

**PERTUMBUHAN DAN KUALITAS RUMPUT LAUT  
SERTA PERANNYA DALAM BIOREMEDIASI LIMBAH  
TAMBAK UDANG INTENSIF**

**SEAWEED GROWTH AND QUALITY AND ITS ROLE IN  
BIOREMEDIATION OF INTENSIVE SHRIMP POND EFFLUENT**



**MUHAMMAD SYAHRIR**

**L 013191019**



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU PERIKANAN  
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2024**

**SEAWEED GROWTH AND QUALITY AND ITS ROLE IN  
BIOREMEDIATION OF INTENSIVE SHRIMP POND EFFLUENT**

**MUHAMMAD SYAHRIR**

**L 013191019**



**DOCTORAL PROGRAM IN FISHERIES SCIENCE  
FACULTY OF MARINE SCIENCE AND FISHERIES  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**PERTUMBUHAN DAN KUALITAS RUMPUT LAUT  
SERTA PERANNYA DALAM BIOREMEDIASI LIMBAH  
TAMBAK UDANG INTENSIF**

Disertasi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar doktor

Program Studi Doktor Ilmu Perikanan

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD SYAHRIR**

L 013191019

kepada

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU PERIKANAN  
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**SEAWEED GROWTH AND QUALITY AND ITS ROLE IN  
BIOREMEDIATION OF INTENSIVE SHRIMP POND EFFLUENT**

Dissertation

as one of the requirements for achieving a doctoral degree

Doctoral Program In Fisheries Science

Prepared and submitted by

MUHAMMAD SYAHRIR

L 013191019

to

**DOCTORAL PROGRAM IN FISHERIES SCIENCE  
FACULTY OF MARINE SCIENCE AND FISHERIES  
HASANUDDIN UNIVERSITY  
MAKASSAR**

**2024**

**DISERTASI**  
**PERTUMBUHAN DAN KUALITAS RUMPUT LAUT**  
**SERTA PERANNYA DALAM BIOREMEDIASI LIMBAH**  
**TAMBAK UDANG INTENSIF**


**MUHAMMAD SYAHRIR**  
**L 013191019**

telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Doktor pada tanggal  
14 Juni 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

Program Studi Doktor Ilmu Perikanan  
Fakultas Ilmu Kelautan Dan Perikanan  
Universitas Hasanuddin  
Makassar

Mengesahkan  
Promotor,



Prof. Dr. Ir. Radjuddin Syamsuddin, M.Sc  
NIP. 19531209 198103 1 003

Ko-promotor 1,



Prof. Dr. Ir. Haryati Tandil Payuk, M.Si  
NIP. 19540509 198103 2 001

Ko-promotor 2,



Ir. Dody Dh. Trijuno, M.App.Sc Ph.D  
NIP. 19640503 198903 1 004

Ketua Program Studi,  
Doktor Ilmu Perikanan



Prof. Dr. Ir. Musbir, M.Sc  
NIP. 19650810 198903 1 001



Dekan,  
Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan



Prof. Safruddin, S.Pi., MP., Ph.D  
NIP. 19750611 200312 1 003

## DISSERTATION

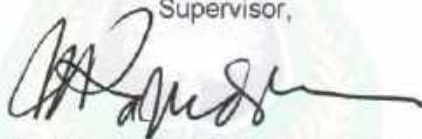
SEAWEED GROWTH AND QUALITY AND ITS ROLE IN  
BIOREMEDIATION OF INTENSIVE SHRIMP POND EFFLUENT

**MUHAMMAD SYAHRIR**  
L 013191019

The dissertation has been examined and defended in front of the Dissertation  
Examination Committee on 14 Juni 2024 and declared eligible

Approved by

Supervisor Commission,  
Supervisor,



Prof. Dr. Ir. Radjuddin Syamsuddin, M.Sc  
NIP. 19531209 198103 1 003

Co-supervisor 1<sup>st</sup>,



Prof. Dr. Ir. Haryati Tandi Payuk, M.si  
NIP. 19540509 198103 2 001

Co-supervisor 2<sup>nd</sup>,



Ir. Dody Dh. Trijuno, M.App.Sc Ph.D  
NIP. 19640503 198903 1 004

Head of Study Program,  
Doctoral In Fisheries Science



Prof. Dr. Ir. Musbir, M.Sc  
NIP. 19650810 198903 1 001

Dean,  
Faculty of Marine Science and Fisheries



Prof. Safruddin, S.Pi., MP., Ph.D  
NIP. 19750611 200312 1 003

## PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, disertasi berjudul "Pertumbuhan Dan Kualitas Rumput Laut Serta Perannya Dalam Bioremediasi Limbah Tambak Udang Intensif" adalah benar karya saya dengan arahan dari tim pembimbing Prof. Dr. Ir.Radjuddin Syamsuddin, M.Sc sebagai Promotor dan Prof. Dr.Ir.Haryati Tandi Payuk,M.si sebagai co-promotor-1 serta Ir.Dody Dh Trijuno,M.App.Sc Ph.D sebagai co-promotor-2. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian dari isi disertasi ini telah dipublikasikan di Jurnal internasional terindex scopus: Journal of Ecological Engineering, JEE 2024, 25 ( 1 ), 108 -118 Doi : <http://dx.doi.org/10.12911/22998993/174179>. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa disertasi ini kepada Universitas Hasanuddin.



