

Optimalisasi Rasio N:P untuk Meningkatkan Kandungan Karbohidrat dan Lemak pada *Gracilaria verrucosa* Budidaya Outdoor

Optimizing N:P Ratios to Enhance Carbohydrate and Lipid Content in Outdoor Cultured *Gracilaria verrucosa*

Abustang^{1✉}, Muhammad Yusri Karim¹, Besse Tenri Nurkamilah¹

¹ Departemen Perikanan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin,
Jln. Perintis Kemerdekaan Km 10, Makassar, 90245

✉correspondent author: abustang.unhas@gmail.com

Abstrak

Komoditas unggulan yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai komoditi ekspor Indonesia adalah rumput laut. Salah satu jenis *Gracilaria* yang bernilai ekonomis dan banyak dibudidayakan adalah *Gracilaria verrucosa*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh rasio konsentrasi nitrogen (N) dan fosfor (P) terhadap kandungan karbohidrat dan lemak pada rumput laut *G. verrucosa* yang dibudidayakan secara outdoor. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei-Juni 2023 di Hatchery FIKP, Universitas Hasanuddin. Bibit rumput laut dipelihara selama 44 hari menggunakan bak fiber kerucut berdiameter 70 cm yang diisi dengan 100 g/150 L air. Penelitian ini menggunakan metode non-parametrik Kruskal-Wallis terdiri dari 3 perlakuan dan setiap perlakuan terdiri dari 3 ulangan sehingga terdapat 9 satuan percobaan. Berdasarkan hasil analisis Kruskal-wallis memperlihatkan perbedaan yang signifikan terhadap kandungan karbohidrat pada rumput laut *G. verrucosa*. Kandungan karbohidrat tertinggi didapatkan pada perlakuan dengan rasio 2 ppm : 1 ppm (A), yaitu 33.49%, perlakuan dengan 2 ppm : 1,5 ppm (B) yaitu 29,56% dan perlakuan terendah berada pada rasio 2 ppm : 2 ppm (C) yaitu 29.28%. Kandungan lemak tertinggi berada pada rasio 2 ppm : 2 ppm (C) 0.84% dan terendah pada rasio 2 ppm : 1 ppm (A) 0.36%. Parameter kualitas air yang diamati selama penelitian semuanya layak untuk pertumbuhan *G. verrucosa*.

Kata kunci: *G. verrucosa*, karbohidrat, lemak, nitrogen, phosphor

Abstract

A leading commodity that has the potential to be developed as an export commodity for Indonesia is seaweed. One type of *Gracilaria* that has economic value and is widely cultivated is *Gracilaria verrucosa*. This study aims to analyze the effect of nitrogen (N) and phosphor (P) concentration ratio on carbohydrate and lipid content in *G. verrucosa* seaweed cultivated outdoors. This research was conducted in May-June 2023 at the Hatchery FIKP, Hasanuddin University. Seaweed seedlings were reared for 44 days using 70 cm diameter conical fiber tanks filled with 100 g/150 L of water. This study used a non-parametric method Kruskal-Wallis consisting of 3 treatments and each treatment consisted of 3 replicates so that there were 9 experimental units. Based on the results of Kruskal-wallis analysis showed significant differences in carbohydrate content in seaweed *G. verrucosa*. The highest carbohydrate content was obtained in the treatment with a ratio of 2 ppm : 1 ppm (A), which is 33.49%, treatment with 2 ppm : 1.5 ppm (B) is 29.56% and the lowest treatment was in the ratio of 2 ppm : 2 ppm (C) which is 29.28%. The highest lipid content was at a ratio of 2 ppm : 2 ppm (C) 0.84% and the lowest at a ratio of 2 ppm : 1 ppm (A) 0.36%. The water quality parameters observed during the study were all suitable for the growth of *G. verrucosa*.

Keywords: *G. verrucosa*, carbohydrates, lipid, nitrogen, phosphor

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar kedua di dunia dengan potensi sumber daya perikanan yang sangat besar termasuk di sektor budidaya rumput laut (Negara *et al.*, 2017). Salah satu komoditas utama yang memiliki nilai ekonomi tinggi adalah *Gracilaria verrucosa* alga merah penghasil agar (agarofit) yang dimanfaatkan dalam industri makanan, farmasi, dan kosmetik (Zainuddin *et al.*, 2019). Indonesia tercatat sebagai produsen rumput laut terbesar kedua di dunia setelah China, dengan produksi mencapai 9.962.900 ton pada tahun 2019 (FAO, 2021). Menurut Waluyo *et al.*, (2019) *Gracilaria verrucosa* merupakan salah satu spesies rumput laut yang melimpah secara alamiah di daerah tropis dan banyak dibudidayakan di tambak karena memberikan kontribusi lebih dari 90% terhadap bahan baku agar-agar global (Mauli, 2018). *Gracilaria* juga sebagai sumber karbohidrat dan mengandung sejumlah kecil lemak yang meskipun kadarnya rendah, komposisi asam lemak yang dimilikinya memiliki peran penting dalam kesehatan terutama berfungsi dalam pelarutan vitamin larut lemak seperti A, D, E, dan K serta sebagai penyedia asam lemak esensial bagi tubuh (Angelia, 2016).

