

PERAN *Gracilaria* sp. SEBAGAI FITOREMEDIATOR DALAM MEREDUKSI LIMBAH PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) TAMBAK UDANG VANAME (*Litopenaeus vannamei*) SUPER INTENSIF

ROLE OF *Gracilaria* sp. AS A PHYTOREMEDIATOR IN REDUCING WASTE AT THE WASTEWATER TREATMENT PLANT (WWTP) ON THE SUPER INTENSIVE PACIFIC WHITE SHRIMP (*Litopenaeus vannamei*) POND

Nurul Hasanah¹, Agus Setyawan^{2*}, Munti Sarida², Gregorius Nugroho Susanto³, Qadar Hasani⁴

¹Magister Manajemen Wilayah Pesisir dan Laut, Pascasarjana, Universitas Lampung

²Program Studi Budidaya Perikanan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

³Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

⁴Program Studi Sumberdaya Akuatik, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

Jl. Prof. Dr. ir. Soemantri Brojonegoro, No.1, Kota Bandar Lampung, Lampung 35141

*Email : agus.setyawan@fp.unila.ac.id

ABSTRAK

Budidaya udang menghasilkan limbah organik sekiranya 48 – 70 kg per siklus budidaya dengan 30% berasal dari sisa pakan dan feses khususnya pada sistem budidaya super-intensif. Limbah dari tambak udang dapat memberikan efek serius pada keberlangsungan budidaya udang jika tidak dikelola dengan baik. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi beban limbah yakni dengan pengadaan IPAL dan pemanfaatan teknologi fitoremediasi dengan rumput laut *Gracilaria* sp. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas IPAL dan pemanfaatan *Gracilaria* sp. sebagai fitoremediator pada IPAL tambak udang vaname serta evaluasi pertumbuhan rumput laut. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober-November 2024 pada kolam sedimentasi IPAL tambak udang di Ruguk, Ketapang, Lampung Selatan. *Gracilaria* sp. ditanam dengan metode tali ris apung pada IPAL 2 dan analisis parameter kimia air dilakukan secara exsitu di laboratorium pada hari ke- 0, 10, 20, dan 30. Konsentrasi rata-rata dari parameter utama kualitas air pada IPAL 1 dan 2 antara lain nitrat (1,03 mg/L dan 1,04 mg/L), fosfat (0,35 mg/L dan 0,28 mg/L), TAN (0,78 mg/L dan 0,25 mg/L), TOM (35,59 mg/L dan 35, 32 mg/L), TSS (175 mg/L dan 151,75 mg/L), dan alkalinitas (303 mg/L dan 251 mg/L). Nilai rata-rata efektivitas total pemanfaatan *Gracilaria* sp. sebagai agen fitoremediator sebesar 12%. Biomassa *Gracilaria* sp. didapatkan sebanyak 40.787 kg dengan laju pertumbuhan spesifik 376,75%. Penelitian ini menciptakan potensi pemanfaatan *Gracilaria* sebagai agen fitoremediasi pada budidaya udang vaname.

Kata kunci : instalasi pengolahan air limbah (IPAL), fitoremediasi, *Gracilaria* sp., tambak udang

ABSTRACT

Shrimp farming produces organic waste of approximately 48–70 kg per farming cycle, with 30% coming from feed residues and feces, especially in super-intensive farming systems. Waste from shrimp ponds can have a serious impact on the sustainability of shrimp farming if not managed properly. One approach to reduce waste load is by installing wastewater treatment plants (WWTPs) and utilizing phytoremediation technology with *Gracilaria* sp. seaweed. This study aims to determine the effectiveness of WWTPs and the

use of *Gracilaria sp.* as a phytoremediator in vaname shrimp pond WWTPs, as well as to evaluate seaweed growth. The study was conducted in October-November 2024 at the sedimentation pond of the shrimp farm wastewater treatment plant in Ruguk, Ketapang, South Lampung. *Gracilaria sp.* was planted using the floating rope method in WWTP 2, and chemical water parameter analysis was conducted ex situ in the laboratory on days 0, 10, 20, and 30. The average concentrations of the main water quality parameters in IPAL 1 and 2 included nitrate (1.03 mg/L and 1.04 mg/L), phosphate (0.35 mg/L and 0.28 mg/L), TAN (0.78 mg/L and 0.25 mg/L), TOM (35.59 mg/L and 35.32 mg/L), TSS (175 mg/L and 151.75 mg/L), and alkalinity (303 mg/L and 251 mg/L). The average total effectiveness of *Gracilaria sp.* as a phytoremediation agent was 12%. The biomass of *Gracilaria sp.* was 40,787 kg with a specific growth rate of 376.75%. This study demonstrates the potential for utilizing *Gracilaria* as a phytoremediation agent in vaname shrimp farming.

Keywords : wastewater treatment plant (WWTP), phytoremediator, *Gracilaria sp.*, shrimp ponds

PENDAHULUAN

Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) merupakan salah satu produk perikanan yang memiliki nilai ekonomi tinggi, dengan nilai ekspor mencapai 60% dari nilai total ekspor subsektor perikanan (Suhana et al., 2023) hingga 2 juta ton atau sebesar 250% per tahun 2024 (Humas Ditjen Perikanan Budidaya, 2021). Peningkatan ini terus dilakukan dengan penerapan berbagai teknologi pendukung kegiatan budidaya seperti budidaya sistem super intensif, yakni budidaya dengan konsep *low volume high density* atau penerapan pada tebar udang yang tinggi dengan luas lahan yang sempit (1000 m²), minim beban limbah, memiliki tandon air yang cukup serta sistem pengelolaan air buangan limbah (Rahim et al., 2021).

Budidaya *superintensif* menerapkan padat penebaran > 300 ekor/m² (Wasielesky et al., 2006). Tingginya padat tebar memiliki konsekuensi pada beban limbah yang akan dihasilkan. Semakin intensif teknologi yang digunakan, maka nilai beban limbah akan semakin tinggi (Setiyorini et al., 2022). Diketahui bahwa 30% dari total pakan tidak dikonsumsi oleh udang dan sekitar 15-30% yang dikonsumsi akan diekskresikan (Syah et al., 2017). Budidaya *superintensif* memiliki potensi limbah organik yang dihasilkan mencapai 48-70 kg nitrogen tiap satu ton produksi. Limbah organik yang memiliki kandungan protein yang tinggi akan menghasilkan senyawa nitrogen anorganik yang merupakan senyawa toksik (Badraeni et al., 2020).