Makassar, 04-Juli-2024

MUHAMMAD SYAHRIR  
NIM L 013191019

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan disertasi ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi dan arahan Bapak Prof. Dr. Ir. Radjuddin Syamsuddin, M.Sc sebagai Promotor dan Ibu Prof. Dr. Ir. Haryati Tandi Payuk, M.Si sebagai co-promotor-1 serta Bapak Ir. Dody Dh Trijuno, M.App.Sc Ph.D sebagai co-promotor-2. Saya mengucapkan berlimpah terima kasih kepada mereka. Penghargaan yang tinggi juga saya sampaikan kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Khusnul Yaqin, M.Sc., Ibu Dr. Ir. Hasni Azis, M.Si., Ibu Dr. Ir. Sinta Werorilangi, M.Si, dan Ibu Dr. Ir. Badraeni Djamaluddin, MP. yang telah bersedia menyetujui sebagai penguji internal, serta Bapak Dr. Muhammad Hery Riyadi Alauddin, S.Pi., M.Si., sebagai penguji eksternal dalam disertasi Penulis. Penulis mengucapkan terima kasih atas kesediaan dan kontribusi Bapak-Bapak dan Ibu-Ibu dalam menilai dan memperkaya hasil penelitian ini.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Bapak Prof. Syafruddin, M.Sc, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin, dan Bapak Prof. Dr. Ir. Musbir, M.Sc., selaku Ketua Program Studi S3 Ilmu Perikanan Universitas Hasanuddin serta para dosen dan rekan-rekan dalam tim penelitian.

Kepada kedua orang tua tercinta Ayahanda Basirung Dg Tutu (Almarhum) dan Ibunda Tercinta Djimang Dg Djipa ( Almarhumah ) yang telah melahirkan dan membesarkan serta selalu memberikan doa restu sepanjang hidup mereka kepada Penulis, sehingga Penulis dapat mengenyam dan menyelesaikan tingkat pendidikan pada level ini. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada isteri tercinta Hj. Kartini Khalid, SKM, M.Kes serta anak-anak tercinta Insan Maulana S.Pi, Dian Ekawati, S.Pi dan drg. Insani Gunawati, SKG, yang telah memberikan dorongan baik moril maupun material kepada Penulis dalam menyelesaikan disertasi ini.

Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada semua saudara, ipar, dan kemenakan yang telah memberikan dorongan dan doa dalam menyelesaikan pendidikan, seluruh civitas akademika Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone, terkhusus kepada Bapak Dr. Muhammad Hery Riyadi Alauddin, S.Pi., M.Si., dan Ibu Dra. Ani Lailani, M.Si yang selalu mendorong Penulis untuk secepatnya menyelesaikan studinya, seluruh civitas akademika Universitas Hasanuddin, terutama rekan-rekan sejawat pada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan 2019 dan semua pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian dan penyelesaian tulisan ini yang belum disebutkan satu persatu. Akhirnya, semoga disertasi ini bermanfaat bagi pembaca.

Penulis,

Muhammad Syahrir



## ABSTRAK

MUHAMMAD SYAHRIR. **Pertumbuhan Dan Kualitas Rumput Laut Serta Perannya Dalam Bioremediasi Limbah Tambak Udang Intensif** dibimbing oleh Rajuddin Syamsuddin, Haryati Tandipayuk dan Dody Dharmawan Trijuno.

**Latar belakang.** Budidaya udang intensif menghasilkan peningkatan pendapatan, tetapi juga menghasilkan limbah yang dapat memberikan dampak lingkungan terhadap perairan sekitarnya. Disisi lain rumput laut dapat memanfaatkan limbah tambak sebagai sumber unsur hara dalam pertumbuhannya. Penelitian ini mengkaji efektivitas bioremediasi rumput laut dalam mengolah limbah tambak udang intensif di Indonesia, dengan fokus khusus pada tiga spesies rumput laut: *K. alvarezii*, *G. verrucosa*, dan *E. spinosum*. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi spesies rumput laut yang mampu menyerap unsur hara berlebih—khususnya nitrogen, fosfor, TSS, dan BOT—dari limbah yang berpotensi menyebabkan eutrofikasi dan degradasi ekosistem perairan secara efektif. **Metode.** Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pada 3 perlakuan dan 3 ulangan. Penelitian ini dibagi empat tahap, yakni: 1) analisis unsur hara dalam limbah tambak udang intensif; 2) bioremediasi limbah tambak udang oleh rumput laut; 3) kandungan klorofil a dan karotenoid rumput laut *K. alvarezii*, *G. verrucosa*, dan *E. spinosum*; dan 4) pertumbuhan dan kandungan karagenan rumput laut *K. alvarezii*, *E. spinosum* dan kandungan agar *G. verrucosa*. Analisis data menggunakan Anova dilanjutkan Uji Duncan. **Hasil.** Hasil bioremediasi menunjukkan bahwa ketiga spesies rumput laut menunjukkan efektivitas tinggi dalam mengurangi berbagai parameter unsur hara dalam limbah tambak udang intensif. Hasil uji statistik menunjukkan tidak berbeda nyata dalam penurunan kadar amonia, nitrit, nitrat, dan ortofosfat di antara *E. spinosum*, *G. verrucosa*, dan *K. alvarezii*. *G. verrucosa* menunjukkan kandungan klorofil a tertinggi sebesar 46 µg, yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan *K. alvarezii* dan *E. spinosum*, dengan nilai masing-masing 14 µg dan 30 µg pada analisis kandungan karotenoid, *G. verrucosa* juga menunjukkan kandungan tertinggi. *G. verrucosa* memiliki pertumbuhan bobot mutlak tertinggi, yaitu 435 gram ± 47,17, dibandingkan dengan *K. alvarezii* yang memiliki rata-rata pertumbuhan 157 gram ± 45,90 dan *E. spinosum* dengan rata-rata 252 gram ± 19,14. Uji Duncan menunjukkan bahwa *G. verrucosa* berbeda nyata dari dua spesies lainnya dalam hal pertumbuhan bobot mutlak. Analisis kandungan karagenan, *K. alvarezii* menunjukkan hasil rata-rata 46,77% ± 6,16 sedangkan kandungan karagenan *E. spinosum* adalah 29,69% ± 0,75. Kandungan agar *G. verrucosa* adalah 20,51% ± 0,76. **Kesimpulan.** Air limbah tambak udang intensif setelah proses bioremediasi menggunakan rumput laut menunjukkan perbaikan kualitas air yang lebih baik. Dari ketiga spesies rumput laut yang diteliti.

