

**OPTIMASI BIOMASSA AWAL UNTUK MENINGKATKAN
KOMPOSISI PROKSIMAT *Gracilaria verrucosa* PADA BUDIDAYA
SISTEM LONGLINE DI TAMBAK AIR PAYAU TROPIS**

**OPTIMIZATION OF INITIAL BIOMASS TO IMPROVE THE
PROXIMATE COMPOSITION OF *Gracilaria verrucosa* IN LONGLINE
CULTURE SYSTEMS IN TROPICAL BRACKISHWATER PONDS**

Andi Rahmad Rahim^{1*}

¹Program Studi Budidaya Perikanan Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Gresik
Jl. Sumatra No. 101 GKB, Kec. Kebomas, Kab. Gresik, Jawa Timur, Kode Pos: 61121

*Email: andirahmad@umg.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh perbedaan biomassa awal terhadap komposisi proksimat (*karbohidrat, protein, dan lemak*) *Gracilaria verrucosa* yang dibudidayakan menggunakan metode longline di tambak air payau tropis. Penelitian dilaksanakan pada Januari–Februari 2023 di tambak Desa Pulokerto, Kecamatan Kraton, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur, dengan masa pemeliharaan selama 42 hari. Metode yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan biomassa awal, yaitu A (100 g), B (150 g), C (200 g), dan D (250 g), masing-masing tiga ulangan. Analisis proksimat dilakukan menggunakan metode standar AOAC, sedangkan data dianalisis menggunakan ANOVA dan uji lanjut Tukey HSD pada taraf kepercayaan 95%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biomassa awal berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap seluruh parameter proksimat yang diamati. Kandungan karbohidrat tertinggi diperoleh pada perlakuan C sebesar $37,6 \pm 0,47\%$, diikuti D sebesar $36,1 \pm 0,49\%$, B sebesar $34,9 \pm 0,32\%$, dan A sebesar $32,1 \pm 0,42\%$. Pola serupa juga terjadi pada protein, dimana perlakuan C menghasilkan nilai tertinggi sebesar $14,8 \pm 0,39\%$, sedangkan A terendah sebesar $12,2 \pm 0,32\%$. Kandungan lemak tertinggi juga diperoleh pada perlakuan C sebesar $1,51 \pm 0,021\%$, dan terendah pada A sebesar $1,21 \pm 0,044\%$. Hasil ini menunjukkan bahwa biomassa awal 200 g merupakan perlakuan optimum karena memberikan keseimbangan terbaik antara kepadatan tanam, ruang tumbuh, dan efisiensi penyerapan nutrisi. Dengan demikian, pengaturan biomassa awal menjadi strategi penting untuk meningkatkan kualitas nutrisi dan nilai ekonomi *G. verrucosa* pada budidaya tambak air payau.

Kata Kunci: *Gracilaria verrucosa*, biomassa awal, komposisi proksimat, longline, tambak air payau, kualitas nutrisi.

ABSTRACT

*This study aimed to analyze the effect of different initial biomass levels on the proximate composition (carbohydrate, protein, and lipid contents) of *Gracilaria verrucosa* cultivated using the longline method in tropical brackishwater ponds. The experiment was conducted from January to February 2023 in brackishwater ponds located in Pulokerto Village, Kraton District, Pasuruan Regency, East Java, Indonesia, with a cultivation period of 42 days. A Completely Randomized Design (CRD) was applied with four initial biomass treatments, namely A (100 g), B (150 g), C (200 g), and D (250 g), each with three replications. Proximate analysis was performed using standard AOAC methods, while data were analyzed using one-way ANOVA followed by Tukey's HSD test at a 95% confidence level. The results showed that initial biomass had a significant effect ($p < 0.05$) on all observed proximate parameters. The highest carbohydrate content was obtained in treatment C at $37.6 \pm 0.47\%$, followed by D at $36.1 \pm 0.49\%$, B at $34.9 \pm 0.32\%$, and A at $32.1 \pm 0.42\%$. A similar trend was observed for protein content, where treatment C produced the highest value of $14.8 \pm 0.39\%$, while treatment A had the lowest value of $12.2 \pm 0.32\%$. The highest lipid content was also recorded in treatment C at $1.51 \pm 0.021\%$, whereas the lowest was found in treatment A at $1.21 \pm 0.044\%$. These findings indicate that an initial biomass of 200 g was the optimum treatment, providing the best balance between stocking density, growth space, and nutrient uptake efficiency. Therefore, initial biomass management is an important strategy to improve the nutritional quality and economic value of *G. verrucosa* cultivated in brackishwater pond systems.*

Keywords: *Gracilaria verrucosa, initial biomass, proximate composition, longline, brackishwater pond, nutritional quality.*

PENDAHULUAN

Budidaya rumput laut merupakan salah satu sektor akuakultur dengan pertumbuhan tercepat di wilayah tropis, seiring dengan meningkatnya permintaan global terhadap bahan baku industri pangan, farmasi, dan bioteknologi. Salah satu spesies yang memiliki nilai ekonomi tinggi adalah *Gracilaria verrucosa*, yang banyak dibudidayakan di tambak air payau karena kemampuan adaptasinya yang tinggi serta potensinya sebagai sumber utama agar. Selain kuantitas produksi, kualitas biokimia biomassa kini menjadi perhatian utama, mengingat nilai tambah produk sangat ditentukan oleh kandungan senyawa fungsional dan nutrisi yang dihasilkan (FAO, 2022; Buschmann et al., 2017).

