



Pengaruh Fosfat (PO_4) Alami Tambak pada Pertumbuhan Rumput Laut *Gracilaria verrucosa* di Sulawesi Selatan

Effect of Natural Pond Phosphate (PO_4) on the Growth of *Gracilaria verrucosa* in South Sulawesi, Indonesia

Patahiruddin¹, Fachri Kurnia Bhakti B²✉

¹ Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan, Universitas Andi Djemma, Palopo, Indonesia 91911

² Agrobisnis Perikanan, Fakultas Perikanan, Universitas Alkhairaat, Palu, Indonesia 94221

✉ Info Artikel:

Diterima: 29 Juni 2025

Revisi: 02 September 2025

Disetujui: 16 September 2025

Dipublikasi: 01 November 2025

📖 Kata Kunci:

Gracilaria verrucosa, Fosfat Alami, Pertumbuhan Biomassa, Budidaya Rumput Laut, Substrat Tambak

✉ Penulis Korespondensi:

Fachri Kurnia Bhakti B

Agrobisnis Perikanan, Fakultas Perikanan, Universitas Alkhairaat, Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia 94221

Email:

fachribhakti@gmail.com



This is an open access article under the [CC-BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license.

Copyright © 2025 by Authors.

Published by Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan Universitas Maritim Raja Ali Haji.

ABSTRAK. *Gracilaria verrucosa* merupakan salah satu jenis rumput laut ekonomis penting yang dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan agar. Dalam budidayanya, pertumbuhan *G. verrucosa* sangat dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara, khususnya fosfat, yang berperan sebagai nutrisi esensial dalam ekosistem perairan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kadar fosfat alami yang terdapat pada substrat dan kolom air tambak terhadap laju pertumbuhan *G. verrucosa* di tiga wilayah budidaya yang berbeda, yaitu Kecamatan Suli dan Kecamatan Ponrang di Kabupaten Luwu, serta Kecamatan Wara Timur di Kota Palopo, Provinsi Sulawesi Selatan. Penanaman dilakukan dengan kepadatan bibit sebesar 150 gram per meter persegi. Pengambilan data dilakukan selama satu siklus budidaya selama 45 hari, dengan empat kali pengambilan sampel pada tiga tambak representatif yang mencerminkan kondisi umum lokasi penelitian. Data yang dikumpulkan mencakup parameter lingkungan, konsentrasi fosfat alami, dan pertumbuhan biomassa rumput laut. Penelitian ini memiliki signifikansi dalam mendukung pengembangan teknologi budidaya berbasis potensi lokal, sekaligus memberikan kontribusi terhadap pemahaman hubungan antara kondisi lingkungan perairan dan produktivitas *G. verrucosa*. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat menjadi dasar perumusan strategi peningkatan produksi rumput laut berkelanjutan yang relevan dengan aspek sosial dan kearifan lokal di wilayah pesisir Sulawesi Selatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan tertinggi fosfat di substrat terdapat di Kecamatan Suli dengan rerata kandungan sebesar 13,24 mg/L dan laju pertumbuhan biomassa *G. verrucosa* juga yang tertinggi dengan rerata laju pertumbuhan sebesar 3,3 %/hari dengan padat penebaran 150 gr/m². Kondisi ekologis tambak budidaya yang memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan biomassa *G. verrucosa* adalah fosfat di substrat.

ABSTRACT. *Gracilaria verrucosa* is an economically important species of seaweed widely utilized as a raw material for agar production. In aquaculture, the growth of *G. verrucosa* is strongly influenced by the availability of nutrients, particularly phosphate, which plays a vital role as an essential nutrient in aquatic ecosystems. This study aims to evaluate the effect of natural phosphate concentrations in both pond substrate and water column on the growth rate of *G. verrucosa* across three distinct cultivation areas: Suli and Ponrang subdistricts in Luwu Regency, and Wara Timur subdistrict in Palopo City, South Sulawesi Province. Seedlings were planted at a density of 150 grams per square meter. Data were collected over a 45-day cultivation cycle, with sampling conducted four times across three representative ponds that reflect the general conditions of each cultivation area. Collected data included environmental parameters, natural phosphate concentrations, and biomass growth of the seaweed. This research is significant in supporting the development of locally adapted aquaculture technologies and contributes to a better understanding of the relationship between environmental conditions and *G. verrucosa* productivity. The findings are expected to inform strategies for sustainable seaweed production that align with local socio-cultural values in coastal South Sulawesi. The results showed that the highest phosphate concentration in the substrate was recorded in Suli Subdistrict, with an average of 13.24 mg/L, and this area also exhibited the highest biomass growth rate of *G. verrucosa*, averaging 3.3% per day at the planting density of 150 g/m². The ecological condition most significantly affecting *G. verrucosa* biomass growth was the phosphate content in the pond substrate.

📖 How to cite this article:

Patahiruddin, & Bhakti B., F. K. B. (2025). Pengaruh Fosfat (PO_4) Alami Tambak pada Pertumbuhan Rumput Laut *Gracilaria verrucosa* di Sulawesi Selatan. *Jurnal Akuatiklestari*, 9(1), 85-95. <https://doi.org/10.31629/akuatiklestari.v9i1.7391>

1. PENDAHULUAN

Rumput laut *Gracilaria verrucosa* merupakan salah satu komoditas penting dalam budidaya perairan, terutama di wilayah pesisir Indonesia. Selain bernilai ekonomis tinggi, *G. verrucosa* juga berperan dalam menjaga keseimbangan ekosistem tambak. Pertumbuhan *G. verrucosa* ini sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, termasuk ketersediaan unsur hara di perairan (Saputro *et al.*, 2021). Salah satu unsur hara makro yang penting adalah fosfor dalam bentuk fosfat, yang berperan dalam proses metabolisme, pembelahan sel, dan pembentukan jaringan baru pada *G. verrucosa* (Anwar, 2023). Dalam praktik budidaya, pemberian pupuk buatan seperti fosfat anorganik sering dilakukan untuk meningkatkan produktivitas. Namun, penggunaan pupuk kimia secara berlebihan dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan perairan. Oleh karena itu, pemanfaatan fosfat alami, khususnya yang berasal dari sedimen atau endapan tambak, menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

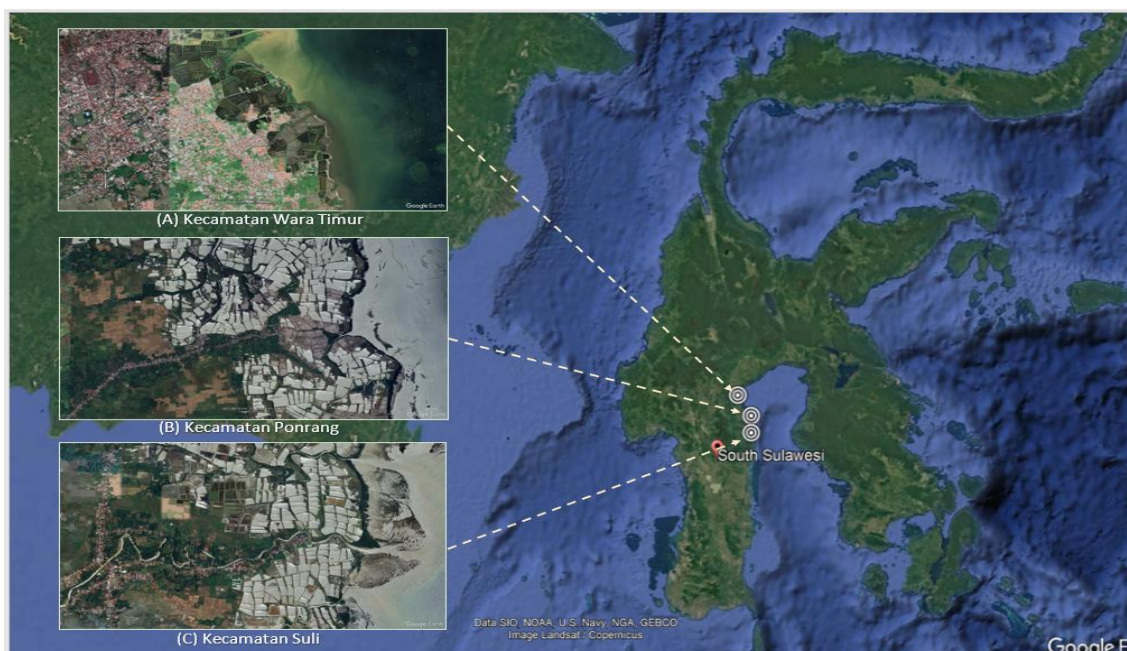
Fosfat alami tambak mengandung senyawa fosfor dalam bentuk terikat yang dapat dilepaskan secara perlahan ke dalam kolom air, sehingga dapat dimanfaatkan oleh organisme budidaya (Sari *et al.*, 2022) seperti *G. verrucosa*. Namun, efektivitas dan pengaruh fosfat alami ini terhadap pertumbuhan *G. verrucosa* masih belum banyak dikaji secara ilmiah. Penelitian mengenai pemanfaatan fosfat alami di substrat tambak dan di perairan tambak yang diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi budidaya *G. verrucosa* yang berkelanjutan dan efisien dengan menggunakan sumber daya lokal.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kandungan fosfat alami pada media tambak terhadap pertumbuhan *Gracilaria verrucosa*, serta mengidentifikasi kadar fosfat optimal yang mendukung peningkatan pertumbuhan rumput laut di masing-masing lokasi budidaya. Dengan memahami hubungan antara kandungan fosfat dan performa pertumbuhan, diharapkan dapat diterapkan metode budidaya yang sesuai dengan karakteristik lingkungan setempat. Pendekatan ini bertujuan untuk mengoptimalkan hasil produksi rumput laut secara berkelanjutan, mendukung pencapaian target produksi nasional, serta meningkatkan kesejahteraan petani rumput laut di Kecamatan Suli dan Ponrang, Kabupaten Luwu, serta Kecamatan Wara Timur, Kota Palopo, Provinsi Sulawesi Selatan.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Waktu dan Tempat