Kata Kunci: Bioremediasi; Eutrofikasi; Limbah Tambak Udang, *E. spinosum*, *G. verrucosa*, dan *K. alvarezii*

## ABSTRACT

MUHAMMAD SYHRIR. **Seaweed Growth And Quality And Its Role In Bioremediation Of Intensive Shrimp Pond Effluent** supervised by Rajuddin Syamsuddin, Haryati Tandipayuk and Dody Dharmawan Trijuno.

**Background.** Intensive shrimp farming results in increased income, but also produces waste that can have an environmental impact on the surrounding waters. Seaweeds, on the other hand, can utilise pond effluent as a source of nutrients for their growth. This study examines the effectiveness of seaweed bioremediation in treating intensive shrimp pond effluent in Indonesia, with a particular focus on three seaweed species: *K. alvarezii*, *G. verrucosa*, and *E. spinosum*. **Objectives.** This study aims to evaluate seaweed species capable of effectively absorbing excess nutrients - specifically nitrogen, phosphorus, TSS and BOT - from effluents that have the potential to cause eutrophication and degradation of aquatic ecosystems. **Methods.** This research used an experimental method with a completely randomised design (CRD) in 3 treatments and 3 replicates. The research was divided into four stages, namely: 1) nutrient analysis of intensive shrimp pond waste; 2) bioremediation of shrimp pond waste by seaweed; 3) chlorophyll a and carotenoid content of *K. alvarezii*, *G. verrucosa*, and *E. spinosum* seaweeds; and 4) growth and carrageenan content of *K. alvarezii*, *E. spinosum* and agar content of *G. verrucosa* seaweeds. Data analysis using Anova followed by Duncan's test. **Results.** The bioremediation results showed that the three seaweed species exhibited high effectiveness in reducing various nutrient parameters in intensive shrimp pond effluents. Statistical test results showed no significant difference in the reduction of ammonia, nitrite, nitrate, and orthophosphate levels among *E. spinosum*, *G. verrucosa*, and *K. alvarezii*. This suggests that the three species have relatively similar efficiency in bioremediation. *G. verrucosa* showed the highest chlorophyll a content of 46 µg, which was significantly higher than that of *K. alvarezii* and *E. spinosum*, with values of 14 µg and 30 µg respectively in the carotenoid content analysis, *G. verrucosa* also showed the highest content. *G. verrucosa* had the highest absolute weight growth of 435 grams ± 47.17, compared to *K. alvarezii* which had an average growth of 157 grams ± 45.90 and *E. spinosum* with an average of 252 grams ± 19.14. Duncan's test showed that *G. verrucosa* was significantly different from the other two species in terms of absolute weight growth. Analysis of carrageenan content, *K. alvarezii* showed an average result of 46.77% ± 6.16 while the carrageenan content of *E. spinosum* was 29.69% ± 0.75. The agar content of *G. verrucosa* was 20.51% ± 0.76. **Conclusion.** *Intensive shrimp pond wastewater after bioremediation process using seaweed showed better water quality improvement. Of the three seaweed species studied, G. verrucosa proved to be the most effective bioremediator of intensive shrimp pond effluent.*

Keywords: Bioremediation; Eutrophication; Shrimp Farm Waste, *E. spinosum*, *G. verrucos*, and *K. alvarezii*

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
UCAPAN TERIMA KASIH .....	viii
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	x
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN/SIMBOL .....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN UMUM .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Kegunaan Penelitian .....	3
1.5. Kebaharuan Penelitian .....	4
1.6. Kerangka Penelitian .....	4
1.7. Hipotesis .....	6
1.8. Referensi .....	6
<b>BAB II ANALISIS UNSUR HARA DALAM LIMBAH TAMBAK .....</b>	<b>8</b>
2.1. Pendahuluan .....	8
2.2. Bahan dan Metode .....	9
2.2.1. Lokasi Penelitian .....	9
2.2.2. Alat dan Bahan .....	9
2.3. Analisis Data .....	11

2.4. Hasil.....	11
2.5. Pembahasan.....	13
2.5.1. Total Nitrogen.....	13
2.5.2. Amonia (NH <sub>3</sub> ).....	14
2.5.3. Nitrit (NO <sub>2</sub> ).....	15
2.5.4. Nitrat (NO <sub>3</sub> ).....	16
2.5.5. Fosfor Total (Total P).....	17
2.5.6. Ortofosfat (PO <sub>4</sub> ).....	19
2.5.7. TSS (Total Suspended Solids/ Total Padatan Tersuspensi ).....	20
2.5.8. BOT (Bahan Organik Terlarut).....	21
2.5.9. Salinitas (ppt).....	22
2.5.10. Derajat Keasaman (pH).....	22
2.5.11. Oksigen Terlaut (ppm).....	23
2.5.12. Konsentrasi CO <sub>2</sub> .....	24
2.6. Simpulan.....	26
2.7. Referensi.....	26
<b>BAB III BIOREMEDIASI LIMBAH TAMBAK UDANG.....</b>	<b>30</b>
3.1. Pendahuluan.....	30
3.2. Bahan dan Metode.....	32
3.2.1. Lokasi Penelitian.....	32
3.2.2. Alat Penelitian.....	33
3.2.3. Bahan Penelitian.....	35
3.2.4. Parameter Penelitian.....	36
3.3. Hasil.....	38
3.3.1. Parameter Kualitas Air.....	38
3.3.2. Perbandingan Kualitas Air Limbah Tambak.....	39