Pada budidaya rumput laut kandungan nutrisinya bervariasi sesuai dengan jenis, lokasi tumbuh, umur, lingkungan, metode budidaya, lama pemanenan, perlakuan primer dan faktor lainnya (Lestari, 2022) penambahan pupuk urea (N) dan SP-36 (P) diharapkan mampu memaksimalkan pertumbuhannya. Namun penggunaan pupuk dalam budidaya rumput laut masih terbatas akibat kurangnya informasi dan kekhawatiran masyarakat akan dampak negatif terhadap tanaman (Fatimatu-zuhro, 2017).

Pupuk urea merupakan pupuk anorganik yang mengandung nitrogen (46%) berperan dalam pembentukan klorofil untuk mendukung fotosintesis yang menghasilkan karbohidrat (Nurcahyani *et al.*, 2019; Fatimatu-zuhro, 2017), sementara SP-36 sebagai sumber fosfor penting untuk respirasi, metabolisme karbohidrat dan pembelahan sel (Dahlia dan Setiono, 2020). Unsur N dan P juga mempengaruhi sintesis senyawa organik kompleks pada tanaman tingkat tinggi seperti protein dan lemak dalam tanaman (Hopkins dan Huner, 2009). Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh rasio konsentrasi pupuk nitrogen (N) dan fosfor (P) terhadap kandungan karbohidrat dan lemak pada *Gracilaria verrucosa* dalam sistem budidaya outdoor.

Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei-Juni 2023 pada Hatchrey Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan dengan titik koordinat 5°07'46° LS – 119°29'02° BT.

Materi Penelitian

Rumput Laut

Rumput laut yang akan digunakan pada penelitian ini adalah benih *Gracilaria verrucosa* yang diambil dari hasil budidaya masyarakat di Desa Ujung Baji, Kecamatan Sanrobone, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan.

Wadah Penelitian

Wadah yang digunakan berupa tangki fiber kerucut berdiameter 70 cm dengan kapasitas 200 L yang diisi air dengan volume 150 L sebanyak 9 buah. Wadah dilengkapi dengan pipa air yang dirancang untuk resirkulasi air. Selain itu, pada penelitian ini juga menggunakan keranjang sebagai wadah penanaman rumput laut yang akan dipasang diatas permukaan tangki fiber. Semua wadah penelitian diletakkan di luar ruangan (*outdoor*) yang dibuat khusus sebagai greenhouse mini yang diberi atap plastik ultraviolet (UV) dengan ketebalan 0,2 mm.

Air Media

Air media yang digunakan berupa air laut bersalinitas 30 ppt yang diperoleh dari pantai Takalar di Balai Perikanan Budidaya Air Payau, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan.

Prosedur Penelitian

Persiapan Bibit

Sebelum melakukan penelitian, hal pertama yang harus dilakukan yaitu dengan melakukan persiapan bibit yang diawali dari pemilihan bibit dengan kisaran umur 20–25 hari. Percabangan thallus proporsional, bersih, berwarna cerah, berukuran besar dan diameter thallus 2–3 mm, selanjutnya dibersihkan. Adapun jumlah bibit yang digunakan yaitu dengan padat tebar sebanyak 100 g/150L.

Penanaman dan Pemeliharaan

Proses penanaman yang dilakukan terlebih dahulu yaitu media penelitian diberi pupuk urea dan SP-36 sesuai dengan dosis perlakuan sebagai nutrient utama. Penanaman dilakukan dengan cara menaruh bibit rumput laut pada wadah (keranjang) kemudian keranjang digantung pada bak penelitian sesuai dengan perbedaan pemberian dosis pupuk urea dan SP-36 pada setiap perlakuan. Kemudian, ditambahkan pupuk organik (pupuk kandang) sebanyak 200 g sebagai sumber CO₂ terlarut dalam bak penampungan sehingga dapat tersirkulasi kembali ke bak percobaan. Pemeliharaan rumput laut dilakukan selama 44 hari menggunakan sistem resirkulasi air dengan melakukan pengamatan kualitas air setiap 11 hari.