Pengumpulan data dilakukan secara bertahap selama periode Februari hingga Desember 2020. Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di tiga lokasi budidaya rumput laut yang berada di Kecamatan Suli dan Kecamatan Ponrang, Kabupaten Luwu, serta Kecamatan Wara Timur, Kota Palopo, Provinsi Sulawesi Selatan. Pemilihan lokasi dilakukan secara purposif dengan mempertimbangkan variasi laju pertumbuhan *G. verrucosa* yang dinilai representatif terhadap kondisi umum kawasan budidaya di wilayah tersebut. Peta lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Kecamatan Wara Timur Kota Palopo, Kecamatan Ponrang dan Kecamatan Suli Kabupaten Luwu, Provinsi Sulawesi Selatan

2.2. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi spektrofotometer untuk analisis laboratorium, handrefraktometer untuk mengukur salinitas, pH meter untuk mengukur tingkat keasaman air, serta DO meter untuk mengukur kadar oksigen terlarut. Selain itu, digunakan juga botol flakon untuk penyimpanan sampel air, plastik sampel untuk pengambilan dan pengangkutan sampel substrat, serta perlengkapan lapangan seperti patok, tali, meteran, kertas

lakmus, dan waring untuk keperluan pemeliharaan dan pembatasan area budidaya. Adapun bahan utama dalam penelitian ini terdiri atas bibit *G. verrucosa* yang diperoleh dari tambak budidaya di sekitar lokasi penelitian, serta sampel tanah (substrat) dan air tambak yang digunakan untuk analisis kandungan fosfat alami.

2.3. Teknik Pengumpulan Data

Jenis data yang dikumpulkan dalam penelitian disajikan pada Tabel 1, terdiri dari data pokok dan penunjang (komponen data, jenis data, cara pengumpulan data, dan analisis data).

Tabel 1. Jenis dan Cara Pengumpulan Data

No	Komponen Data	Jenis Data	Cara Pengambilan Data		Analisa Data
			Primer	Sekunder	
1	Kondisi umum lokasi	Penunjang	Observasi	Studi literatur	Deskriptif
2	Kandungan fosfat substrat	Pokok	Langsung		Analisis Laboratorium
3	Kandungan fosfat air	Pokok	Langsung		Analisis Laboratorium
4	Parameter fisika kimia air	Penunjang	Langsung		Deskriptif kualitatif
5	Alternatif pelaksanaan budidaya dan pengembangan	Penunjang	Observasi		Deskriptif kualitatif

2.4. Analisis Laboratorium

Analisis laboratorium dilakukan untuk mengukur kandungan fosfat dalam sampel tanah dan air yang diambil dari lokasi budidaya. Dua metode utama digunakan dalam penelitian ini:

a. Analisis Fosfat Tanah (Metode Olsen)

Metode Olsen digunakan untuk menentukan kandungan fosfat yang tersedia dalam sampel tanah berukuran kurang dari 2 mm. Sebanyak 1,0 gram sampel tanah dimasukkan ke dalam botol kocok, kemudian ditambahkan 20 ml larutan pengekstrak Olsen, yang efektif digunakan terutama pada tanah dengan pH > 5,5, termasuk tanah masam. Campuran tersebut dikocok selama 30 menit untuk mengekstraksi fosfat. Selanjutnya, 2 ml ekstrak dipindahkan ke tabung reaksi, ditambah dengan 10 ml pereaksi pewarna fosfat, dikocok hingga homogen, dan dibiarkan selama 30 menit. Absorbansi larutan diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 693 nm untuk menentukan konsentrasi fosfat tanah.

b. Analisis Fosfat Air (Metode Stannous Chloride)

Metode Stannous Chloride digunakan untuk mengukur kadar fosfat terlarut dalam sampel air. Dalam medium asam, *ortofosfat* bereaksi dengan *ammonium molybdate* membentuk kompleks *ammonium phosphomolybdate*. Kompleks ini kemudian direduksi menggunakan pereaksi reduksi sehingga menghasilkan warna biru yang intensitasnya berbanding lurus dengan konsentrasi fosfat dalam larutan. Intensitas warna biru ini diukur secara spektrofotometrik sebagai indikator kadar fosfat.

2.5. Analisis Data

2.5.1. Analisis Deskriptif

Data deskriptif dikumpulkan melalui survei lapangan untuk mengidentifikasi potensi hasil budidaya *G. verrucosa* dan memproyeksikan target produksi di Kecamatan Suli dan Kecamatan Ponrang, Kabupaten Luwu, serta Kecamatan Wara Timur, Kota Palopo, Provinsi Sulawesi Selatan.

2.5.2. Analisis Kuantitatif

Pertumbuhan *G. verrucosa* selama masa budidaya dihitung menggunakan metode laju pertumbuhan harian (*Specific Growth Rate*, SGR) berdasarkan rumus dari Jauncey & Rose (1982), yang diadaptasi dalam [Andreyan et al. \(2021\)](#):

$$SGR = \frac{\ln Wt - \ln Wo}{t} \times 100\%$$

Dimana:

- SGR : Laju pertumbuhan harian (% per hari)
 Wt : Berat tanaman pada akhir pemeliharaan (gram)
 Wo : Berat tanaman pada awal pemeliharaan (gram)
 t : Lama waktu pemeliharaan (hari)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Laju Pertumbuhan Rumpuk Laut *G. verrucosa*