3.4. Pembahasan.....	41
3.4.1. Analisis Parameter Kualitas Air.....	41
3.4.2. Analisis Perbandingan Kualitas Air Limbah Tambak Udang.....	45
3.5. Simpulan.....	51
3.6. Referensi.....	51
<b>BAB IV KANDUNGAN KLOOROFIL a DAN KAROTENOID.....</b>	<b>57</b>
4.1. Pendahuluan.....	57
4.2. Bahan dan Metode.....	58
4.2.1. Lokasi Penelitian.....	58
4.2.2. Prosedur.....	58
4.2.3. Pengukuran Parameter.....	58
4.2.4. Analisis data.....	59
4.3. Hasil.....	59
4.4. Pembahasan.....	60
4.4.1. Analisis Kandungan Klorofil a.....	60
4.4.2. Analisis Kandungan Karotenoid.....	62
4.5. Simpulan.....	64
4.6. Referensi.....	64
<b>BAB V PERTUMBUHAN DAN KANDUNGAN KARAGENAN.....</b>	<b>66</b>
5.1. Pendahuluan.....	66
5.2. Bahan dan Metode.....	67
5.2.1. Lokasi Penelitian.....	67
5.2.2. Rancangan percobaan.....	67
5.2.3. Parameter penelitian.....	68
5.2.4. Pengukuran Parameter.....	68
5.2.5. Analisis data.....	68

5.3. Hasil .....	68
5.4. Pembahasan.....	69
5.4.1. Analisis Pertumbuhan Mutlak.....	70
5.4.2. Analisis Kandungan Karagenan .....	72
5.5. Simpulan .....	74
5.6. Referensi.....	74
<b>BAB VI PEMBAHASAN UMUM .....</b>	<b>77</b>
<b>BAB VII KESIMPULAN UMUM DAN REKOMENDASI .....</b>	<b>83</b>
7.1. Kesimpulan .....	83
7.2. Rekomendasi.....	84
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>85</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>87</b>

**DAFTAR TABEL**

Nomor urut	Halaman
Tabel 1. Parameter Kualitas Air limbah Tambak Udang Intensif.....	11
Tabel 2. Parameter kualitas air selama 42 hari pemeliharaan rumput laut .....	38
Tabel 3. Perbandingan Kualitas Air Limbah Tambak Udang .....	39
Tabel 4. Data Kandungan Klorofil a dan Karotenoid Rumput Laut .....	59
Tabel 5. Data Pertumbuhan Mutlak dan kandungan Karagenan .....	69

**DAFTAR GAMBAR**

Nomor urut	Halaman
Gambar 1. 1. Kerangka konseptual .....	5
Gambar 2. 1. Limbah tambak udang intensif.....	10
Gambar 3. 1. Tata letak unit eksperimen .....	33
Gambar 3. 2. Bak eksperimen .....	34
Gambar 3. 3. Spesies rumput laut yang digunakan dalam penelitian .....	36



**DAFTAR LAMPIRAN**

Nomor urut	Halaman
Lampiran 1. Hasil Analisis One-Way Repeated Measures ANOVA NH <sub>3</sub> .....	88

## DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN/SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Penjelasan
Total N	Kandungan nitrogen total dalam sampel air limbah
NH <sub>3</sub>	Amoniak, bentuk nitrogen yang berpotensi toksik
NO <sub>2</sub>	Nitrit, bentuk perantara dalam siklus nitrogen
NO <sub>3</sub>	Nitrat, bentuk teroksidasi nitrogen yang penting untuk proses nitrifikasi
PO <sub>4</sub>	Orthophosphate, bentuk fosfor yang mudah diserap oleh organisme akuatik
Total P	Total kandungan fosfor dalam sampel
TSS	Kandungan partikel tersuspensi dalam air
BOD	Kandungan bahan organik yang terlarut dalam air
pH	Tingkat keasaman atau kebasaan air
Salinitas	Kandungan garam terlarut dalam air
CO <sub>2</sub>	Kandungan karbon dioksida dalam air
KEP	Keputusan Menteri yang berkaitan dengan regulasi
DOC	Day of Culture, hari dalam siklus budidaya dalam konteks akuakultur
IPAL	Instalasi Pengolahan Air Limbah
NRE	Nutrient Removal Efficiency, digunakan untuk mengukur efektivitas bioremediasi dalam mengurangi konsentrasi nutrien

## **BAB I PENDAHULUAN UMUM**

### **1.1. Latar Belakang**

Salah satu tujuan strategi pengembangan budidaya rumput laut di Indonesia yaitu untuk menghasilkan produk-produk rumput laut berkualitas dan berdaya saing tinggi melalui peningkatan teknologi budidaya. Terdapat tiga jenis rumput laut yang banyak dibudidayakan yakni *Gracilaria verrucosa*, *Eucheuma denticulatum* atau dalam pasar dikenal sebagai *Eucheuma spinosum* dan *Kappaphycus alvarezii* atau dalam perdagangan dikenal sebagai *Eucheuma cottonii*, (KKP, 2019). Potensi area budidaya rumput laut seluas 1.510.223 Hektar yang telah dimanfaatkan sampai tahun 2017 baru mencapai sekitar 271.336 hektar (17,97 %), dengan total produksi rumput laut sebesar 9,12 juta ton ( KKP, 2023 ). Untuk memaksimalkan budidaya rumput laut salah satu yang berpengaruh adalah ketersediaan unsur hara Nitrogen dan Pospor. Tumbuhan membutuhkan N dan P sebagai unsur hara makro yang digunakan untuk melakukan pertumbuhan (Enduta et al., 2011).

Potensi sumberdaya budidaya di Indonesia mencapai 17,2 juta hektar. Dari potensi ini, khusus untuk pengembangan budidaya air payau mencapai 2,8 juta hektar, Dari luas potensi tambak yang dipakai untuk budidaya udang sekitar 300.501 hektar, sekitar 25 % atau 75.125 hektar merupakan tambak udang intensif. Budidaya udang intensif di Indonesia tumbuh rata – rata 6,43 %. Dengan total produksi udang untuk ekspor sebesar 1,09 juta ton, (KKP, 2023).