Pengambilan Sampel dan Pengamatan Kualitas Air

Pengukuran awal dilakukan sebelum dimulainya perlakuan untuk mengetahui kondisi awal lingkungan perairan dan memastikan keseragaman antar perlakuan. Selanjutnya, pengambilan data utama dilakukan pada akhir penelitian tepatnya pada hari ke-44 untuk menganalisis kandungan karbohidrat dan lemak yang kemudian dianalisis di Laboratorium Produktivitas dan Kualitas Air, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin. Parameter kualitas air yang diamati selama penelitian meliputi suhu (menggunakan termometer), pH (pH meter), salinitas (refraktometer), serta alkalinitas dan CO₂ (menggunakan metode titrasi). Pengamatan kualitas air dilakukan secara berkala setiap 11 hari. Pengukuran suhu dan CO₂ dilakukan pada pagi dan sore hari sementara pengamatan pH dan salinitas dilakukan pada siang atau sore hari.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini akan menggunakan metode non-parametrik dengan uji Kruskal-Wallis yang terdiri dari 3 perlakuan (dosis) rasio konsentrasi nitrogen (N) dan fosfor (p), setiap perlakuan terdiri dari 3 ulangan sehingga terdapat 9 satuan percobaan. Perlakuan penelitian yang akan diujikan adalah perbedaan rasio konsentrasi N:P yang bersumber dari pupuk urea dan SP-36 yaitu :

1. Perlakuan A = 2 ppm : 1 ppm (Urea:SP-36)
2. Perlakuan B = 2 ppm : 1,5 ppm (Urea:SP-36)
3. Perlakuan C = 2 ppm : 2 ppm (Urea:SP-36)

Parameter Penelitian

Perhitungan Kandungan Karbohidrat

Kadar karbohidrat dihitung menggunakan rumus dengan persamaan: Penentuan kadar karbohidrat dilakukan dengan perhitungan by difference dengan mengikuti prosedur pengukuran AOAC (Horwitz dan Latimer, 2005) menggunakan rumus, sebagai berikut:

$$\text{Kandungan karbohidrat (\%)} = 100 - \% (\text{air} + \text{abu} + \text{protein} + \text{lemak})$$

Analisis proksimat ini mengacu pada metode standar Association of Official Analytical Chemists (Latimer, 2019).

Perhitungan Kandungan Lemak

Analisis kandungan lemak dilakukan menggunakan metode Soxhlet dengan mengikuti prosedur pengukuran AOAC (Latimer, 2019), Selanjutnya kadar lemak dihitung dengan menggunakan formula berikut:

$$\text{Kadar Lemak (\%)} = \frac{WB-WA}{W0} \times 100\%$$

Keterangan:

W0 = Berat Sampel (g)

WA = Berat labu lemak kosong (g)

WB = Berat labu lemak setelah ekstraksi (g)

Analisis Data

Data yang diperoleh berupa kandungan karbohidrat dan lemak, dianalisis dengan menggunakan uji statistic non-parametrik Kruskal-Wallis kemudian uji lanjut Post Hocc pada taraf signifikasi 5%, dengan hipotesis H0= tidak ada perbedaan antara perlakuan dan H1= terdapat perbedaan antara perlakuan. Sebagai alat bantu untuk pelaksanaan uji statistik, digunakan perangkat lunak computer SPSS versi 24.0. Adapun kualitas air dianalisis secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk tabel.

Rumus uji Kruskal-Wallis :

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^K \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

Keterangan:

H: Nilai Kruskal-Wallis dari hasil perhitungan.

N: Jumlah Seluruh observasi ($N = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k$).

R_i: Jumlah rank dari kelompok/kategori ke-i.

n_i: Banyaknya kasus dalam sampel pada kelompok /kategori ke-i.