Efek yang dapat ditimbulkan akibat limbah tambak udang bagi keberlangsungan pembesaran udang, seperti peningkatan kebutuhan sarana prasarana treatment air laut, kelimpahan mikroorganisme patogen (bakteri, protozoa dan virus), peningkatan prevalensi penyakit udang, fluktuasi alkalinitas, peningkatan laju pelepasan phosphate oleh sedimen, gangguan *healthy*

palnkton bloom, dan toksin algae (Rahardjo et al., 2018; KKP, 2019).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan guna mengurangi beban limbah ialah dengan membuat instalasi pengolahan air limbah (IPAL) (Ridwan et al., 2023) dan penggunaan agen fitoremediator seperti rumput laut. Teknologi fitoremediasi ini merupakan teknologi yang berwawasan ekologis serta dianggap lebih menguntungkan. Selain mudah dalam penerapannya, teknologi ini juga hemat biaya, ramah lingkungan serta memiliki nilai estetika (Ghosh et al., 2023). Jenis rumput laut yang dapat digunakan salah satunya *Gracilaria sp.*

Mubarok dan Zainuri (2024) menyebutkan bahwa *Gracilaria sp.* dapat menurunkan nilai amonia sebesar 74,44% dari 14,2817 mg/L menjadi 3,6501 mg/L. Penelitian Khatimah et al. (2023) *Gracilaria sp.* menurunkan kadar fosfat dari 0,764 mg/L menjadi 0,461 mg/L. Sedang menurut Trianti dan Adharini (2020), *Gracilaria* memiliki kemampuan menyerap nitrat sebesar 0,22 % pada hari ke-30 dibandingkan hari ke-0 sebesar 0,14%. *Gracilaria sp.* dengan bentuk thallus seperti tulang rawan dan bercabang-cabang lebih memungkinkan kemampuan penyerapan nutrisi dan senyawa kimia dalam air lebih efektif (Ihsan et al., 2015). Bahan organik seperti nitrat dan fosfat merupakan nutrisi utama bagi rumput laut yang berpengaruh pada stadia reproduksinya (Masyahoro dan Mappiratu, 2010).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas penggunaan rumput laut jenis *Gracilaria sp.* sebagai fitoremediator pada instalasi pengolahan air limbah (IPAL) budidaya udang vaname di desa Ruguk, Kecamatan Ketapang, Kabupaten Lampung Selatan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada Oktober-November 2025 bertempat di tambak budidaya vaname *superintensif* di Desa Ruguk, Kecamatan Ketapang, Kabupaten Lampung Selatan serta analisis uji kualitas air dilakukan di laboratorium K Jurusan Perikanan dan Kelautan, Universitas Lampung.

Persiapan Bibit

Rumput laut disortir dengan kriteria yakni rumput laut dalam kondisi segar, tidak layu, ujung *thallus* berwarna cerah dan mempunyai pangkal yang lebih besar dari cabang thalus, dan mempunyai tekstur kenyal. Kemudian dilakukan penimbangan dan diikat dengan menggunakan tali rafia dengan masing-masing bobot bibit 50 gram (Azizah et al, 2018).

Penanaman Bibit

Penanaman bibit rumput laut menggunakan metode bentangan tali ris apung (*floating longline method*) berbentuk persegi, dilengkapi dengan tali jangkar, pelampung jangkar, pelampung utama, dan tali gantung bibit. Bibit ditanam dengan jarak masing-masing penanaman 20 cm, kemudian bibit ditanam pada 10 cm dibawah permukaan air (Fanni et al., 2021).

Pengontrolan

Pengontrolan dilakukan setiap 10 hari sekali selama 30 hari pemeliharaan. Pengontrolan dilakukan dengan mengecek parameter kualitas air dan penimbangan rumput laut sebanyak 25% dari total rumpun tiap bentang tali.

Pengamatan

Laju pertumbuhan Spesifik

Pengukuran pertumbuhan rumput laut *Gracilaria sp.* dilakukan dengan menggunakan rumus SGR menurut Geddie dan Hall (2019) sebagai berikut :

$$SGR = \frac{\ln W_t - \ln W_0}{t} \times 100\%$$

Keterangan:

SGR : Laju pertumbuhan perhari (%)

W_t : Berat rumput laut pada saat pengukuran terakhir (gram)

W₀ : Berat awal rumput laut pada saat penanaman

t : Waktu penelitian

Kualitas Air

Pengamatan kualitas air dilakukan secara baik secara *insitu* dan *exsitu* pada IPAL 1 (kontrol) dan IPAL 2 (perlakuan

Gracilaria sp.) Pengukuran *insitu* yang dilakukan berupa pengukuran pH, suhu, kadar oksigen terlarut, kecerahan, salinitas, dan TDS (*total dissolved solid*). Sedangkan secara *exsitu* yakni *total suspended solid* (TSS), *total organic matter* (TOM), fosfat, nitrat, alkalinitas, dan total ammonia nitrogen (TAN).

Efisiensi IPAL

Efisiensi IPAL diketahui dengan melihat persentase dari masing-masing parameter kualitas air seperti nitrat, fosfat, TOM, TAN, TSS, dan Alkalinitas pada akhir penelitian. Berikut perhitungan nilai efisiensi IPAL (%) mengacu pada petunjuk teknis instalasi pengolahan air limbah (IPAL) Kementerian Kelautan dan Perikanan (2019):

$$\text{Efisiensi IPAL (\%)} = \frac{A-B}{A} \times 100$$

Keterangan:

A : konsentrasi kualitas air inlet IPAL

B : konsentrasi kualitas air outlet IPAL

Dengan tingkat efisiensi IPAL dilaporkan dalam bentuk persen (%):

Sangat efisien : x > 80%

Efisien : 60% < x = 80%

Cukup efisien : 40% < x = 60%

Kurang efisien : 20% < x = 40%

Tidak efisien : x = < 20%

Analisis Data

Pada penelitian ini meliputi data kualitas air dan pertumbuhan *Gracilaria sp.* kemudian dianalisis secara deskriptif dan dibandingkan dengan penelitian terdahulu (studi literatur).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Fisik Kualitas Air IPAL

Nilai kecerahan pada penelitian ini berkisar antara 15-25 cm (Tabel 1). Rendahnya nilai kecerahan akan mempengaruhi daya penyerapan unsur hara oleh rumput laut sehingga akan berpengaruh pada penambahan panjang dan berat (Agustang et al., 2021). Fanni et al. (2021) menyimpulkan dengan rata-rata tingkat kecerahan perairan sebesar 60 cm, *Gracilaria sp.* memiliki pertumbuhan yang baik.

Suhu yang optimal akan meningkatkan penyerapan nutrisi oleh rumput laut, sehingga laju pertumbuhan rumput laut akan lebih cepat (Ullah et al., 2023). Royan

et al. (2019) menyebutkan derajat suhu pemeliharaan *Gracilaria* pada kisaran 29-31 °C merupakan suhu yang baik untuk pertumbuhan rumput laut.

