. Nilai rata-rata kandungan proksimat bubuk chlorella dengan pengeringan oven (PO) dan matahari (PM)

Parameter (%)	Perlakuan	
	PO	PM
Kadar Air	7,32 ± 0,03[a]	7,07+0,05[b]
Kadar Abu	30,36±0,90[a]	23,27±0,71[b]
Kadar Lemak	1,07 ±0,04[a]	1,62±0,07[b]
Kadar Protein	34,33±0,43[a]	17,81±0,92[b]

Kadar Karbohidrat	24,86±0,58[a]	46,85±1,15[b]
Kadar Serat	2,06 ±0,44[a]	3,39 ±0,23[b]

Keterangan: Superscript berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan yang sangat nyata antar perlakuan (p<0,01).

Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh karakteristik proses pengeringan yang berbeda: pada pengeringan sinar matahari, suhu tidak terkontrol dan cakupan panas tersebar luas serta dipengaruhi kondisi cuaca, sedangkan pengeringan oven berlangsung pada suhu yang stabil dan terkendali. Hal ini sejalan dengan pernyataan Amin et al. (2021) bahwa pengeringan oven menyediakan lingkungan bersuhu stabil sehingga menghasilkan penurunan kadar air yang lebih konsisten. Agbede et al. (2020) juga menambahkan bahwa pengeringan sinar matahari sangat dipengaruhi oleh fluktuasi lingkungan, sehingga laju pengeringan sulit diprediksi dan berpotensi menghasilkan pengeringan yang tidak merata, yang pada akhirnya dapat memengaruhi kualitas dan keamanan produk akhir.

Kadar abu

Abu merupakan komponen mineral yang tidak mudah terbakar dan menjadi salah satu indikator penting dalam menilai kualitas suatu bahan pangan. Berdasarkan **Tabel 1**, kadar abu pada pengeringan oven (30,36%) lebih tinggi dibandingkan pengeringan sinar matahari (23,27%), dan hasil uji statistik menunjukkan perbedaan yang sangat nyata antar kedua perlakuan (p<0,01).

Perbedaan ini diduga berkaitan dengan konsentrasi relatif komponen mineral akibat perbedaan laju penguapan air pada kedua metode: semakin banyak air yang teruapkan selama proses pengeringan, semakin terkonsentrasi pula komponen mineral yang tersisa dalam bahan kering (Erni *et al.,* 2018). Sebagai pembanding, Cantu-Bernal et al. (2020) melaporkan kadar abu *Chlorella* kering mencapai 45%, sedangkan Iriani et al. (2025) melaporkan kadar abu bubuk *C. vulgaris* hasil *freeze drying* sebesar 12,13%. Kadar abu yang tinggi pada *Chlorella* menunjukkan kekayaan kandungan mineral seperti kalsium (Ca), fosfor (P), magnesium (Mg), natrium, kalium, klorin (Cl), dan sulfur (S), yang seluruhnya berperan penting bagi nilai gizi mikroalga ini (Suhara *et al.,* 2020; Handayani, 2015).

Kadar lemak

Lemak merupakan salah satu komponen gizi penting pada bahan pangan. Berdasarkan Tabel 1, kadar lemak bubuk *C. vulgaris* hasil pengeringan oven (1,07%) lebih rendah dibandingkan pengeringan sinar matahari (1,62%), dengan perbedaan yang sangat nyata secara statistik (p<0,01). Nilai ini jauh lebih rendah dibandingkan kadar lemak *C. vulgaris*pada berat kering yang dilaporkan Rodolfi et al. (2009) sebesar 19,2%, maupun hasil pengeringan *freeze drying* oleh Iriani et al. (2024) sebesar 7,22%.