k: Banyaknya kelompok/kategori

Hasil dan Pembahasan

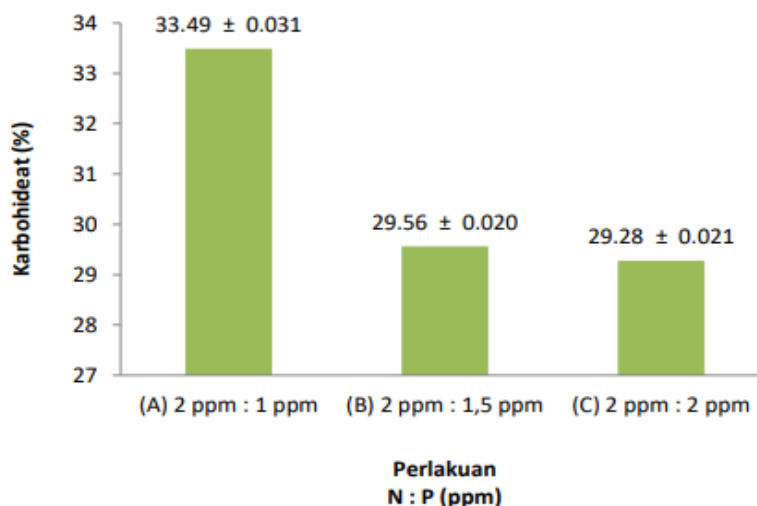
Kandungan Karbohidrat

Berdasarkan hasil uji statistik menggunakan metode Kruskal-Wallis pada tingkat signifikansi 5% diperoleh hasil bahwa hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antar perlakuan rasio konsentrasi nitrogen (N) dan fosfor (P) terhadap kandungan karbohidrat pada rumput laut *G. verrucosa*. Gambar 1 memperlihatkan bahwa kandungan karbohidrat pada perlakuan A berbeda secara signifikan dibandingkan dengan perlakuan B dan C demikian pula antara perlakuan B dan C terdapat perbedaan yang nyata. Secara umum kandungan karbohidrat cenderung menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi unsur hara pada masing-masing perlakuan. Nilai kandungan karbohidrat tertinggi tercatat pada perlakuan A dengan rasio konsentrasi N:P sebesar 2 ppm : 1 ppm, yaitu sebesar 33,49%. Rata-rata kandungan karbohidrat pada rumput laut *G. verrucosa* pada setiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata kandungan karbohidrat pada rumput laut *G. verrucosa* pada semua

Perlakuan	Ulangan	Karbohidrat	STDV
A	1	33,5	0,031
	2	33,46	
	3	33,52	
Total		100,48	
Rata-rata		33,49	
B	1	29,58	0,020
	2	29,54	
	3	29,56	
Total		88,68	
Rata-rata		29,56	
C	1	29,3	0,021
	2	29,26	
	3	29,27	
Total		87,83	
Rata-rata		29,28	

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan karbohidrat pada *Gracilaria verrucosa* cenderung menurun seiring dengan meningkatnya rasio pemberian unsur fosfor (P) yang tidak diimbangi dengan peningkatan unsur nitrogen (N) selama masa pemeliharaan. Hal ini mengindikasikan bahwa rumput laut kekurangan unsur N yang menghambat proses fotosintesisnya. Kandungan karbohidrat yang diperoleh dalam penelitian ini pada perlakuan A (2 ppm : 1 ppm) sebesar 33,49%, pada perlakuan B (2 ppm : 1,5 ppm) sebesar 29,56% dan pada perlakuan C (2 ppm : 2 ppm) sebesar 29,28%.

Gambar 1. Diagram Kandungan Karbohidrat *G. verrucosa*

Menurut Kushartono *et al.*, (2009) ketidakseimbangan pemberian unsur P dan N dapat menyebabkan pertumbuhan yang tidak optimal. Penelitian ini memperoleh rasio N:P <16 yang menunjukkan bahwa unsur N menjadi faktor pembatas pertumbuhan. Pernyataan ini sejalan dengan Bjornsater dan Wheeler (1990) yang mengungkapkan bahwa rasio N:P <16 akan membatasi pertumbuhan akibat kekurangan unsur N sedangkan jika rasio N:P >24 unsur P akan menjadi pembatas.

Roleda *et al.*, (2019) juga menegaskan bahwa jika kebutuhan unsur hara melebihi ketersediaannya maka pertumbuhan rumput laut akan terbatas. Oleh karena itu ketersediaan unsur N yang lebih banyak daripada P sangat penting untuk pertumbuhan optimal alga. Andreyan *et al.*, (2021) menyarankan kisaran nitrogen yang optimal untuk pertumbuhan rumput laut adalah 0,9-3,5 ppm, sementara Reddy *et al.*, (2021) menyatakan bahwa konsentrasi N yang baik untuk alga merah adalah 1,2–3,0 ppm. Tarmizi *et al.*, (2022) juga mengemukakan bahwa kisaran fosfat yang optimal untuk pertumbuhan rumput laut adalah antara 0,051 ppm hingga 1,00 ppm. Selain itu, intensitas cahaya matahari yang kurang juga diduga menjadi faktor yang mempengaruhi kurang optimalnya kandungan karbohidrat *G. verrucosa*.

Fotosintesis adalah proses biokimia yang mengubah karbondioksida (CO₂) dan air (H₂O) menjadi karbohidrat (C₆H₁₂O₆) dan oksigen (O₂) yang terjadi pada tumbuhan, alga dan beberapa jenis bakteri. Proses fotosintesis pada rumput laut memerlukan cahaya matahari sehingga intensitas cahaya yang cukup sangat penting untuk kelancaran proses ini (Emilia, 2023). Apabila intensitas cahaya matahari yang diterima rumput laut kurang, maka proses fotosintesis juga akan menjadi terganggu dan menyebabkan pertumbuhan rumput laut juga menjadi kurang optimal (Susanto *et al.*, 2021).