Tabel 1. Kualitas Air

Parameter	Satuan	Baku mutu IPAL	Baku mutu rumput laut	Nilai rata-rata	
				Kontrol	Perlakuan <i>Gracilaria</i> sp.
Kecerahan	cm	>45 ^{*)}	50-70 ^{I)}	20	20
Suhu	°C	23-28 ^{***)}	25-28 ^{I)}	32,8	29,5
pH	-	6-9 ^{*)}	6,8-8,2 ^{I)}	9,1	8,8
DO	mg/L	≥ 5 - 6 ^{**)}	5-8 ^{II)}	9.97	7.92
Salinitas	ppt	15-30 ^{*)}	15-28 ^{I)}	36	36
TDS	mg/L	150-200 ^{***)}	-	62.11	63.92

Sumber : KEPMEN KP No.15 Tahun 2022^{*)}; Boyd dan Green (2002)^{**)}; Kepmen No. 28 tahun 2004^{***)}; KEPMEN KP 2017^{I)}; Royan et al. (2019)^{II)};

Kisaran pH pada kolam perlakuan *Gracilaria* sp. berkisar antara 8.17 - 9.18. Meski kenaikannya tidak signifikan, kenaikan ini diduga karena menurunnya jumlah konsentrasi CO₂ dalam sistem perairan akibat dari proses fotosintesis *Gracilaria* sp. yang terjadi pada siang hari (Royan et al., 2019). Noor (2015) menyebutkan rumput laut cenderung hidup pada kadar pH basa atau sekitar 6 - 9.

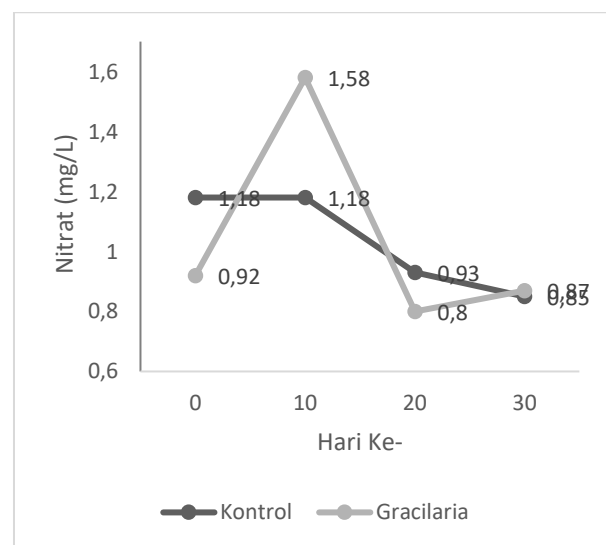
Kadar salinitas pada kolam perlakuan berkisar antara 27-40,5 ppt. Kadar salinitas yang tinggi ini diduga sebagai salah satu penyebab penurunan pertumbuhan dan kematian pada beberapa cabang *thallus* rumput laut pada minggu terakhir penanaman. Salinitas yang tinggi berpengaruh pada proses fotosintesis makroalga. Pada kadar salinitas tinggi, alga akan menonakifkan pusat reaksi fotosistem dan menghambat transfer elektron (Hui et al., 2014).

Kadar oksigen terlarut pada kolam perlakuan *Gracilaria* memiliki rerata sebesar 7,9 mg/L, lebih rendah dari kontrol sebesar 9,97 mg/L. Rendahnya DO pada kolam dapat diakibatkan oleh adanya kompetisi antara *Gracilaria* sp. dengan mikroorganisme dalam kolam perlakuan. Bahan organik dari sisa pakan, feses, plankton serta bahan organik lainnya yang mengendap pada dasar kolam, kondisi ini akan diikuti pula oleh pertumbuhan bakteri pengurai yang juga memerlukan oksigen dalam melakukan proses dekomposisi (Zulfarino dan Spanton, 2023).

Konsentrasi TDS pada pemeliharaan *Gracilaria* sp. sebesar 63,92 mg/L. Mbaba et al. (2024) menyebutkan konsentrasi TDS sebesar 33 mg/L tergolong baik untuk

budidaya rumput laut. Konsentrasi TDS yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menghambat pertumbuhan organisme dalam air hingga kematian. Sedangkan pada kolam kontrol sebesar 62,11 mg/L. Nilai ini cenderung lebih rendah dari baku mutu, artinya berdasarkan nilai TDS pada air limbah tambak udang pada kadar yang baik untuk dikembalikan pada perairan umum. Sedang menurut Gusman et al. (2024), nilai TDS yang tinggi menandakan banyaknya partikel terlarut atau bahan organik dalam air yang berasal dari pelapukan batuan, limpasan tanah serta limbah baik domestik maupun industri dengan kadarnya tidak lebih dari 40 mg/L.

Parameter Kimia Kualitas Air IPAL Nitrat (NO₃)



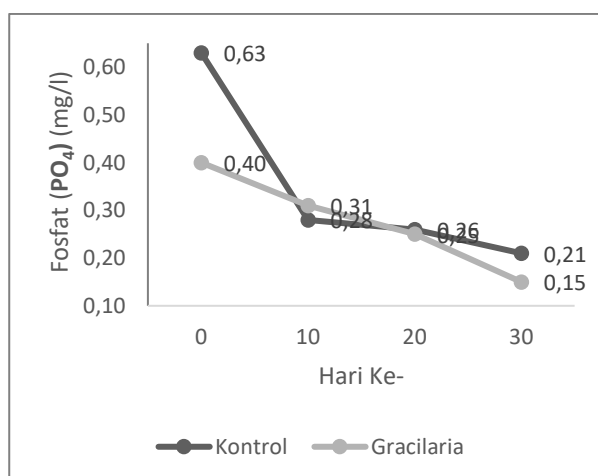
Gambar 1. Nitrat (NO₃)

Nilai nitrat pada kolam perlakuan memiliki konsentrasi sebesar sebesar 0,92 mg/L pada masa tebar dan meningkat pada

sampling ke 1 sebesar 1,18 mg/L (Gambar 1). Hal ini dipengaruhi oleh peningkatan pertumbuhan rumput laut yang signifikan. Semakin tinggi padat tebar rumput laut semakin meningkat pula konsentrasi nitrat (Desanti et al., 2023). Pada hari ke-20 konsentrasi nitrat menurun. Penurunan kadar nitrat yang signifikan ditemukan pada hari ke-20 yakni sebesar 0,8 mg/L. Penelitian Raj et al. (2022) menyebutkan bahwa rumput laut dapat menyerap kadar nitrat dalam air hingga 33% setelah 12 hari masa pemeliharaan. Sampling hari ke-30 nampak adanya peningkatan pada kadar nitrat sebesar 0,07 mg/L. Kenaikan kadar nitrat ini terjadi akibat laju penyerapan nitrat oleh rumput laut akan menurun seiring lama waktu pemeliharaan (Aubreu et al., 2011). Rentang kadar nitrat yang layak untuk pertumbuhan rumput laut yakni 0,9-3,5 mg/L dengan konsentrasi <0,01 mg/L atau >4,5 mg/L sebagai faktor pembatas konsentrasi nitrat (Andreyan et al., 2021; Azizah et al., 2018).

Pada IPAL 1 kadar nitrat yang diketahui dari hasil dua kali pengukuran tidak mengalami kenaikan maupun penurunan dengan kadar nitratnya sebesar 1,18 mg/L. Kadar nitrat baru mengalami penurunan pada hari ke-20 dan 30 berturut-turut sebesar 0,93 dan 0,85 mg/L. Prasetyono et al. (2022) menyebutkan bahwa konsentrasi nitrat >0,2 mg/L yang ada di perairan umum dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi pada perairan dan selanjutnya menstimulasi pertumbuhan alga atau tumbuhan air secara pesat (*blooming*).

