

## Komposisi Kimia, Profil Asam Amino dan Kualitas Protein *Caulerpa lentillifera* Hasil Budidaya pada Wadah Terkontrol

### *Chemical Composition, Amino Acid Profile and Protein Quality of Cultured Caulerpa lentillifera in Controlled Container*

Nopa Aris Iskandar<sup>1,2\*</sup>, Joko Santoso<sup>1</sup>, Uju<sup>1</sup>, dan Ellya Sinurat<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB University, Kampus IPB Dramaga, Jalan Agatis, Bogor, 16680, Jawa Barat, Indonesia

<sup>2</sup>Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Bali, Jalan Patimura No. 77 Dangin Puri Kangin, Kota Denpasar, Bali, 80234, Indonesia

<sup>3</sup>Pusat Riset Bioindustri Laut Dan Darat, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Ds. Teluk Kodek, Desa Malaka, Pemenang, Lombok Utara, 83352, NTB, Indonesia

\*Korespondensi: nopaaris@apps.ipb.ac.id

Diterima: 18 Agustus 2023; Direvisi: 17 Desember 2023; Disetujui: 4 April 2024

#### ABSTRAK

Komposisi kimia dan asam amino *C. lentillifera* dipengaruhi oleh beberapa faktor eksternal, di antaranya suhu, nutrisi, kualitas air, musim, geografi, cuaca, dan lingkungan atau tempat tumbuh. *C. lentillifera* seperti makroalga lainnya, memiliki kemampuan untuk mengakumulasi nutrisi bahkan senyawa antropogenik dari lingkungan yang kemudian dimanfaatkan untuk aktivitas fisiologinya. Komposisi nutrisi rumput laut dari lingkungan yang berbeda menarik untuk dikaji. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengevaluasi komposisi kimia dan asam amino *C. lentillifera* dari hasil budidaya dan mengestimasi kualitas proteinnya kemudian dibandingkan dengan *C. lentillifera* hasil alam. Budidaya *C. lentillifera* dilakukan pada wadah terkontrol selama 40 hari. Parameter yang dianalisis meliputi identifikasi morfologi, proksimat, profil asam amino menggunakan HPLC dan kualitas protein menggunakan pendekatan indeks asam amino esensial (EAAI) dan rasio efisiensi protein (P-PER). Hasil penelitian menunjukkan *C. lentillifera* budidaya dalam wadah terkontrol memiliki komposisi mineral yang lebih tinggi daripada *C. lentillifera* hasil alam, sedangkan kandungan protein, lemak, air, dan karbohidrat pada *C. lentillifera* hasil budidaya lebih kecil dibandingkan *C. lentillifera* hasil alam. *C. lentillifera* hasil budidaya memiliki total kandungan asam amino (esensial dan non esensial) yang rendah dibandingkan hasil alam. Berdasarkan evaluasi kualitas protein, *C. lentillifera* hasil budidaya dalam wadah terkontrol dan hasil alam menghasilkan protein berkualitas sangat baik. Asam amino pembatas untuk *C. lentillifera* hasil budidaya dalam wadah terkontrol adalah triptofan sedangkan asam amino pembatas untuk *C. lentillifera* hasil alam adalah metionin dan sistein.

**KATA KUNCI:** *Caulerpa lentillifera*, bahan pangan, pascapanen

#### ABSTRACT

The chemical and amino acid composition of *C. lentillifera* is influenced by several external factors such as temperature, nutrients, water quality, season, geography, weather, and the environment or location where it grows. *C. lentillifera*, like other macroalgae, can accumulate nutrients and even anthropogenic compounds from environment and use them for their physiological activities. Therefore, the nutritional composition of seaweeds under different conditions is an interesting research topic. This study aimed to evaluate the chemical and amino acid composition of *C. lentillifera* from cultivated products, estimate the quality of the resulting protein, and compare it with that of *C. lentillifera* from wild-stock products. *C. lentillifera* was cultivated in controlled containers for 40 d. The parameters analyzed included identification of morphology, proximate amino acids using HPLC, and protein quality using the essential amino acid index (EAAI) and protein efficiency ratio (P-PER) approaches. The results of the research showed that cultivated *C. lentillifera* in controlled containers had a higher mineral composition than wild-stock *C. lentillifera*, while the protein, fat, water and carbohydrate content of cultivated *C. lentillifera* was lower than wild-stock *C. lentillifera*. *C. lentillifera* from cultivation has a lower total amino acid content (essential and non-essential) compared to wild-stock products. Based on protein quality evaluation, *C. lentillifera* cultivated in controlled containers and wild stock products produced very high-quality protein. The limiting amino acid for *C. lentillifera* cultivated in controlled containers is tryptophan, whereas the limiting amino acids for *C. lentillifera* from wild stock products are methionine and cysteine.

**KEYWORDS:** *Caulerpa lentillifera*, food ingredient, postharvest

## PENDAHULUAN

Eksplorasi rumput laut di Indonesia sudah dimulai sejak tahun 1899 oleh Max Weber dan Anna Weber Van Bosse melalui ekspedisi siboga yang kemudian didapatkan fakta bahwa Indonesia memiliki sumberdaya rumput laut yang beranekaragam (Merdekawati & Susanto, 2009). Indonesia memiliki luas lautan sebesar 5.800.000 km<sup>2</sup>, panjang garis pantai sebesar 95.181 km dan beriklim tropis menjadikannya tempat tumbuh berbagai jenis dan spesies rumput laut tropika. Merdekawati & Susanto (2009) melaporkan bahwa jumlah rumput laut yang ditemukan dapat tumbuh baik di Indonesia tercatat 555 jenis dari total sekitar 8.642 jenis yang ada di dunia. Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan populasi manusia dan permintaan akan sumber protein terbarukan, rumput laut menjadi sumber protein yang layak untuk dipertimbangkan karena selain laju pertumbuhan yang cepat, rumput laut memiliki dampak lingkungan yang rendah serta kandungan protein yang tinggi berkisar 0,47 hingga 36,88% dan asam amino yang lengkap (Ullah et al., 2023; Syakilla et al., 2022). Dengan beberapa keunggulan dan utilitasnya, rumput laut memiliki potensi sebagai sumber protein pangan utuh (*whole-food*) yang luar biasa, sekaligus pendekatan yang baik untuk melengkapi diet kekurangan protein (Klamczynska, 2017).

Rumput laut *C. lentillifera* merupakan salah satu jenis rumput laut tropika dari keluarga *Caulerpaceae* dan termasuk spesies dari kelas *Chlorophyceae* (rumput laut hijau). *C. lentillifera* memiliki nilai ekonomis tinggi yang keberadaannya terus berkurang di alam yang disebabkan oleh rusaknya ekosistem dan praktik eksplorasi berlebih sumber makanan baru (*green caviar*, vegetarian, vegan, dan makanan fungsional). Rumput laut hijau secara alami diperkaya dengan nutrisi dan berbagai senyawa yang baik untuk kesehatan misalnya serat, protein, asam lemak tak jenuh, mineral, vitamin dan komponen bioaktif (Syakilla et al., 2022; Nurjanah et al., 2023; Seulalae et al., 2023), hal ini menjadikan *C. lentillifera* kandidat yang menjanjikan untuk desain pangan sehat masa depan. Oleh karena itu, praktik ini harus dibarengi dengan budidaya yang berkelanjutan.