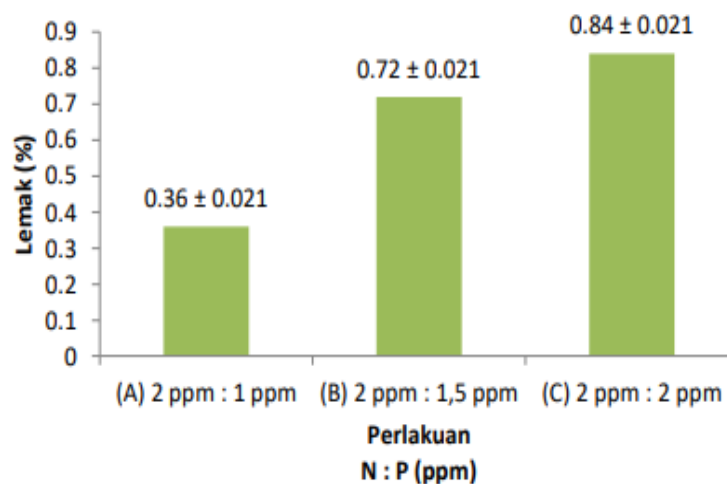
Kandungan Lemak

Hasil analisis menggunakan uji Kruskal-Wallis pada tingkat signifikansi 5% menunjukkan bahwa hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima. Hal ini mengindikasikan adanya perbedaan yang signifikan antar perlakuan rasio konsentrasi nitrogen (N) dan fosfor (P) terhadap kandungan lemak pada rumput laut *Gracilaria verrucosa*. Berdasarkan Gambar 2 kandungan lemak tertinggi ditemukan pada perlakuan C dengan rasio N:P sebesar 2 ppm : 2 ppm, yaitu sebesar 0,84%. Rata-rata kandungan lemak pada rumput laut *G. verrucosa* pada setiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata kandungan lemak pada rumput laut *G. verrucosa* pada semua perlakuan selama penelitian

Perlakuan	Ulangan	Karbohidrat	STDV
A	1	0,38	0,021
	2	0,37	
	3	0,34	
Total		1,09	
Rata-rata		0,36	
B	1	0,7	0,021
	2	0,73	
	3	0,74	
Total		2,17	
Rata-rata		0,72	
C	1	0,86	0,021
	2	0,82	
	3	0,85	
Total		2,53	
Rata-rata		0,84	

Lemak atau lipid adalah makronutrien penting bagi kesehatan manusia karena merupakan sumber energi utama dan berperan dalam pembentukan jaringan adiposa. Lemak memberikan kalori terbesar yaitu 9 kkal per gram atau sekitar 2,5 kali lebih banyak dibandingkan dengan karbohidrat dan protein dalam jumlah yang sama (Kole *et al.*, 2020). Rumput laut memiliki kadar asam lemak esensial yang cukup tinggi yang dibutuhkan oleh manusia. Peñalver *et al.*, (2020) menyatakan bahwa rumput laut mengandung proporsi asam lemak esensial yang lebih tinggi seperti eicosapentaenoic acid (EPA) dan docosahexaenoic acid (DHA) dibandingkan dengan tanaman darat. Kandungan lemak rumput laut dapat dianalisis menggunakan uji proksimat.

Gambar 2. Diagram Kandungan Lemak *G. verrucosa*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan lemak pada *Gracilaria verrucosa* meningkat seiring dengan bertambahnya rasio pemberian pupuk selama masa pemeliharaan. Pada perlakuan C (2 ppm : 2 ppm) kandungan lemak tertinggi tercatat sebesar 0,84% diikuti oleh perlakuan B (2 ppm : 1,5 ppm) sebesar 0,72% dan perlakuan A (2 ppm : 1 ppm) sebesar 0,36%. Peningkatan kandungan lemak ini kemungkinan disebabkan oleh ketidakseimbangan antara unsur N dan P di mana kekurangan unsur N membatasi penyerapan nutrisi oleh rumput laut. Hal ini sejalan dengan pernyataan Irhamni *et al.*, (2014) yang menyebutkan bahwa kondisi budidaya yang tidak optimal dapat meningkatkan kandungan asam lemak dan minyak pada mikroalga. Peningkatan kandungan lemak dapat terjadi ketika mikroalga kekurangan nutrisi atau terpapar faktor stres lainnya seperti kualitas perairan yang buruk. Mikroalga merupakan organisme fotosintetik mikroskopis yang hidup di lingkungan perairan dan memiliki kemampuan untuk menghasilkan berbagai senyawa bioaktif, termasuk lipid, protein, dan karbohidrat. Mikroalga telah banyak diteliti sebagai sumber potensial bioenergi dan bahan baku industri karena kemampuannya dalam menghasilkan lipid dalam jumlah tinggi terutama saat mengalami kondisi stres (Chisti, 2007; Hu *et al.*, 2008). Ketika terjadi keterbatasan nutrisi, seperti nitrogen atau fosfor, mikroalga cenderung mengalihkan metabolisme seluler mereka ke jalur sintesis lipid sebagai mekanisme bertahan hidup, yang pada akhirnya meningkatkan kandungan lemak dalam biomassa (Rodolfi *et al.*, 2009).