Fosfat (PO₄)



Gambar 2. Fosfat (PO₄)

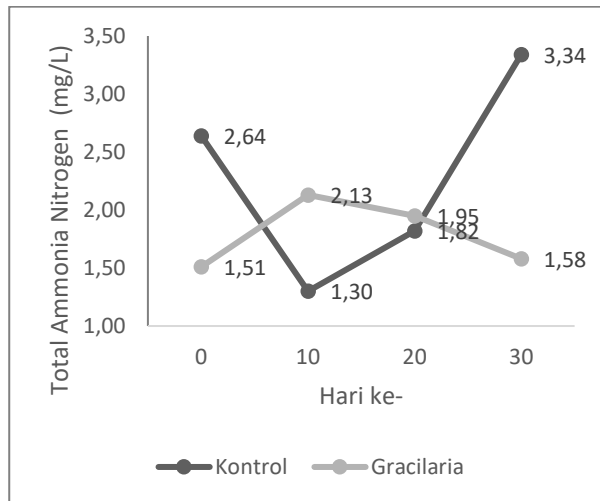
Konsentrasi fosfat kolam perlakuan *Gracilaria* dari tahap tebar, hari ke-10, 20

dan 30 berturut-turut sebesar 0,40, 0,31, 0,25, dan 0,15 mg/L (Gambar 2). Nilai dari konsentrasi fosfat tersebut cenderung lebih tinggi dari konsentrasi fosfat yang baik untuk pertumbuhan rumput laut sebesar 0,005-0,20 mg/L menurut Susanto et al. (2021). Kemudian menurun pada sampling ke 3 sebesar 0,15 mg/L. Khatimah et al. (2023) menyebutkan bahwa konsentrasi fosfat pada pemeliharaan rumput laut selama 30 hari berturut-turun menurun. Hal ini diduga dipengaruhi oleh padat tebar rumput laut. Semakin tinggi padat tebar maka akan semakin menurun kadar fosfat dalam perairan. Rumput laut memanfaatkan kandungan fosfat untuk pertumbuhan (Desanti et al., 2023). Proses pemanfaatan ini dipengaruhi juga oleh suhu air. Penelitian dari Li et al. (2025) menyebutkan bahwa pada suhu 25-30°C *Gracilaria* mampu mengabsorpsi kadar fosfat hingga 99,92%.

Konsentrasi fosfat pada kolam kontrol berdasarkan hasil analisis sebesar mencapai 0,63 mg/L. Hal ini diduga akibat masuknya *effluent* baru dari kolam pembesaran udang karena adanya aktivitas berupa pengurusan kolam pembesaran udang pasca panen. Kemudian penurunan berturut-turut pada hari ke-10, 20, dan 30 sebesar 0,28, 0,29, dan 0,21 mg/L. Kadar tersebut masih tergolong tinggi berdasarkan baku mutu minimal fosfat untuk air *effluent* sebesar < 0,1 mg/L berdasarkan KEPMEN-KP no. 28 tahun 2004. Kadar fosfat yang tinggi dapat disebabkan oleh difusi fosfat dari substrat. Hal ini dikarenakan substrat merupakan tempat penyimpanan dan sumber utama fosfat dalam perairan (Suhendar et al., 2020). Berbeda dengan nitrat yang berbeda ketinggian kadarnya antara substrat dan air permukaan, dikarenakan nitrat pada air bersifat terlarut sedangkan pada substrat bersifat mengendap (Handayani et al., 2016).

Total Ammonia Nitrogen (TAN)

Hasil analisis kadar TAN pada kolam kontrol dan perlakuan *Gracilaria* menunjukkan perbedaan yang signifikan (Gambar 3). Sampling hari ke-10 kolam kontrol mengalami penurunan kadar TAN dari 2,64 mg/L menjadi 1,30 mg/L. Kemudian mengalami kenaikan kembali hingga akhir penelitian sebesar 1,82 mg/L dan 3,34 mg/L. Sedangkan pada perlakuan *Gracilaria*, nilai TAN cenderung mengalami penurunan pada hari ke-20 dan 30. Kenaikan ini mengartikan daya racun ammonia juga turut meningkat.



Gambar 3. Total ammonia nitrogen (TAN)

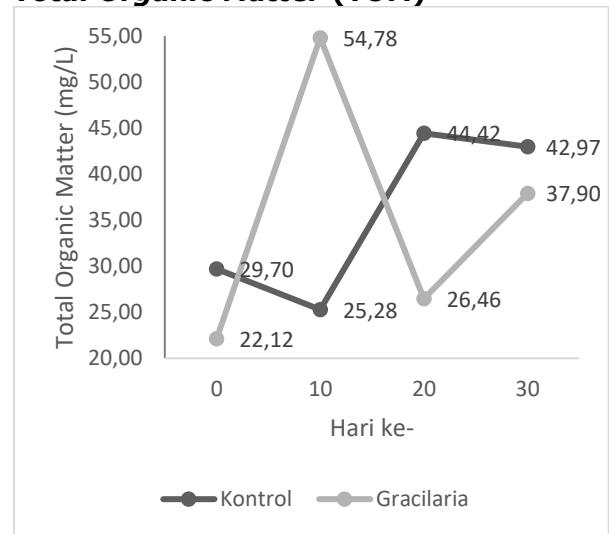
Kenaikan konsentrasi ammonia ini diikuti dengan meningkatnya pH dan suhu air (Romadhona *et al.*, 2016). Pada kolam kontrol diketahui pH pada sampling 2 dan 3 mengalami kenaikan sebesar 9,8 dan 9,2, dengan rata-rata suhu air sebesar 32,8°C.

Royan *et al.* (2019) menyebutkan bahwasannya penurunan kadar TAN dalam perairan mungkin disebabkan oleh volatilitas ammonia, yakni kecenderungan ammonia untuk menguap atau berubah menjadi gas dari keadaan cair atau padat yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti suhu, tekanan dan pH. Baku mutu TAN effluent tambak udang berdasarkan KEPMEN-KP no. 28 tahun 2004 sebesar <0,1 mg/L. Pada penelitian Jannah *et al.* (2023) menyebutkan, pada kolam penampungan air limbah konsentrasi ammonia nitrogen sebesar <2 mg/L masih dapat dikategorikan baik untuk dibuang ke perairan umum.

Konsentrasi TAN pada kolam perlakuan *Gracilaria* cenderung mengalami penurunan hingga hari ke-30 dengan nilai 1,58 mg/L. Berdasarkan Peraturan Presiden No. 22 tahun 2021, baku mutu untuk kadar amonia biota laut sebesar <0,3 mg/l. Kadar TAN yang berlebih pada badan air dapat menyebabkan eutrofikasi, yang mendorong pertumbuhan dan pembusukan tumbuhan secara ekstrim, serta menyebabkan terjadinya degradasi kualitas air (Watson *et al.*, 2015). Namun pada penelitian ini, pemberian *Gracilaria* sp. memberikan pengaruh terhadap penurunan TAN. Penurunan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti fluktuasi pH, temperatur serta besaran biomassa yang digunakan, Sedang pendapat Widowati *et al.* (2021), dengan biomassa *Gracilaria* sp. 200

gr pada saat mampu menurunkan 67% konsentrasi TAN dalam air limbah.