Komposisi kimia dan asam amino *C. lentillifera* dipengaruhi oleh beberapa faktor eksternal, meliputi suhu, air, musim, geografi, cuaca, dan lingkungan atau tempat tumbuh (Syakilla et al., 2022; Zhang et al., 2020). Seperti makroalga lainnya, *C. lentillifera* memiliki kemampuan untuk mengakumulasi nutrisi bahkan senyawa antropogenik dari lingkungan dan dimanfaatkan untuk aktivitas fisiologinya (Perryman

et al., 2017; Roleda & Hurd, 2019). Budidaya rumput laut *C. lentillifera* dalam wadah terkontrol dinilai mampu mengurangi senyawa antropogenik yang tidak diperlukan dalam sistem budidaya. Sistem ini memungkinkan untuk melakukan pengaturan suhu, kualitas air, dan pemupukan yang lebih terkontrol. Selain itu, komposisi nutrisi rumput laut yang dihasilkan dari budidaya dalam wadah terkontrol menarik untuk dikaji, sebagai pendekatan yang sesuai untuk memaksimalkan kualitas komoditas budidaya yang tidak dapat dihasilkan dari metode budidaya secara konvensional maupun alam, serta mengetahui potensi pemanfaatan *C. lentillifera* berdasarkan komposisi kimia, asam amino dan kualitas protein. Oleh karena itu, Tujuan dari penelitian adalah untuk mengevaluasi komposisi kimia dan asam amino *C. lentillifera* dari hasil budidaya dan mengestimasi kualitas proteinnya kemudian dibandingkan dengan *C. lentillifera* hasil alam.

## BAHAN DAN METODE

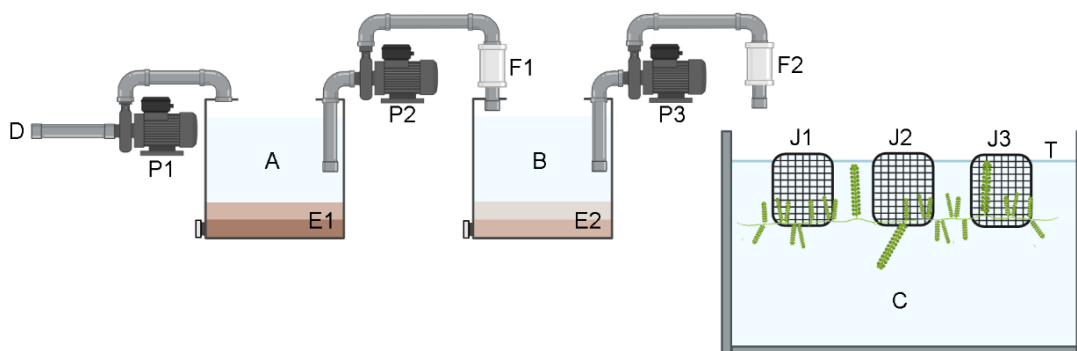
### Bahan

Bahan baku utama dalam penelitian ini adalah anggur laut (*C. lentillifera*) yang diperoleh dari usaha budidaya Sanggar *Caulerpa*, Karawang, Jawa Barat. Bahan lainnya adalah plastik polietilen 150 cm, asam sulfat (Merck, Jerman), natrium hidroksida (Merck, Jerman), asam borat (Merck, Jerman), asam klorida 0,1 N (Merck, Jerman), asam sulfat 6 N (Merck, Jerman), pelarut heksana p.a (Merck, Jerman), natrium klorida (Merck, Jerman), metanol p.a (Merck, Jerman), larutan orto-ftalaldehida (OPA) (Supelco, Amerika Serikat), campuran selenium (Supelco, Amerika Serikat), dan *buffer* natrium karbonat (Merck, Jerman). Alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu *dehydrator* (B-One, Cina), *powder grinder* (Pulverizer, Cina), *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) (Shimadzu CBM 20A, Jepang).

### Metode

#### Budidaya rumput laut *C. lentillifera* dalam wadah terkontrol

Budidaya rumput laut *C. lentillifera* dalam wadah terkontrol merupakan sistem budidaya yang memungkinkan pengaturan suhu, kualitas air, dan pemberian pupuk yang lebih terkontrol. Sistem ini biasanya dilakukan menggunakan tangki, wadah atau kolam buatan hingga akuarium. Wadah budidaya pada penelitian ini menggunakan kolam



Gambar 1. Budidaya *C. lentillifera* dalam Wadah Terkontrol; A (Tangki Pasokan Air), B (Wadah Purifikasi), C (Wadah Budidaya), D (Input Air laut), E (Endapan), P (Pompa Air), F (Filter), J (Jaring Koja), T (Tali Pengikat)

Figure 1. Cultivation of *C. lentillifera* in Controlled Containers; A (Water Supply Tank), B (Purification Container), C (Culture Container), D (Sea Water Input), E (Precipitate), P (Water Pump), F (Filter), J (Koja Net), T (Starp)

beton berukuran 200cm × 400cm × 150cm. Kolam dicuci bersih kemudian diisi air laut dengan salinitas 30-33 ppt sebanyak 1.500 L. Air laut dipompa langsung dari laut menuju tangki pasokan air, air laut kemudian diendapkan selama 24 jam untuk memisahkan lumpur yang ikut terbawa, lalu air laut dipompa kembali menuju filter (lapisan busa dakron, arang pasir dan pecahan kerang) yang selanjutnya dialirkan ke wadah purifikasi untuk diendapkan kembali selama 24 jam. Air laut yang telah diendapkan kemudian digunakan dalam wadah budidaya. Bibit rumput laut *C. lentillifera* dimasukkan ke dalam jaring koja berukuran 0,5 cm, berbentuk tabung berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Jaring koja berfungsi sebagai pengganti substrat. Jaring kemudian ditenggelamkan. Jaring kemudian diikat menggunakan tali agar posisi jaring tidak berubah sekaligus menjaga agar jaring tidak menyentuh dasar. Pupuk dan aerasi juga diberikan pada lingkungan budidaya. Hal ini bertujuan untuk mencukupi nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan hingga siap untuk dipanen. Pemeliharaan rumput laut dilakukan selama 40 hari, yang merupakan waktu optimum *C. lentillifera* dapat dipanen.

#### Preparasi sampel

Sebelum digunakan *C. lentillifera* hasil budidaya yang telah berumur 40 hari dipindahkan dalam wadah terpisah untuk dilakukan pemberokan selama 24 jam. Sampel *C. lentillifera* kemudian dikeringkan menggunakan *dehydrator* pada suhu 50°C selama 12 jam. Sampel yang telah kering kemudian ditepungkan menggunakan *powder*

*grinder* berbahan *stainless steel* dengan mata pisau berbentuk *propeller* (baling-baling). Sampel *C. lentillifera* dalam bentuk bubuk selanjutnya dilakukan analisis proksimat, profil asam amino, dan kualitas protein.

#### Analisis kualitas air

Analisis kualitas air dilakukan sebanyak dua kali ulangan. Parameter yang dianalisis secara *in situ*, yaitu parameter fisik meliputi suhu dan salinitas dan parameter kimia di antaranya pH, DO, NO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>. Parameter logam berat Pb, Cd, Cu (AOAC, 2015), dan mineral Zn (Reitz et al., 1960) dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Parameter suhu dianalisis dengan alat termometer, pH dengan alat pH-meter, oksigen terlarut (DO) dengan alat DO-meter, fosfat (PO<sub>4</sub>) dengan spektrofotometer panjang gelombang 880 nm (Effendi, 2003), nitrat (NO<sub>3</sub>) dengan spektrofotometer panjang gelombang 543 nm (BSN, 2011), dan amonia (NH<sub>3</sub>) menggunakan spektrofotometer UV-VIS (BSN, 2005).

#### Identifikasi morfologi

Identifikasi morfologi dilakukan dengan mengukur tinggi, lebar dan jarak pertumbuhan asimilator, dan jumlah asimilator pada stolon tiap 2 cm, tipe ramuli, diameter ramuli, panjang tangkai ramuli dan diameter tangkai ramuli, diameter stolon, panjang rizoid dan jumlah rizoid pada stolon tiap 2 cm. Ketinggian asimilator juga diukur mulai dari pangkal tempat munculnya stolon. Data kemudian di bandingkan dengan literatur (Estrada et al., 2020).

## Analisis Proksimat

Kadar air, protein, lemak, dan abu bubuk rumput laut *C. lentillifera* dianalisis mengacu metode AOAC (2012) dan karbohidrat dianalisis menggunakan perhitungan secara *by-difference*.