Rendahnya kadar lemak pada pengeringan oven kemungkinan disebabkan oleh panas yang terperangkap dalam ruang oven secara terus-menerus, sehingga memicu oksidasi dan degradasi termal pada komponen lipid. Hal ini didukung oleh Hosseinizand et al. (2018) yang menyatakan bahwa suhu pengeringan, baik rendah maupun tinggi, memengaruhi warna, struktur sel, serta komposisi karbohidrat dan lipid *Chlorella*. Temuan ini juga konsisten dengan Madhubalaji et al. (2021), yang melaporkan bahwa pengeringan pada suhu lebih tinggi (seperti oven) cenderung menyebabkan kerusakan integritas dan porositas sel *C. vulgaris* lebih besar dibandingkan pengeringan pada suhu rendah, sehingga memicu kebocoran (*leaching*) senyawa lipid selama proses pengeringan.

Kadar protein

Kadar protein pada mikroalga sangat dipengaruhi oleh media kultivasi, metode budidaya, dan proses pengolahan pascapanen. *Chlorella* dikenal sebagai salah satu sumber *single cell protein* (SCP), yaitu protein yang berasal dari mikroorganisme bersel tunggal seperti bakteri, mikroalga, jamur, dan khamir. Secara umum SCP memiliki kandungan protein yang lebih tinggi (30–80%) dibandingkan ikan, kedelai, daging, maupun susu murni (Sisman *et al.,* 2013; Koukoumaki, 2024; Spalvins, 2021; Chakraborty, 2022).

Berdasarkan **Tabel 1**, kadar protein bubuk *C. vulgaris* hasil pengeringan oven (34,33%) jauh lebih tinggi dibandingkan pengeringan sinar matahari (17,81%), dengan perbedaan yang sangat nyata (p<0,01). Nilai ini mendekati kadar protein *C. vulgaris* pada berat kering yang dilaporkan Jui et al. (2024) sebesar 37,61%. Rendahnya kadar protein pada pengeringan sinar matahari kemungkinan disebabkan oleh suhu yang tidak terkontrol dan berfluktuasi, yang dapat mempercepat

pergerakan molekuler protein sehingga struktur protein menjadi tidak stabil dan mudah terdenaturasi (Zheng *et al.,* 2024). Sebaliknya, suhu oven yang lebih stabil dan terkendali membantu mempertahankan struktur protein selama proses pengeringan. Sebagai pembanding, Iriani et al. (2024) melaporkan kadar protein bubuk *C. vulgaris* hasil *freeze drying*mencapai 54,6%, yang menegaskan bahwa suhu pengeringan rendah secara umum lebih baik dalam mempertahankan kandungan protein mikroalga.

Kadar karbohidrat

Karbohidrat berperan penting dalam proses fotosintesis, pertumbuhan, dan produksi mikroalga, serta berpotensi sebagai sumber prebiotik dan bioenergi. Berdasarkan **Tabel 1**, kadar karbohidrat bubuk *C. vulgaris* hasil pengeringan sinar matahari (46,85%) jauh lebih tinggi dibandingkan pengeringan oven (24,86%), dengan perbedaan yang sangat nyata ($p<0,01$). Nilai kadar karbohidrat pada penelitian ini dihitung menggunakan metode *by difference*, sehingga nilainya berbanding terbalik dengan jumlah komponen proksimat lain (terutama protein) yang terukur.

Chlorella secara konsisten digambarkan sebagai mikroalga yang kaya akan karbohidrat, selain juga mengandung protein, lipid, vitamin, dan mineral. Berkat profil nutrisi tersebut, Chlorella dianggap sebagai *superfood* yang bergizi lengkap. Kandungan karbohidrat dalam Chlorella dapat bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan dan budidaya, seperti ketersediaan nutrisi dan faktor stres. Dalam kondisi stres tertentu, Chlorella dapat mengakumulasi karbohidrat dalam jumlah lebih tinggi, hal yang menarik perhatian baik untuk aplikasi nutrisi maupun bahan bakar hayati (Venckus *et al.,* 2017; Cheng *et al.,* 2015).

Tingginya kadar karbohidrat chlorella pada pengeringan sinar matahari (PM) sejalan dengan rendahnya kadar protein pada perlakuan tersebut, mengingat metode *by difference* menghitung karbohidrat sebagai selisih dari 100% dikurangi komponen proksimat lainnya.