Total Organic Matter (TOM)



Gambar 4. Total Organic Matter

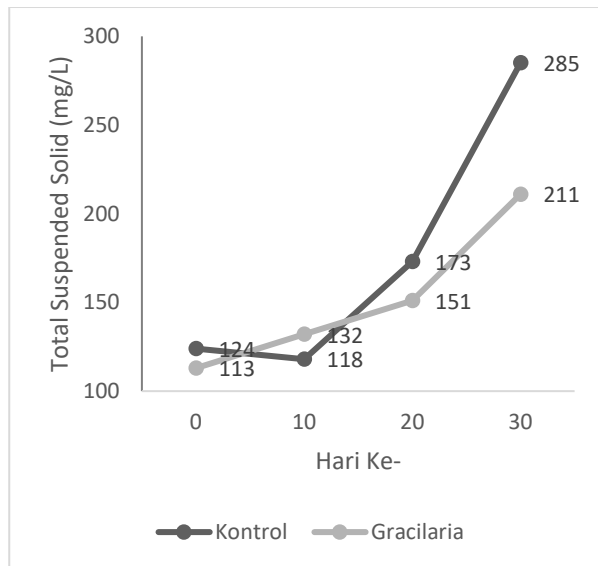
Konsentrasi TOM pada akhir kegiatan ini didapatkan rerata kadar TOM sebesar 25,59 mg/L pada kolam kontrol dan 35,31 mg/L pada kolam perlakuan *Gracilaria* sp. Nilai rerata kadar TOM pada kegiatan ini jauh lebih rendah dari baku mutu TOM berdasarkan KEPMEN-KP no. 15 tahun 2022 sebesar <90 mg/L. Sehingga effluent pada IPAL tambak ruguk berdasarkan kadar TOM dikatakan aman untuk dialirkan langsung ke perairan umum.

Namun, konsentrasi TOM pada kolam perlakuan *Gracilaria* mengalami fluktuasi yang signifikan pada tiap sampling (Gambar 4). Widowati *et al.* (2021) menyebutkan bahwa penurunan konsentrasi TOM akan nampak pada pembudidayaan *Gracilaria* sp. hari ke 28. Lalu setelahnya kemampuan rumput laut akan menurun seiring lama waktu pemeliharaan. Adanya rumput laut pada kolam IPAL mampu mengurangi konsentrasi TOM hingga 50%, dengan jenis *Gracilaria* sp. memiliki persentase lebih tinggi jika dibandingkan dengan jenis *Sargassum*. Variasi persentase penyerapan TOM oleh *Gracilaria* sp. dipengaruhi oleh kepadatan penebaran dan kondisi lingkungan (Izzati, 2017).

Total Suspended Solid (TSS)

Konsentrasi TSS pada kedua kolam IPAL cenderung mengalami kenaikan pada tiap sampling (Gambar 5). Nilai konsentrasi TSS tersebut lebih tinggi dari baku mutu TSS sebesar 100 mg/L berdasarkan PERMEN-LHK no. 1 tahun 2025 untuk air limbah, dan lebih tinggi dari konsentrasi optimal TSS

untuk rumput laut sebesar 25 – 50 mg/L (Yulianto et al., 2017). Pada kolam IPAL, umumnya akan dilengkapi oleh adanya aerasi untuk membantu proses dekomposisi bahan organik. Namun mengingat tambak Ruguk hanya memiliki kolam sedimentasi maka konsentrasi TSS dalam kolam diduga turut terpengaruh.



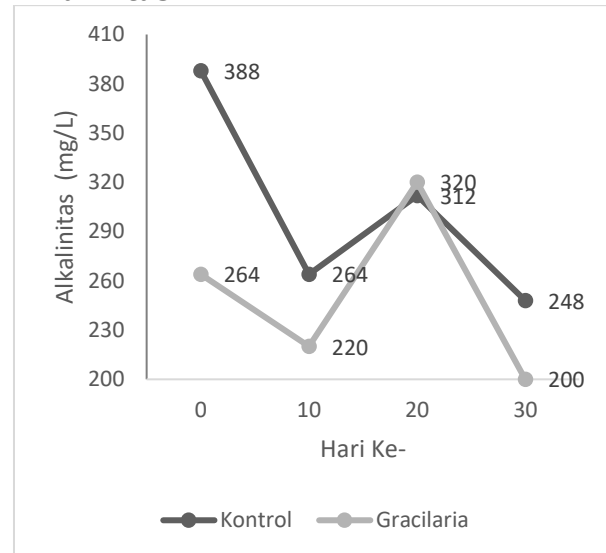
Gambar 5. Total Suspended Solid

Kolam sedimentasi ini merupakan kolam pertama dari tahapan diterapkannya IPAL pada tambak budidaya yang berfungsi secara fisik untuk mengurangi padatan tersuspensi melalui proses pengendapan. Air limbah pada kolam ini akan mengalami proses pengendapan dimana partikel-partikel padatnya dibiarkan mengendap dalam waktu ±24 jam, sedang partikel yang lebih ringan akan mengapung dan membentuk busa (Syah et al., 2017). Namun pada masa pasca panen, bahan organik akan mengendap dalam waktu yang lama dan tidak adanya penyedotan, diduga menjadi penyebab tingginya konsentrasi TSS. Kolam sedimentasi umumnya mampu menurunkan konsentrasi TSS 40-60%. Penurunan ini turut dipengaruhi oleh beban limbah dari kolam budidaya dengan melihat kepadatan tebar KKP (2019).

Konsentrasi TSS pada kolam perlakuan tidak mengalami penurunan. Hal ini diduga dipengaruhi oleh banyak aspek seperti tingkat kekeruhan, konsentrasi dari senyawa lainnya hingga endapan padatan yang menempel pada rumput laut yang berpengaruh pada pertumbuhan *Gracilaria* sp. serta kemampuannya untuk mengabsorpsi bahan organik yang ada pada kolam perlakuan *Gracilaria*. Endapan berupa

padatan tersuspensi yang menempel pada makroalga dapat menjadi faktor stress bagi spesies tersebut, serta dapat mencegah penyerapan cahaya dan kinerja dari fotosintesis (Carvahlo et al., 2023).

Alkalinitas



Gambar 6. Alkalinitas

Pada kolam kontrol dan perlakuan *Gracilaria* sp. menunjukkan adanya persamaan berupa fluktuasi konsentrasi alkalinitas pada tiap sampling (Gambar 6). Konsentrasi tertingginya ada pada masa tebar, kemudian terjadi penurunan dan kenaikan pada hari ke-10 dan 20, dan kembali menurun pada sampling 3 atau pada akhir kegiatan dengan konsentrasi alkalinitas yang masih aman untuk air limbah. Konsentrasi alkalinitas air limbah sebesar 40-80 mg/L (CaCO₃) merupakan nilai minimum yang diperlukan untuk mendukung berjalannya proses nitrifikasi. Terjadinya fluktuasi yang signifikan akan berkorelasi dengan nilai pH (Supriyono et al., 2022). Dimana ion H⁺ akan berikatan dengan ion karbonat (CO₃) sehingga mengakibatkan terjadinya peningkatan nilai pH pada alkalinitas yang lebih tinggi (Boyd et al., 2016).