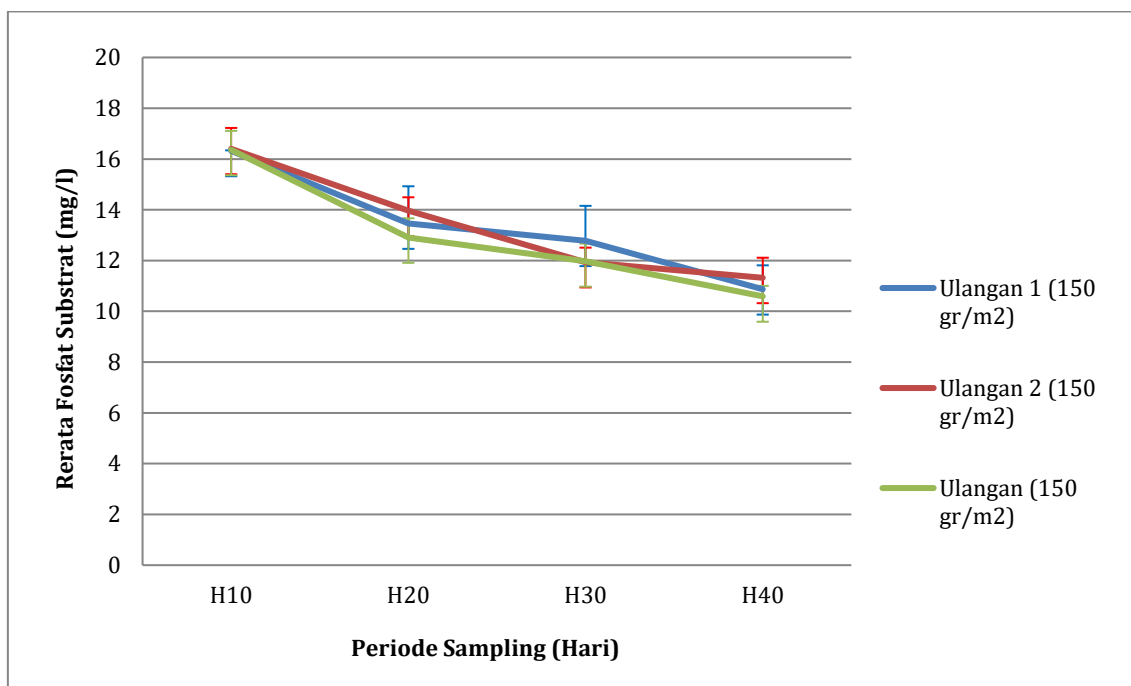
Fosfat merupakan unsur hara makro esensial yang sangat dibutuhkan oleh tanaman ([Larasati et al., 2018](#)), termasuk rumpuk laut *G. verrucosa*. Fosfat pada *G. verrucosa* berperan dalam proses fotosintesis, metabolisme energi, dan pembentukan jaringan baru. Di tambak, fosfat dapat berasal dari berbagai sumber alami seperti endapan organik, sisa pakan, lumpur dasar, maupun proses dekomposisi bahan organik. Keberadaan fosfat alami dalam tambak terbukti dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi dalam kolom air maupun di substrat tempat menempelnya *G. verrucosa* ([Halid &](#)

Patahiruddin, 2020b). Dalam tambak budidaya, *G. verrucosa* cenderung lebih responsif terhadap unsur hara yang tersedia secara bertahap dan stabil, seperti fosfat yang dilepaskan secara perlahan dari endapan sedimen. Hasil pengukuran dan pengamatan di tiga lokasi penelitian menunjukkan bahwa kandungan fosfat alami di subtrak tambak berbeda-beda di tiap lokasi penelitian dan kandungannya cukup besar yang disajikan pada Tabel 2.

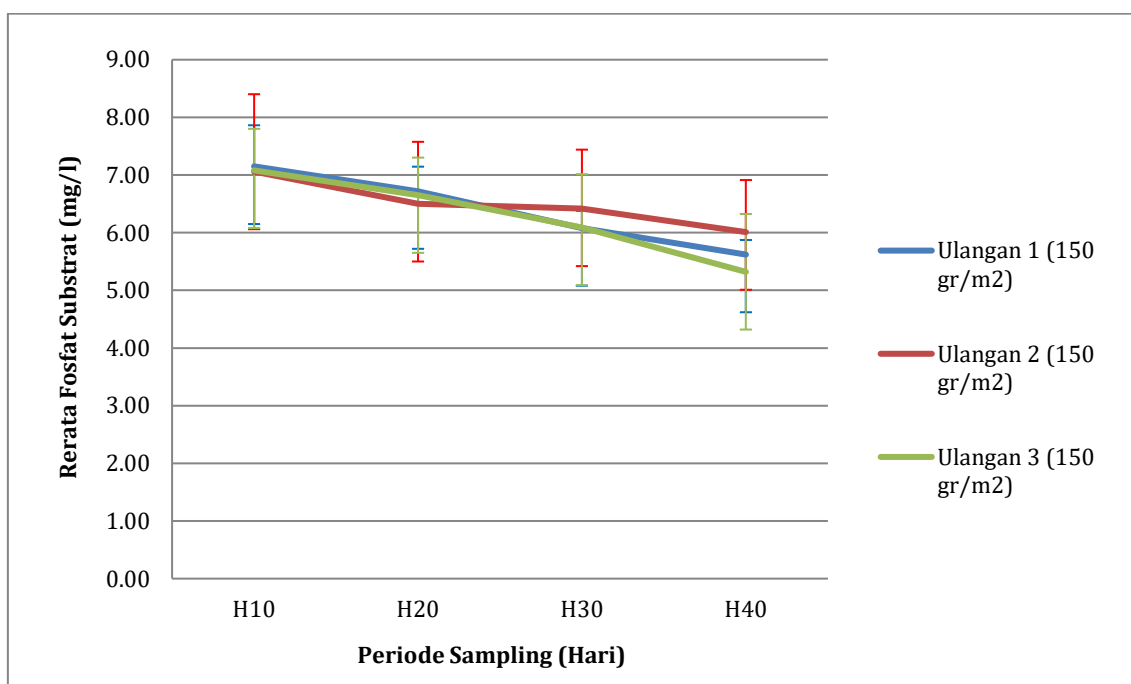
Tabel 2. Rerata Laju Pertumbuhan *G. verrucosa*

No	Lokasi Penelitian (Sulawesi-Selatan)	Rerata Kandungan Fosfat Substrat (mg/L)
1	Suli Pantai, Kecamatan Suli, Kabupaten Luwu	13,24
2	Muladimeng, Kecamatan Ponrang, Kabupaten Luwu	6,38
3	Labombo, Kecamatan Wara Timur, Kota Palopo	3,21

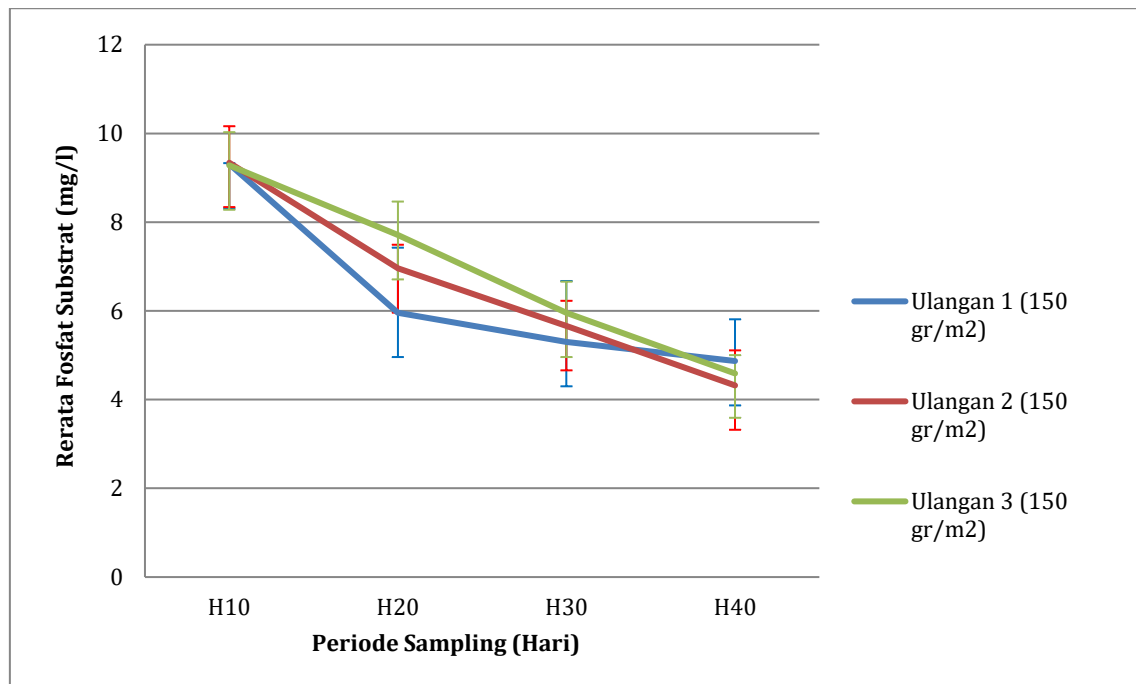
Hasil penelitian yang disajikan pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa terjadi penurunan jumlah kandungan fosfat pada setiap pengambilan sampel pada selang waktu 10 hari sekali. Sementara kandungan fosfat di perairan sangat rendah dan tidak dapat terdeteksi dengan alat ukur yang digunakan.