Kadar serat

Kadar serat pada mikroalga bervariasi antar spesies, ada yang relatif rendah dan ada pula yang tinggi. Berdasarkan **Tabel 1**, kadar serat bubuk *C. vulgaris* hasil pengeringan sinar matahari (3,39%) lebih tinggi dibandingkan pengeringan oven (2,06%), dengan perbedaan yang sangat nyata ($p<0,01$). Nilai ini masih jauh di bawah kadar serat *C. vulgaris* kering yang dilaporkan Abdel-Moatamed et al. (2024) sebesar 9,35%.

Rendahnya kadar serat pada kedua perlakuan diduga berkaitan dengan hasil kultivasi *C. vulgaris* yang belum optimal, mengingat kualitas kultivasi *Chlorella* dipengaruhi oleh suhu, nutrisi, umur kultur, dan intensitas cahaya (Roza *et al.,* 2022). Selain itu, kadar air akhir pada bahan turut memengaruhi nilai serat terukur; kadar air yang lebih rendah cenderung meningkatkan nilai serat pada basis kering (Naibaho *et al.,* 2021), yang sejalan dengan lebih tingginya kadar serat pada PM dibandingkan PO pada penelitian ini.

Hasil dari pengujian kadar kandungan klorofil a, klorofil b, aktivitas antioksidan pada bubuk chlorella yang dikeringkan dengan oven (PO) dan sinar matahari (PM) dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Aktivitas Antioksidan

Antioksidan menetralkan radikal bebas dengan cara mendonasikan elektron atau atom hidrogen, sehingga menghentikan reaksi berantai yang memicu oksidasi lipid. Dengan demikian, pembentukan spesies reaktif lebih lanjut dapat dicegah dan lipid terlindungi dari degradasi. (Amaral *et al.,* 2018). Kekuatan antioksidan ditentukan berdasarkan nilai IC_{50} (*inhibition concentration*), yaitu konsentrasi ekstrak yang mampu menghambat 50% aktivitas radikal DPPH (Molyneux, 2003). Berdasarkan **Tabel 2**, bubuk *C. vulgaris* hasil pengeringan oven memiliki nilai IC_{50} 55,21 µg/mL (tergolong kuat, kategori 50–100 µg/mL), sedangkan pengeringan sinar matahari memiliki nilai IC_{50} 107,38 µg/mL (tergolong sedang, kategori 101-150 µg/mL), mengacu pada klasifikasi Kusmardiyani et al. (2016).

Semakin rendah nilai IC_{50}, semakin kuat aktivitas antioksidannya, sehingga bubuk hasil pengeringan oven pada penelitian ini justru menunjukkan aktivitas antioksidan yang lebih baik dibandingkan pengeringan sinar matahari. Sebagai pembanding, Iriani et al. (2025) melaporkan nilai IC_{50} bubuk *C. vulgaris* hasil *freeze dryer* sebesar 49,52 µg/mL, yang menegaskan bahwa suhu pengeringan rendah umumnya lebih baik dalam mempertahankan senyawa antioksidan seperti karotenoid dan pigmen lain (Amelia dan Tanod, 2016).

Temuan ini sejalan dengan hasil Madhubalaji et al. (2021) yang membandingkan lima metode

pengeringan pada *C. vulgaris* (sinar matahari, oven, *freeze drying*, *drum drying*, dan *spray drying*): biomassa hasil *freeze drying* dan sinar matahari justru mempertahankan senyawa bioaktif dan aktivitas antioksidan paling tinggi, sementara pengeringan oven pada suhu lebih tinggi menyebabkan penurunan kandungan flavonoid total hingga 30% dan kapasitas antioksidan (FRAP) hingga 17%. Perbedaan arah hasil ini dengan penelitian Madhubalaji et al. (2021) menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan pada mikroalga tidak hanya dipengaruhi oleh suhu pengeringan semata, tetapi juga oleh interaksi antara suhu, lama waktu pengeringan, dan intensitas paparan sinar UV langsung selama proses penjemuran, yang dapat mempercepat degradasi oksidatif senyawa bioaktif meskipun suhu lingkungan relatif rendah (August, 2017). Klorofil dan karotenoid turut berkontribusi terhadap aktivitas antioksidan bubuk *Chlorella*, karena keduanya berperan menetralkan radikal bebas dan mengurangi oksidasi berlebih dalam tubuh (Iriyani dan Nugrahani, 2014).