Konsentrasi alkalinitas yang optimal untuk pertumbuhan *Gracilaria* sp. menurut Akmal et al. (2015) ialah pada kisaran 113 – 130 mg/L. Menurut Geddie dan Hall (2019), konsentrasi alkalinitas tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan rumput laut. Namun peningkatan alkalinitas pada air budidaya rumput laut dapat membantu rumput laut dalam mengurangi akumulasi logam tembaga dalam tubuhnya (makroalga).

Efisiensi Perlakuan *Gracilaria* sp. pada IPAL

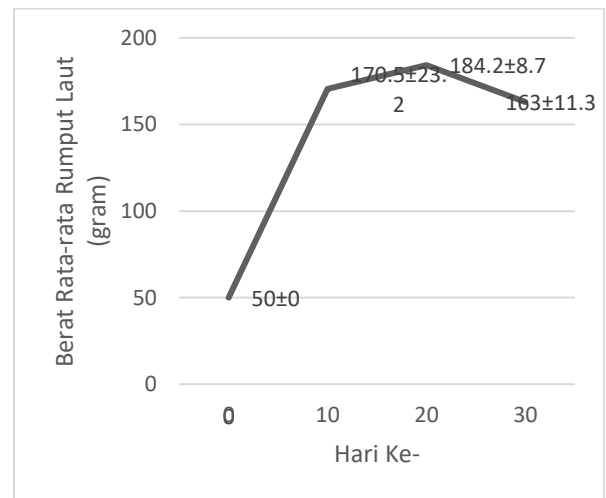
Parameter Kualitas Air	Efektivitas (%)	Keterangan
Nitrat (mg/L)	21%	Tidak efisien
Fosfat (mg/L)	20%	Tidak efisien
Alkalinitas (mg/L)	0%	Tidak efisien
TOM (mg/L)	17%	Tidak efisien
TSS (mg/L)	1,7%	Tidak efisien
TAN (mg/L)	13%	Tidak efisien

Tabel 2. Efisiensi kolam sedimentasi IPAL dengan perlakuan *Gracilaria* sp.

Hasil perhitungan efisiensi IPAL berdasarkan parameter kualitas air menunjukkan persentase yang sangat rendah atau tidak efisien, dengan persentase terbesar pada fosfat yakni sebesar 20% (Tabel 2). Berdasarkan konsentrasi tiap parameter kualitas air yang telah diuji, diketahui beberapa parameter menunjukkan hasil yang lebih rendah dari baku mutu. Artinya, *effluent* dari kegiatan budidaya menunjukkan tingkatan yang aman untuk dibuang ke perairan umum maupun untuk pertumbuhan *Gracilaria* sp. yang dibudidayakan. Penggunaan *Gracilaria* sp. dengan populasi 15% dari total volume pada kolam IPAL, menunjukkan setidaknya 12% efektivitas penggunaannya pada kolam IPAL dari total efektivitas parameter kualitas air.

Pertumbuhan *Gracilaria* sp.

Total panen dari budidaya *Gracilaria* sp. pada IPAL tambak sebesar 40.787 kg dengan persentase total pertumbuhannya sebesar 376%. Pemeliharaan *Gracilaria* sp. hari ke 10 menunjukkan kenaikan signifikan dari bobot rumput laut dengan rata-rata sebesar 170,5 gr, kenaikannya tiga kali lipat bobot awal (Gambar 7).



Gambar 7. Berat rata-rata rumput laut

Hasni et al. (2022) menyebutkan dimana diantara jenis rumput laut yang berbeda (*Gracilaria verrucosa*, *Kappaphycus alvarezii*, dan *Euचेuma spinosum*) yang dibudidaya pada IPAL tambak, rumput laut *Gracilaria* memiliki pertumbuhan lebih cepat. Syah et al. (2017) menyebutkan bahwa *Gracilaria* sp. yang dibudidayakan di IPAL (ekualisasi) mampu tumbuh 4,21%/hari.

Terjadi penurunan pertumbuhan pada hari ke-30. Hal ini diduga akibat lumpur yang menempel pada *thallus* sehingga menghambat pertumbuhan rumput laut. Serupa dengan penelitian yang dilakukan Trianti dan Adharini (2020), biomassa *Gracilaria verrucosa* mengalami peningkatan pada hari ke-10, yang diindikasikan bahwa rumput laut menyerap nutrisi dengan baik. Namun biomassa pada hari ke-20 dan ke-30 cenderung menurun, yang diduga akibat dari menurunnya intensitas cahaya matahari yang masuk pada media budidaya yang menghambat proses fotosintesis rumput laut. Bahan organik yang terlalu melimpah dapat menghambat proses metabolisme karena tidak adanya energi yang dihasilkan

untuk pertumbuhan serta menyebabkan stress pada rumput laut sehingga pertumbuhannya menurun Khatimah *et al.* (2023).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di tambak udang vaname Desa Ruguk, Kecamatan Ketapang, Kabupaten Lampung selatan dapat disimpulkan bahwa, konsentrasi indikator kualitas air kolam instalasi pengolahan air limbah tambak dengan penerapan *Gracilaria* sp. sebagai fitoremediator yakni *total amonia nitrogen* (TAN), *total suspended solid* (TSS), fosfat, nitrat, *total organic metter* (TOM), dan alkalinitas pada air limbah budidaya pascapanen memiliki persentase efektivitas yang kecil dengan rerata efektivitasnya sebesar 12% (tidak efisien). Total biomassa rumput laut *Gracilaria* sp. yang dibudidayakan pada IPAL tambak sebesar 40.787 kg dengan laju pertumbuhan spesifiknya mencapai 376,75%. Artinya *Gracilaria* sp. dapat bertahan dan bertumbuh pada kondisi perairan yang cukup ekstrem seperti pada kolam sedimentasi IPAL pada tambak Ruguk ini.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada tambak Ruguk serta Aquarev yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian ini, serta memberikan pendanaan pada penelitian ini. Ucapan terimakasih juga untuk semua pihak yang telah membantu berjalannya penelitian ini.

