

**PENGARUH BOBOT TEBAR AWAL TERHADAP RENDEMEN,
VISKOSITAS, DAN KEKUATAN GEL AGAR *GRACILARIA*
VERRUCOSA PADA BUDIDAYA LONGLINE DI TAMBAK EKSTENSIF**

Andi Rahmad Rahim^{1*}

¹Dosen Program Studi Budidaya Perikanan, Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah
Gresik

*Email: andirahmad@umg.ac.id

ABSTRACT

This study aimed to analyze the effect of different initial stocking weights on agar yield, viscosity, and gel strength of *Gracilaria verrucosa* cultivated using a longline system in an extensive pond at Pulokerto, Pasuruan Regency. The experiment was conducted for 42 days using a completely randomized design with four initial stocking weight treatments: 100 g, 150 g, 200 g, and 250 g, each with three replicates. At the end of cultivation, biomass was harvested and used as raw material for agar extraction. Observed parameters included agar yield, viscosity, and gel strength. Data were analyzed using ANOVA followed by Tukey's HSD test at a 95% confidence level. The results showed that initial stocking weight significantly affected all agar quality parameters. The highest agar yield was obtained at the 200 g treatment (21.23%), although it was not significantly different from the 250 g treatment (20.53%). The highest viscosity was also recorded at the 200 g treatment (113.67 cP), significantly higher than the other treatments. The highest gel strength was obtained at the 200 g treatment (447.67 g cm⁻²), followed by a decline at the 250 g treatment. These findings indicate that an initial stocking weight of 200 g was the optimum level for producing the best agar quality. Proper stocking density management can improve raw material quality and enhance the economic value of *Gracilaria verrucosa* cultivation sustainably.

Keywords: *Gracilaria verrucosa*, agar yield, viscosity, gel strength, stocking weight, extensive pond.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh berbagai bobot tebar awal terhadap rendemen, viskositas, dan kekuatan gel agar *Gracilaria verrucosa* yang dibudidayakan dengan metode longline di tambak ekstensif Pulokerto, Kabupaten Pasuruan. Penelitian dilaksanakan selama 42 hari menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan bobot tebar awal, yaitu 100 g, 150 g, 200 g, dan 250 g, masing-masing tiga ulangan. Pada akhir pemeliharaan, biomassa dipanen dan digunakan sebagai bahan baku ekstraksi agar. Parameter yang diamati meliputi rendemen agar, viskositas, dan kekuatan gel. Data dianalisis menggunakan ANOVA dan uji lanjut Tukey HSD pada taraf kepercayaan 95%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bobot tebar awal berpengaruh nyata terhadap seluruh parameter mutu agar. Rendemen tertinggi diperoleh pada perlakuan 200 g sebesar 21,23%, namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan 250 g sebesar 20,53%. Viskositas tertinggi juga diperoleh pada perlakuan 200 g sebesar 113,67 cP dan berbeda nyata dibanding perlakuan lainnya. Kekuatan gel tertinggi tercatat pada perlakuan 200 g sebesar 447,67 g cm⁻², kemudian menurun pada perlakuan 250 g. Hasil ini menunjukkan bahwa bobot tebar awal 200 g merupakan tingkat optimum untuk menghasilkan mutu agar terbaik. Pengaturan kepadatan tebar yang tepat dapat meningkatkan kualitas bahan baku dan nilai ekonomi budidaya *Gracilaria verrucosa* secara berkelanjutan.

Kata kunci: *Gracilaria verrucosa*, rendemen agar, viskositas, kekuatan gel, bobot tebar, tambak ekstensif.

PENDAHULUAN

Rumput laut merah *Gracilaria verrucosa* merupakan salah satu komoditas akuakultur bernilai ekonomi tinggi karena menjadi bahan baku utama industri agar yang digunakan secara luas pada sektor pangan, farmasi, mikrobiologi, kosmetik, dan bioteknologi. Permintaan global terhadap agar terus meningkat seiring berkembangnya industri pangan fungsional dan biomaterial, sehingga peningkatan produksi *Gracilaria* yang disertai mutu bahan baku menjadi isu strategis di negara-negara produsen tropis, termasuk Indonesia (FAO, 2024). Selain kuantitas biomassa, industri pengolahan saat ini semakin menekankan kualitas hidrokolloid yang dihasilkan karena secara langsung menentukan nilai jual dan daya saing produk turunan rumput laut.