Tabel 2. Nilai rata-rata kandungan klorofil a, klorofil b, aktivitas antioksidan bubuk chlorella dengan pengeringan oven (PO) dan matahari (PM)

Parameter (µg/mL)	PO	PM
Klorofil a	20,36 ± 0,04[a]	17,58 ± 0,16[b]
Klorofil b	38,29±0,08[a]	42,68±0,22[b]
Aktivitas Antioksidan (IC_{50})	55,21 ± 2,27[a]	107,38 ± 5,70[b]

Keterangan: Superscript berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan yang sangat nyata antar perlakuan ($p<0,01$).

Nilai Klorofil a dan b

Klorofil merupakan pigmen fotosintesis utama pada mikroalga yang juga memiliki nilai fungsional sebagai sumber vitamin, antioksidan, dan senyawa aktif lainnya. Klorofil a berperan langsung dalam reaksi fotosintesis dan cenderung berwarna hijau kebiruan, sedangkan klorofil b berfungsi membantu penyerapan cahaya dan berwarna hijau kekuningan. Berdasarkan **Tabel 2**, kadar klorofil a bubuk hasil pengeringan oven (20,36 µg/mL) lebih tinggi dibandingkan pengeringan sinar matahari (17,58 µg/mL), sedangkan kadar klorofil b menunjukkan pola sebaliknya, yaitu lebih tinggi pada pengeringan sinar matahari (42,68 µg/mL) dibandingkan oven (38,29 µg/mL). Kedua perbedaan tersebut sangat nyata secara statistik ($p<0,01$). Nilai ini secara keseluruhan masih di bawah kadar klorofil *C. vulgaris* kering yang dilaporkan Iriani et al. (2025), yaitu klorofil a sebesar 29,41 µg/mL dan klorofil b sebesar 50,29 µg/mL.

Penurunan kadar klorofil pada kedua metode pengeringan berkaitan dengan sifat klorofil yang labil terhadap suhu, cahaya, dan oksigen (Puspita *et al.,* 2021). Kadar klorofil sangat dipengaruhi oleh media kultivasi, teknik budidaya, dan metode pengeringan yang digunakan, sehingga penanganan suhu rendah selama pengeringan umumnya lebih baik dalam menjaga stabilitas pigmen ini.

KESIMPULAN DAN SARAN

Bubuk *Chlorella vulgaris* yang dikeringkan dengan oven dan sinar matahari menghasilkan karakteristik mutu yang berbeda. Berdasarkan hasil penelitian, bubuk *C. vulgaris* yang dikeringkan dengan oven menunjukkan mutu protein dan aktivitas antioksidan yang lebih baik dibandingkan pengeringan sinar matahari, sehingga metode pengeringan oven lebih disarankan untuk aplikasi bubuk *C. vulgaris* pada produk pangan maupun non-pangan. Meskipun demikian, perlu dipertimbangkan bahwa metode pengeringan lain seperti *freeze drying* umumnya menghasilkan mutu gizi dan bioaktif yang lebih optimal dibandingkan kedua metode ini, sehingga penelitian lanjutan mengenai efisiensi biaya dan skala produksi antara ketiga metode pengeringan tersebut perlu dilakukan untuk menentukan metode yang paling sesuai secara komersial.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau yang telah memfasilitasi penelitian ini, serta kepada semua pihak yang telah membantu hingga terlaksananya penelitian ini dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

[AOAC] Assosiation of Official Analytical Chemyst. (2005). *Official Methods of Analysis of The Assosiation of Official Analytical Chemist*. Airlington, Virginia, USA: Assosiation of Official Analytical Chemist, Inc.