REFERENSI

- Agustang, Mulyani S, Indrawati E. 2021. Budidaya rumput laut potensi perairan Kabupaten Sinjai Sulawesi Selatan. Gowa: CV Berkah Utami. 77 hlm.
- Akmal, Elman A, Marwan, Mutmainna, Raharjo S. 2015. Penggunaan pupuk di grow terhadap pertumbuhan dan kualitas karaginan rumput laut *Kappaphycus* sp. *Journal Muhammadiyah University of Makassar*. 4(1): 327 - 336.
- 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*. 5(2): 88-96.
- Aubreu MH, Pereira R, Buschmann AH, Sousa-Pinto I, Yarish C. 2011. Nitrogen uptake responses of *Gracilaria vermiculophylla* (Ohmi) Papenfuss under combined and single addition of nitrate and ammonium. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 407(2): 190 - 199. doi: 10.1016/j.jembe.2011.06.034.
- Azizah MN, Rahman A, Balubi AM. 2018. Pengaruh jarak tanam bibit yang berbeda terhadap kandungan agar rumput laut (*Gracilaria verrucosa*) menggunakan metode *longline* di tambak. *Media Akuatika*. 3(1): 556-563.
- Azizah I, Rejeki S, Ariyati RW. 2018. Performa pertumbuhan udang windu (*Penaeus monodon*) yang dibudidayakan bersama rumput laut (*Gracilaria* sp.) dengan padat tebar yang berbeda menerapkan sistem *Integrated Multi-Throphis Aquaculture* (IMTA). *Jurnal Sains Akuakultur Tropis*. 2(2): 1-11.
- Badraeni, Azis HY, Tresnati J, Tuwo A. 2020. Seaweed *Gracilaria changii* as a bioremediator agent of ammonia, nitrite and nitrate in controlled tanks of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei*. *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*. 546. doi: 10.1088/1755-1315/564/1/012059.
- Boyd CE, Green BW. 2002. Coastal water quality monitoring in shrimp farming areas, an example from honduras. Consortium program on shrimp farming and the environment world bank, NACA, WWF and FAO. 29 hlm. https://library.enaca.org/Shrimp/Case/LatinAmerica/Honduras/FinalHondura_sWQ.pdf
- Boyd CE, Tucker CS, Somridhivej B. 2016. Alkalinity and hardness: critical but elusive concept in aquaculture. *Journal of the world aquaculture society*. 47(1): 6-41. doi: 10.1111/jwas.12241
- Carvahlo A, Costa LCO, Holanda M, Poersch LH, Turan G. 2023. Influence of total suspended solid on the growth of the sea lettuce *Ulva lactuca* integrated with the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in a bioflov system. *Fishes*. 8:163. doi: 10.3390/fishes8030163.
- Desanti IA, Pramesti R, Sunaryo. 2023. Pertumbuhan rumput laut *Gracilaria* sp. Dengan kepadatan berbeda pada

- air limbah pemeliharaan udang intensif. *Journal of Marine Research*. 12(1): 103–109. doi: 10.14710/jmr.v12i1.35054.
- Fanni NA, Rahayu AP, Prihatini ES. 2021. Produksi rumput laut (*Gracilaria verrucosa*) berdasarkan perbedaan jarak tanam dan bobot bibit di Tambak Desa Tlogosadang, Kecamatan Paciran, Kabupaten Lamongan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 26(2): 177–183.
- Geddie AW, Hall SG. 2019. The effect of salinity and alkalinity on growth and the accumulation of copper and zinc in the *Chlorophyta Ulva fasciata*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 172: 203–209. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.01.088.
- Ghosh P, Konar A, Dalal DD, Roy A, Chatterjee S. 2023. Phytoremediation technology: a review. *International Journal of Agriculture and Plant Science*. 5(1): 44 – 49.
- Gusman E, Oesama, Wiharyanto, D. 2024. Studi hubungan parameter kualitas air dengan kelimpahan bakteri di tambak tradisional udang windu (*Penaeus monodon*) di Pulau Tibi, Kalimantan Utara. *Samakia: Jurnal Ilmu Perikanan*. 15(2): 198 – 206. doi: 10.35316/jsapi.v15i2.6042.
- Handayani DR, Armid, Emiyarti. 2016. Hubungan kandungan nutrisi dalam substrat terhadap kepadatan lamun di perairan Desa Lalowaru Kecamatan Moramo Utara. *Sapa Laut*. 1(2): 42 – 53.
- Rahardjo S, Soepardjo AH, Djokosetiyanto D, Alamsyah AT. 2018. Seaweed utilization for phytoremediation of *Litopenaeus vannamei* shrimp farming waste in recirculation system (environmentally friendly design of sustainable shrimp culture). Dalam *Sustainable Future for Human Security: Environment and Resources* (Editor: Benjamin McLellan). Singapore: Springer. Pp 145-158. doi:10.1007/978-981-10-5430-3_12.
- Hasni, Mulyani S, Budi S. 2022. Pengaruh rumput laut terhadap peningkatan kualitas air limbah tambak udang intensif. *Journal of Aquaculture Environment*. 5(2):41-44. doi: 10.35965/jae.v5i2.2643.
- Hui G, Yao J, Sun Z, Duan D. 2014. Effect of temperature, irradiance on the growth of the green alga *Cauerpa lentillifera* (*Bryopsidophyceae, Chlorophyta*). *Journal of Applied Phycology*. 27: 879–885. doi: 10.1007/s10811-014-0358-7.
- Ihsan YN, Aprodita A, Rustikawati I, Pribadi TDK. 2015. Kemampuan *Gracilaria* sp. sebagai agen bioremediasi dalam menyerap logam berat Pb. *Jurnal Kelautan*. 8(1):10–18. doi: 10.21107/jk.v8i1.807.
- Izzati M. 2017. Total organic matter profile in shrimp-seaweeds polyculture system. *Advanced Science Letters*. 23(3):2361-2363. doi: 10.1166/asl.2017.8666
- Jannah RF, Ratnawati, Sunaryo, Widiasa IN. 2023. Performance of an aerated wastewater stabilization pond for the treatment of cultivation wastewater of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) grow-out ponds. *Reaktor*. 23(3):108-115. doi:10.14710/reaktor.23.3.105-115.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2004. *Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 28 tahun 2004 tentang Pedoman Umum Budidaya Udang di Tambak*.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2017. *Rancangan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia tahun 2017 tentang Pedoman Umum Budidaya Rumput Laut Kotoni (Eucheuma cottoni) dan Gracilaria (Glcilaria verrucosa)*.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2019. *Petunjuk Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah Pembesaran Udang*. <https://www.kkp.go.id/unit-kerja/djpb/publikasi/infografis-detail/instalasi-pengolahan-air-limbah-ipal65f945da329b7.html> diakses pada 1 Mei 2024.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2022. *Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia No. 15 tahun 2022 tentang Pedoman Umum Pengembangan Budidaya Udang Vaname (Litopenaeus vannamei) Berbasis Kawasan*.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2022. *Data Volume Produksi Perikanan Budidaya Pembesaran per Komoditas Utama (ton)*. https://statistik.kkp.go.id/home.php?m=prod_ikan_prov&i=2#panel-footer-kpda. Diakses pada 7 Juni 2024.