## Analisis Profil Asam Amino

Profil asam amino rumput laut *C. lentillifera* dianalisis menggunakan HPLC berdasarkan AOAC (2012). Skor asam amino (AAS) dan indeks asam amino esensial (EAAI) digunakan untuk menilai kualitas protein rumput laut yang dianalisis. Parameter ini dihitung berdasarkan Machado et al. (2020) dengan persamaan sebagai berikut (persamaan (1) dan (2)):

$$\text{AAS (\%)} = \frac{\text{mg AA dalam 1 g protein yang diuji}}{\text{mg AA dalam 1 g protein yang diuji}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{EAAI (\%)} = n^{\log \text{EAA}} \quad (2)$$

Keterangan:

$\log \text{EAA} = [1/n] \times [\log (100 a1/a1R) + \dots + \log (100 an/anR)]$ ;

a = mg asam amino dalam 1 g protein yang diuji

aR = mg asam amino dalam 1 g protein referensi

n = jumlah asam amino yang dipertimbangkan untuk perhitungan (pasangan metionin + sistein dihitung sebagai 1).

Referensi protein yang digunakan adalah pola asam amino yang ditentukan oleh *Food and Agriculture Organization and World Health Organization* (FAO/WHO, 2013). Skor asam amino (AAS) protein dianggap sebagai nilai skor asam amino (AAS) terendah dalam asam amino esensial. Prediksi rasio efisiensi protein (P-PER) adalah salah satu parameter yang digunakan untuk evaluasi kualitas protein. Prediksi rasio efisiensi protein (P-PER) dihitung dari komposisi asam amino berdasarkan Cobas et al. (2022) menggunakan persamaan berikut (persamaan (3); (4); (5)) :

$$\text{P-PER1} = -0,684 + 0,456 (\text{Leu}) - 0,047 (\text{Pro}) \quad (3);$$

$$\text{P-PER2} = -0,468 + 0,454 (\text{Leu}) - 0,105 (\text{Tyr}) \quad (4);$$

$$\text{P-PER3} = -1,816 + 0,435 (\text{Met}) + 0,78 (\text{Leu}) + 0,211 (\text{His}) - 0,944 (\text{Tyr}) \quad (5).$$

## Analisis Data

Data dianalisis secara deksriptif untuk parameter kualitas air, proksimat, dan profil asam amino. Data diolah menggunakan aplikasi Microsoft Office Excel 2021. Data dianalisis sebanyak 3 kali ulangan dan disajikan dengan standar deviasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Budidaya

Rumput laut pada dasarnya dapat tumbuh dengan baik dalam berbagai iklim selama kebutuhan dasar untuk kelangsungan hidupnya terpenuhi, di antaranya suhu, kualitas air, cahaya, pergerakan air, hara dan substrat. Dalam penelitian ini *C. lentillifera* dibudidayakan dalam wadah terkontrol, Metode ini dinilai mampu mengurangi senyawa antropogenik yang tidak diperlukan dalam sistem budidaya. Budidaya dalam wadah terkontrol memungkinkan untuk melakukan pengaturan suhu, kualitas air, dan pemupukan yang lebih terkontrol. Selain itu, metode ini dapat menghasilkan kualitas produk budidaya yang lebih unggul karena memungkinkan untuk memodifikasi hara melalui pemupukan dan pengkondisian lingkungan budidaya. Keunggulan lainnya adalah sistem ini lebih terjamin kebersihannya dan mudah dalam segi perawatan karena tidak diperlukannya substrat dasar misalnya lumpur, pasir, kerang dan batuan. Beberapa parameter kualitas air pada lingkungan budidaya dapat dilihat pada Tabel 1.

Rata-rata pH pada lingkungan budidaya *C. lentillifera* adalah  $7,810 \pm 0,001$ . Nilai pH tersebut masih sesuai untuk pertumbuhan rumput laut *C. lentillifera*. Derajat keasaman atau pH berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan rumput laut. Derajat keasaman air laut dalam baku mutu air untuk biota laut berkisar antara 7-8,5 (KLHK, 2004). Nilai pH lingkungan budidaya yang kurang dari 6,5 dapat menekan laju pertumbuhan rumput laut dan nilai pH yang tinggi dapat mematikan pertumbuhan rumput laut melalui laju reproduksi yang terhenti.

Organisme laut memiliki toleransi yang berbeda terhadap salinitas. Salinitas merupakan salah satu parameter lingkungan yang penting untuk kelangsungan hidup suatu organisme. Rata-rata salinitas dalam lingkungan budidaya *C. lentillifera* adalah 30 ppt. Nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan standar Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup (2004) yang menyebutkan

Tabel 1. Parameter kualitas air dalam wadah terkontrol

Table 1. Water quality parameters in controlled containers

Parameter/ Parameters	Sampel/Sample		
	Tangki pasokan air/ Water supply tank	Wadah budidaya/ Culture container	Wadah purifikasi/ Purification container
pH/pH	7.810 ± 0.001	7.910 ± 0.001	8.014 ± 0.002
Salinitas/Salinity (ppm)	30.637 ± 0.514	30.265 ± 0.034	30.376 ± 0.05
Suhu/Temperature (°C)	28.910 ± 0.007	28.940 ± 0.025	28.610 ± 0.03
Oksigen terlarut/ Dis- solved oxygen (mg/L)	6.012 ± 0.002	6.813 ± 0.001	6.417 ± 0.004
Nitrat/Nitrate (mg/L)	0.277 ± 0.002	0.268 ± 0.002	0.293 ± 0.001
Amonia/Ammonia (mg/L)	n/d	n/d	n/d
Fosfat/Phosphat (mg/L)	0.021 ± 0.005	0.015 ± 0.001	0.017 ± 0.001
Pb (mg/L)	n/d	n/d	n/d
Cd (mg/L)	n/d	n/d	n/d
Cu (mg/L)	n/d	n/d	n/d
Zn (mg/L)	0.018 ± 0.002	0.021 ± 0.003	0.012 ± 0.002

Keterangan/Note : n/d: tidak terdeteksi/not detected

standar salinitas pada baku mutu air laut untuk biota laut berkisar antara 33-34 ppt. Hui et al. (2014) menjelaskan bahwa *C. lentillifera* dapat bertahan hidup pada salinitas berkisar antara 20-50 ppt dan dapat berkembang pada kisaran 30-40 ppt. Salinitas optimal bagi pertumbuhan *C. lentillifera* adalah 30 ppt (Yuliyana et al., 2015).

Suhu air merupakan parameter yang sering diukur mengingat kegunaannya dalam mempelajari proses fisika, kimia, dan biologi laut. Rata-rata suhu dalam lingkungan budidaya *C. lentillifera* adalah 28,7°C. Rentang suhu pada baku mutu air laut untuk biota laut berkisar antara 28-30°C (KLHK, 2004). Guntur et al. (2016) menyatakan bahwa rumput laut tumbuh dan berkembang dengan baik pada perairan yang memiliki kisaran suhu 26-33°C.

Oksigen terlarut dalam air diperoleh langsung dari udara melalui dua cara, yaitu difusi langsung dari udara dan melalui pergerakan air yang teratur. Selain itu, oksigen juga dihasilkan melalui proses fotosintesis oleh tanaman yang memiliki klorofil. Rata-rata kadar oksigen terlarut (DO) dalam lingkungan budidaya adalah 6,4 mg/L. Nilai tersebut telah sesuai dengan standar kualitas Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup (2004) yang menetapkan bahwa kadar oksigen terlarut (DO) pada baku mutu air laut untuk biota laut berkisar di atas 5 mg/L.