Mutu agar umumnya dievaluasi melalui tiga parameter utama, yaitu rendemen, viskositas, dan kekuatan gel. Rendemen mencerminkan efisiensi ekstraksi polisakarida dari biomassa kering, viskositas menunjukkan karakteristik aliran larutan agar yang berkaitan dengan panjang rantai polimer dan konsentrasi fraksi terlarut, sedangkan kekuatan gel menggambarkan kemampuan agar membentuk struktur tiga dimensi yang stabil setelah pendinginan. Ketiga parameter tersebut menjadi standar penting dalam industri karena menentukan performa produk akhir, baik sebagai pengental, penstabil, pembentuk gel, maupun media kultur mikrobiologi (Armisen & Galatas, 2009; Holdt & Kraan, 2011). Oleh karena itu, peningkatan kualitas agar sama pentingnya dengan peningkatan produksi biomassa.

Kualitas agar *Gracilaria verrucosa* dipengaruhi oleh kombinasi faktor genetik, lingkungan, umur panen, musim, serta manajemen budidaya. Salah satu faktor budidaya yang

sering diabaikan namun sangat menentukan adalah bobot tebar awal atau kepadatan biomassa saat penanaman. Kepadatan tebar berpengaruh langsung terhadap kompetisi cahaya, ruang tumbuh, pergerakan air, serta ketersediaan unsur hara. Pada kepadatan terlalu rendah, pemanfaatan ruang budidaya menjadi kurang efisien, sedangkan pada kepadatan terlalu tinggi terjadi penutupan talus, penurunan penetrasi cahaya, dan terbatasnya difusi nutrisi yang dapat menekan laju fotosintesis serta mengubah sintesis metabolit struktural, termasuk agar di dinding sel (Buschmann et al., 2017; García-Poza et al., 2020).

Secara fisiologis, pembentukan agar sangat berkaitan dengan status karbon dan energi hasil fotosintesis. Lingkungan tumbuh yang optimal akan meningkatkan akumulasi polisakarida struktural pada dinding sel, sehingga berpotensi meningkatkan rendemen dan mutu gel. Sebaliknya, stres akibat kompetisi berlebih atau kondisi pertumbuhan suboptimal dapat menurunkan kualitas polimer, menyebabkan viskositas dan kekuatan gel lebih rendah. Dengan demikian, pengaturan bobot tebar tidak hanya memengaruhi produksi biomassa, tetapi juga menentukan kualitas hasil pascapanen yang bernilai industri (Marinho-Soriano et al., 2006; Kumar et al., 2023).

Tambak ekstensif di wilayah Pulokerto, Kabupaten Pasuruan, merupakan salah satu kawasan potensial pengembangan *Gracilaria verrucosa* karena memiliki karakter perairan payau yang sesuai serta dukungan lahan budidaya yang luas. Sistem longline di tambak memberikan sirkulasi air lebih baik, memudahkan pemeliharaan, dan memungkinkan pengaturan kepadatan secara presisi. Namun, informasi ilmiah mengenai hubungan bobot tebar awal dengan kualitas agar—khususnya rendemen, viskositas, dan kekuatan gel—pada sistem tambak ekstensif di lokasi tersebut masih terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih banyak menitikberatkan pada pertumbuhan biomassa dan produktivitas, bukan mutu hidrokolloid hasil panen (Duarte et al., 2022; Jiang et al., 2023).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh berbagai bobot tebar awal terhadap rendemen, viskositas, dan kekuatan gel agar *Gracilaria verrucosa* yang dibudidayakan dengan metode longline di tambak ekstensif Pulokerto Kabupaten Pasuruan. Hipotesis penelitian ini adalah bahwa peningkatan bobot tebar hingga tingkat optimum akan meningkatkan kualitas agar, namun pada kepadatan terlalu tinggi mutu cenderung menurun akibat meningkatnya kompetisi antar talus. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar ilmiah dalam penentuan bobot tebar optimum untuk menghasilkan bahan baku *Gracilaria* berkualitas tinggi dan bernilai ekonomi lebih besar.