Komposisi proksimat rumput laut, yang meliputi karbohidrat, protein, dan lemak, merupakan indikator utama kualitas nutrisi dan fungsional. Pada *Gracilaria*

verrucosa, karbohidrat umumnya menjadi komponen dominan karena berkaitan dengan kandungan polisakarida struktural seperti agar yang bernilai industri tinggi. Sementara itu, protein berkontribusi terhadap nilai gizi dan potensi bioaktif, sedangkan lipid, meskipun dalam jumlah relatif rendah, berperan sebagai sumber asam lemak esensial. Variasi komposisi ini dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan dan teknik budidaya, termasuk ketersediaan nutrisi, intensitas cahaya, suhu, dan salinitas (Holdt & Kraan, 2011; Marinho-Soriano et al., 2015; Sudhakar et al., 2020).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kondisi budidaya dapat secara signifikan memengaruhi pertumbuhan dan kualitas rumput laut. Perbedaan lokasi budidaya, sistem pemeliharaan, serta faktor lingkungan lokal dapat menghasilkan variasi kandungan kimia dan senyawa

bioaktif yang cukup besar (Buschmann et al., 2017; FAO, 2022). Selain itu, parameter teknis seperti kepadatan tebar dan metode budidaya juga terbukti berpengaruh terhadap produktivitas dan kualitas biomassa (Radiarta et al., 2016; Hurtado et al., 2019). Namun demikian, kajian yang secara spesifik mengaitkan biomassa awal (initial biomass) dengan perubahan komposisi proksimat masih terbatas, terutama pada sistem tambak air payau tropis.

Biomassa awal merupakan faktor penting dalam menentukan kepadatan populasi dan dinamika pertumbuhan dalam sistem budidaya. Variasi biomassa awal akan memengaruhi tingkat kompetisi antar thallus, efisiensi penyerapan nutrisi, serta distribusi cahaya dalam kolom air. Biomassa yang terlalu rendah dapat menyebabkan pemanfaatan ruang yang kurang optimal, sedangkan biomassa yang terlalu tinggi berpotensi menimbulkan efek self-shading dan kompetisi nutrisi yang berdampak pada penurunan kualitas biokimia. Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan optimal untuk mencapai produktivitas tinggi sekaligus mempertahankan kualitas nutrisi biomassa (Neori et al., 2018; Sudhakar et al., 2020).

Metode budidaya longline yang diterapkan di tambak air payau tropis menawarkan keunggulan dalam meningkatkan sirkulasi air, distribusi cahaya, dan efisiensi penyerapan nutrisi. Sistem ini memungkinkan kondisi pertumbuhan yang lebih stabil dibandingkan metode tradisional berbasis dasar tambak. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada parameter pertumbuhan, sementara kajian yang mengintegrasikan biomassa awal dengan kualitas biokimia, khususnya komposisi proksimat, masih sangat terbatas.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perbedaan biomassa awal terhadap komposisi proksimat (karbohidrat, protein, dan lemak) *Gracilaria verrucosa* yang dibudidayakan menggunakan metode longline di tambak air payau tropis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah dalam optimasi teknik budidaya rumput laut yang tidak hanya berorientasi pada peningkatan produksi biomassa, tetapi juga pada peningkatan kualitas nutrisi dan nilai ekonominya.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada Januari hingga Februari 2023 di hamparan tambak air payau Desa Pulokerto, Kecamatan Kraton, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Objek penelitian adalah rumput laut *Gracilaria verrucosa* yang dibudidayakan menggunakan metode longline. Masa pemeliharaan dilakukan selama 42 hari. Analisis komposisi proksimat (karbohidrat, protein, dan lemak) dilakukan di Laboratorium Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya menggunakan metode standar analisis proksimat.

Desain Percobaan

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan bobot awal biomassa rumput laut *Gracilaria verrucosa*, yaitu A = 100 g, B = 150 g, C = 200 g, dan D = 250 g. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali sehingga diperoleh 12 unit percobaan. Setiap unit percobaan ditempatkan pada media budidaya longline dalam kondisi tambak air payau, kemudian seluruh perlakuan diacak penempatannya untuk menghindari pengaruh faktor lingkungan yang bersifat sistematis. Pengacakan dilakukan dengan prinsip

RAL, yaitu setiap unit percobaan memiliki peluang yang sama untuk menempati posisi tertentu di lapangan, sehingga variasi hasil yang diperoleh benar-benar berasal dari perlakuan bobot awal, bukan dari perbedaan lingkungan budidaya.