Kandungan lemak yang diperoleh dalam penelitian ini masih dalam kisaran normal untuk *G. verrucosa*. Kumar *et al.*, (2011) menyatakan bahwa umumnya rumput laut memiliki kandungan lemak yang lebih rendah dibandingkan tanaman darat yaitu kurang dari 4%. Penelitian Sugiyatno *et al.*, (2013) di Desa Mororejo Kendal menemukan kandungan

lemak *G. verrucosa* sebesar 0,15% sementara penelitian Sa'diyah dan Anugerah (2018) mencatatkan kadar lemak pada *G. verrucosa* basah sekitar 1,05%. Penelitian Purwaningsih dan Deskawati (2020) juga menemukan kadar lemak pada *Gracilaria sp.* segar dari Banten sekitar 0,60%.

Parameter Kualitas Air

Selama penelitian berlangsung dilakukan pengukuran beberapa parameter kualitas air sebagai data penunjang diantaranya meliputi suhu, salinitas, pH, karbondioksida dan alkalinitas. Kisaran nilai parameter kualitas air selama penelitian dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran parameter kualitas air selama penelitian

Parameter	Perlakuan			Kelayakan	Pustaka
	A	B	C		
Suhu (°C)	29.00- 32.00	29.00- 30.00	29.00- 31.00	26.00- 33.00	Asni, 2015
Salinitas (ppt)	20.00- 22.00	20.00- 22.00	20.00- 22.00	15.00- 30.00	SNI, 2010
pH	6.10-8.00	6.10-8.00	6.10-8.00	6.10-9.00	Alamsyah, (2016)
CO ₂ pagi (ppm)	4.00- 11.99	5.90-11.99	4.0-9.99	>12.00	Boyd (1990)
CO ₂ sore (ppm)	0.00	0.00	0.00	>12.00	Boyd (1990)
Alkalinitas (ppm)	161-172.2	159-168	159-168	159-200	Boyd (2016)

Kualitas air merupakan faktor krusial yang mempengaruhi keberhasilan budidaya rumput laut. Selama penelitian suhu air pada setiap perlakuan berada dalam kisaran optimal yaitu antara 29-32°C. Cirik *et al.*, (2010) menyebutkan bahwa suhu yang baik untuk pertumbuhan rumput laut berkisar antara 12-36°C. *G. verrucosa* memiliki toleransi suhu yang tinggi (*eurythermal*) yaitu antara 0-35°C dengan suhu optimal untuk pertumbuhannya antara 20-34°C (Nadlir *et al.*, 2019). Suhu air juga berpengaruh terhadap kadar salinitas. Susanto *et al.*, (2021) menyatakan bahwa salinitas akan meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Selama penelitian, salinitas yang terukur berkisar antara 20-22 ppt, yang berada dalam kisaran optimal. Nadlir *et al.*, (2019) menyatakan bahwa *Gracilaria sp.* memiliki toleransi salinitas yang luas, antara 10-40 ppt, dan Susanto *et al.*, (2021) menambahkan bahwa salinitas optimal untuk pertumbuhan *Gracilaria sp.* adalah antara 15-24 ppt. Parameter pH air selama penelitian berada dalam kisaran 6,1-8,0 yang masih tergolong baik untuk budidaya rumput laut. Ma'ruf *et al.*, (2013) melaporkan bahwa habitat alami *G. verrucosa* memiliki pH antara 7,43-8,54 dan Mulyono *et al.*, (2020) merekomendasikan kisaran pH antara 6,8-8,2 untuk budidaya rumput laut. Karbondioksida (CO₂) adalah unsur utama yang dibutuhkan dalam proses fotosintesis. Selama penelitian, nilai CO₂ tercatat pada kisaran perlakuan A (4-11,99 ppm), B (5,99-11,99 ppm) dan C (4-9,99 ppm) yang belum mencapai nilai optimum. Boyd (1990) menyarankan bahwa kadar CO₂ optimal untuk fotosintesis