METODE PENELITIAN

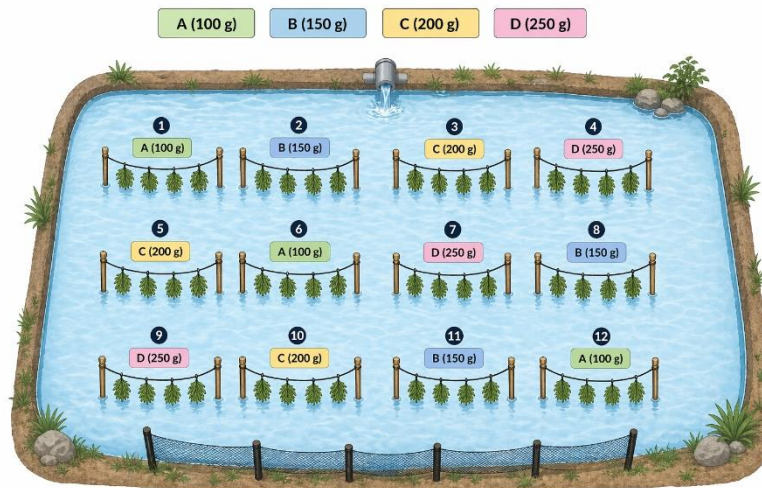
Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 42 hari, dari bulan Maret hingga April 2023, di tambak air payau ekstensif yang berlokasi di Desa Pulokerto, Kecamatan Kraton, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur, Indonesia. Sistem tersebut mewakili lingkungan akuakultur ekstensif yang khas, ditandai dengan minimnya input eksternal dan ketergantungan yang tinggi terhadap proses daur hara alami (Duarte et al., 2020).

Rancangan Percobaan

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri atas empat perlakuan bobot tebar awal *Gracilaria verrucosa*, yaitu A (100 g), B (150 g), C (200 g), dan D

(250 g). Masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali sehingga terdapat total 12 unit percobaan. Setiap unit percobaan berupa satu tali longline sepanjang 50 m yang dipasang di tambak. Perlakuan ditempatkan secara acak untuk meminimalkan heterogenitas lingkungan dan bias percobaan (García-Poza et al., 2020).



Gambar 1. Denah rancangan penelitian (Rancangan Acak Lengkap).

Prosedur Budidaya

Talus *Gracilaria verrucosa* yang seragam dan sehat dipilih untuk mengurangi variasi awal antar perlakuan (Rejeki et al., 2018). Biomassa ditimbang sesuai tingkat perlakuan, kemudian diikat secara merata sepanjang tali longline dengan jarak yang konsisten agar distribusi homogen dan mengurangi persaingan yang tidak merata terhadap cahaya serta nutrisi (García-Poza et al., 2020). Budidaya dilakukan pada kondisi alami tambak tanpa penambahan pupuk maupun input nutrisi buatan, sehingga dinamika nutrisi alami mengatur proses pertumbuhan dan penyerapan unsur hara (Duarte et al., 2022).

Pemanenan dan Persiapan Sampel

Pada akhir masa pemeliharaan selama 42 hari, biomassa dari setiap unit percobaan dipanen, dicuci menggunakan air bersih untuk menghilangkan kotoran dan epifit, kemudian dikeringkan hingga kadar air stabil. Sampel kering selanjutnya digunakan sebagai bahan baku ekstraksi agar dan analisis mutu.

Analisis Rendemen Agar

Ekstraksi agar dilakukan menggunakan metode pemanasan air panas (*hot water extraction*). Sampel rumput laut kering direbus dalam air suling pada suhu 90–95°C selama 2–3 jam, kemudian filtrat disaring dan didinginkan hingga membentuk gel. Gel dikeringkan dan ditimbang sebagai berat agar kering. Rendemen dihitung sebagai persentase perbandingan berat agar kering terhadap berat sampel kering awal. Metode ini umum digunakan untuk mengevaluasi efisiensi ekstraksi agar dari *Gracilaria* (Armisen & Galatas, 2009).

Analisis Viskositas

Viskositas diukur menggunakan larutan agar standar dengan konsentrasi tertentu setelah dipanaskan hingga homogen. Pengukuran dilakukan menggunakan viskometer

Brookfield pada suhu terkendali. Nilai viskositas dinyatakan dalam centipoise (cP). Parameter ini menggambarkan sifat aliran larutan dan berkaitan dengan karakteristik rantai polimer agar (Villanueva et al., 2010).

Analisis Kekuatan Gel

Kekuatan gel diukur dari larutan agar yang telah didinginkan dan dibentuk menjadi gel standar selama 12–18 jam. Pengujian dilakukan menggunakan texture analyzer atau gel tester dengan menekan permukaan gel hingga titik patah. Nilai kekuatan gel dinyatakan dalam $g\ cm^{-2}$. Pengujian ini digunakan untuk menentukan kemampuan agar membentuk struktur gel yang stabil dan kompak (Marinho-Soriano & Bourret, 2003).