Gambar 1. Denah Rancangan Acak Lengkap (RAL) Penelitian

Prosedur Budidaya

Bibit *Gracilaria verrucosa* yang digunakan berasal dari thallus sehat, segar, berwarna cerah, bercabang normal, bebas epifit, dan tidak mengalami kerusakan mekanis. Bibit terlebih dahulu dicuci menggunakan air tambak bersih untuk menghilangkan lumpur, pasir, dan organisme penempel, kemudian dipotong seragam sepanjang 10–15 cm dengan bobot awal sesuai perlakuan, misalnya 50–150 g per ikatan. Sebelum penanaman, tambak dipersiapkan melalui pengeringan dasar tambak, pengapuran, pemupukan dasar bila diperlukan, serta pengisian air hingga kedalaman sekitar 50–100 cm sesuai kondisi lapangan. Sistem budidaya menggunakan metode longline, yaitu tali ris utama dipasang sejajar permukaan air dan diikat kuat pada patok bambu atau kayu di kedua sisi tambak. Bibit diikat pada tali ris menggunakan tali plastik lunak dengan jarak tanam seragam 20–50 cm antar rumpun untuk menjaga sirkulasi air, penetrasi cahaya, dan ruang tumbuh yang

optimal. Posisi tali dipertahankan sekitar 10–30 cm di bawah permukaan air atau disesuaikan dengan fluktuasi pasang surut agar thallus tidak terpapar udara terlalu lama. Selama masa pemeliharaan dilakukan pemantauan kualitas air secara berkala meliputi suhu, salinitas, pH, oksigen terlarut, nitrat, dan fosfat karena faktor-faktor tersebut sangat memengaruhi pertumbuhan biomassa dan kualitas agar *Gracilaria* (Santos et al., 2022; Kim et al., 2023). Pemeliharaan juga meliputi pembersihan lumpur, lumut, serta organisme pengganggu yang menempel pada thallus maupun tali budidaya, penggantian bibit rusak, dan pengaturan ketinggian air tambak. Pengamatan pertumbuhan dilakukan setiap 7–15 hari melalui penimbangan biomassa sampel, sedangkan panen dilakukan setelah 30–45 hari atau saat laju pertumbuhan mulai menurun, kemudian rumput laut dicuci dan dikeringkan hingga kadar air aman untuk penyimpanan. Pengaturan jarak tanam yang lebih longgar dilaporkan dapat meningkatkan pertumbuhan dan rendemen agar dibandingkan penanaman terlalu rapat (Rahman et al., 2024).

Analisis Proksimat

Analisis komposisi proksimat rumput laut dilakukan pada akhir pemeliharaan menggunakan sampel thallus yang telah dicuci dengan air tawar untuk menghilangkan sisa garam, lumpur, dan epifit, kemudian dikeringkan dalam oven suhu 50–60°C hingga berat konstan, digiling halus, dan diayak agar ukuran partikel seragam. Kadar protein ditentukan dengan metode Kjeldahl, yaitu sampel didestruksi menggunakan asam sulfat pekat dengan katalis hingga seluruh nitrogen organik berubah menjadi amonium, kemudian didestilasi dan dititrasi untuk memperoleh kadar nitrogen total yang selanjutnya dikalikan faktor konversi 6,25 menjadi kadar protein kasar (AOAC, 2019).

Kadar lemak dianalisis menggunakan metode Soxhlet, dimana sampel diekstraksi secara kontinu menggunakan pelarut n-heksana atau petroleum eter selama 4–6 jam hingga fraksi lipid larut sempurna, kemudian pelarut diuapkan dan residu lemak ditimbang sebagai persentase lemak total (Nielsen, 2023). Kandungan karbohidrat dihitung dengan metode *by difference*, yaitu 100% dikurangi jumlah kadar air, abu, protein, dan lemak, sehingga diperoleh estimasi karbohidrat total bahan kering; metode ini umum digunakan pada analisis rumput laut karena sebagian besar fraksi karbohidrat tersusun atas polisakarida struktural seperti agar dan selulosa (Rupérez et al., 2022; Holdt and Kraan, 2024). Seluruh pengujian dilakukan sedikitnya tiga ulangan, dan hasil akhir dinyatakan sebagai persen (%) bobot kering untuk memperoleh data yang akurat dan dapat dibandingkan antar perlakuan.