Abdel-Moatamed, B.R., El-Fakhrany, A.E.M.A., Elneary, N.A.A., Shaban, M.M., dan Roby, M.H.H. (2024). The impact of

Chlorella vulgaris fortification on the nutritional composition and quality characteristics of beef burgers. *Foods*. 13(12).

Agbede O.O., Oke E.O., Akinfenwa S.I., Wahab K.T., Ogundipe S., Aworanti O.A., Arinkoola A.O., Agarry S.E., Ogunleye O.O., Osuolale F.N., dan Babatunde K.A. (2020). Thin layer drying of green microalgae (*Chlorella* sp.) paste biomass: Drying characteristics, energy requirement and mathematical modelling. *Bioresource Technology Reports,* 11, art. no. 100467, DOI: 10.1016/j.biteb.2020.100467

Amaral, Solva M.V., dan Lannes S.C.S. (2018). Lipid oxidation in meat: Mechanisms and protective factors-a review. *Food Science and Technology* 38, pp. 1-15, DOI: 10.1590/fst.32518

Amelia, R., dan Tanod, W.A. (2016). Kandungan antioksidan alga merah *Eucheuma cottonii* dengan metode pengeringan yang berbeda. *Journal of Fisheries, Marine, and Aquatic Science*, 1(1).

Amin M., Chetpattananondh P., Cheng C.-K., Sami S.K., dan Khan M.N. (2021). Drying characteristics and impacts on quality of marine *Chlorella* sp. biomass and extracts for fuel applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), DOI: 10.1016/j.jece.2021.106386

August. (2017). Studying the drying mechanism of microalgae *Chlorella vulgaris* and the optimum drying temperature to preserve quality characteristics. *Drying Technology*, 36(9), 1049-1060, https://doi.org/10.1080/07373937.2017. 1369986

Bender, F.E., Douglass, L.W., dan Kramer, A. (1984). Statistical Methods for Food and Agriculture. Wetport, *Avi Publishing Company*: Inc.

Cantu-Bernal, S., Dominguez-Gamez, M., Medina-Peraza, I., Aros-Uzarraga, E., Ontiveros, N., Flores-Mendoza, L., Gomez-Flores, R., Tamez-Guerra, P., dan Gonzalez-Ochoa, G. (2020). Enhanced viability and anti-rotavirus effect of *Bifidobacterium longum* and *Lactobacillus plantarum* in combination with *Chlorella sorokiniana* in a Dairy Product. *Frontiers in Microbiology*. 11(875).

Chakraborty A., Paul B.N., Bhattacharyya D.K., dan Bhowal J. (2022). Evaluation of fungal single cell protein as aqua feed on carcass analysis and growth performance of *Cirrhinus reba* fingerlings. *Aquaculture Research*, 53 (8), pp. 3140-3153, DOI: 10.1111/are.15826

Cheng Y.-S., Labavitch J.M., dan Vandergheynst J.S. (2015). Elevated CO2 concentration impacts cell wall polysaccharide composition of green microalgae of the genus Chlorella. *Letters in Applied Microbiology*, 60 (1), pp. 1 - 7, DOI: 10.1111/lam.12320

da Silva A.A., dan Fonseca G.G. (2020). Influence of luminosity, carbon source and concentration of salts in the physiology of Chlorella sorokiniana. *Environmental Technology*, 41(6), pp. 719 - 729, DOI: 10.1080/09593330.2018.1509889

Daliry S., Hallajisani A., Mohammadi Roshandeh J., Nouri H., dan Golzary A. (2017). Investigation of optimal condition for *Chlorella vulgaris* microalgae growth. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 3(2), pp. 217-230, DOI: 10.22034/gjesm.2017.03.02.010

Desianti, N. (2014). Uji Toksisitas dan identifikasi golongan senyawa aktif fraksi etil asetat, kloroform, petroleum eter dan n-heksana hasil hidrolisis ekstrak metanol mikroalga *C. vulgaris*. *Skripsi.* Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang.