Nitrogen dan fosfat merupakan parameter yang sangat bermanfaat bagi pertumbuhan rumput laut. Nitrogen berperan sebagai penyusun protein dan fosfat sebagai penyedia energi (Lakitan, 2010). Air dalam lingkungan budidaya harus memiliki kandungan nitrogen tidak kurang dari 0,01 mg/L dan fosfat berkisar antara 0,02-1,00 mg/L (Mujiyanto et al., 2020). Perairan dikategorikan sebagai miskin unsur hara apabila air kekurangan nitrogen dan fosfat. Rata-rata kandungan nitrat pada lingkungan budidaya *C. lentillifera* adalah 0,29 mg/L. Nilai tersebut lebih tinggi dari standar Keputusan Menteri Lingkungan Hidup (2004), yaitu 0,008 mg/L. Nilai ini ditemukan di setiap lingkungan budidaya yang mengindikasikan bahwa pasokan air laut yang digunakan mengalami tekanan berupa pengkayaan nitrogen atau nitrat melalui masuknya bahan organik yang tinggi dari aktivitas daratan yang dapat berupa erosi daratan, limbah rumah tangga, limbah pertanian berupa sisa pemupukan dan lainnya yang terbawa langsung ke perairan laut ataupun melalui aliran sungai. Yuliyana et al. (2015) menyebutkan kondisi optimum kandungan nitrat untuk pertumbuhan rumput laut adalah sebesar 0,9-3,5 mg/L. Hal ini mengindikasikan kandungan nitrat hasil penelitian masih dalam kisaran yang dapat ditolerir untuk mendukung pertumbuhan rumput laut. Kandungan fosfat dalam lingkungan budidaya *C. lentillifera* hasil penelitian juga cukup

tinggi, yakni 0,017 mg/L. Nilai ini lebih tinggi dari standar Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup (2004) yang menyebutkan kandungan fosfat dalam baku mutu air untuk biota laut berkisar 0,015 mg/L. Tingginya kandungan fosfat dalam perairan dapat disebabkan oleh erosi tanah, buangan kotoran dari hewan dan pelapukan tumbuhan, serta dari laut itu sendiri. Fosfat sangat dibutuhkan oleh *C. lentillifera* untuk tumbuh, berkembang, dan bereproduksi. Kisaran fosfat yang optimal untuk menunjang pertumbuhan rumput laut antara 0,1-3,5 mg/L (Alwi et al., 2022). Effendi (2003) menyebutkan kandungan fosfat perairan antara 0,021-0,050 mg/L mempunyai kesuburan perairan yang cukup baik dan 0,051-0,1 mg/L kesuburan perairan yang baik. Hal ini menandakan lingkungan budidaya penelitian memenuhi syarat minimal kandungan fosfat di perairan untuk *C. lentillifera* dapat tumbuh dengan baik. Logam berat Pb, Cd dan Cu tidak terdeteksi dalam lingkungan budidaya. Logam Zn terdeteksi dengan nilai rata-rata 0,017 mg/L. Nilai tersebut lebih rendah dari standar Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup (2004) yang menyebutkan kandungan Zn dalam baku mutu air untuk biota laut berkisar 0,05 mg/L. Berdasarkan seluruh data pada Tabel 1 dapat dikatakan bahwa kondisi budidaya *C. lentillifera* dalam wadah terkontrol adalah cukup baik, tidak ditemukan adanya logam berat dan bahan residu berbahaya yang dapat memengaruhi kualitas produk.

### Identifikasi Morfologi

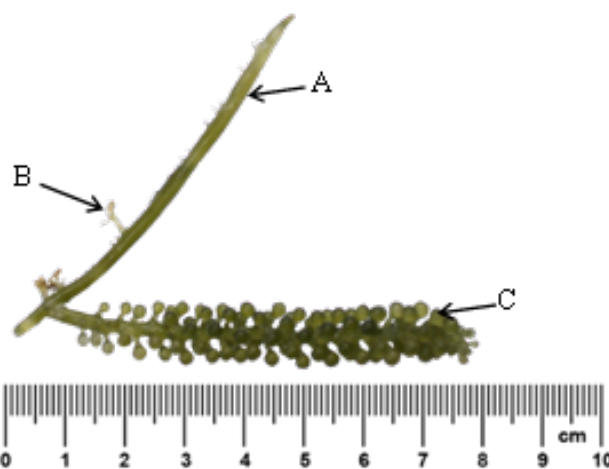
*Caulerpa lentillifera* hasil budidaya memiliki warna hijau zaitun. *C. lentillifera* memiliki karakteristik stolon (*glabrous*) memanjang dan silindris dengan

diameter 0,15-0,3 cm dan bercabang tidak beraturan. Rhizoid pada *C. lentillifera* hasil budidaya cenderung tidak berwarna dan dapat tumbuh di sepanjang stolon. Stolon memunculkan daun fotosintesis tegak (asimilator) dengan panjang 2-10 cm. Asimilator terdiri dari sumbu pusat (*rachis*) yang mengandung cabang lateral (*ramuli*) yang tumbuh tak beraturan (*irregular*) berbentuk bulat (*vesiculate*) dan tersusun rapat dengan jarak 0,1-0,15 cm dan diameter 0,1-0,25 cm

*C. lentillifera* hasil alam memiliki warna hijau hingga hijau kebiruan. Estrada et al. (2020) menyatakan bahwa *C. lentillifera* hasil alam memiliki stolon dengan diameter rata-rata 0,12 cm dan panjang rata-rata asimilator yakni 8,1 cm dan lebar 0,16 cm. Rhizoid pada *C. lentillifera* hasil alam memiliki panjang rata-rata yakni 0,2 cm dan dapat tumbuh disepanjang stolon. Asimilator memiliki cabang lateral (*ramuli*) dengan diameter rata-rata 0,12 cm. Perbedaan yang muncul pada karakteristik morfologi ini dapat disebabkan oleh habitat yang berbeda. Lingkungan hidup yang berbeda mampu memengaruhi pertumbuhan dan ciri fisik *C. lentillifera* (Hui et al., 2014).

### Komposisi Kimia

Komposisi kimia mengacu pada jenis dan jumlah zat gizi, yaitu karbohidrat, protein, lemak, mineral, vitamin, dan serat, yang terdapat dalam bahan pangan. Gizi merupakan aspek penting dalam kehidupan manusia dan keseimbangan gizi yang tepat sangat penting untuk meningkatkan kesehatan dan mencegah penyakit. Hasil analisis komposisi kimia *C. lentillifera* hasil budidaya dan hasil alam dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 2 Morfologi *C. lentillifera* hasil budidaya; A (Stolon), B (Rhizoid), dan C (Ramuli).

Figure 2 Morphology of cultured *C. lentillifera*; A (Stolon), B (Rhizoid), and C (Ramuli).

Protein merupakan zat makanan penting bagi tubuh yang berperan sebagai enzim, zat pembangun, zat pengatur dan sumber asam amino. Protein mengandung unsur C, H, O, dan N yang tidak dimiliki oleh lemak dan karbohidrat (Winarno, 2008). Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar protein *C. lentillifera* hasil budidaya sebesar 7,11%. Kadar protein *C. lentillifera* hasil budidaya lebih rendah dibandingkan kadar protein *C. lentillifera* hasil alam, yaitu 7,55% (Tapotubun et al., 2020). Kadar protein pada rumput laut dipengaruhi oleh unsur N yang berada di lingkungan alami perairan maupun pupuk yang sengaja ditambahkan dalam lingkungan budidaya. Unsur N diserap tanaman dalam bentuk Nitrat ( $\text{NO}_3$ ). Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) direduksi menjadi asam amino ( $\text{NH}_2$ ) oleh enzim nitrat reduktase yang membutuhkan energi kegiatan metabolisme seluler. Asimilasi amonium berlangsung sangat cepat membentuk senyawa N organik dan asam glutamat. Asam amino kemudian dapat disusun menjadi protein dalam ribosom (Pradhika et al., 2019). Faktor lain pergerakan air juga dapat memengaruhi tingginya protein *C. lentillifera* hasil alam. Pergerakan air meningkatkan pasokan hara dan karbon dioksida yang dapat meningkatkan kandungan protein dalam rumput laut. Pergerakan air di alam dapat membawa hara dan menghilangkan keterbatasan unsur hara (Xu et al., 2020). Pergerakan air mampu memasok hara secara terus-menerus meskipun konsentrasi hara di alam lebih kecil dari lingkungan budidaya.