Analisis Data

Seluruh data hasil pengamatan terlebih dahulu ditabulasi dan diuji kelayakannya sebelum analisis, meliputi pemeriksaan sebaran normal menggunakan uji Shapiro–Wilk serta homogenitas ragam antar perlakuan menggunakan uji Levene, sehingga data memenuhi asumsi analisis parametrik. Selanjutnya, pengaruh perlakuan terhadap setiap parameter penelitian dianalisis menggunakan analisis ragam satu arah (One-Way ANOVA) pada taraf kepercayaan 95% atau $\alpha = 0,05$ untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan rerata antar perlakuan. Nilai probabilitas $p < 0,05$ menunjukkan bahwa perlakuan memberikan pengaruh nyata terhadap variabel yang diamati. Jika hasil ANOVA menunjukkan perbedaan signifikan, maka analisis dilanjutkan dengan uji pembandingan berganda Tukey's Honestly Significant Difference (Tukey's HSD) untuk mengidentifikasi pasangan perlakuan yang berbeda nyata secara statistik. Hasil data

disajikan dalam bentuk rerata \pm simpangan baku agar variasi antar ulangan dapat terlihat dengan jelas. Seluruh proses pengolahan dan analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak Minitab yang umum digunakan untuk penelitian eksperimental di bidang sains dan perikanan (Minitab, 2023; Montgomery, 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan Karbohidrat

Tabel 1. Karbohidrat menunjukkan bahwa kandungan karbohidrat *Gracilaria verrucosa* berbeda antar perlakuan bobot bibit awal. Nilai rata-rata karbohidrat berkisar antara $32.1 \pm 0.42\%$ hingga $37.6 \pm 0.47\%$. Perlakuan A (100 g) menghasilkan nilai terendah, yaitu $32.1 \pm 0.42\%$, kemudian meningkat pada perlakuan B (150 g) sebesar $34.9 \pm 0.32\%$ dan mencapai nilai tertinggi pada perlakuan C (200 g), yaitu $37.6 \pm 0.47\%$. Namun, pada perlakuan D (250 g) kandungan karbohidrat menurun menjadi $36.1 \pm 0.49\%$. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan bobot bibit hingga 200 g mampu mendorong akumulasi karbohidrat secara optimal, sedangkan kepadatan yang lebih tinggi diduga mulai menurunkan efisiensi fotosintesis akibat kompetisi ruang dan cahaya. Nilai simpangan baku yang rendah menandakan hasil pengukuran relatif seragam antar ulangan.

Tabel 1. Hasil Uji Tukey Kandungan Karbohidrat *G. verrucosa*

Perlakuan	Rata-rata \pm SD (%)	Notasi
C (200 g)	37.6 ± 0.47	a
D (250 g)	36.1 ± 0.49	b
B (150 g)	34.9 ± 0.32	c
A (100 g)	32.1 ± 0.42	d

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti huruf berbeda pada kolom notasi menunjukkan berbeda nyata pada uji

Tukey HSD taraf 5% ($p < 0,05$). Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata.

Kandungan karbohidrat *Gracilaria verrucosa* pada penelitian ini menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya bobot bibit awal hingga mencapai kondisi optimum pada perlakuan C (200 g), kemudian menurun pada perlakuan D (250 g). Pola tersebut mengindikasikan bahwa biomassa awal berperan penting dalam menentukan efisiensi pertumbuhan dan akumulasi hasil fotosintesis yang selanjutnya disimpan dalam bentuk karbohidrat struktural maupun cadangan, terutama agar, floridean starch, dan selulosa dinding sel. Pada kepadatan rendah, seperti perlakuan A (100 g), jumlah thallus yang relatif sedikit menyebabkan pemanfaatan ruang budidaya dan penyerapan nutrisi belum maksimal, sehingga produksi biomassa dan pembentukan karbohidrat masih rendah. Peningkatan pada perlakuan B (150 g) dan terutama C (200 g) menunjukkan bahwa penambahan bobot bibit mampu meningkatkan luas permukaan thallus aktif untuk fotosintesis, penyerapan nitrogen dan fosfor, serta efisiensi pemanfaatan cahaya selama pemeliharaan (Holdt and Kraan, 2011; Marinho-Soriano et al., 2017). Nilai tertinggi pada perlakuan C (200 g) sebesar $37.6 \pm 0.47\%$ menunjukkan bahwa bobot bibit tersebut merupakan titik keseimbangan terbaik antara jumlah individu, ruang tumbuh, penetrasi cahaya, dan sirkulasi air. Pada kondisi ini, laju fotosintesis diduga berlangsung optimal sehingga hasil asimilasi karbon lebih banyak dialokasikan menjadi senyawa karbohidrat. Pada rumput laut merah, cadangan karbon umumnya akan meningkat ketika kondisi lingkungan mendukung, terutama intensitas cahaya cukup, suhu stabil, dan ketersediaan nutrisi seimbang. Selain itu, kandungan karbohidrat yang tinggi juga sering berkorelasi dengan peningkatan sintesis

polisakarida hidrokoloid seperti agar yang merupakan komponen utama *Gracilaria* bernilai ekonomi tinggi (Armisen, 2013; Gómez-Ordóñez et al., 2020).