Analisis Data

Data rendemen, viskositas, dan kekuatan gel dianalisis menggunakan analisis ragam satu arah (*one-way ANOVA*) untuk mengetahui pengaruh perbedaan bobot tebar awal. Apabila terdapat perbedaan nyata ($p < 0,05$), dilanjutkan dengan uji lanjut Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) untuk membandingkan antar perlakuan (Mishra et al., 2019). Analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak Minitab. Selain itu, analisis deskriptif dilakukan untuk mengidentifikasi pola hubungan antara bobot tebar awal dan kualitas agar yang dihasilkan (Xu et al., 2024).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rendemen Agar

Rendemen agar menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya bobot tebar awal dari perlakuan A hingga C, kemudian sedikit menurun pada perlakuan D. Nilai terendah diperoleh pada perlakuan A (18,00%), meningkat nyata pada perlakuan B (19,93%) dan C (21,23%). Perlakuan D menghasilkan rendemen 20,53% dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan C. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan bobot tebar hingga 200 g masih efektif meningkatkan rendemen agar, sedangkan penambahan hingga 250 g tidak memberikan peningkatan signifikan.

Tabel 1. Rendemen agar pada berbagai perlakuan bobot tebar awal (%)

Perlakuan	Mean \pm SD	Notasi Tukey	Keterangan
A (100 g)	18.00 \pm 0.20	d	Berbeda nyata
B (150 g)	19.93 \pm 0.21	c	Berbeda nyata
C (200 g)	21.23 \pm 0.25	b	Berbeda nyata
D (250 g)	20.53 \pm 0.18	ab	Tidak Berbeda dengan C

Keterangan: Nilai disajikan sebagai rata-rata \pm standar deviasi ($n = 3$). Huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Tukey HSD taraf 95%.

Peningkatan rendemen agar menunjukkan bahwa bobot tebar awal berpengaruh terhadap kemampuan *Gracilaria verrucosa* dalam mengakumulasi polisakarida dinding sel. Pada kepadatan yang sesuai, talus memperoleh intensitas cahaya, ruang tumbuh, dan aliran air yang cukup sehingga proses fotosintesis berlangsung lebih efisien. Hasil fotosintesis tersebut

selanjutnya digunakan dalam pembentukan galaktan sebagai komponen utama agar, sehingga persentase rendemen meningkat (Armisen & Galatas, 2009; Holdt & Kraan, 2011).

Pada kepadatan yang terlalu tinggi, peningkatan rendemen cenderung melambat karena mulai terjadi kompetisi antar talus terhadap cahaya dan nutrien. Penurunan penetrasi cahaya di dalam rumpun dapat mengurangi laju pembentukan karbon organik yang dibutuhkan dalam sintesis polisakarida struktural. Selain itu, keterbatasan sirkulasi air dapat menghambat pertukaran gas dan distribusi unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan optimal (Buschmann et al., 2017; García-Poza et al., 2020).

Dari sudut pandang industri, rendemen tinggi sangat penting karena menentukan efisiensi ekstraksi dan jumlah produk agar yang dihasilkan dari setiap satuan bahan baku. Oleh sebab itu, pengaturan bobot tebar optimum menjadi strategi budidaya penting untuk meningkatkan nilai ekonomi produksi *Gracilaria* secara berkelanjutan (FAO, 2024).

Viskositas Agar

Viskositas agar berkisar antara 90,00 hingga 113,67 cP. Nilai tertinggi diperoleh pada perlakuan C (113,67 cP) dan berbeda nyata dibanding perlakuan lainnya. Perlakuan A (90,00 cP), B (103,67 cP), dan D (109,00 cP) berada pada kelompok yang tidak berbeda nyata. Hasil ini menunjukkan bahwa bobot tebar awal 200 g menghasilkan karakteristik viskositas terbaik.

Tabel 2. Viskositas agar pada berbagai perlakuan bobot tebar awal (cP)

Perlakuan	Mean \pm SD	Notasi Tukey	Keterangan
A (100 g)	90.00 \pm 2.00	b	Tidak Berbeda
B (150 g)	103.67 \pm 1.53	b	Tidak Berbeda
C (200 g)	113.67 \pm 1.53	a	Berbeda nyata
D (250 g)	109.00 \pm 1.00	b	Tidak Berbeda

Keterangan: Nilai disajikan sebagai rata-rata \pm standar deviasi (n = 3). Huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Tukey HSD taraf 95%.