Gambar 2. Grafik Penurunan Kandungan Fosfat di Kecamatan Suli



Gambar 3. Grafik Penurunan Kandungan Fosfat di Kecamatan Ponrang



Gambar 4. Grafik Penurunan Kandungan Fosfat di Kecamatan Wara Timur

Hasil pengukuran dan pengamatan di lokasi penelitian menunjukkan bahwa tambak dengan kandungan fosfat substrat alami yang cukup tinggi di Kecamatan Suli (rerata 13,24 mg/L) menunjukkan peningkatan pertumbuhan biomassa *G. verrucosa* lebih tinggi dibandingkan dengan tambak yang berada di Kecamatan Ponrang, Kabupaten Luwu dan Kecamatan Wara Timur, Kota Palopo yang memiliki kadar fosfat lebih rendah. Ciri-ciri pertumbuhan *G. verrucosa* yang baik (Agustang *et al.*, 2021) ditunjukkan oleh peningkatan bobot basah rumput laut secara konsisten setiap pengambilan sampel, warna *thallus* *G. verrucosa* yang lebih coklat kehitaman cerah, menandakan kondisi fisiologis yang lebih baik, dan struktur *G. verrucosa* yang lebih tegak dan padat, mengindikasikan pertumbuhan optimal.

Namun, pada tambak dengan kadar fosfat yang tinggi (lebih dari 10 mg/L), ditemukan adanya gangguan pada pertumbuhan seperti *thallus* menjadi lebih kaku, serta munculnya ganggang kompetitor atau *biofouling* yang dapat mengganggu pertumbuhan *G. verrucosa*. Laju pertumbuhan *G. verrucosa* yang baik adalah 3 %/hari (Halid & Patahiruddin, 2020a), yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rerata Laju Pertumbuhan *G. verrucosa*

No	Lokasi Penelitian (Sulawesi-Selatan)	Laju Pertumbuhan (%/Hari)
1	Suli Pantai, Kecamatan Suli, Kabupaten Luwu	3,3
2	Muladimeng, Kecamatan Ponrang, Kabupaten Luwu	2,2
3	Labombo, Kecamatan Wara Timur, Kota Palopo	3,2

3.2. Pengaruh Fosfat Alami di Substrat Tambak

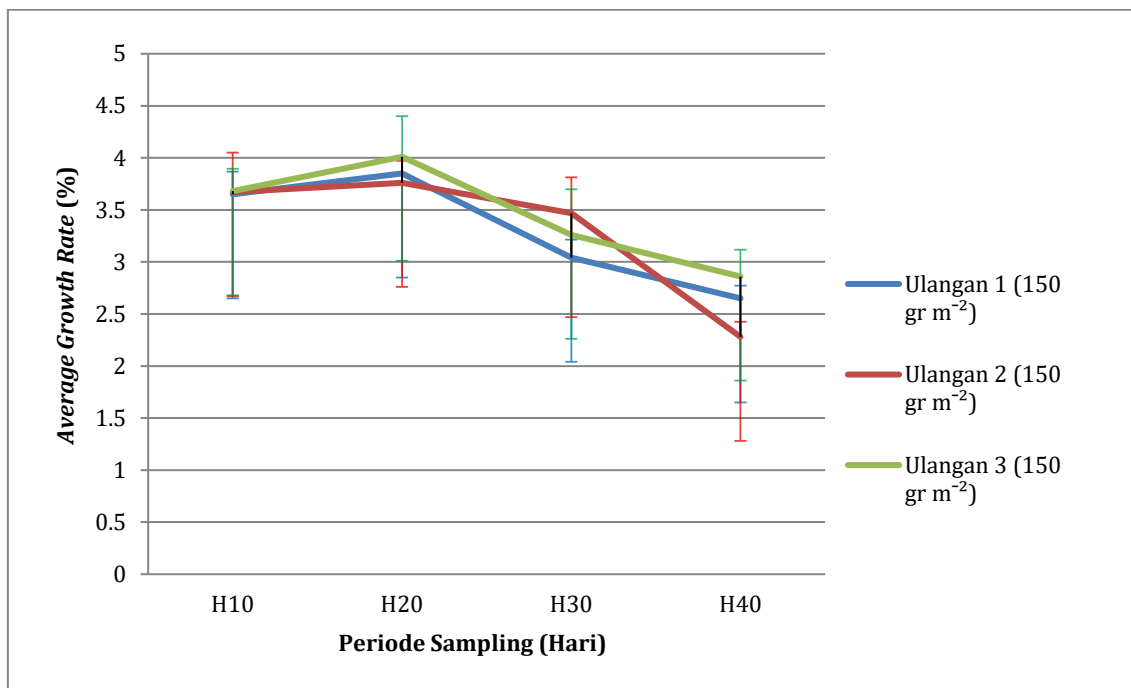
G. verrucosa merupakan salah satu jenis rumput laut yang dapat mengalami pertumbuhan optimal di perairan yang dangkal, termasuk tambak (Putri *et al.*, 2023). Pada kegiatan budidaya yang dilakukan di tambak, metode budidaya *G. verrucosa* yang umum diterapkan menggunakan metode dasar yaitu menempatkan *G. verrucosa* di substrat tambak (dasar tambak) (Nuraini *et al.*, 2022). Kondisi substrat tambak, terutama lumpur atau sedimen, memberikan peran penting sebagai tempat akumulasi dan pelepasan unsur hara, termasuk fosfat alami. Fosfat dalam substrat ini umumnya berasal dari bahan organik terurai, sisa pakan, ekskresi organisme akuatik, atau bahkan dari peluruhan biota dasar. Adapun mekanisme pengaruh fosfat alami di substrat (Asril *et al.*, 2023) terhadap pertumbuhan *G. verrucosa*, yaitu:

- Sumber nutrisi jangka panjang
Fosfat di substrat tambak bertindak sebagai cadangan nutrisi yang dilepaskan secara perlahan ke kolom air melalui proses difusi dan mineralisasi mikroba. Hal ini akan menciptakan kondisi nutrisi yang lebih stabil dan berkelanjutan bagi pertumbuhan *G. verrucosa*, dan akan berbeda dengan pupuk anorganik yang cepat larut dan habis.
- Meningkatkan ketersediaan fosfor dalam air tambak
Pada substrat yang kaya fosfat seperti di tiga lokasi penelitian, maka fosfat akan melepaskan ion fosfat (PO₄³⁻) ke air tambak yang miskin fosfat sehingga dapat meningkatkan konsentrasi fosfor yang tersedia secara biologis, dan mempercepat proses metabolisme dan pertumbuhan sel *G. verrucosa*.
- Interaksi dengan mikroorganisme

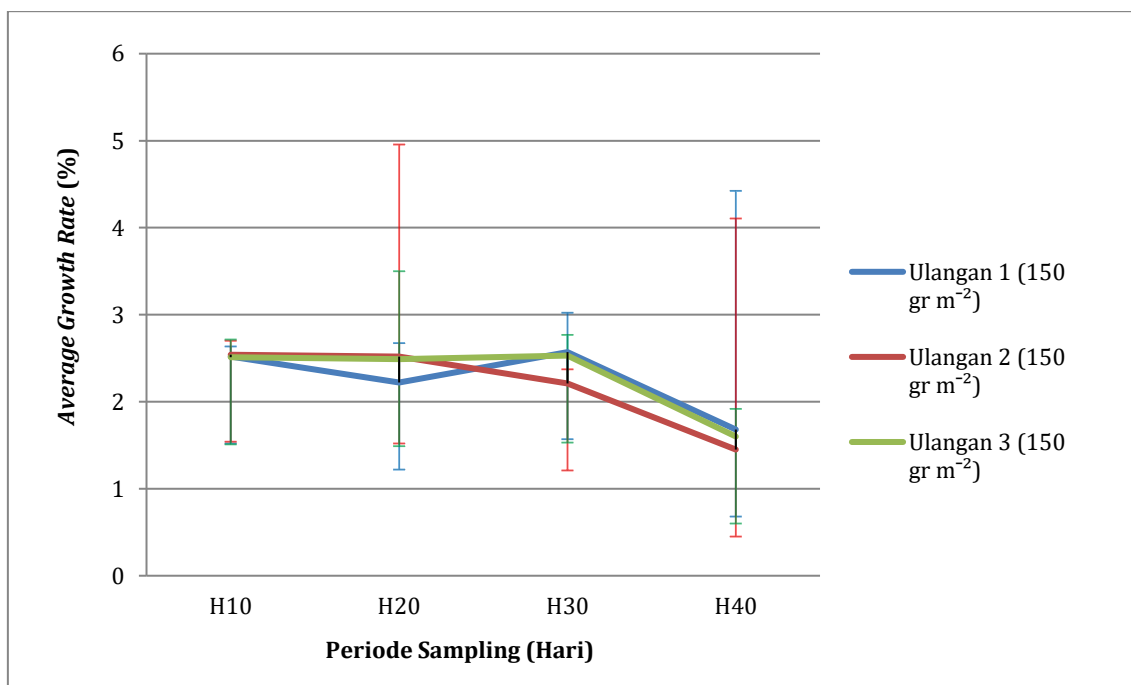
Fosfat dalam substrat juga berperan dalam mendukung pertumbuhan mikroorganisme seperti bakteri pelarut fosfat (*phosphate-solubilizing bacteria*/PSB), yang dapat membantu meningkatkan ketersediaan hara bagi pertumbuhan *G. verrucosa*