Kandungan lemak rumput laut pada umumnya kurang dari 4% dan secara umum lebih rendah dari tanaman darat (Kumar et al., 2011). Kadar lemak *C. lentillifera* hasil budidaya sebesar 1,10%. Kadar lemak *C. lentillifera* penelitian Tapotubun et al. (2020) lebih tinggi dibandingkan kadar lemak *C. lentillifera* hasil alam, yaitu 0,99%. Rendahnya

kandungan lemak pada *C. lentillifera* hasil budidaya disebabkan oleh tingginya kandungan nitrat dan fosfat pada lingkungan budidaya. Keterbatasan nitrogen dan fosfor dalam media budidaya dapat meningkatkan produksi lemak (Yakoob et al., 2020). Hal ini menandakan semakin tinggi kandungan nitrat dan fosfat pada lingkungan budidaya maka dapat menurunkan kandungan lemak *C. lentillifera*. Konsentrasi nitrat dan fosfat pada lingkungan budidaya mungkin lebih tinggi dibandingkan alam, akan tetapi alam mampu menyediakan unsur hara yang bersifat kontinu yang tentunya akan berdampak pada kandungan lemak *C. lentillifera*.

Kadar abu *C. lentillifera* hasil budidaya sebesar 51,12%. Kadar abu *C. lentillifera* hasil budidaya lebih tinggi dibandingkan kadar abu *C. lentillifera* hasil alam dalam penelitian yang dilakukan oleh Tapotubun et al. (2020) yakni sebesar 41,83%. Kadar abu yang tinggi dalam suatu bahan pangan menandakan mineral yang mengendap dalam suatu bahan tersebut tinggi (Yudiati et al., 2020). Mineral dapat berasal dari lingkungan budidaya *C. lentillifera* di antaranya air dengan salinitas tinggi, nitrat, dan fosfat.

Kadar air merupakan salah satu syarat utama terhadap mutu produk. Syarat tersebut harus dipenuhi karena adanya kadar air yang melebihi standar akan menyebabkan produk tersebut rentan ditumbuhi mikroba atau jasad renik lainnya sehingga akan memengaruhi kestabilannya. Kandungan air dalam bahan makanan menentukan *acceptability*, kesegaran, dan sangat berpengaruh terhadap masa simpan rumput laut. Air dapat memengaruhi sifat-sifat fisik atau adanya perubahan-perubahan kimia di antaranya tekstur, kenampakan, dan cita rasa makanan (Winarno, 2008). Kadar air *C. lentillifera* hasil budidaya hasil penelitian sebesar 5,88%. Kadar air *C. lentillifera* hasil budidaya lebih rendah

Tabel 2 Komposisi kimia *C. lentillifera* hasil budidaya dan hasil alam

Table 2 Chemical composition of cultured *C. lentillifera* and wild-stock

Parameter/ Parameters (%)	Sampel/Sample	
	Hasil budidaya/Cultured	Hasil alam/Wild-stock <sup>a</sup>
Protein/Protein	7.112 ± 0.026	7.55
Lemak/Lipid	1.105 ± 0.032	0.99
Abu/Ash	51.124 ± 0.012	41.83
Air/Moisture	5.887 ± 0.022	9.22
Karbohidrat/Carbohydrate*	32.772 ± 0.008	37.76

Keterangan/Note : \*by-difference, <sup>a</sup>(Tapotubun, 2020)

dibandingkan kadar air hasil alam yang telah diteliti oleh Tapotubun et al. (2020) yakni sebesar 9,22%. Kadar air dapat dipengaruhi oleh pengeringan, jenis biota, usia, dan perbedaan kondisi lingkungan hidup (Tapotubun, 2018).

Karbohidrat merupakan salah satu makronutrien, yaitu nutrisi yang diperlukan tubuh dalam jumlah besar. Karbohidrat pada rumput laut umumnya terdapat dalam bentuk serat. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar karbohidrat dalam *C. lentillifera* hasil budidaya sebesar 32,95%. Kadar karbohidrat *C. lentillifera* hasil budidaya lebih rendah dibandingkan karbohidrat *C. lentillifera* hasil alam dalam penelitian yang dilakukan oleh Tapotubun et al. (2020) yakni sebesar 37,76%. Rendahnya karbohidrat pada *C. lentillifera* hasil budidaya berkaitan dengan tingginya senyawa

nitrat pada lingkungan budidaya. Penambahan nitrogen meningkatkan senyawa jaringan berbasis N (misalnya asam amino, fikobiliprotein dan klorofil) pada rumput laut. Aktivitas fotosintesis dan pertumbuhan akan meningkat tetapi kandungan *phycocolloid* (misalnya agar dan karagenan) akan berkurang. Sebaliknya, pembatasan nitrogen mengurangi fotosintesis dan pertumbuhan serta menginduksi perubahan alokasi C terhadap makromolekul bebas N, misalnya penyimpanan karbohidrat dan/atau lipid (Roleda & Hurd, 2019).

### Profil Asam Amino

Profil asam amino *C. lentillifera* ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil penelitian menunjukkan *C. lentillifera* hasil budidaya memiliki total asam amino sebesar 6,61 g/100 g, *C. lentillifera* hasil budidaya memiliki

Tabel 3. Komposisi asam amino *C. lentillifera* hasil budidaya dan hasil alam

Table 3. Amino acid compositions of cultured *C. lentillifera* and wild-stock

Asam amino % / Amino acids %	Sampel (basis kering)/Sample (dry basis)	
	Hasil budidaya/Cultured	Hasil alam/Wild-stock*
<b>Asam amino esensial/Essensial amino acid</b>		
Histidin/Histidine	0.184 ± 0.003	0.39
Treonin/Threonine	0.380 ± 0.007	0.86
Valin/Valine	0.431 ± 0.001	1
Lisin/Lysine	0.406 ± 0.001	0.68
Isoleusin/Isoleucine	0.332 ± 0.002	0.71
Leusin/Leucine	0.540 ± 0.001	1.24
Metionin/Methionine	0.108 ± 0.006	0.18
Fenilalanin/Phenylalanine	0.400 ± 0.001	0.91
Triptofan/Tryptophan	0.040 ± 0.001	n/a
<b>Asam amino non-esensial/Non-essensial amino acid</b>		
Asam aspartate/Aspartic acid	0.700 ± 0.001	1.5
Serin/Serine	0.340 ± 0.001	0.81
Sistein/Cysteine	0.080 ± 0.001	n/a
Asam glutamate/Glutamic Acid	0.840 ± 0.002	1.77
Glisin/Glycine	0.506 ± 0.005	0.64
Arginin/Arginine	0.366 ± 0.005	0.83
Alanin/Alanine	0.420 ± 0.001	0.96
Tirosin/Tyrosine	0.231 ± 0.003	0.55
Prolin/Proline	0.300 ± 0.001	0.64
Total EAA	2.825 ± 0.002	5.88
Total NEAA	3.786 ± 0.002	7.7

EAA: Asam Amino Esensial/ Essensial Amino Acid; NEAA: Asam Amino Non-Esensial/ Non-Essensial Amino Acid; n/a: Tidak tersedia/Not Available; \*(Jiang et al., 2014).



18 jenis asam amino yang terdiri dari 9 asam amino esensial dan 9 asam amino non-esensial sedangkan *C. lentillifera* hasil alam memiliki total asam amino sebesar 13,58 g/100 g, *C. lentillifera* hasil alam memiliki 16 jenis asam amino yang terdiri dari 8 asam amino esensial dan 8 asam amino non-esensial (Jiang et al., 2014).