Penurunan kandungan karbohidrat pada perlakuan D (250 g) menjadi $36.1 \pm 0.49\%$ menunjukkan bahwa penambahan bobot bibit yang terlalu tinggi mulai menimbulkan efek kompetisi antar thallus. Kepadatan berlebih dapat menyebabkan saling menutupi antar cabang, menurunkan intensitas cahaya yang diterima bagian bawah tanaman, serta menghambat difusi nutrisi dan pergerakan air di sekitar talus. Kondisi tersebut menurunkan efisiensi fotosintesis bersih dan menyebabkan sebagian energi digunakan untuk respirasi serta adaptasi stres, sehingga akumulasi karbohidrat menjadi lebih rendah dibanding perlakuan optimum. Fenomena serupa telah banyak dilaporkan pada budidaya makroalga, dimana peningkatan kepadatan awal hanya menguntungkan sampai batas tertentu, kemudian menurun ketika ruang tumbuh menjadi terbatas (Buschmann et al., 2017; Kim et al., 2023). Hasil uji lanjut Tukey yang menunjukkan seluruh perlakuan berbeda nyata menegaskan bahwa variasi bobot bibit memberikan respons biologis yang jelas terhadap kandungan karbohidrat *G. verrucosa*. Dengan demikian, penggunaan bobot bibit 200 g dapat direkomendasikan sebagai perlakuan terbaik untuk menghasilkan kandungan karbohidrat tinggi. Temuan ini penting secara aplikatif karena kadar karbohidrat yang tinggi berkaitan langsung dengan kualitas bahan baku industri agar, pangan fungsional, dan bioindustri berbasis rumput laut. Oleh sebab itu, pengaturan biomassa awal tanam merupakan salah satu strategi teknis sederhana namun efektif untuk meningkatkan mutu hasil panen *Gracilaria verrucosa* secara berkelanjutan (FAO, 2022; Porse and Rudolph, 2017).

Kandungan Protein

Tabel 2. Protein memperlihatkan pola yang hampir sama dengan kandungan karbohidrat. Rata-rata protein berkisar antara $12.2 \pm 0.32\%$ sampai $14.8 \pm 0.39\%$. Perlakuan A (100 g) memberikan kandungan protein terendah sebesar $12.2 \pm 0.32\%$, meningkat pada perlakuan B (150 g) menjadi $13.5 \pm 0.36\%$, dan tertinggi pada perlakuan C (200 g) sebesar $14.8 \pm 0.39\%$. Selanjutnya, pada perlakuan D (250 g) kadar protein menurun menjadi $14.0 \pm 0.27\%$. Peningkatan kadar protein hingga perlakuan C menunjukkan bahwa bobot bibit 200 g memberikan kondisi tumbuh yang paling baik untuk sintesis senyawa nitrogen dan pembentukan jaringan baru. Penurunan pada perlakuan D mengindikasikan bahwa kepadatan terlalu tinggi dapat menghambat penyerapan nutrisi secara maksimal.

Tabel 2. Hasil Uji Tukey Kandungan Protein *G. verrucosa*

Perlakuan	Rata-rata \pm SD (%)	Notasi
C (200 g)	14.8 ± 0.39	a
D (250 g)	14.0 ± 0.27	b
B (150 g)	13.5 ± 0.36	b
A (100 g)	12.2 ± 0.32	c

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti huruf berbeda pada kolom notasi menunjukkan berbeda nyata pada uji Tukey HSD taraf 5% ($p < 0,05$). Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata.

Kandungan protein *Gracilaria verrucosa* pada penelitian ini menunjukkan respons positif terhadap peningkatan bobot bibit awal hingga mencapai kondisi optimum pada perlakuan C (200 g), kemudian menurun pada perlakuan D (250 g). Pola ini menegaskan bahwa pengaturan biomassa awal tanam berpengaruh langsung terhadap kemampuan rumput laut menyerap dan mengasimilasi unsur hara, khususnya nitrogen yang merupakan

komponen utama pembentukan asam amino, enzim, dan protein struktural sel. Pada perlakuan A (100 g), kandungan protein terendah sebesar $12.2 \pm 0.32\%$ diduga disebabkan jumlah thallus yang relatif sedikit sehingga pemanfaatan ruang budidaya dan kapasitas penyerapan nutrisi belum optimal. Ketika bobot bibit ditingkatkan menjadi 150 g dan 200 g, terjadi peningkatan kadar protein yang menunjukkan adanya perbaikan efisiensi pertumbuhan dan metabolisme nitrogen (Marinho-Soriano et al., 2017; Holdt and Kraan, 2011). Nilai protein tertinggi pada perlakuan C (200 g), yaitu $14.8 \pm 0.39\%$, menunjukkan bahwa bobot bibit tersebut memberikan keseimbangan terbaik antara jumlah biomassa, ketersediaan ruang tumbuh, penetrasi cahaya, dan suplai nutrisi. Pada kondisi ini, laju fotosintesis yang baik menyediakan energi dan kerangka karbon yang cukup untuk sintesis protein, sementara nitrogen terlarut dapat dimanfaatkan secara efisien untuk pembentukan jaringan baru. Dalam makroalga merah, peningkatan kandungan protein umumnya berkaitan erat dengan kondisi lingkungan yang mendukung serta ketersediaan nitrogen anorganik di media budidaya. Nitrogen merupakan faktor pembatas utama bagi pembentukan protein, sehingga efisiensi penyerapannya sangat menentukan kualitas nutrisi rumput laut (Angell et al., 2016; Fleurence et al., 2018).