Dianursanti, Rizkytata B.T., Gumelar M.T., dan Abdullah T.H. (2014). Industrial tofu wastewater as a cultivation medium of microalgae *Chlorella vulgaris. Energy Procedia*, 47, pp. 56 - 61, DOI: 10.1016/j.egypro.2014.01.196

Erni, N., Kadirman dan Fadilah, R. (2018). Pengaruh suhu dan lama pengeringan terhadap sifat kimia dan organoleptik tepung umbi talas (*Colocasia esculenta*). *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*. 4: 95-105.

Handayani. (2015). Analisis kualitas kimia susu pasteurisasi dengan penambahan sari buah sirsak. *Skripsi*. Fakultas Peternakan. Universitas Hasanuddin. Makassar.

Hassan H., Ansari F.A., Rawat I., dan Bux F. (2024). Drying strategies for maximizing polyhydroxybutyrate recovery from microalgae cultivated in a raceway pond: A comparative study. *Environmental Pollution*, 361, DOI: 10.1016/j.envpol.2024.124821

Hosseinizand H., Sokhansanj S., dan Lim C.J. (2018). Studying the drying mechanism of microalgae *Chlorella vulgaris* and the optimum drying temperature to preserve

quality characteristics. *Drying Technology*, 36(9), pp.1049-1060, DOI: 10.1080/07373937.2017.1369986

Iriani D, Hasan B, Sari N.I, dan Alfionita V. (2023). Preparation of face mask from microalga *Chlorella* sp. and its potential as antiaging. *Pharmacogn J*, 15(1): 112-118.

Iriani, D. (2024). Isolasi, kultivasi, dan potensi *chlorella* sebagai suplemen kesehatan untuk pencegahan anemia. *Disertasi*. Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau. Pekanbaru.

Iriani, D., Feliatra, Hasan, B., Karnila, R., Chaiyanate, N., dan Rozi. (2025). Effect of media formulations on chlorophyll, antioxidant activity of *Chlorella vulgaris* and its potential as a health supplement. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 17(1).

Iriani, D., Hassan, B., Putra, H.S., dan Ghazali, T.M. (2021). Optimization of culture conditions on growth of *C. vulgaris* newly isolated from bagansiapiapi waters Indonesia. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*, 934 012097.

Iriani, D., Suriyaphan, O., Chaiyanate, N., Hasan, B., dan Sumarto. (2017). Culturing of *C. vulgaris* with different of iron ($Fe^{3+)}$ Concentration in bold's basal medium for healthy and nutritious cookies. *Applied Science and Technology*. 1: 218-226.

Iriyani, D., dan Nugrahani, P. (2014). *Kandungan Klorofil, Karotenoid, dan Vitamin C Beberapa Jenis Sayuran Daun Pada Pertanian Peri Urban di Kota Surabaya*. Universitas Terbuka. Fakultas Pertanian UPN. Surabaya.

Jui, T.J., Tasnim, A., Islma, S.M.R., Manjur, O.H.B., Hossain, M.S., Tasnim, N., Karmakar, D., Hasan, M.R., dan Karim, M.R. (2024). Optimal growth conditions to enhance *Chlorella vulgaris* biomass production in indoor phyto tank and quality assessment of feed and culture stock. *Heliyon*. 10(11)

Kawaroe, M., Prartono, T., Sunuddin, A., Wulansari, D., dan Augustine, D. (2019). Mikroalga potensi dan pemanfaatannya untuk produksi bio bahan bakar. PT Penerbit IPB Press.

Koukoumaki D.I., Tsouko E., Papanikolaou S., Ioannou Z., Diamantopoulou P., dan Sarris D. (2024). Recent advances in the production of single cell protein from renewable resources and applications. *Carbon Resources Conversion*, 7 (2), art. no. 100195, DOI:10.1016/j.crcon.2023.07.004

Kusmardiyani, S., Novita, G., dan Fidrianny, I. (2016). Antioxidant activities from various extracts of different parts of kelakai (*Stenochlaena palustris*) grown in central Kalimantan - Indonesia. *Asian J. Pharm. Clin. Res*. 9, 215-219.