- Khatimah K, SompA A, Haerunnisa, Zaenab St. 2023. The potential of seaweed *Gracilaria* sp. an organic waste bioremediation agent. *International Journal of Applied Biology*. 7(1):15-25.
- Komarawidjaja W. 2005. Rumput Laut *Glacilaria* sp. sebagai Fitoremediasi Bahan Organik Perairan Tambak Budidaya. *Teknik Lingkungan P3TL-BPPT*. 6(2):410-415.
- Li J, Xu Y, Deng Y, Hu X, Su H, Wen G, Cao Y. 2025. Purification of intensive shrimp farming effluent by *Gracilaria* coupled with oysters. *Fishes*. 10(4):179. doi: 10.3390/fishes10040179.
- Masyahoro, Mappiratu. 2010. Respon Pertumbuhan pada Berbagai Kedalaman Bibit dan Umur Panen Rumput Laut *Euclidean cottoni* di Perairan Teluk Palu. *Media Litbang Suteng*. III(2):104-111.
- Mbaba KY, Lero OR, Wohangara MGL. 2024. Studi kualitas perairan budidaya rumput laut di Kabupaten Sumba Timur. *Kappa Journal*. 8(3): 451 – 456. doi: 10.29408/kpj.v8i3.128146.
- Mubarok AKU, Zainuri M. 2024. Efektivitas Rumput Laut (*Gracilaria* sp.) terhadap penurunan nilai kandungan amonia dari air limbah tambak udang di Socah Madura. *Juvenil – Jurnal Trunojoyo*. 5(1): 96–103. doi: 10.21107/juvenil.v5i1.24421.
- Noor NM. 2015. Analisis kesesuaian perairan Ketapang Lampung Selatan sebagai lahan budidaya rumput laut *Kappapycus alvarezii*. *MASPARI Journal*. 7(2): 91-100.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Kepala Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 1 tahun 2025 tentang Pengolahan Air Limbah Pertambakan Udang.
- Prasetiyono E, Bidayani E, Robin, Syaputra, D. 2022. Analisis Kandungan nitrat dan fosfat pada lokasi buangan limbah tambak udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) di Kabupaten Bangka Tengah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology Available*. 18(2): 73-79. doi:10.14710/ijfst.18.2.73-79.
- Rahim M, Rukmana MRA, Landu A, Asni. 2021. Budidaya udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) super intensif dengan padat tebar berbeda menggunakan sistem zero water discharge. *JFMR (Journal of Fisheries and Marine Research)*. 5(3):595-602.
- Raj R, Manju NK, Fazil TS, Chatterji NS, Anandan R, Mathew S. 2022. Seaweed and its role in bioremediation – a review. *Fishery Technology*. 59:147-153.
- Ridwan, Hadi F, Basra MS, Hirijal M. 2023. Profil dan kinerja instalasi pengolahan air limbah pada pembesaran udang vaname secara intensif. *Prosiding Seminar Nasional Dies Natalis ke-35 Politeknik Pertanian negeri Pangkajene Kepulauan*. 251 – 259.
- Romadhona B, Yulianto B, Sudarno. 2016. Fluktuasi kandungan amonia dan beban cemaran lingkungan tambak udang vaname intensif dengan teknik panen parsial dan panen total. *Jurnal Saintek Perikanan*. 11(2): 84-93. doi:10.14710/ijfst.11.2.84-93.
- Royan MR, Solim MH, Santanumurti MB. 2019. Ammonia-eliminating potential of *Gracilaria* sp. and zeolite: a preliminary study of the efficient ammonia eliminator in aquatic environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. pp. 1-9. doi :10.1088/1755-1315/236/1/012002
- Setiyorini, Yasa NS, Purwanto J, Prabowo WT, Putra AAMS. 2022. Potensi padatan tersuspensi (TSS) limbah budidaya udang vaname (*L. vannamei*) sistem biofloc sebagai sumber bahan baku pakan alternatif. *Jurnal Universitas Mataram*. 2(2): 109 – 120. Doi: 10.29303/jfn.v2i2.1985.
- Suhendar DT, Zaidy AB, Sachoemar SI. 2020. Profil oksigen terlarut, total padatan tersuspensi, amonia, nitrat, fosfat dan suhu pada tambak intensif udang vanamei. *Jurnal Akuatek*. 1(1): 1-11. doi:10.24198/akuatek.v1i1.26679.
- Supriyono E, Soelistyowati DT, Adiyana K, Thesiana L. 2022. The effects of alkalinity on production performance and biochemical responses of spiny lobster *Panulirus homarus* reared in a recirculating aquaculture system. *The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh*. doi: 10.46989/001c.38426.
- Susanto AB, Siregar R, Hanisah, Faisal TM, 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.
- Syah R, Fahrur M, Suwoyo HS, Makmur. 2017. Performansi instalasi pengolah air limbah tambak superintensif. *Media Akuakultur*. 12(2): 95-103.
- Syah R, Makmur, Fahrur M. 2017. Budidaya udang vanname dengan padat penebaran tinggi. *Media Akuakultur*. 12(1):19-26. doi:10.15578/ma.12.1.2017.19-26.
- Trianti CM, Adharini RI. 2020. The utilization of *Gracilaria verrucosa* as shrimp ponds wastewater biofilter. *E3S Web of Conferences*. 147. doi: 10.1051/e3sconf/202014702023.
- Ullah MR, Islam MA, Khan ABS, Bosu A, Yasmin F, Hasan MM, Islam MM, Rahman MA, Mahmud Y. 2023. Effect of stocking density and water depth on the growth and production of red seaweed, *Gracilaria tenuistipitata* in the Kuakata coast of Bangladesh. *Aquaculture Reports*. doi: 10.1016/j.aqrep.2023.101509.
- Watson SB, Whitton BA, Higgins SN, Paerl H W, Brooks BW, Wehr JD. 2015. Harmful algal blooms. Dalam *Freshwater Algae of North America* (Editor: Wehr J, Sheath R, Kociolek JP). Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-385876-4.00020-7.
- Wasieliesky W, Atwood H, Stokes A, Browdy CL. 2006. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 258(1): 396 – 403.
- Wibowo AH. 2017. Kebijakan pengendalian Limbah Tambak dengan IPAL Communal. Direktorat Kawasan dan Kesehatan Ikan. Jakarta: Direktorat Jendral Perikanan Budidaya, Kementerian Kelautan dan Perikanan. 17 hlm
- Widowati LL, Prayitno SB, Rejeki S, Elfitasari T, Purnomo PW, Ariyati RW, Bosma RH. 2021. Organic matter reduction using four densities of seaweed (*Gracilaria verucosa*) and green mussel (*Perna viridis*) to improve water quality for aquaculture in Java, Indonesia. *Aquatic Living Resources*. 34(5). doi: 10.1051/alr/2021002.
- Yulianto H, Damai AA, Delis PC, Elisdiana Y. 2017. Spatial analysis to evaluate the suitability of seaweed farming site in Lampung Bay, Indonesia. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 17:1253-1261. doi: 10.4194/1303-2712-v17_6_18.
- Zulfarino R, Spanto PI. 2023. Studi peningkatan alkalinitas air pada budidaya udang vaname dengan metode kincir air di Desa Cepokorejo Kecamatan Palang Kabupaten Tuban. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*. 8(2): 1371-1377.