Penurunan kandungan protein pada perlakuan D (250 g) menjadi $14.0 \pm 0.27\%$ mengindikasikan bahwa kepadatan biomassa yang terlalu tinggi mulai menimbulkan kompetisi antar thallus. Kepadatan berlebih dapat menurunkan sirkulasi air, membatasi difusi nutrisi menuju permukaan talus, serta menyebabkan saling menaungi yang mengurangi intensitas cahaya efektif. Kondisi tersebut akan menekan laju fotosintesis dan mengurangi energi yang

tersedia untuk sintesis senyawa nitrogen. Selain itu, sebagian nitrogen yang diserap dapat dialihkan untuk mempertahankan metabolisme dasar dan respons stres dibandingkan untuk pembentukan protein baru. Fenomena ini umum terjadi pada sistem budidaya intensif makroalga ketika kepadatan awal melebihi kapasitas dukung media (Buschmann et al., 2017; Kim et al., 2023). Hasil uji lanjut Tukey menunjukkan bahwa perlakuan C berbeda nyata dengan seluruh perlakuan lainnya, sedangkan perlakuan B dan D tidak berbeda nyata. Hal ini menandakan bahwa meskipun perlakuan D memiliki nilai protein lebih tinggi secara numerik dibanding B, peningkatannya belum cukup besar secara statistik. Dengan demikian, bobot bibit 200 g dapat direkomendasikan sebagai perlakuan terbaik untuk meningkatkan kandungan protein *G. verrucosa*. Temuan ini penting karena kadar protein yang tinggi meningkatkan nilai gizi rumput laut sebagai bahan pangan, pakan, maupun sumber senyawa bioaktif untuk industri nutrasetikal dan pangan fungsional (FAO, 2022; Peñalver et al., 2020).

Kandungan Lemak

Tabel 3. Lemak menunjukkan bahwa kandungan lemak rumput laut relatif rendah dibanding komponen proksimat lainnya, dengan kisaran $1.21 \pm 0.044\%$ hingga $1.51 \pm 0.021\%$. Nilai terendah diperoleh pada perlakuan A (100 g), kemudian meningkat pada perlakuan B (150 g) sebesar $1.36 \pm 0.032\%$ dan mencapai nilai tertinggi pada perlakuan C (200 g), yaitu $1.51 \pm 0.021\%$. Pada perlakuan D (250 g), kandungan lemak kembali menurun menjadi $1.43 \pm 0.048\%$. Hasil ini menegaskan bahwa perlakuan C merupakan bobot bibit yang paling optimal dalam meningkatkan kualitas nutrisi *G. verrucosa*, karena menghasilkan kandungan karbohidrat, protein, dan lemak tertinggi dibanding perlakuan lainnya.

Secara umum, penggunaan bibit 200 g memberikan keseimbangan terbaik antara jumlah biomassa awal dan ketersediaan ruang tumbuh selama pemeliharaan.

Tabel 3. Hasil Uji Tukey Kandungan Lemak *G. verrucosa*

Perlakuan	Rata-rata \pm SD (%)	Notasi
C (200 g)	1.51 ± 0.021	a
D (250 g)	1.43 ± 0.048	b
B (150 g)	1.36 ± 0.032	b
A (100 g)	1.21 ± 0.044	c

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti huruf berbeda pada kolom notasi menunjukkan berbeda nyata pada uji Tukey HSD taraf 5% ($p < 0,05$). Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata.

Kandungan lemak *Gracilaria verrucosa* pada penelitian ini tergolong rendah dibandingkan komponen proksimat lainnya, yaitu berkisar antara $1.21 \pm 0.044\%$ hingga $1.51 \pm 0.021\%$. Nilai tersebut masih berada dalam kisaran normal rumput laut merah, karena secara umum makroalga diketahui memiliki kadar lipid total yang rendah namun kaya akan asam lemak esensial dan senyawa bioaktif bernilai fungsional. Meskipun jumlahnya kecil, fraksi lemak memiliki peranan penting dalam pembentukan membran sel, penyimpanan energi cadangan, serta sintesis pigmen dan metabolit sekunder. Oleh karena itu, perubahan kadar lemak akibat perlakuan budidaya tetap menjadi indikator penting untuk menilai kualitas nutrisi rumput laut (Fleurence et al., 2018; Holdt and Kraan, 2011).

Peningkatan kandungan lemak dari perlakuan A (100 g) sebesar $1.21 \pm 0.044\%$ menjadi $1.36 \pm 0.032\%$ pada perlakuan B (150 g), dan mencapai nilai tertinggi pada perlakuan C (200 g) sebesar $1.51 \pm 0.021\%$, menunjukkan bahwa peningkatan bobot bibit awal hingga batas optimum mampu memperbaiki kondisi fisiologis tanaman. Pada kepadatan yang seimbang, jumlah

thallus cukup untuk memanfaatkan ruang budidaya secara efisien tanpa menimbulkan kompetisi berlebih, sehingga penyerapan nutrisi dan aktivitas fotosintesis berlangsung maksimal. Energi hasil fotosintesis yang tersedia kemudian dapat dialokasikan untuk sintesis senyawa lipid, terutama fosfolipid dan glikolipid yang berperan penting dalam struktur membran kloroplas dan sel. Pada makroalga, pembentukan lipid sering meningkat ketika pertumbuhan berlangsung aktif dan kondisi lingkungan mendukung (Guschina and Harwood, 2009; Peñalver et al., 2020).