Penumpukan limbah pakan udang di tambak menjadi masalah karena protein dari pakan yang terlarut secara tidak langsung dapat menurunkan kualitas air terutama karena terjadi peningkatan amonia. Peningkatan amonia dalam air disebabkan adanya transformasi nitrogen dari limbah pakan dan metabolit pada proses amonifikasi oleh mikroba pengurai bahan organik (Pantjara et al., 2012). Limbah yang banyak mengandung unsur Nitrogen dibutuhkan oleh rumput laut untuk pertumbuhan vegetative, yakni rumput laut dapat menyerap unsur hara organik berupa nitrogen dan fosfor terlarut dari perairan dan dimanfaatkan untuk pertumbuhan. Polusi nitrogen di laut, terutama yang disebabkan oleh amoniak, dapat menyebabkan berbagai dampak ekologis dan toksikologis. Beberapa temuan utama dari penelitian yang terkait mengenai polusi nitrogen bisa meningkatkan asam di ekosistem air tawar yang tidak memiliki banyak kapasitas netralisasi asam, mengakibatkan asidifikasi sistem (Camargo & Alonso, 2006). Peningkatan unsur hara seperti nitrogen bisa merangsang atau meningkatkan perkembangan dan pemeliharaan produsen primer, menyebabkan eutrofikasi ekosistem perairan (Camargo & Alonso, 2006). Konsentrasi nitrogen yang meningkat di laut dapat mengakibatkan perubahan yang signifikan pada struktur komunitas dan kelimpahan mikroorganisme yang berperan dalam siklus nitrogen, seperti archaea dan bakteri yang mengoksidasi amonia (Leininger et al., 2006). Peningkatan emisi nitrogen antropogenik telah menyebabkan peningkatan konsentrasi nitrat di lautan, yang bisa

mengubah produksi primer dan mengarah pada perubahan jangka panjang dari keterbatasan nitrogen menjadi keterbatasan fosfat di beberapa wilayah (Kim et al., 2014).

Polusi nitrogen termasuk kelimpahan amoniak dapat memiliki efek yang pada ekosistem laut, mulai dari asidifikasi, eutrofikasi, perubahan dalam komunitas mikroorganisme, hingga pergeseran dalam keseimbangan unsur hara utama. Roleda dan Hurd, (2019) menyatakan bahwa rumput laut mampu menyerap nitrogen dan fosfor terlarut dari perairan, baik dalam bentuk anorganik maupun organik, dan memanfaatkan untuk mendukung proses fisiologis dan pertumbuhan.

Pemanfaatan limbah dari budidaya udang intensif sebagai medium budidaya rumput laut menawarkan dua keuntungan utama: pertama, produksi rumput laut yang melimpah, dan kedua, konversi limbah menjadi air yang bersih sebelum dibuang ke lingkungan. Berdasarkan premis tersebut, terdapat kebutuhan akan penelitian yang mendalam untuk memaksimalkan potensi limbah budidaya udang intensif sebagai lokasi budidaya rumput laut. Rumput laut yang akan diuji dalam penelitian ini mencakup spesies yang umum dibudidayakan di Indonesia, seperti *K. alvarezii*, *G. verrucosa*, dan *E. spinosum*. Penelitian tentang pertumbuhan rumput laut ini akan dijalankan dalam wadah terkontrol untuk memfasilitasi pemantauan efektif atas perubahan kualitas air limbah yang terjadi akibat proses bioremediasi yang dilakukan oleh rumput laut.

## 1.2. Perumusan Masalah

Dalam budidaya udang intensif, permasalahan lingkungan, khususnya pengelolaan limbah, merupakan fokus utama. Limbah yang dihasilkan mengandung unsur hara dan bahan organik dalam jumlah tinggi, sehingga dapat menimbulkan masalah lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Rumput laut telah diidentifikasi sebagai solusi potensial karena kemampuannya menyerap unsur hara dan meningkatkan kualitas air. Mengintegrasikan rumput laut ke dalam sistem budidaya udang intensif dapat mengurangi dampak negatif limbah dan juga menghasilkan biomassa yang bernilai ekonomi (Burford et al., 2003).

Pertumbuhan rumput laut pada sistem dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain kondisi fisik air, ketersediaan cahaya, dan kandungan unsur hara dari limbah tambak udang. Memahami faktor-faktor ini sangat penting untuk mengoptimalkan manfaat rumput laut dalam sistem bioremediasi. Penelitian di bidang ini dapat memberikan wawasan berharga untuk pengelolaan tambak udang yang lebih berkelanjutan dan efisien (Chopin et al., 2001).

Kualitas rumput laut yang dibudidayakan juga penting, karena berdampak pada keberhasilan proses bioremediasi dan nilai ekonomi dari rumput laut itu sendiri. Pemantauan faktor-faktor seperti tekstur, kandungan unsur hara, dan keberadaan kontaminan sangat penting. Kualitas mempengaruhi efektivitas rumput laut dalam menyerap limbah dan menentukan potensi pemanfaatannya di berbagai industri (Santhi et al., 2017).

Interaksi antara rumput laut dan ekosistem tambak udang merupakan aspek penting untuk dieksplorasi. Integrasi yang sinergis antara budidaya rumput laut dan budidaya udang dapat menciptakan lingkungan yang lebih seimbang dan berkelanjutan. Integrasi ini dapat meningkatkan kualitas air, mengurangi risiko penyakit, dan produktivitas budidaya udang yang lebih tinggi. Penelitian komprehensif mengenai dinamika ini dapat memberikan wawasan berharga untuk mengembangkan praktik budidaya yang inovatif dan berkelanjutan (Rahmaningsih, 2017).

Berdasarkan hal tersebut, maka dengan demikian dapat dirumuskan permasalahan yang mendasar adalah :

1. Unsur – unsur hara apa yang terkandung dalam limbah tambak udang intensif ?
2. Diantara ketiga spesies tersebut, spesies yang mana paling efektif sebagai bioremediasi limbah buangan tambak intensif ?
3. Apakah rumput laut *K. alvarezii*, *G. verrucosa*, dan *E. spinosum* dapat tumbuh dalam limbah buangan tambak udang intensif ?
4. Apakah limbah buangan tambak udang intensif yang ditanami rumput laut dapat menghasilkan air baku untuk budidaya udang secara maksimal ?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis unsur hara dalam limbah tambak udang intensif.
2. Efektivitas bioremediasi dari ketiga spesies rumput laut, *K. alvarezii*, *G. verrucosa*, dan *E. spinosum*
3. Mengevaluasi pertumbuhan dan kualitas tiga jenis rumput laut *K. alvarezii*, *G. verrucosa*, dan *E. spinosum* di air limbah tambak udang.
4. Mengkaji kelayakan air limbah tambak udang pasca bioremediasi untuk budidaya udang dan pembuangan ke perairan.