adalah >12 ppm. Cheng *et al.*, (2011) melaporkan bahwa peningkatan kadar CO₂ dalam batas optimal dapat meningkatkan sintesis karbohidrat pada *Chlorella vulgaris*, tetapi kadar yang tidak sesuai justru menghambat pertumbuhan dan akumulasi biomassa. Irhamni *et al.*, (2014) menyebutkan bahwa kondisi budidaya yang tidak optimal dapat meningkatkan kandungan asam lemak dan minyak pada mikroalga akibat respons terhadap stres lingkungan. Pada makroalga, Rasyid (2017) juga mencatat bahwa fluktuasi CO₂ dan nutrisi dapat meningkatkan kandungan lipid sebagai bentuk adaptasi terhadap lingkungan yang tidak stabil. Kadar CO₂ yang terlalu rendah dapat mengurangi laju fotosintesis, sehingga menyebabkan penurunan produksi karbohidrat. Dalam kondisi tersebut, organisme seperti alga cenderung mengalami stres fisiologis yang dapat memicu peningkatan sintesis lipid sebagai respons adaptif. Sebaliknya, kadar CO₂ yang terlalu tinggi juga dapat berdampak negatif, antara lain dengan mengganggu keseimbangan pH perairan yang pada akhirnya menimbulkan stres metabolik dan menyebabkan ketidakseimbangan dalam akumulasi karbohidrat dan lemak. Oleh karena itu, kadar CO₂ yang optimal sangat penting untuk menjaga kestabilan metabolisme dan memastikan keseimbangan produksi karbohidrat dan lipid dalam tubuh alga. Alkalinitas air yang terukur selama penelitian berada pada kisaran optimal yaitu antara 159-172,2 ppm pada perlakuan A 159-168 ppm pada perlakuan B dan 159-168 ppm pada perlakuan C. Boyd (2016) menyatakan bahwa alkalinitas optimal untuk perairan budidaya adalah antara 150-200 ppm.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa rasio konsentrasi nitrogen (N) dan fosfor (P) yang diberikan selama proses budidaya *Gracilaria verrucosa* secara outdoor berpengaruh nyata terhadap kandungan karbohidrat dan lemak yang dihasilkan. Rasio N:P terbaik diperoleh pada perlakuan A (2:1), yang menghasilkan kandungan karbohidrat tertinggi dan kandungan lemak terendah dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa keseimbangan nutrisi, khususnya nitrogen dan fosfor sangat penting dalam mengoptimalkan kualitas biomassa rumput laut terutama untuk tujuan pemanfaatan yang membutuhkan kandungan karbohidrat tinggi dan lemak rendah.

Daftar Pustaka

- Andreyan, D, Rejeki S, Ariyati RW, Widowati LL, Amalia R. 2021. Pengaruh Salinitas yang Berbeda Terhadap Efektivitas Penyerapan Nitrat dan Pertumbuhan (*Gracilaria verrucosa*) dari Air Limbah Budidaya Ikan Kerapu Sistem (*Epinephelus*) Sistem Intensif. Jurnal sains akuakultur tropis : *Indonesia journal of tropical aquaculture* . 5(2) : 88-96.

- Angelia IO. 2016. Analisis Kadar Lemak pada Tepung Ampas Kelapa. *JTech*, 4(1): 19-23.
- Bjornstater BR, Wheeler PA. 1990. Effect of nitrogen and phosphorus supply on growth and tissue composition of *Ulva fenestrata* and *Enteromorpha intestinalis* (*ulvales, chlorophyta*). *J. Phycol.* 26 : 603-611.
- Boyd CE. 1990. Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming (Fisheries and allied aquaculture departmental. Series N 2). Auburn, Alabama: *Alabama Agricultural Experiments Stations*.
- Boyd CE. 2016. Alkalinity and hardness: critical but elusive concepts in aquaculture. *Journal of The World Aquaculture Society*, 47(1): 6-41.
- Cheng L, Zhang L, Chen H, Gao C, Xu X. 2011. Carbon dioxide fixation by *Chlorella vulgaris* cultured in simulated flue gas. *Environmental Technology*, 32(12), 1313–1321.
- Chisti Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25(3), 294–306
- Cirik S, Zerrin Ç, İlknur A, Semra C, Tolga G. 2010. Greenhouse cultivation of *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss and determination of chemical composition. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10: 559-564.
- Dahlia I, Setiono. 2020. Pengaruh pemberian kombinasi dolomit SP-36 dengan dosis yang berbeda terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai (*Glycine max L. Merrill*) di Ultisol. *Jurnal Sains Agro*, 5(1).
- Emilia E D. 2023. Pengembangan modul praktikum fotosintesis berbasis Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) berbantuan Arduino Science Journal untuk meningkatkan keterampilan proses sains di SMA Koperasi Pontianak. [TESIS]. IKIP PGRI Pontianak. Pontianak.444kf
- FAO. 2021. Seaweeds and microalgae an overview for unlocking their potential in global aquaculture development. NFIA/C1229 (En).
- Fatimatuzzuhro. 2017. Difusi ion Ammonium ke zeolit pada slow release fertilizer berbahan baku urea, zeolit dan asam humat. Politeknik Negeri Sriwijaya [Skripsi].
- Hopkins WG, Huner NPA. 2009. Introduction to plant physiology. *Fourth Edition*. John Wiley and Sons, Inc.
- Horwitz W, Latimer GW. 2005. Official methods of analysis of the association of analytical chemistry. *Arlington: AOAC Inc*
- Hu Q, Sommerfeld M, Jarvis E, Ghirardi M, Posewitz M, Seibert M, Darzins A. 2008. Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances. *The Plant Journal*, 54(4), 621–639.
- Irhamni, Elvitriana, Vera V. 2014. Kultivasi mikroalga hijau pada sumber nitrogen berbeda untuk ekstraksi lipid. *Jurnal Purifikasi*, 14(2): 99-105.
- Kole H, Tuapattinaya P, Watuguly T. 2020. Analisis kadar karbohidrat dan lemak pada tempe berbahan dasar biji lamun (*Enhalus Acoroides*). *Biopendix: Jurnal Biologi, Pendidikan dan Terapan*, 6(2): 91-96.