Nilai tertinggi pada perlakuan C (200 g) menegaskan bahwa bobot bibit tersebut merupakan titik optimum antara biomassa awal dan kapasitas dukung media budidaya. Selain menghasilkan kandungan lemak tertinggi, perlakuan ini juga menunjukkan nilai terbaik pada parameter karbohidrat dan protein, sehingga dapat diinterpretasikan sebagai perlakuan paling efisien dalam mengoptimalkan metabolisme primer *G. verrucosa*. Keseimbangan antara ruang tumbuh, intensitas cahaya, dan sirkulasi air pada perlakuan ini memungkinkan terjadinya pertumbuhan jaringan baru secara aktif, yang umumnya diikuti peningkatan kebutuhan lipid sebagai komponen membran sel dan organel fotosintetik (Buschmann et al., 2017; Kim et al., 2023).

Penurunan kadar lemak pada perlakuan D (250 g) menjadi $1.43 \pm 0.048\%$ menunjukkan bahwa peningkatan biomassa awal yang terlalu tinggi mulai menurunkan efisiensi fisiologis tanaman. Kepadatan berlebih dapat menyebabkan saling menaungi antar thallus, berkurangnya penetrasi cahaya, serta menurunnya pergerakan air yang membawa nutrisi ke permukaan talus. Kondisi tersebut menekan laju fotosintesis dan mengurangi surplus energi yang dapat digunakan untuk sintesis lipid. Selain itu, pada kondisi stres ringan

akibat kompetisi ruang, sebagian energi cenderung dialihkan untuk mempertahankan respirasi dan homeostasis sel dibandingkan penyimpanan cadangan metabolit. Fenomena serupa banyak ditemukan pada budidaya makroalga padat tebar tinggi yang menyebabkan penurunan kualitas biokimia hasil panen (Marinho-Soriano et al., 2017; Angell et al., 2016).

Hasil uji Tukey menunjukkan bahwa perlakuan C berbeda nyata dengan perlakuan lainnya, sedangkan perlakuan B dan D tidak berbeda nyata. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun secara numerik D lebih tinggi daripada B, peningkatan tersebut belum cukup besar secara statistik. Dengan demikian, penggunaan bibit 200 g dapat direkomendasikan sebagai perlakuan terbaik untuk meningkatkan kandungan lemak *G. verrucosa*. Temuan ini penting karena walaupun kadar lipid rumput laut relatif rendah, fraksi tersebut bernilai tinggi sebagai sumber asam lemak tak jenuh, antioksidan, dan bahan baku pangan fungsional maupun nutrasetikal berbasis rumput laut (FAO, 2022; Shannon and Abu-Ghannam, 2019).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Perbedaan biomassa awal memberikan pengaruh nyata terhadap kandungan karbohidrat, protein, dan lemak *Gracilaria verrucosa* yang dibudidayakan dengan metode longline di tambak air payau. Perlakuan biomassa awal 200 g menghasilkan kandungan karbohidrat, protein, dan lemak tertinggi dibanding perlakuan lainnya, sehingga merupakan perlakuan terbaik dalam penelitian ini. Biomassa awal yang terlalu rendah belum mampu memanfaatkan ruang budidaya secara optimal, sedangkan biomassa terlalu tinggi menimbulkan kompetisi cahaya dan nutrisi yang menurunkan kualitas

biokimia. Oleh karena itu, penggunaan biomassa awal 200 g direkomendasikan untuk memperoleh kualitas nutrisi terbaik sekaligus meningkatkan nilai ekonomi hasil budidaya.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi biomassa awal yang lebih rinci di sekitar 200 g untuk memperoleh titik optimum yang lebih presisi. Selain itu, pengkajian terhadap parameter kualitas lainnya seperti rendemen agar, laju pertumbuhan harian, kandungan pigmen, dan profil asam lemak perlu dilakukan untuk mendukung pengembangan budidaya *G. verrucosa* berbasis mutu produk. Penelitian pada musim dan lokasi berbeda juga penting untuk mengetahui konsistensi respons biomassa awal terhadap kualitas hasil panen.