Lichtenthaler, K.H. (1987). *Methods in Enzymology. Chlorophyll and Caratenoid: Pigments of Photosyntehtic Biomembranes*. New York: Academic Press. Inc.

Madhubalaji C.K., Mudaliar S.N., Chauhan V.S., dan Sarada R. (2021). Evaluation of drying methods on nutritional constituents and antioxidant activities of *Chlorella vulgaris* cultivated in an outdoor open raceway pond. *Journal of Applied Phycology,* 33 (3), pp. 1419 - 1434, DOI: 10.1007/s10811-020-02355-2

Megawati, Damayanti A., Radenrara P.D.A., Irene N. P., Hotimah K., dan Satriawan Y. (2021). The drying rate of *Chlorella pyrenoidosa* using an oven in bioethanol production. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 80 (1), pp. 128-136, DOI: 10.37934/ARFMTS.80.1.128136

Molyneux, P. (2003). The use of the stable free radical Diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 26(2), 211–219

Naibaho, N.M., Anwar, R., Lisnawati, A., Ariyani, F., Popang, E.G., Rudito, dan Hamka. (2021). Pengaruh suhu pengeringan berbeda terhadap sifat kimia tepung bawang tiwai (*Eleutherine palmifolio* (L) Merr). *Buletin LOUPE.* 17(2): 80-88.

Puspita, D., Merdekawati, W., dan Sandy, M.A.P. (2021). Decreased chlorophyll concentration in *caulerpa racemosa* soup cream dryed by vacuum drying oven. *Journal of Food Technology and Nutrition*. 20(2) : 94-101.

Rodolfi, L., Chini, Z.G., Bassi, N., Padovani, G., Biondi, N., Bonini, G., dan Tredici, M.R. (2009). Microalgae for oil: strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor. *Biotechnol Bioeng*. 102(1):100e12.

Roza, G.M., Rosyadi, Hasby, M., dan Hadi, K. (2022). Pengaruh pemberian POC limbah sayuran dengan jenis berbeda terhadap kelimpahan *Chlorella* sp. *Dinamika Pertanian*, 38(2), 225-232

Şişman T., Gür Ö., Doğan N., Özdal M., Algur Ö.F., dan Ergon T. (2013). Single-cell protein as an alternative food for zebrafish, Danio rerio: A toxicological assessment. *Toxicology and Industrial Health*, 29 (9), pp. 792 - 799, DOI: 10.1177/0748233712442711

Spalvins K., Raita S., Valters K., dan Blumberga D. (2021). Improving single cell protein yields and amino acid profile via mutagenesis: Review of applicable amino acid inhibitors for mutant selection. *Agronomy Research*, 19 (3), pp. 1285 - 1307, DOI: 10.15159/AR.21.083

Suhara, N.A.A., Mauludiyah, E.N., Albab, L.U., Suhara, N.A.B., dan Maulana, I.T. (2020). Isolasi fraksi senyawa aktif antibakteri staphylococcus epidermidis dari *chlorella vulgaris* b sebagai bahan aktif antiseptik. *Jurnal Ilmiah Farmasi Farmasyifa*, 3(1), 18-25.https://doi.org/10.29313/jiff.v3i1.4889

Venckus P., Kostkevičienė J., dan Bendikienė V. (2017). Green algae *Chlorella vulgaris* cultivation in municipal wastewater and biomass composition. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25 (1), pp. 56-63, DOI: 10.3846/16486897.2016.1245661

Zhang, Q., Zhang, J., Shen, J., Silva, A., Dennis, D.A., dan Barrow, C.J. (2006). A simple 96- well microplate method for estimation of total polyphenol content in seaweeds. *Journal of Applied Phycology*, 18(3-5): 445-450.

Zheng, J., Guo, N., Huang, Y., Guo, X., dan Wagner, A. (2024). High temperature delays and low temperature accelerate evolution of a new protein phenotype. *Nature communications.* 15: 2495.