Profil asam amino merupakan parameter untuk mengetahui komposisi asam amino pada suatu bahan pangan. Faktor yang dapat memengaruhi kandungan asam amino rumput laut di antaranya perbedaan spesies, ukuran tubuh, musim, suhu lingkungan, tahap kedewasaan, dan ketersediaan nutrisi (Sudhakar et al., 2009). Proses pembentukan asam amino dimulai dari penyerapan nitrat dari lingkungan. Proses reduktif yang terjadi di dalam tanaman menghasilkan amonium dari sumber nitrogen lain, dan dalam reaksi selanjutnya, nitrogen diasimilasi terlebih dahulu menjadi glutamin, kemudian asam glutamat, dan akhirnya menjadi 18 asam amino penyusun protein lainnya (Fowden, 1980).

Nitrogen dan fosfor dapat meningkatkan kandungan asam amino. Sintesis asam amino pada sel alga diawali dengan reduksi nitrat menjadi nitrat di sitosol. Nitrit kemudian direduksi lebih lanjut menjadi amonium di kloroplas, dan amonium digunakan untuk sintesis asam amino (Xu et al., 2020). Fosfor juga memainkan peran penting dalam sintesis asam amino. Misalnya, penambahan fosfor terbukti merangsang sintesis asam amino termasuk alanin dan glisin. Beberapa ko-enzim yang mengandung fosfor, contohnya piridoksalfosfat (yang mengkatalisis reaksi transaminasi) juga diperlukan untuk sintesis asam amino. Hal ini menunjukkan bahwa sintesis asam amino dapat dipengaruhi oleh kandungan fosfor (Xu et al., 2020). Kualitas air budidaya maupun alam harus memiliki rasio kombinasi yang tepat antara nitrat dan fosfat. Unsur hara sangat bermanfaat untuk meningkatkan hasil dan kualitas rumput laut, misalnya rasa yang meningkat secara signifikan melalui peningkatan kandungan asam amino aspartat, glutamat, alanin, treonin, serin dan arginin (Xu et al., 2020). Asam amino aspartat, glutamat, alanin, treonin, serin dan arginin bertanggung jawab terhadap rasa manis dan umami pada rumput laut (Laohakunjit et al., 2014). Total asam amino *C. lentillifera* hasil alam lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil budidaya. Hal ini dapat disebabkan oleh faktor lain yang dapat meningkatkan penyerapan hara (nitrat dan fosfat) dalam perairan seperti pergerakan air. Pergerakan air di alam dapat membawa hara dan menghilangkan keterbatasan unsur hara (Xu et al., 2020). Pergerakan air mampu memasok hara

secara kontinyu meskipun konsentrasi hara di alam lebih kecil dibandingkan lingkungan budidaya.

### Evaluasi Kualitas Protein Berdasarkan Profil Asam Amino

Kualitas protein tergantung pada keberadaan dan jumlah asam amino esensial. Asam amino adalah senyawa organik yang membentuk protein melalui ikatan peptida dan mengandung gugus karboksil dari asam amino dan gugus amina dari asam amino berikutnya (EFSA, 2017). *C. lentillifera* dianggap memiliki protein berkualitas tinggi karena komposisi asam amino esensialnya dekat dengan kandungan protein telur dan kedelai (Syakilla et al., 2022). Profil asam amino *C. lentillifera* didominasi oleh leusin, valin, asam aspartat, asam glutamat, dan glisin. Asam amino utama dalam protein rumput laut adalah asam aspartat dan glutamat, yang berkontribusi pada rasa umami (Imchen, 2021). Hasil evaluasi kualitas protein *C. lentillifera* hasil budidaya dan hasil alam dapat dilihat pada Tabel 4.

Bahan pangan yang mengandung protein memiliki asam amino pembatas. Asam amino pembatas adalah asam amino esensial yang jumlahnya sangat rendah dalam protein makanan terhadap protein makanan referensi misalnya telur. Istilah "asam amino pembatas" juga bisa merujuk pada asam amino esensial yang tidak memenuhi persyaratan minimum kebutuhan manusia. Metode untuk mengetahui asam amino pembatas dapat dilakukan dengan perhitungan skor kimia (CS) dan skor asam amino (AAS). Mutu suatu protein dapat dilakukan melalui perbandingan asam amino esensial (AAE) yang paling defisien atau yang paling kurang pada suatu bahan pangan dengan standar referensi FAO/WHO (2013). Skor asam amino (AAS) *C. lentillifera* hasil budidaya adalah sebesar 92%, dan 58% untuk *C. lentillifera* hasil alam. Konsentrasi histidin, isoleusin, leuslin, lisin, treonin, fenilalanin+tirosin dan valin lebih tinggi dari standar FAO/WHO (2013) untuk semua sampel, yang berarti bahwa nilai AAS yang sesuai dengan standar telah terpenuhi atau melebihi 100%. Triptofan merupakan asam amino pembatas utama pada *C. lentillifera* hasil budidaya dengan skor kimia 92, artinya protein sampel yang mampu dimanfaatkan tubuh adalah 92%. Untuk memenuhi pola referensi FAO/WHO (2013), maka asam amino pembatasnya, yakni triptofan dapat ditingkatkan nilai gizinya dengan melakukan fortifikasi triptofan sebanyak 52 mg/100 g protein (660–608 = 52 mg/100 g protein) sedangkan metionin+sistein merupakan asam amino pembatas utama dari *C. lentillifera* hasil alam dengan skor kimia 58, artinya protein sampel yang mampu dimanfaatkan tubuh hanya

58%. Asam amino pembatas, yaitu metionin+sistein dapat ditingkatkan nilai gizinya dengan melakukan fortifikasi metionin+sistein sebanyak 975 mg/100 g protein ( $2.300-1.325 = 975$  mg/100 g protein) untuk memenuhi pola referensi FAO/WHO (2013). Asam amino sulfur, triptofan, dan histidin merupakan asam amino pembatas utama pada rumput laut (Chan & Matanjun, 2017; Paiva et al., 2014; Vieira et al., 2018).

Indeks asam amino esensial (EAAI) merupakan standar untuk mendapatkan kualitas protein dalam makanan. EAAI juga penting untuk mengatasi kekurangan metode evaluasi mutu menggunakan skor kimia dan skor asam amino (Khairi et al., 2014).

Nilai rata-rata dari setiap asam amino esensial digunakan sebagai nilai akhir dalam penentuan indeks asam amino esensial. Berdasarkan hasil yang didapatkan, EAAI untuk *C. lentillifera* hasil budidaya adalah 123% dan EAAI untuk *C. lentillifera* hasil alam adalah 93%. Protein dengan kualitas dan efisiensi tinggi umumnya ditandai dengan nilai EAAI yang tinggi (Khairi et al., 2014). Machado et al. (2020) menjelaskan bahwa protein memiliki kualitas tinggi ketika nilai EAAI lebih besar dari 90%, kualitas sedang ketika EAAI antara 70-89% dan kualitas rendah ketika EAAI kurang dari 70%. Berdasarkan standar referensi FAO/WHO (2013), protein *C. lentillifera* hasil budidaya dapat dianggap

Tabel 4. Komposisi asam amino dan kualitas protein *C. lentillifera* hasil budidaya dan hasil alam

Table 4. Amino acid composition and protein quality of cultured *C. lentillifera* and Wild-stock