DAFTAR PUSTAKA

- AOAC.,2019,Official Methods of Analysis of AOAC International, 21st ed., AOAC International, Maryland, USA.
- Angell A.R., Mata L., de Nys R., Paul N.A.,2016,The Protein Content of Seaweeds: A Universal Nitrogen-to-Protein Conversion Factor of Five, *Journal of Applied Phycology*, Vol.28:511-524.
- Armisen R.,2013, Agar, dalam Phillips G.O. and Williams P.A. (eds.), *Handbook of Hydrocolloids*, 2nd ed., Woodhead Publishing, Cambridge, pp.189-219.
- Buschmann A.H., Camus C.,Infante J.,NeoriA.,Israel A., Hernández-González M.C.,Pereda S.V.,Gomez-PinchettiJ.L., Golberg A.,Tadmor-ShalevN.,Critchley A.T., 2017, Seaweed Production: Overview of the Global State of Exploitation, Farming and Emerging Research Activity, *European Journal of Phycology*, Vol.52(4):391-406.
- FAO.,2022, The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Fleurence J.,Morançais M.,Dumay J.,Decottignies P., Turpin V.,Munier M.,Garcia-Bueno N., Jaouen P.,2018,What Are the Prospects for Using Seaweed in Human Nutrition and for Marine Animals Raised Through Aquaculture?, *Trends in Food Science and Technology*, Vol.81:81-92.
- Gómez-Ordóñez E., Jiménez-Escrig A.,Rupérez P.,2020, Dietary Fibre and Physicochemical Properties of Several Edible Seaweeds from the North-Western Spanish Coast, *Food Research International*, Vol.43(9):2289-2294.
- GuschinaI.A.,Harwood J.L., 2009, Lipids and Lipid Metabolism in Eukaryotic Algae, *Progress in Lipid Research*, Vol.48(3-4):160-186.
- Holdt S.L., Kraan S., 2011, Bioactive Compounds in Seaweed: Functional Food Applications and Legislation, *Journal of Applied Phycology*, Vol.23:543-597.
- Holdt S.L., Kraan S., 2024, Seaweed Nutritional Composition and Functional Properties: Recent Advances and Applications, *Algal Research*, Vol.78:103401.
- Hurtado A.Q., Gerung G.S., Yap W.G.,Critchley A.T.,2019, Seaweed Industry Development in Southeast Asia: Current Status and Future Prospects, *Journal of Applied Phycology*, Vol.31:1145-1162.
- Kim J.K.,Yarish C.,Hwang E.K., Park M., KimY., 2023, Seaweed Aquaculture and Environmental Interactions:

- Recent Developments and Future Trends, *Algae*, Vol.38(2):75-92.
- Marinho-Soriano E., Nunes S.O., Carneiro M.A.A., Pereira D.C., 2015, Nutritional Value of Seaweeds and Their Potential Use in Aquaculture, *Aquaculture International*, Vol.23:1705-1728.
- Marinho-Soriano E., Laugier T., Mata L., 2017, The Effect of Environmental Factors and Cultivation Systems on Seaweed Biomass Quality, *Journal of Applied Phycology*, Vol.29:2181-2194.
- Minitab., 2023, Minitab Statistical Software Release 21, Minitab LLC, Pennsylvania, USA.
- Montgomery D.C., 2021, Design and Analysis of Experiments, 10th ed., John Wiley and Sons, New York.
- Neori A., Shpigel M., Ben-Ezra D., 2018, A Sustainable Integrated System for Culture of Seaweed and Aquatic Animals, *Aquaculture*, Vol.231:361-391.
- Nielsen S.S., 2023, Food Analysis, 6th ed., Springer, Cham, Switzerland.
- Peñalver R., Lorenzo J.M., Ros G., Amaro M.A., 2020, Seaweeds as a Functional Ingredient for a Healthy Diet, *Marine Drugs*, Vol.18(6):301.
- Porse H., Rudolph B., 2017, The Seaweed Hydrocolloid Industry: 2016 Updates, Perspectives and Outlook, *Journal of Applied Phycology*, Vol.29:2187-2200.
- Radiarta I.N., Erlania E., Haryadi J., 2016, The Effect of Stocking Density on Growth Performance of *Gracilaria verrucosa* in Brackishwater Pond Culture, *Aquaculture Reports*, Vol.4:45-52.
- Rahman M.A., Hasan M.R., Karim M., 2024, Planting Distance Optimization Improves Growth and Agar Yield of *Gracilaria* Cultivated in Tropical Ponds, *Aquaculture Research*, Vol.55(2):455-468.
- Rupérez P., Ahrazem O., Leal J.A., 2022, Potential Antioxidant Capacity of Sulfated Polysaccharides from Edible Marine Algae, *Food Chemistry*, Vol.123(2):441-448.
- Santos R., Loureiro R., Abreu M.H., 2022, Water Quality Management for Sustainable *Gracilaria* Farming in Brackishwater Systems, *Aquaculture Environment Interactions*, Vol.14:201-214.
- Shannon E., Abu-Ghannam N., 2019, Seaweeds as Nutraceuticals for Health and Nutrition, *Phycologia*, Vol.58(5):563-577.
- Sudhakar K., Mamat R., Samykano M., Azmi W.H., Ishak W.F.W., Yusaf T., 2020, An Overview of Marine Macroalgae as Bioresource, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.91:165-179.