d. Efek terhadap struktur dan warna *thallus*

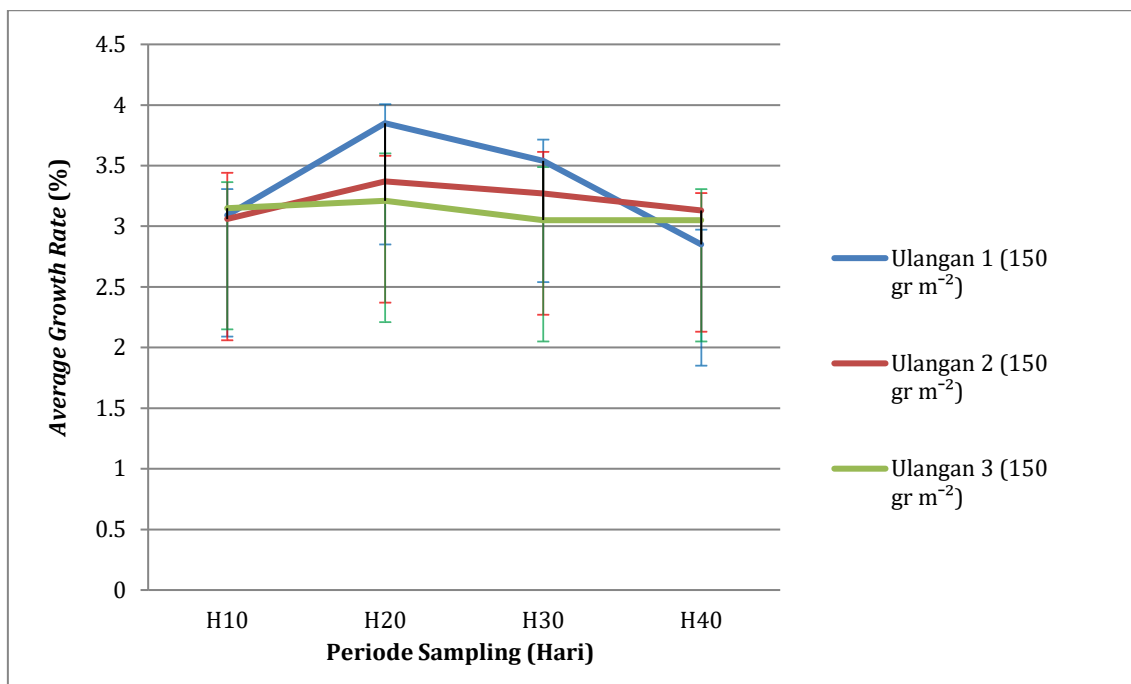
Rumput laut yang tumbuh pada tambak dengan substrat kaya fosfat menunjukkan struktur *thallus* yang lebih kokoh, warna coklat kehitaman yang lebih segar, dan laju pertumbuhan harian yang lebih tinggi. Pola laju pertumbuhan *G. verrucosa* akan menurun seiring dengan bertambahnya umur *G. verrucosa*, seperti disajikan pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.



Gambar 5. Grafik Laju Pertumbuhan *G. verrucosa* di Kecamatan Suli



Gambar 6. Grafik Laju Pertumbuhan *G. verrucosa* di Kecamatan Ponrang



Gambar 7. Grafik Laju Pertumbuhan *G. verrucosa* di Kecamatan Wara

3.3. Hasil Observasi Fosfat di Substrat Tambak

Berdasarkan pengamatan dari tambak-tambak dengan variasi kandungan fosfat alami (Flatian *et al.*, 2018) di substrat:

- Tambak dengan substrat yang kaya fosfat alami (sekitar 10–20 mg/L) menunjukkan:
 - Pertumbuhan *Gracilaria* lebih cepat ($\text{SGR} > 3\%/ \text{hari}$).
 - Thallus* lebih padat dan tidak mudah putus.
 - Kadar agar lebih tinggi.
- Tambak dengan substrat miskin fosfat alami ($< 5 \text{ mg P/kg}$ sedimen) menunjukkan:
 - Pertumbuhan lambat dan warna *thallus* pucat.
 - Biomassa akhir lebih rendah.
 - Kerentanan lebih tinggi terhadap biofouling atau kompetitor seperti *cyanobacteria*.

3.4. Pengaruh Fosfat Alami di Perairan Tambak

Fosfat alami dalam sistem budidaya tambak, keberadaannya dalam kolom air sangat menentukan laju pertumbuhan dan produktivitas *G. verrucosa* karena unsur ini terlibat langsung dalam proses fisiologis seperti pembelahan sel, fotosintesis, dan sintesis protein (Darmawati *et al.*, 2023). Hasil pengukuran fosfat alami di perairan yang tidak dapat terdeteksi karena konsentrasinya sangat rendah. Hal tersebut tidak terlalu memengaruhi pertumbuhan biomassa *G. verrucosa* karena kebutuhan fosfat disuplai dari substrat tambak. Fosfat alami di perairan tambak dapat berasal dari, yaitu: dekomposisi bahan organik (sisa pakan, kotoran ikan/udang), remineralisasi oleh mikroorganisme, pelapukan sedimen dasar, dan pemasukan dari air pasang surut atau sungai (input eksternal). Adapun mekanisme pengaruh fosfat terlarut terhadap pertumbuhan *G. verrucosa* (Halid & Patahiruddin, 2020a), yaitu:

- Ketersediaan langsung untuk fotosintesis dan metabolisme
Fosfat yang berada dalam bentuk terlarut (seperti ortofosfat) di kolom air tersedia langsung bagi *G. verrucosa* untuk diserap melalui permukaan *thallus*. Ketersediaan yang cukup akan mempercepat laju fotosintesis dan pertumbuhan jaringan baru (Purwanti *et al.*, 2024).
- Meningkatkan laju pertumbuhan spesifik (SGR)
Dalam konsentrasi optimum (0,5–2,0 mg/L), fosfat alami perairan dapat meningkatkan SGR *G. verrucosa* hingga 2,5–3,5% per hari, tergantung faktor pendukung lainnya (cahaya, suhu, salinitas) (Sari *et al.*, 2012).
- Mendukung warna dan tekstur *thallus*
G. verrucosa yang tumbuh di perairan tertutup (Zainuddin & Nofianti, 2022) dengan kandungan fosfat cukup biasanya memiliki warna coklat kehitaman cerah dan struktur yang kuat, mencerminkan kondisi fisiologis yang sehat.
- Risiko jika fosfat terlalu tinggi
Kandungan fosfat yang berlebihan ($> 3 \text{ mg/L}$) dapat menimbulkan eutrofikasi ringan, yang memicu pertumbuhan mikroalga atau *cyanobacteria* (fitoplankton liar) dan bersaing dengan *G. verrucosa* untuk cahaya, nutrient, dan ruang. Hal ini dapat mengurangi pertumbuhan atau bahkan menurunkan kualitas hasil panen *G. verrucosa*.

3.5. Hasil Observasi Fosfat di Perairan Tambak

Temuan di lokasi penelitian menunjukkan bahwa fosfat alami yang terlarut dalam perairan tambak tidak berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan *G. verrucosa*. Dalam jumlah yang cukup, fosfat di substrat menunjang pertumbuhan optimal dan peningkatan biomassa. Namun, jika kadarnya berlebihan akan dapat menimbulkan gangguan ekologis yang merugikan budidaya *G. verrucosa* (Desanti *et al.*, 2023). Oleh karena itu, pemantauan dan pengelolaan kualitas air, khususnya kadar fosfat, sangat penting dalam sistem budidaya *G. verrucosa* tambak. Strategi seperti pergantian air yang teratur, manajemen input organik, dan penggunaan biofilter alami (kerang, tanaman air) dapat membantu menjaga keseimbangan fosfat di kolom air tambak.