### 1.4. Kegunaan Penelitian

Penelitian ini menyediakan manfaat teknologi sebagai berikut:

1. Menyajikan informasi bagi pembudidaya rumput laut bahwa limbah tambak udang intensif dapat dimanfaatkan sebagai area pembibitan rumput laut.
2. Memberikan informasi kepada pembudidaya udang intensif mengenai fungsi rumput laut dalam meningkatkan kualitas air limbah tambak, sehingga memenuhi standar budidaya udang dan mengurangi pencemaran di lingkungan perairan.
3. Menawarkan informasi kepada konsultan lingkungan tentang pemanfaatan rumput laut sebagai biofilter dalam pengolahan limbah.

### 1.5. Kebaharuan Penelitian

Nilai kebaruan dari ( Novelty ) dari penelitian ini adalah :

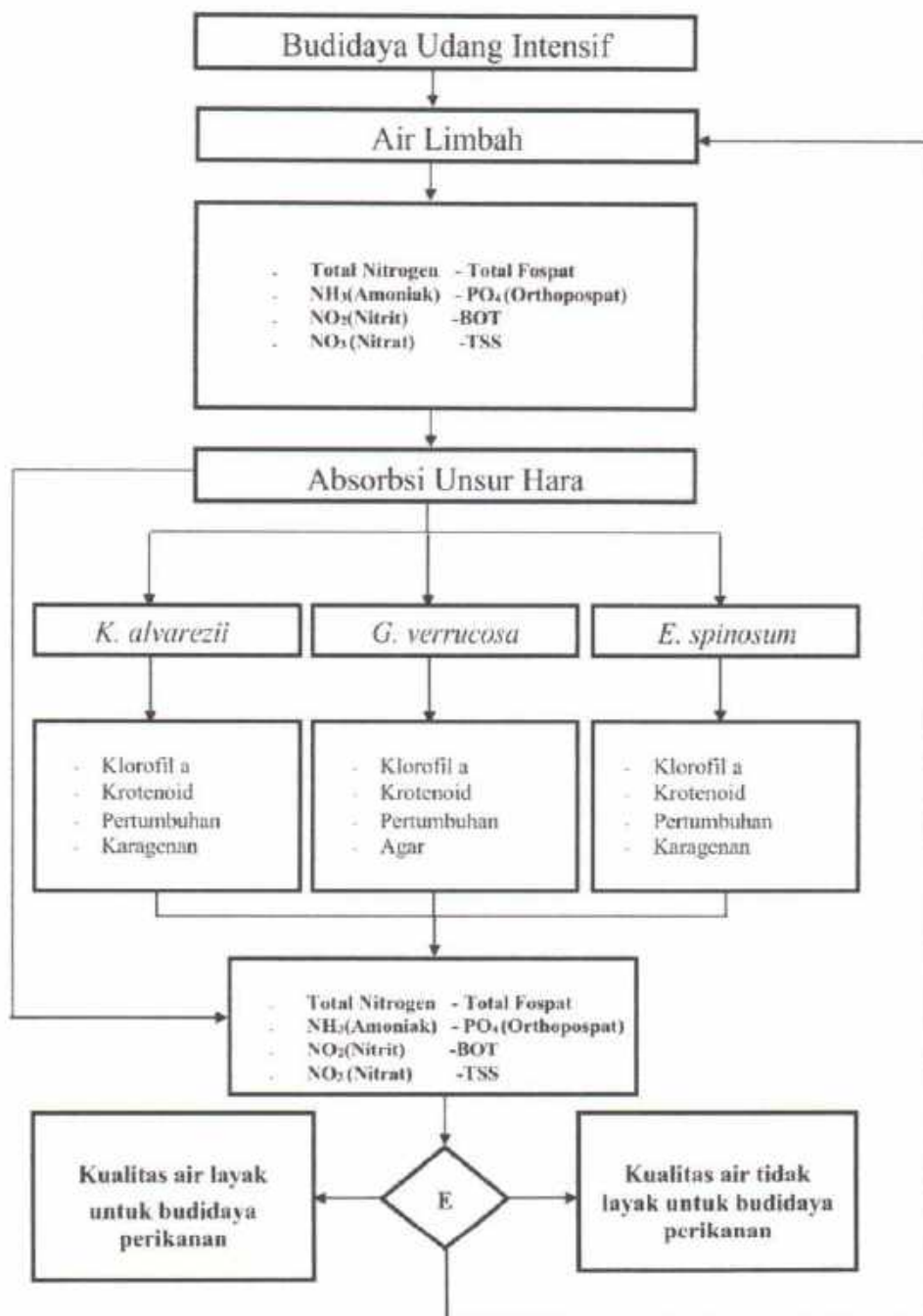
1. Penelitian ini menitikberatkan pada penggunaan spesies rumput laut yang banyak dibudidayakan di Indonesia yaitu *K. alvarezii*, *G. verrucosa*, dan *E. spinosum* dengan identifikasi spesifik terhadap kandungan klorofil a dan karotenoid serta pertumbuhan dimana *G. verrucosa*, yang terbukti lebih tinggi dibandingkan dengan *K. alvarezii* dan *E. spinosum*
2. Penggunaan spesies rumput laut terbaik sebagai bioremediator limbah tambak udang intensif. Secara keseluruhan, ketiga jenis rumput laut yaitu *K. alvarezii*, *G. verrucosa*, dan *E. spinosum* yang digunakan dalam bioremediasi menunjukkan efektivitas yang tinggi dalam mengurangi parameter unsur hara dalam limbah tambak udang intensif.