Asam amino esensial/ Essential amino acid	<i>C. lentillifera</i> hasil budidaya/ Cultured <i>C. lentillifera</i> (mg/100 g protein)	<i>C. lentillifera</i> hasil alam/ Wild-stock <i>C. lentillifera</i> (mg/100 g protein)	Pola referensi (FAO)/ Scoring pattern (FAO) <sup>b</sup> (mg/100 g protein)
Histidin/ <i>Histidine</i>	2.740	2.209	1.600
Isoleusin/ <i>Isoleucine</i>	5.023	5.228	3.000
Leusin/ <i>Leucine</i>	8.219	9.131	6.100
Lisin/ <i>Lysine</i>	6.088	5.007	4.800
Metionin/ <i>Methionine</i> + Sistein/ <i>Cysteine</i>	2.875	1.325	2.300
Fenilalanin/ <i>Phenylalanine</i> + Tirosin/ <i>Tyrosine</i>	9.589	10.751	4.100
Treonin/ <i>Threonine</i>	5.783	6.332	2.500
Triptofan/ <i>Tryptophan</i>	608	N/A	660
Valin/ <i>Valine</i>	6.545	7.363	4.000
LAA	Triptofan/ <i>Tryptophan</i>	Metionin/ <i>Methionine</i> + Sistein/ <i>Cysteine</i>	n/a
AAS (%)	92	58	n/a
EAAI (%)	123	93	n/a
P-PER1	2.9	3.2	n/a
P-PER2	2.9	3.2	n/a
P-PER3	2.5	2.5	n/a

Keterangan/Note :

LAA: Asam Amino Pembatas/*Limiting Amino Acid*; AAS: Skor Asam Amino/*Amino Acid Score*; EAAI: Indeks Asam Amino Esensial/*Essential Amino Acid Index*; P-PER: Prediksi Rasio Efisiensi Protein/*Predicted Protein Efficiency Ratio*; n/a: Tidak Tersedia/*Not Available*; <sup>a</sup>Dihitung berdasarkan/*Calculated based-on* Jiang et al. (2014); <sup>b</sup>Kebutuhan asam amino/kebutuhan protein pada kelompok usia remaja dan dewasa/*amino acid requirements/protein requirements for the adolescent and adult groups*.

berkualitas tinggi sedangkan *C. lentillifera* hasil alam memiliki kualitas sedang. Oleh karena itu, *C. lentillifera* hasil budidaya dapat digunakan sebagai sumber protein berkualitas tinggi, atau sebagai bahan untuk meningkatkan profil asam amino pada formulasi makanan.

Prediksi rasio efisiensi protein (P-PER) memiliki fungsi untuk memperkirakan kualitas protein secara keseluruhan. Nilai indeks ini tergantung pada konsentrasi leusin dan prolin (P-PER1), leusin dan tirosin (P-PER2) atau metionin, leusin, histidin dan tirosin (P-PER3). Makanan dengan nilai PER di bawah 1,5 memiliki kualitas protein rendah, makanan dengan nilai PER lebih tinggi dari 2 memiliki kualitas protein tinggi dan jika nilai PER lebih besar dari 2,5 (nilai standar protein kasein) maka makanan dikatakan memiliki protein yang sangat baik (Cobas et al., 2022). Nilai P-PER1, P-PER2 dan P-PER3 *C. lentillifera* hasil budidaya lebih tinggi dibandingkan dengan *C. lentillifera* hasil alam. Nilai P-PER pada semua sampel penelitian ini mendekati nilai PER telur yakni sebesar 3,8 (Layman & Rodriguez, 2009). Oleh karena setiap nilai P-PER memiliki nilai diatas 2,5 maka kedua sampel *C. lentillifera* baik hasil budidaya maupun hasil alam dapat dianggap sebagai sumber protein berkualitas tinggi atau sangat baik. Namun, nilai PER pada masing-masing sampel masih memerlukan evaluasi *in vivo* untuk menganalisis nilai PER dengan lebih akurat (Kusharto et al., 2018).

## KESIMPULAN

Kondisi lingkungan mampu memengaruhi komposisi kimia, profil asam amino dan kualitas protein *C. lentillifera*. Rumput laut *C. lentillifera* yang dibudidayakan dalam wadah terkontrol memiliki komposisi mineral yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan *C. lentillifera* hasil alam. Kandungan protein, lemak, air, dan karbohidrat pada *C. lentillifera* hasil budidaya cenderung lebih rendah dibandingkan dengan *C. lentillifera* hasil alam. Berdasarkan perhitungan skor kimia dan skor asam amino, triptofan ditetapkan sebagai asam amino pembatas untuk *C. lentillifera* hasil budidaya, sedangkan metionin dan sistein menjadi asam amino pembatas untuk *C. lentillifera* hasil alam. Secara keseluruhan baik *C. lentillifera* hasil budidaya maupun hasil alam memiliki potensi untuk menghasilkan protein berkualitas tinggi yang dapat dimanfaatkan dalam aplikasi pangan dan gizi.

## DAFTAR PUSTAKA

Alwi, Arbit, N.I.S., Takril, Lestari D. (2022). Pengaruh Penggunaan Ram Kotak Terhadap Pertumbuhan

- Rumput Laut (*Caulerpa lentillifera*). *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 13(2), 221-230.
- AOAC. (2015). AOAC Official Methods 2015.01 Heavy metals in food inductively coupled plasma mass spectrometry first action. The Association of Official Analytical Chemist, Inc.
- AOAC. (2012). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist 19th Edition.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). Air dan air limbah – bagian 79: Cara uji nitrat dengan spektrofotometer UV-visibel secara reduksi kadmium. SNI 6989.79:2011.
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). Air dan air limbah- bagian 30: Cara uji kadar ammonia dengan spektrofotometer secara fenat. SNI 06-6989.30-2005.
- Chan, P. T., & Matanjun, P. (2017). Chemical composition and physicochemical properties of tropical red seaweed, *Gracilaria changii*. *Food Chemistry*, 221, 302–310. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.066>
- Cobas, N., Gómez-Limia, L., Franco, I., & Martínez, S. (2022). Amino acid profile and protein quality related to canning and storage of swordfish packed in different filling media. *Journal of Food Composition and Analysis*, 107, 0889-1575. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104328>
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius.
- Estrada, J. L., Bautista, N. S., & Dionisio-Sese, M. L. (2020). Morphological variation of two common sea grapes (*Caulerpa lentillifera* and *Caulerpa racemosa*) from selected regions in the Philippines. *Biodiversitas*, 21(5), 1823–1832. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210508>
- European Food Safety Authority (EFSA). (2017). Dietary Reference Values for nutrients Summary report. *EFSA J*, 14, 15121. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2017.e15121>
- FAO/WHO. (2013). *Dietary Protein Quality Evaluation in Human Nutrition. Report of an Expert Consultation*. Food and Nutrition Paper.
- Fowden, L. (1980). *Amino Acids: Production by Plants and the Requirements of Man. Food Chains and Human Nutrition*. Applied Science Publishers
- Guntur, L., Kasim, M., & Arami, H. (2016). Aktivitas fotosintesis pada area budidaya rumput laut dan area non budidaya rumput laut di Perairan Pantai Lakeba Kota Baubau. *Jurnal Manajemen Sumber Daya Perairan*, 2(1), 79-87.
- Hui, G., Zhongmin S., Delin D. (2014a). Effect of Temperature, Irradiance on the Growth of the Green Algae *Caulerpa lentillifera* (Bryopsidophyceae, Chlorophyta). *Chinese Journal of Applied Phycology*. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0358-7>.
- Imchen, T. (2021). Nutritional value of seaweeds and their potential to serve as nutraceutical supplements. *Phycologia*, 60 (6), 534–546. <https://doi.org/10.1080/0318884.2021.1973753>
- Jiang, F. Y., Song, W. M., Yang, N., & Huang, H. (2014). Analysis, and evaluation of nutrient content of *Caulerpa lentillifera* in Hainan. *Journal of Science and Technology in Food Industry*, 35, 356–359.