Keberadaan fosfat alami terlarut di tambak, tidak memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan *G. verrucosa*. Fosfat yang ada di substrat berperan penting dalam proses fotosintesis dan pembelahan sel, yang mendukung akumulasi biomassa. Peningkatan laju pertumbuhan di Kecamatan Suli menunjukkan bahwa fosfat alami di substrat dapat dimanfaatkan secara efektif oleh *G. verrucosa* untuk mendukung pertumbuhan vegetatifnya, walaupun demikian, di Kecamatan Ponrang, Kabupaten Luwu dan Kecamatan Wara Timur, Kota Palopo terjadi penurunan kandungan fosfat substrat dibandingkan di Kecamatan Suli, Kabupaten Luwu. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh ketiadaan fosfat terlarut di perairan yang menyebabkan ketidakseimbangan nutrisi atau berkurangnya efisiensi penyerapan oleh *G. verrucosa* melalui *thallus*. Selain itu, kadar fosfat yang terlalu tinggi, akan dapat mengganggu keseimbangan ekosistem mikro pada media budidaya (Prasetyono *et al.*, 2022), seperti memicu pertumbuhan alga liar atau bakteri yang bersaing dengan *G. verrucosa*. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa dosis optimum fosfat alami di perairan tambak dalam meningkatkan pertumbuhan *G. verrucosa* adalah pada konsentrasi 1,0 g/L (Halid & Patahiruddin, 2020b). Ini menunjukkan potensi fosfat alami sebagai sumber hara alternatif yang ramah lingkungan dibandingkan pupuk kimia, asalkan digunakan dalam dosis yang tepat.

3.6. Kualitas Air Pendukung Pertumbuhan

Selain fosfat, pertumbuhan *G. verrucosa* di tambak dipengaruhi (Fanni *et al.*, 2021; Rahim *et al.*, 2024) oleh, yaitu:

- Salinitas dan suhu: Kadar optimal untuk *G. verrucosa* berkisar 20–30 ppt dan suhu 26–30°C.
- Kecerahan air: Ketersediaan cahaya sangat penting untuk fotosintesis.
- Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu faktor penting dalam kehidupan alga laut
- Ketersediaan unsur hara lain: Nitrat dan kalium juga berperan dalam pertumbuhan optimal. Aerasi dan sirkulasi air tambak yang baik akan mendukung distribusi hara yang merata.

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Parameter Pendukung Pertumbuhan *G. verrucosa*

No	Parameter	Area Kecamatan	Satuan	Pengamatan Hari Ke-				Referensi Pemandang
				10	20	30	40	
1	Salinitas	Suli	ppt	27	30	30	30	20-30 (Anton, 2017)
		Ponrang		27	30	30	27	
		Wara		28	29	30	30	
2	Suhu	Suli	°C	33,5	32,5	33	33,5	25-30 (Purwanti, 2024)
		Ponrang		33,0	33,5	33,1	32,5	
		Wara		32,5	33,5	32,5	32	
3	pH air	Suli	-	8,3	8,5	8,7	8,5	6-7,8 (Rahim, 2024)
		Ponrang		6,6	6,8	6,8	6,8	
		Wara		7,1	7,2	6,7	7,1	
4	pH tanah	Suli	-	7,7	7,9	7,8	7,8	6-7 (Rahim, 2024)
		Ponrang		6,6	6,5	6,5	6,5	
		Wara		6,9	6,5	7	6,9	
5	DO	Suli	ppm	5,12	5	4,57	4,72	3-8 (Nuraeni, 2022)
		Ponrang		3,56	3,47	3,34	3,25	
		Wara		4,1	3,91	3,95	3,5	
6	Intensitas Cahaya	Suli	$\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$	959	961	949	936	400-4750 (Malika, 2017)
		Ponrang		881	886	883	837	
		Wara		885	879	893	886	

Salinitas merupakan salah satu parameter kualitas air yang cukup berpengaruh pada organisme hewan dan tumbuhan yang hidup di perairan laut. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa selama penelitian berlangsung, kisaran salinitas di tiga area berbeda, yaitu 20–30 ppt (*part per thousand*)., hal ini tdk memberi indikasi negatif dan sesuai pendapat (Anton, 2017) menyatakan bahwa salinitas yang baik untuk pertumbuhan *G. verrucosa* berkisar antara 20–25 ppt dan yang optimum adalah berkisar antara 20–30 ppt. Rentang salinitas optimal untuk pertumbuhan *G. verrucosa* umumnya berada di kisaran 15–30 ppt. Di luar rentang ini, pertumbuhan *G. verrucosa* dapat melambat atau bahkan terganggu. Apabila salinitas rendah (<15 ppt) akan dapat menyebabkan stres *osmotic*, penyerapan nutrisi terganggu karena perubahan tekanan *osmotik* sel, dan pertumbuhan menjadi lambat, dan risiko serangan penyakit meningkat. Sedangkan jika salinitas tinggi (>30 ppt) maka dapat menyebabkan stres *osmotic*, sel tanaman bisa kehilangan air (*plasmolisis*), sehingga fotosintesis dan metabolisme terganggu, dan pertumbuhan berkurang dan bahkan bisa mati jika terlalu ekstrem (Andreyan *et al.*, 2021). Pada salinitas 20–25 ppt, *G. verrucosa* menunjukkan pertumbuhan harian tertinggi (Anton, 2017).

Salinitas 10 ppt atau 35 ppt menyebabkan penurunan pertumbuhan signifikan. Perubahan salinitas yang tiba-tiba juga berdampak lebih buruk daripada perubahan secara bertahap. Monitoring salinitas sangat penting, terutama pada musim hujan (salinitas bisa turun drastis). Sistem pengelolaan air (misalnya pencampuran air laut dan air tawar) perlu diterapkan untuk menjaga kestabilan salinitas.

Rumput laut *G. verrucosa* merupakan tanaman *eurythermal* yang dapat tumbuh pada kisaran suhu 5-30°C dengan suhu optimum bervariasi dengan spesies. Hasil pengukuran suhu menunjukkan bahwa kisaran suhu selama penelitian di tiga area berbeda, yaitu berada di kisaran 32-33,5°C. Suhu optimal untuk pertumbuhan *G. verrucosa* adalah antara 25-30°C (Purwanti *et al.*, 2024). Pada rentang suhu ini, laju fotosintesis dan pembelahan sel berjalan paling efisien, sehingga pertumbuhan maksimum tercapai. Apabila suhu rendah (<20°C) maka proses metabolisme dan fotosintesis melambat, pertumbuhan menjadi lambat karena enzim-enzim bekerja kurang efisien, dan *G. verrucosa* menjadi lebih rentan terhadap patogen. Sedangkan apabila suhu tinggi (>32°C), maka aktivitas enzim mulai terganggu dan bisa menyebabkan denaturasi protein, terjadi stres termal: kehilangan air, kerusakan jaringan, dan jika terlalu tinggi (misalnya >35°C), pertumbuhan bisa berhenti dan menyebabkan kematian. Produksi *G. verrucosa* tertinggi terjadi pada bulan-bulan hangat dan pertumbuhan lambat terjadi selama musim dingin. *G. verrucosa* tumbuh paling cepat pada suhu 28°C dalam media air dengan salinitas seimbang. Suhu di atas 32°C atau di bawah 20°C menghambat laju pertumbuhan harian secara signifikan (Waode Munaeni *et al.*, 2024). Kombinasi antara suhu optimal dan pencahayaan yang cukup menghasilkan akumulasi biomassa yang tinggi. Pemantauan suhu air secara rutin penting, terutama pada siang hari saat suhu bisa melonjak. Pada musim kemarau, suhu tambak dapat meningkat signifikan, maka penggunaan sistem sirkulasi air atau pemberian naungan (misalnya jaring) bisa membantu menstabilkan suhu. Selain itu, kedalaman tambak juga memengaruhi suhu. Tambak yang lebih dalam cenderung memiliki suhu yang lebih stabil. Kisaran suhu yang tinggi selama penelitian, tidak memberikan indikasi negatif terhadap pertumbuhan *G. verrucosa*, hal tersebut dibuktikan dengan pertumbuhan *G. verrucosa* yang cukup baik di area Kecamatan Suli.