### 1.6. Kerangka Penelitian

Sistem pembesaran udang intensif merupakan salah satu cara untuk meningkatkan produksi udang nasional. Ciri utama sistem ini adalah padat penebaran udang dan input pakan yang tinggi. Pakan yang diberikan tidak dimakan seluruhnya oleh udang, selain itu ada juga pakan yang tidak tercerna dan ekskresi dari sisa metabolisme. Ketiga komponen pakan yang tidak dimanfaatkan itu akan menjadi limbah organik dan apabila langsung dibuang akan mencemari lingkungan perairan. Limbah organik yang dibuang langsung ke perairan akan memberikan dampak negative pada kualitas perairan. Dampak terpenting pada kualitas air yaitu adanya perubahan konsentrasi total Nitrogen,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ , total fosfat,  $\text{PO}_4$ , pH, dissolved oksigen/DO, Bahan organik total ( BOT ) dan padatan tersuspensi total ( TSS ).

Limbah organik sebenarnya bisa menjadi unsur hara untuk rumput laut. Ada tiga jenis rumput laut yang mempunyai nilai ekonomis yaitu *Kaphapycus alvarezii*, *G. verrucosa* dan *E. spinosum*. Ketiga jenis rumput laut ini sangat membutuhkan unsur hara terutama dari Amonia, nitrat dan ortofospat, yang merupakan kandungan utama limbah buangan tambak udang intensif, meskipun kemampuan ketiganya berbeda dalam menyerap unsur hara. Bekas air limbah yang telah digunakan untuk memelihara rumput laut diharapkan diperoleh air baku yang sudah bisa dimanfaatkan lagi untuk kepentingan budidaya udang atau jika dibuang ke perairan umum tidak akan menjadi pencemar lingkungan perairan. Secara singkat kerangka konsep penelitian disajikan dalam gambar 1.1.

## KERANGKA KONSEPTUAL



Gambar 1. 1. Kerangka konseptual

## 1.7. Hipotesis

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Air limbah buangan tambak udang intensif banyak mengandung unsur– unsur hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhan rumput laut.
2. Jenis rumput laut yang paling efektif sebagai bioremediator dalam air limbah buangan tambak udang intensif
3. Rumput laut jenis *K.alvarezii*, *G.verucosa* dan *E.spinosum* dapat tumbuh maksimal dalam air limbah tambak udang intensif karena tingginya kandungan unsur hara seperti nitrogen dan fosfor.
4. Setelah melalui bioremediasi dengan rumput laut limbah buangan tambak udang intensif merupakan air baku criteria yang memenuhi syarat kelayakan untuk budidaya udang atau ikan untuk di buang tanpa mencemari perairan sekitarnya

## 1.8. Referensi

- Burford, M., Costanzo, S., Dennison, W., Jackson, C., Jones, A., McKinnon, A., Preston, N., & Trott, L. (2003). A synthesis of dominant ecological processes in intensive shrimp ponds and adjacent coastal environments in NE Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 46(11), 1456-1469. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(03\)00282-0](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(03)00282-0)
- Camargo, J., & Alonso, Á. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment international*, 32(6), 831-849. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2006.05.002>
- Chopin, T., Buschmann, A., Halling, C., Troell, M., Kautsky, N., Neori, A., Kraemer, G., Zertuche-González, J., Yarish, C., & Neefus, C. (2001). Integrating Seaweeds Into Marine Aquaculture Systems: A Key Toward Sustainability. *Journal of Phycology*, 37. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2001.01137.x>
- Enduta, A., Jusoh, A., Ali, N., & Nik, W. (2011). Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system. *Desalination and Water Treatment*, 32, 422-430. <https://doi.org/10.5004/DWT.2011.2761>.
- KKP. (2019). ROPMAP Pengembangan Industri Rumput Laut di Indonesia 2018–2021.
- KKP. ( 2023 ). Laporan tahunan Produksi Perikanan Indonesia tahun 2023
- Kim, I., Lee, K., Gruber, N., Karl, D., Bullister, J., Yang, S., & Kim, T. (2014). Increasing anthropogenic nitrogen in the North Pacific Ocean. *Science*, 346, 1102 - 1106. <https://doi.org/10.1126/science.1258396>.
- Leininger, S., Urich, T., Schloter, M., Schwark, L., Qi, J., Nicol, G., Prosser, J., Schuster, S., & Schleper, C. (2006). Archaea predominate among ammonia-oxidizing prokaryotes in soils. *Nature*, 442, 806-809. <https://doi.org/10.1038/nature04983>.



- Pantjara, B., & Usman. (2012). Aplikasi bioflok padat sebagai alternatif pakan pada pendederan udang vanamei (*L. vannamei*). Dalam Prosiding Indoaqua - Forum Inovasi Teknologi Budidaya 2012. Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Payau, Jl. Makmur Dg. Sitakka No. 129, Maros 90512, Sulawesi Selatan.
- Rahmaningsih, S. (2017). Penerapan Teknologi Penggunaan Rumput Laut Sebagai Biofilter Alami Air Tambak Untuk Mengurangi Tingkat Serangan Penyakit Pada Udang Vannamei (*Litopenaeus vannamei*), 3, 11-16. DOI: <https://doi.org/10.24319/jtpk.3.11-16>
- Roleda, M., & Hurd, C. (2019). Seaweed Nutrient physiology: application of concepts to aquaculture and bioremediation. *Phycologia*, 58, 552-562. <https://doi.org/10.1080/00318884.2019.1622920>.
- Santhi, N., Deivasigamani, B., & Subramanian, V. (2017). Studies on Biodegradation of Shrimp Farm Wastes by Using of Seaweeds. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6, 271-281. DOI: <https://doi.org/10.20546/IJCMAS.2017.601.033>