Viskositas berkaitan erat dengan panjang rantai molekul, tingkat polimerisasi, dan kestabilan struktur agar yang terbentuk. Nilai viskositas yang lebih tinggi menunjukkan bahwa polisakarida hasil ekstraksi memiliki integritas rantai yang baik dan kemampuan mengikat air yang lebih besar. Kondisi pertumbuhan yang optimal selama budidaya memungkinkan pembentukan polimer agar dengan karakter fisik yang lebih baik (Villanueva et al., 2010).

Faktor lingkungan seperti cahaya, nutrien, dan sirkulasi air dapat memengaruhi komposisi biokimia rumput laut, termasuk kualitas agar yang dihasilkan. Pada kepadatan terlalu rendah, efisiensi penggunaan ruang budidaya belum maksimal, sedangkan pada kepadatan terlalu tinggi dapat terjadi stres fisiologis yang menyebabkan kualitas polimer menurun. Kondisi tersebut dapat berdampak pada turunnya kekentalan larutan agar setelah ekstraksi (Kumar et al., 2023; Duarte et al., 2022).

Secara aplikatif, agar dengan viskositas tinggi lebih diminati dalam industri pangan, farmasi, dan mikrobiologi karena memiliki kemampuan sebagai pengental dan penstabil yang

lebih baik. Oleh karena itu, pengaturan kepadatan tebar tidak hanya memengaruhi produksi biomassa, tetapi juga menentukan mutu fungsional produk akhir.

Kekuatan Gel Agar

Kekuatan gel agar meningkat dari perlakuan A hingga C, kemudian sedikit menurun pada perlakuan D. Nilai terendah terdapat pada perlakuan A ($353,33 \text{ g cm}^{-2}$), meningkat nyata pada perlakuan B ($403,33 \text{ g cm}^{-2}$), tertinggi pada perlakuan C ($447,67 \text{ g cm}^{-2}$), dan menurun pada perlakuan D ($437,67 \text{ g cm}^{-2}$). Seluruh perlakuan menunjukkan perbedaan nyata satu sama lain. Hasil ini menunjukkan bahwa bobot tebar awal 200 g memberikan kualitas gel paling optimal.

Tabel 3. Kekuatan gel agar pada berbagai perlakuan bobot tebar awal (g cm^{-2})

Perlakuan	Mean \pm SD	Notasi Tukey	Keterangan
A (100 g)	353.33 ± 7.64	d	Berbeda nyata
B (150 g)	403.33 ± 7.64	c	Berbeda nyata
C (200 g)	447.67 ± 7.51	a	Berbeda nyata
D (250 g)	437.67 ± 7.51	b	Berbeda nyata

Keterangan: Nilai disajikan sebagai rata-rata \pm standar deviasi ($n = 3$). Huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Tukey HSD taraf 95%.

Kekuatan gel mencerminkan kemampuan molekul agar membentuk jaringan tiga dimensi yang kuat dan stabil setelah pendinginan. Nilai kekuatan gel yang tinggi menunjukkan interaksi antar rantai polisakarida berlangsung baik, sehingga menghasilkan tekstur gel yang padat dan elastis. Karakter ini sangat dipengaruhi oleh kandungan 3,6-anhydrogalactose serta rendahnya fraksi sulfat dalam struktur agar (Lee & Mooney, 2012; Armisen & Galatas, 2009). Selama budidaya, kondisi lingkungan yang seimbang memungkinkan rumput laut menyusun komponen dinding sel secara optimal. Sebaliknya, tekanan akibat kepadatan berlebih dapat menurunkan kualitas jaringan dan memengaruhi struktur kimia agar yang terbentuk. Kompetisi cahaya dan nutrisi juga berpotensi menekan sintesis komponen penyusun gel, sehingga kekuatan gel tidak meningkat secara proporsional terhadap penambahan biomassa (García-Poza et al., 2020; Jiang et al., 2023).

Dalam konteks industri, kekuatan gel merupakan parameter utama penentu mutu agar karena berhubungan langsung dengan tekstur produk, kestabilan media kultur, dan kemampuan pembentukan gel pada makanan olahan. Oleh karena itu, bobot tebar optimum perlu diterapkan agar dihasilkan bahan baku dengan kualitas fisik terbaik serta bernilai jual tinggi.