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu faktor penting dalam kehidupan alga laut, sama halnya dengan faktor-faktor lainnya (Eka Yuliana, 2022). pH air merupakan kondisi kimia air yang berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan rumput laut. Data hasil pengukuran pH air di tiga lokasi berbeda selama penelitian berada di kisaran 6,6-8,7. Data hasil pengukuran pH tanah berada di kisaran 6,5-7,9. Kondisi pH di semua area penelitian relatif stabil dan berada pada kisaran normal dalam mendukung kehidupan dan pertumbuhan *G. verrucosa*. pH optimal untuk pertumbuhan *G. verrucosa* adalah pH 7,0 - 8,5 (20). Rentang ini mendukung stabilitas enzim, efisiensi fotosintesis, dan ketersediaan nutrisi (terutama nitrogen dan fosfor). pH Rendah (<6,5) akan menyebabkan lingkungan menjadi terlalu asam, aktivitas enzim dan proses fotosintesis terganggu, nutrisi penting (seperti nitrat dan fosfat) menjadi kurang tersedia, dan risiko toksisitas logam berat meningkat (karena logam seperti Al, Fe, Mn larut lebih mudah dalam pH rendah). Sedangkan apabila pH Tinggi (>9), maka lingkungan terlalu basa dan akan menurunkan ketersediaan nutrisi esensial, dapat menyebabkan presipitasi nutrisi, seperti fosfat, yang mengurangi penyerapan oleh rumput laut, dan fotosintesis dapat terganggu karena perubahan keseimbangan karbon anorganik (CO₂ tersedia lebih sedikit). Beberapa studi menunjukkan bahwa *G. verrucosa* mengalami pertumbuhan terbaik pada pH 7,5-8,0 dan pH di bawah 6,5 atau di atas 9,0 menyebabkan penurunan laju pertumbuhan harian dan menurunkan kandungan agar. Pemantauan pH harian penting, terutama pada tambak dengan fluktuasi suhu dan intensitas cahaya tinggi. pH bisa berubah sepanjang hari: naik saat siang karena fotosintesis (menyerap CO₂), turun saat malam karena respirasi. Penambahan kapur pertanian (dolomit atau kalsit) bisa digunakan untuk menstabilkan pH jika terlalu asam dan aerasi juga bisa membantu menjaga keseimbangan pH dan oksigen terlarut.

Oksigen terlarut (DO) merupakan salah satu faktor yang sangat penting pada kolom air, karena kelarutan oksigen memengaruhi kesetimbangan kimia air laut dan juga dalam kehidupan organisme air untuk pernapasannya. DO berasal dari difusi udara dan hasil fotosintesis organisme berklorofil yang hidup dalam suatu perairan dan dibutuhkan oleh organisme untuk mengoksidasi zat hara yang masuk ke dalam tubuhnya. Hasil pengukuran DO di tiga area penelitian berada di kisaran 3,25-5,12 mg/L. Kadar DO ideal untuk pertumbuhan *G. verrucosa* berada pada kisaran 5-8 mg/L (Nuraini *et al.*, 2022). Pada kadar ini, proses respirasi dan fotosintesis berlangsung optimal dan lingkungan tambak stabil dan mendukung pertumbuhan alga serta organisme lain (seperti ikan atau udang, jika sistemnya polikultur). Apabila DO rendah (<3 mg/L), maka oksigen terlarut tidak mencukupi untuk respirasi optimal dan metabolisme sel terganggu, pertumbuhan melambat, fotosintesis menurun karena sel kekurangan energi, dan bisa menyebabkan fermentasi anaerobik yang menghasilkan produksi senyawa toksik seperti amonia dan sulfida yang akan memperburuk kondisi lingkungan. Sedangkan apabila DO sangat tinggi (>10 mg/L) dan biasanya terjadi saat fotosintesis sangat tinggi di siang hari (terutama pada hari cerah). Maka tidak akan berbahaya secara langsung bagi *G. verrucosa*, tapi dapat menyebabkan supersaturasi dan ketidakseimbangan pH dan fluktuasi DO yang tajam antara siang dan malam bisa menimbulkan stres. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan terbaik saat DO stabil di atas 5 mg/L, terutama jika diiringi dengan pencahayaan dan suhu optimal. Tambak dengan aerasi atau sirkulasi air cenderung memiliki pertumbuhan *G. verrucosa* lebih baik dibanding tambak yang stagnan. Sumber oksigen terlarut di perairan dapat berasal dari difusi oksigen yang terdapat di atmosfer (35%) dan aktivitas fotosintesis oleh tumbuhan air dan fitoplankton. (Purwanti *et al.*, 2024) menyatakan bahwa kondisi oksigen terlarut yang optimal dibutuhkan *G. verrucosa* berkisar antara 3-4,8 ppm.

Hasil pengukuran intensitas cahaya di tiga area berbeda berkisar antara 837-961 µmol photons/m²/s. Intensitas cahaya di lokasi penelitian jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan pernyataan (Malika, 2017) bahwa *G. verrucosa* berkembang baik pada intensitas cahaya 400 µmol photons/m²/s. Pertumbuhan beberapa *algae* mempunyai toleransi tertentu terhadap intensitas cahaya, pertumbuhan *G. verrucosa* memerlukan intensitas cahaya yang relatif tinggi,

intensitas cahaya yang maksimum untuk pertumbuhan *G. verrucosa* adalah 4750 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s.lux}$. Cahaya digunakan oleh kloroplas dalam *G. verrucosa* untuk mengubah CO_2 dan air menjadi glukosa dan oksigen. Intensitas cahaya yang tepat akan meningkatkan laju fotosintesis dan mempercepat pembentukan biomassa. Intensitas cahaya optimal untuk *G. verrucosa* berada di kisaran 100 – 400 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$. Di tambak terbuka, cahaya alami matahari umumnya cukup, namun bisa terlalu kuat atau terlalu lemah tergantung musim, kedalaman, dan kekeruhan air. Apabila intensitas cahaya rendah ($<100 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$) maka fotosintesis menjadi terbatas sehingga produksi energi rendah, akibatnya, yaitu: pertumbuhan melambat, jaringan menjadi pucat, dan kualitas agar menurun. Sedangkan apabila cahaya berlebih ($>500 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$), bisa menyebabkan fotoinhibisi: cahaya berlebih merusak sistem fotosintesis dan mengakibatkan stres oksidatif dan kerusakan jaringan. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa *G. verrucosa* tumbuh paling cepat pada intensitas cahaya sedang ($\sim 200\text{--}300 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$), dengan peningkatan berat basah harian mencapai maksimum (Yusran *et al.*, 2021). Penelitian juga menunjukkan bahwa fluktuasi cahaya yang terlalu ekstrem (terlalu terang siang, terlalu gelap malam) dapat menyebabkan stres fisiologis.

4. SIMPULAN

Kandungan tertinggi fosfat alami di substrat tambak terdapat di Kecamatan Suli Kabupaten Luwu sebesar 13,32 mg/L. dan berperan positif dalam menunjang laju pertumbuhan *G. verrucosa* sebesar 3,3%/hari. Agar fosfat alami berperan dalam menunjang pertumbuhan maka penerapan pengelolaan sedimen tambak yang baik perlu dilakukan, seperti pengolahan dasar tambak dan pengendalian limbah organik, dapat menjadi sumber fosfat alami yang berkelanjutan. Penggunaan fosfat alami di substrat juga sejalan dengan prinsip budidaya berkelanjutan dan ramah lingkungan, mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia sintetis. Fosfat alami yang terdapat di substrat tambak memiliki pengaruh positif terhadap pertumbuhan *G. verrucosa*. Kandungan fosfat yang cukup tinggi dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi, mempercepat metabolisme *G. verrucosa*, dan meningkatkan hasil biomassa. Oleh karena itu, pengelolaan substrat melalui pengolahan dasar tambak, rotasi budidaya, atau penambahan bahan organik alami seperti kompos atau pupuk kandang terfermentasi akan dapat menjadi strategi penting dalam meningkatkan produktivitas budidaya *G. verrucosa* secara berkelanjutan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan bagi pengembangan budidaya rumput laut *G. verrucosa* di daerah setempat dan mendukung pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan. Kami menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung dan berperan aktif dalam pelaksanaan kegiatan penelitian ini, khususnya:

1. Masyarakat pemilik tambak di Kecamatan Suli, Kecamatan Ponrang, dan Kecamatan Wara, atas kesediaan dan partisipasi aktifnya dalam menyediakan lokasi penelitian serta mendukung pelaksanaan kegiatan di lapangan.
2. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Andi Djemma Palopo, atas fasilitasi, dukungan teknis, dan koordinasi yang sangat membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.
3. Lembaga Pendanaan Penelitian Dosen Pemula (PDP), yang telah memberikan dana dan dukungan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.
4. Tim Pelaksana PDP, yang telah bekerja dengan penuh dedikasi dan profesionalisme dalam melaksanakan seluruh rangkaian kegiatan penelitian mulai dari persiapan hingga pelaporan.