- Kementrian Negara Lingkungan Hidup. (2004). *Keputusan MENLH Nomor 51 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut*.
- Khairi, I. N. B. M., Huda, N., Abdullah, W. N. W., & Al-Karkhi, A. F. M. (2014). Protein quality of fish fermented product: budu and rusip. *Asia Pacific Journal of Sustainable Agriculture Food and Energy (APJSafe)*, 2(2), 17-22.
- Klamczynska, B., & M. W. D. (2017). Heterotrophic microalgae: A scalable and sustainable protein source. In Nadathur SR, Wanasundara JPD, & Scanlin L (Eds.), *Sustainable Protein Sources, 1st ed.* Academic Press
- Kumar, M., Gupta, V., Kumari, P., Reddy, C. R. K., & Jha, B. (2011). Assessment of nutrient composition and antioxidant potential of Caulerpaceae seaweeds. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(2), 270–278. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.07.007>
- Kusharto, C. M., Rosmiati, R., Marta, E. O., & Palupi, E. (2018). Amino acid composition and protein quality of instant liquid food based on Catfish (*Clarias gariepinus*) and Kelor (*Moringa oleifera*) flour. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 196(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/196/1/012033>
- Lakitan, B. (2010). *Fundamentals of Plant Physiology*. Raja Grafindo Persada.
- Laohakunjit, N., Selamassakul, O., Kerdchoechuen, O. (2014). Seafood-like Flavour Obtained From The Enzymatic Hydrolysis of The Protein By-Products of Seaweed (*Gracilaria sp.*), *Journal of Food Chemistry*, 158, 162-170
- Layman, D. K., & Rodriguez, N. R. (2009). Egg protein as a source of power, strength, and energy. *Nutrition Today*, 44(1), 43–48. <https://doi.org/10.1097/NT.0b013e3181959cb2>
- Machado, M., Machado, S., Pimentel, F. B., Freitas, V., Alves, R. C., & Oliveira, M. B. P. P. (2020). Amino acid profile and protein quality assessment of macroalgae produced in an integrated multi-trophic aquaculture system. *Foods*, 9(10), 1382. <https://doi.org/10.3390/foods9101382>
- Merdekawati, W., & Susanto, A. B. (2009). Kandungan dan komposisi pigmen rumput laut dan potensinya untuk Kesehatan. *Jurnal Squalen*, 4(2), 41-47.
- Mujiyanto, Syam, A. R., Wijaya, D., & Purnamaningtyas, S. E. (2020). Suitability water quality parameters for seaweed culture at Muara Gembong coastal area, Bekasi District. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 521(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/521/1/012012>
- Nurjanah, Ramlan, Jacoeb, A. M., & Seulalae, A. V. (2023). Komposisi kimia tepung dan aktivitas antioksidan ekstrak *Ulva lactuca* dan genjer (*Limncharis flava*) sebagai bahan baku pembuatan garam rumput laut. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 18(1), 63-74. <http://dx.doi.org/10.15571/jpbkp.v18i1.931>
- Paiva, L., Lima, E., Patarra, R. F., Neto, A. I., & Baptista, J. (2014). Edible Azorean macroalgae as source of rich nutrients with impact on human health. *Food Chemistry*, 164, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.119>
- Perryman, S. E., Lapong, I., Mustafa, A., Sabang, R., & Rimmer, M. A. (2017). Potential of metal contamination to affect the food safety of seaweed (*Caulerpa spp.*) cultured in coastal ponds in Sulawesi, Indonesia. *Aquaculture Reports*, 5, 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2016.12.002>
- Pradhika, V. D., Suryono, & Sedjati, S. (2019). Pengaruh penambahan pupuk padat dan cair terhadap pertumbuhan, jumlah klorofil dan kadar protein *Caulerpa racemosa*, J. Agardh, 1873 (Ulvoophyceae: Caulerpaceae). *Journal of Marine Research*, 8(3), 269-276.
- Reitz, L. L., Smith, W. H., & Plumlee, M. P. (1960). *A Simple Oxidation Procedure for Biological Materials*. Amerika Serikat: Purdue University.
- Roleda, M. Y., & Hurd, C. L. (2019). Seaweed nutrient physiology: application of concepts to aquaculture and bioremediation. *Phycologia*, 58(5), 552–562. <https://doi.org/10.1080/00318884.2019.1622920>
- Sudhakar, M., Manivannan, K., & Soundrapandian, P. (2009). Nutritive Value of Hard and Soft Shell Crabs of *Portunus sanguinolentus* (Herbst). *International Journal of Animal and Veterinary Advances*, 1(2), 44–48. <https://www.researchgate.net/publication/283343558>
- Syakilla, N., George, R., Chye, F. Y., Pindi, W., Mantihal, S., Wahab, N. A., Fadzwi, F. M., Gu, P. H., & Matanjun, P. (2022). A Review on Nutrients, Phytochemicals, and Health Benefits of Green Seaweed, *Caulerpa lentillifera*. *Foods*, 11(18), 2832. <https://doi.org/10.3390/foods11182832>
- Seulalae, A. V., Prangdimurti, E., Adawiyah D.R., & Nurjanah, N. (2023) Evaluasi tingkat keasinan dan profil sensori garam rumput laut menggunakan metode magnitude estimation dan rate-all that apply (RATA). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 26(1), 54-66. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v26i1.44466>
- Tapotubun, A. M. (2018). Komposisi Kimia Rumput Laut (*Caulerpa lentillifera*) dari Perairan Kei Maluku dengan Metode Pengeringan Berbeda. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 21(1), 13. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v21i1.21257>
- Tapotubun, A. M., Matrutty, T. E. A. A., Riry, J., Tapotubun, E. J., Fransina, E. G., Mailoa, M. N., Riry, W. A., Setha, B., & Rieuwpassa, F. (2020). Seaweed *Caulerpa sp.* position as functional food. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 517(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/517/1/012021>
- Ullah, M.R., Akhter, M., Khan, A.B.S., Hasan, M.M., Bosu, A., Yasmin, F., Haque, M.A., Islam, M.A., Mahmud, Y. (2023). Seaweed: a prominent source of protein and other nutrients. *Sustainable Aquatic Research*, 2(2), 145- 166.
- Vieira, E. F., Soares, C., Machado, S., Correia, M., Ramalhosa, M. J., Oliva-teles, M. T., Paula Carvalho, A., Domingues, V. F., Antunes, F., Oliveira, T. A. C., Morais, S., & Delerue-Matos, C. (2018). Seaweeds from the Portuguese coast as a source

- of proteinaceous material: Total and free amino acid composition profile. *Food Chemistry*, 269, 264–275. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.145>
- Winarno, F. G. (2008). *Kimia Pangan dan Gizi*. PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Xu, N., Xu, K., Wang, W., Xu, Y., Ji, D., Chen, C., & Xie, C. (2020). Nutrient enrichment improves growth and food quality of two strains of the economic seaweed *Pyropia haitanensis*. *Frontiers in Marine Science*, 7, 1-10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.544582>
- Yaakob, M.A., Mohamed, R.M.S.R., Al-Gheethi, A., Aswathnarayana Gokare, R., Ambati, R.R. (2021). Influence of Nitrogen and Phosphorus on Microalgal Growth, Biomass, Lipid, and Fatty Acid Production: An Overview. *Journal of Cells*, 10, 393. <https://doi.org/10.3390/cells10020393>
- Yudiati, E, Ridho, A., Nugroho, A.A., Sedjati, S., Maslukah, L. (2020). Analisis Kandungan Agar, Pigmen dan Proksimat Rumput Laut *Gracilaria sp.* pada Reservoir dan Biofilter Tambak Udang *Litopenaeus vannamei*. *Buletin Oseanografi Marina*, 9(2), 133-140.
- Yuliyana, A., Rejeki, S., Widowati, L.L. (2015). The Effect of Different Salinity to Latoh Seaweed (*Caulerpa lentillifera*) Growth in LPWP, Jepara. *Journal of Aquaculture Management and Technology*, 4(4), 61-66
- Zhang, M., Ma, Y., Che, X., Huang, Z., Chen, P., Xia, G., & Zhao, M. (2020). Comparative Analysis of Nutrient Composition of *Caulerpa lentillifera* from Different Regions. *Journal of Ocean University of China*, 19(2), 439–445. <https://doi.org/10.1007/s11802-020-4222-x>