PENUTUP

Perbedaan bobot tebar awal berpengaruh nyata terhadap rendemen, viskositas, dan kekuatan gel agar *Gracilaria verrucosa* yang dibudidayakan di tambak ekstensif dengan sistem longline. Peningkatan bobot tebar hingga tingkat tertentu mampu meningkatkan mutu agar, namun pada kepadatan lebih tinggi kualitas cenderung menurun. Perlakuan 200 g menghasilkan rendemen tinggi, viskositas tertinggi, dan kekuatan gel terbaik, sehingga dinilai sebagai tingkat bobot

tebar paling optimum. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa pengaturan kepadatan tebar merupakan faktor penting dalam budidaya *Gracilaria verrucosa*, tidak hanya untuk meningkatkan produksi biomassa tetapi juga menentukan kualitas bahan baku industri agar. Dengan penerapan bobot tebar yang tepat, efisiensi produksi dan nilai ekonomi rumput laut dapat ditingkatkan secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Armisen, R., & Galatas, F. (2009). Agar. In G. O. Phillips & P. A. Williams (Eds.), *Handbook of Hydrocolloids* (2nd ed., pp. 82–107). Woodhead Publishing.
- Buschmann, A. H., Camus, C., Infante, J., Neori, A., Israel, A., Hernández-González, M. C., Pereda, S. V., Gomez-Pinchetti, J. L., Golberg, A., Tadmor-Shalev, N., & Critchley, A. T. (2017). Seaweed production: Overview of the global state of exploitation, farming and emerging research activity. *European Journal of Phycology*, 52(4), 391–406.
- Duarte, C. M., Wu, J., Xiao, X., Bruhn, A., & Krause-Jensen, D. (2022). Can seaweed farming play a role in climate change mitigation and adaptation? *Frontiers in Marine Science*, 8, 791942.
- Duarte, C. M., Krause-Jensen, D., & Lavery, P. S. (2020). Blue carbon pathways in coastal ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, 12, 339–366.
- FAO. (2024). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- García-Poza, S., Leandro, A., Cotas, J., Cotas, C., Marques, J. C., Pereira, L., & Gonçalves, A. M. M. (2020). The evolution road of seaweed aquaculture: Cultivation technologies and industry challenges. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 6528.
- Holdt, S. L., & Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23, 543–597.
- Jiang, Z., Fang, J., Mao, Y., Wang, X., & Ren, J. (2023). Seaweed aquaculture as a nature-based solution for nutrient remediation and coastal sustainability. *Science of the Total Environment*, 857, 159512.
- Kumar, M., Kumari, P., Trivedi, N., Gupta, V., Reddy, C. R. K., & Jha, B. (2023). Seaweed cultivation management and its effects on biomass and hydrocolloid quality. *Algal Research*, 72, 103112.
- Lee, K. Y., & Mooney, D. J. (2012). Alginate: Properties and biomedical applications. *Progress in Polymer Science*, 37(1), 106–126.
- Marinho-Soriano, E., Camara, M. R., Cabral, T. M., & Carneiro, M. A. A. (2006). Preliminary evaluation of the seaweed *Gracilaria cervicornis* for use in integrated aquaculture systems. *Bioresource Technology*, 97, 2194–2198.
- Marinho-Soriano, E., & Bourret, E. (2003). Effects of season on the yield and quality of agar from *Gracilaria* species. *Bioresource Technology*, 90, 329–333.
- Mishra, P., Singh, U., Pandey, C. M., Mishra, P., & Pandey, G. (2019). Application of student's t-test, analysis of variance, and covariance. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 22(4), 407–411.

- Rejeki, S., Widowati, L. L., & Ariyati, R. W. (2018). Growth performance of *Gracilaria verrucosa* under different seed quality and cultivation methods. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 17(2), 115–123.
- Villanueva, R. D., Romero, J. B., Montaña, N. E., & Alvaro, J. E. (2010). Agar properties and quality assessment of cultivated *Gracilaria* species. *Journal of Applied Phycology*, 22, 713–720.
- Xu, H., Li, Y., Wang, M., & Zhao, T. (2024). Statistical pattern analysis for biomass–quality interactions in aquaculture systems. *Ecological Informatics*, 80, 102481.