6. REFERENSI

- Agustang, Mulyani, S., & Indrawati, E. (2021). *Budidaya Rumput Laut Potensi Perairan Kabupaten Sinjai Sulawesi Selatan*. Pustaka Almajida. Gowa, Sulawesi Selatan.
- Andreyan, D., Rejeki, S., Ariyati, R. W., Widowati, L. L., & 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. *Sains Akuakultur Tropis*, 5(2), 88–96. <https://doi.org/10.14710/sat.v5i2.7282>
- Anton, A. (2017). Pertumbuhan dan Kandungan Agar Rumput Laut (*Gracilaria* spp) pada Beberapa Tingkat Salinitas. *Jurnal Airaha*, 6(2), 054–064. <https://doi.org/10.15578/ja.v6i2.70>
- Anwar, N. M. (2023). *Pengaruh Pupuk Urea dan SP-36 Terhadap Kandungan Protein dan Rasio N:P pada Talli Rumput Laut Gracilaria verrucosa (Hudson) Papenfuss, 1950 yang Dibudidayakan Secara Outdoor*. [Skripsi]. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Asril, M., Lestari, W., Basuki, Sanjaya, M. F., Firgiyanto, R., Manguntungi, B., Sudewi, S., Swandi, M. K., Paulina, M., & Kunusa, W. R. (2023). *Mikroorganisme Pelarut Fosfat pada Pertanian Berkelanjutan*. Yayasan Kita Menulis. Medan.
- Darmawati, P., Sutinah, Ode, I., Setyono, B. D. H., Laheng, S., Muhtahidah, T., Sari, Y. P., Putri, I. W., Abidin, Z., Sukendar, W., Sulthoniyah, S. T. M., Yusuf, M. A., Suci, A. N. N., Manda, A. B., Abdullah, A., & Setyaka, V. Editor: Hamid, N., & Dewi, A. R. S. (2023). *Kiat Agribisnis Rumput Laut Tohar Media*. Tohar Media. Makassar.
- Desanti, I. A., Pramesti, R., & Sunaryo, S. (2023). Pertumbuhan *Gracilaria* sp. dengan Kepadatan Berbeda Pada Air Limbah Pemeliharaan Udang Intensif. *Journal of Marine Research*, 12(1), 103–109. <https://doi.org/10.14710/jmr.v12i1.35054>
- Yuliana, E. (2022). *Pertumbuhan dan Kualitas Rumput Laut Gracilaria verrucosa dengan Jarak Ikatan Berbeda di Tambak Udang Supra Intensif*. [Skripsi]. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Flatian, A. N., Slamet, S., & Citraresmini, A. (2018). Pelarutan Tiga Jenis Fosfat Alam oleh Fungi Pelarut Fosfat Solubilization of Three Rock Phosphates by Phosphate-Solubilizing Fungi. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 42(2), 83–90.
- Halid, I., & Patahiruddin. (2020a). Teknik Budidaya Rumput Laut (*Gracilaria verrucosa*) di Tambak Budidaya Kota Palopo Sulawesi

- Selatan. *Jurnal Dinamika Pengabdian*, 5(2), 286-294. <https://doi.org/10.20956/jdp.v5i2.10145>
- Halid, I., & Patahiruddin, P. (2020b). Teknik Penggunaan Pupuk Fosfat Terhadap Rumput Laut (*Gracilaria verrucosa*) di Tambak Budidaya Lakawali Kabupaten Luwu Timur Sulawesi Selatan. *RESONA: Jurnal Ilmiah Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 64-71. <https://doi.org/10.35906/resona.v3i2.355>
- Larasati, E. D., Rukmi, M. I., Kusdiyantini, E., & Ginting, R. C. B. (2018). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Tanah Gambut. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi*, 20(1), 1-8. <https://doi.org/10.14710/bioma.20.1.1-8>
- Malika, A. S. (2017). *Pengaruh Intensitas Cahaya Berbeda Terhadap Pertumbuhan, Kandungan Agar dan Kekuatan Gel Gracilaria verrucosa*. [Skrripsi]. Universitas Brawijaya. Malang.
- Fanni, N. A., Rahayu, A. P., & Prihatini, E. S. (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. <https://doi.org/10.18343/jipi.26.2.177>
- Nuraini, H., Rejeki, S., Amalia, R., Widowati, L. L., & Wisnu, R. (2022). Pengaruh Perbedaan Metode Budidaya dan Asal Bibit Terhadap Pertumbuhan *Gracilaria verrucosa* yang Dibudidayakan di Tambak Desa Tambakbulusan Kecamatan Sayung Kabupaten Demak. *Sains Akuakultur Tropis*, 6(1), 88-95. <https://doi.org/10.14710/sat.v6i1.12575>
- Prasetyono, E., Bidayani, E., Robin, R., & 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*, 18(2), 73-79. <https://doi.org/10.14710/ijfst.18.2.73-79>
- Purwanti, A., Budi, S., & Mulyani, S. (2024). Tanam Yang Berbeda Growth of *Gracilaria Verrucosa* Seaweed with Different Planting Spatial Variations. 7(1), 1-5. <https://doi.org/10.35965/jae.v7i1.5250>
- Putri, P. A., Romadhon, & Rianingsih, L. (2023). Pengaruh Air Kelapa Dan Penggunaan Suhu Yang Berbeda Terhadap Karakteristik Fisik Agar-Agar Kertas Rumput Laut (*Gracilaria verrucosa*). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan*, 5(1), 19-25. <https://doi.org/10.14710/jitpi.2023.14638>
- Rahim, A. R., Firmani, U., & Utami, D. R. (2024). Model Optimasi Kualitas Dan Pertumbuhan Rumput Laut *Gracilaria verrucosa* (*Gracilariaceae: Gracilariales*) di Tambak Ekstensif. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 14(1), 28-37. <https://doi.org/10.33512/jpk.v14i1.25488>
- Saputro, D., Susilowati, T., & Ariyati, R. W. (2021). Pengaruh Kedalaman Air Dan Jarak Tanam Terhadap Pertumbuhan Dan Kandungan Agar *Gracilaria Verrucosa* Dengan Metode Longline Di Tambak. *Jurnal Sains Akuakultur Tropis : Indonesian Journal of Tropical Aquaculture*, 5(1), 70-79. <https://doi.org/10.14710/sat.v5i1.5766>
- Sari, A. P., Sunaryo, S., & Djunaedi, A. (2012). Pengaruh Perbedaan Lama Perendaman dalam Larutan Pupuk Fosfat Terhadap Pertumbuhan Rumput Laut *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss di Pertambakan Desa Wonorejo, Kaliwungu-Kendal. *Journal of Marine Research*, 1(2), 98-102. <https://doi.org/10.14710/jmr.v1i2.2025>
- Sari, R. S., Wulandari, S. Y., Maslukah, L., Kunarso, K., & Wirasatriya, A. (2022). Konsentrasi Ion Fosfat di Perairan Wiso, Ujungbatu, Jepara. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(1), 88-95. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i1.13233>
- Munaeni, W., Agam, B., Tarigan, N., Hamka, M. S., Saridu, S. A., Huda, J. M. A., Purnamasari, T., Rumondang, A., Suriyadin, A., Wulan, W. O. S., Fadilah, S., Septiana, S., Setyono, B. D. H., Sumiarsih, S., Nurhayati, D., & Irawan, H. (2024). *Teknologi Akuakultur*. PT. Kamiya Jaya Aquatic. Ternate.
- Yusran, Y., Cinnawara, H. T., & Syarifuddin, M. (2021). Laju Pertumbuhan Rumput Laut *Eucheuma Cottoni* Dengan Bobot Bibit Berbeda Menggunakan Jaring Trawl Dan Long Line. *Fisheries Of Wallacea Journal*, 2(1), 10-19. <https://doi.org/10.55113/fwj.v2i1.630>
- Zainuddin, F., & Nofianti, T. (2022). Pengaruh Nutrient N Dan P Terhadap Pertumbuhan Rumput Laut Pada Budidaya Sistem Tertutup. *Jurnal Perikanan Unram*, 12(1), 119-127. <https://doi.org/10.29303/jp.v12i1.279>