- Kumar M, Gupta V, Kumari P, Reddy CRK, Jha B. 2011. Assesment of nutrien composition and antioxidant pontential of *caulerpaceae seaweeds*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24: 270-278.
- Kushartono EW, Suryono, Endah SMR. 2009. Aplikasi perbedaan komposisi N, P, dan K pada budidaya *Eucheuma cottonii* di perairan Teluk Awur, Jepara. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 14(3): 164-169.
- Latimer. 2019. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemist (AOAC). Rockville, *Maryland*. USA. 771 pages.
- Lestari DA. 2022. Uji aktivitas antioksidan senyawa agar dari alga merah *Gracilaria verrucosa* hasil ekstraksi sonikasi dengan variasi pelarut dan konsentrasi. [SKRIPSI]. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. *Malang*.
- Ma'ruf WF, Ratna I, Eko ND, Eko S, Ulfah A. 2013. Profil rumput laut *Caulerpa racemosa* dan *Gracilaria verrucosa* sebagai Edible Food. *Jurnal Saintek Perikanan*, 9(1): 68-74.
- Mauli RS. 2018. Ekstraksi dan analisis agar-agar dari rumput laut *Gracilaria sp.* menggunakan asam jawa. [SKRIPSI]. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. *Banda Aceh*.
- Mulyono M, Suharyadi, Samsuharapan SB, Marlina E, Kristiany MGE, Thaib EA, Panjaitan, AS, Sektiana SP, Ilham, Hapsyari F, Saputra A, Hasanah FA, Safitri Y. 2020. Performa budidaya rumput laut (*Gracilariales*, *Rhodophyta*) pada lokasi tanam berbeda di perairan Ujung Baji Kabupaten Takalar. *Media Akuakultur*, 15(2): 71-77
- Nurcahyani E, Nurul AM, Salman F, Rochmah A. 2019. Analisis kandungan karbohidrat terlarut total planlet buncis (*Phaseolus vulgaris L.*) menggunakan metode fenol-sulfur secara in vitro. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 4(1).
- Peñalver R, José ML, Gaspar R, Ryszard A, Mirian P, Gema N. 2020. Seaweeds as a functional ingredient for a healthy diet. *Marine Drugs*, 18(301): 1- 27.
- Purwaningsih S, Deskawati E. 2020. Karakteristik dan aktivitas antioksi dan rumput laut *Gracilaria sp.* asal Banten. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 23(3): 503-512.
- Rasyid A. 2017. Kandungan lipid rumput laut *Gracilaria verrucosa* yang dibudidayakan pada berbagai konsentrasi CO₂. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(1), 233–241.
- Reddy CRK, Eswaran K, Ganesan M, Thiruppathi S, Mantri VA. 2021. Manual on best practice of seaweed cultivation . CSIR – central salt & marine chemical research institute
- Rodolfi L, Zittelli GC, Bassi N, Padovani G, Biondi N, Bonini G, Tredici MR. 2009. Microalgae for oil: strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor. *Biotechnology and Bioengineering*, 102(1), 100–112.
- Roleda MY, Catriona LH. 2019. Seaweed nutrient physiology: applicaoiin of concepts to aquaculture and bioremediation. *Phycologia*, 58(5): 552-562

- Sugiyatno, Munifatul I, Erma P. 2013. Manajemen budidaya dan pengolahan pasca panen *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfus. Study kasus: Tambak Desa Mororejo, Kecamatan Kaliwungu, Kabupaten Kendal. *Bulletin Anatomi dan Fisiologi*, 21(2): 42-50.
- Susanto AB, Rinawati S, Hanosah., Teuku MF, Antoni. 2021. Analisis kesesuaian kualitas perairan lahan tambak untuk budidaya rumput laut (*Gracilaria sp.*) di Kecamatan Langsa Barat, Kota Langsa. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 5(3): 655-667.
- Tarmizi A, Diniarti N, Azhar F. 2022. Analisis kesesuaian lokasi di perairan Pulau Lombok untuk pengembangan budidaya rumput laut (*Gracilaria sp.*). *Jurnal Media Akuakultur Indonesia*, 2(2): 190-205
- Waluyo, Aef P, Norma AF, Angky S, 2019. Analisis kualitas rumput laut *Gracilaria verrucosa* di tambak Kabupaten Karawang, Jawa Barat. *Jurnal Grouper*, 10(1): 32-41.
- Zainuddin EN, Hilal A, Huyyirnah H, Ridha H. Dolores VB. 2019. Antibacterial activity of *Caulerpa racemosa* against pathogenic bacteria promoting “ice-ice” disease in the red alga *Gracilaria verrucosa*. *Journal of Applied Phycology*, 31: 3201-3212.