## BAB II

### ANALISIS UNSUR HARA DALAM LIMBAH TAMBAK UDANG INTENSIF

#### Abstrak

**Latar Belakang.** Budidaya udang vaname intensif telah menjadi faktor penting dalam industri perikanan, memberikan kontribusi besar terhadap produksi pangan. Namun, kegiatan ini menghasilkan limbah yang tinggi kandungan nitrogen dan fosfor dari sisa pakan dan ekskreta udang, yang memiliki potensi dual sebagai sumber nutrisi dan pencemar. Limbah ini dapat memicu eutrofikasi dan mengancam keseimbangan ekosistem perairan. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis komposisi dan konsentrasi unsur hara dalam limbah tambak udang vaname intensif dan mengidentifikasi dampaknya terhadap lingkungan serta potensi pengelolaannya. **Metode.** Penelitian dilaksanakan di Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone, Sulawesi Selatan. Metodologi ini melibatkan pengambilan sampel air limbah dari tambak udang vaname intensif dan analisis kualitas air yang mencakup nitrogen, fosfor, TSS, BOT, dan parameter kualitas air lainnya menggunakan peralatan laboratorium standar. **Hasil.** Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi total nitrogen sebesar 16.974 ppm dan fosfor total sebesar 2.196 ppm, yang keduanya melampaui baku mutu yang ditetapkan. Konsentrasi amonia dan nitrat tercatat pada tingkat yang berpotensi berbahaya bagi kehidupan akuatik, menandakan risiko eutrofikasi yang tinggi. **Kesimpulan.** Limbah tambak udang intensif mengandung Total Nitrogen (16.974 ppm) dan Fosfor Total (2.196 ppm) yang jauh melebihi baku mutu, mengindikasikan risiko eutrofikasi serius dan gangguan ekosistem. Amonia (0.266 ppm) juga melampaui ambang batas aman, menambah risiko toksisitas bagi kehidupan akuatik. Kelebihan Ortofosfat (2.259 ppm) berpotensi menyebabkan pertumbuhan alga berlebihan, menurunkan kualitas air, dan mengurangi oksigen terlarut. Sebaliknya, konsentrasi Nitrit (1.146 ppm) dan Nitrat (7.670 ppm) masih dalam batas aman (<2.5 ppm untuk Nitrit dan <75 ppm untuk Nitrat), menunjukkan beberapa komponen limbah dapat dikelola dengan baik tanpa membahayakan.

Kata Kunci: Eutrofikasi, Kualitas Air Limbah, Tambak Udang, Unsur Hara

#### 2.1. Pendahuluan

Pertambakan udang intensif telah menjadi sektor kunci dalam industri perikanan, berkontribusi signifikan terhadap produksi pangan. Namun, praktik ini juga menghasilkan limbah yang kaya akan unsur hara, seperti nitrogen dan fosfor, yang berasal terutama dari sisa pakan dan ekskreta udang. Sifat limbah ini memunculkan dualitas: di satu sisi sebagai potensi sumber unsur hara, dan di sisi lain sebagai media pencemaran lingkungan yang dapat memicu masalah seperti eutrofikasi dan mengancam keseimbangan ekosistem air.

Analisis komposisi dan konsentrasi unsur hara dalam limbah menjadi penting mengingat kompleksitas dan variabilitasnya. Studi oleh Rabiei et al. (2014) dan Habaki et al. (2016) memaparkan bahwa komposisi kimia limbah sangat variatif dan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti jenis pakan, intensitas pemberian pakan, dan praktik manajemen tambak. Oleh karena itu, penggunaan metode kimia dan biologis yang akurat, seperti yang disarankan oleh Ge et al. (2018), adalah kunci untuk mendapatkan data yang dapat diandalkan, yang nantinya akan mendukung pengambilan keputusan dan penyusunan strategi pengelolaan limbah yang efisien. Memahami dinamika limbah tambak udang dan implikasinya terhadap lingkungan adalah langkah awal untuk merancang solusi pengelolaan yang efektif. Solusi ini tidak hanya harus mengatasi dampak negatif tetapi juga harus mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya. Pendekatan inovatif bisa termasuk penerapan teknologi pengolahan limbah dapat mengubah limbah menjadi produk berguna atau energi terbarukan, serta mendukung upaya pengembangan industri perikanan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Perhatian khusus ada pada dampak polusi nitrogen, terutama amoniak, terhadap ekosistem laut. Studi oleh Camargo & Alonso (2006), Leininger et al. (2006), dan Kim et al. (2014) menunjukkan risiko yang meningkat seperti asidifikasi pada ekosistem air tawar, eutrofikasi, dan perubahan dalam struktur komunitas mikroorganisme siklus nitrogen. Temuan ini menegaskan pentingnya analisis dan pengelolaan limbah udang yang terperinci untuk melindungi kesehatan ekosistem laut dan mendukung keberlanjutan industri perikanan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis parameter kualitas air limbah tambak udang intensif.

## **2.2. Bahan dan Metode**

### **2.2.1. Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Agustus sampai November 2021 di Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone Kelurahan Waetuwo, Kecamatan Tanete Riattang Timur, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan. Pengujian kualitas air dilakukan di Laboratorium Balai Perikanan Budidaya Air Payau dan Penyuluhan Perikanan Maros, Laboratorium Biokimia Universitas Hasanuddin, BPIHP Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan. Sedangkan pengukuran salinitas, pH, suhu, oksigen dan CO<sub>2</sub> dilakukan secara insitu.

### **2.2.2. Alat dan Bahan**

Air media penelitian yang digunakan yaitu air limbah dari budidaya tambak udang vaname intensif yang berlokasi di Politeknik KP Bone. Wadah yang digunakan dalam penelitian ini adalah bak terkontrol dari terpal berukuran 100cm x 100cm x 60cm, sebanyak 9 buah, ke dalam masing-masing wadah diisi air limbah tambak udang intensif 300 liter. Bak terkontrol tersebut dilengkapi dengan peralatan aerasi disambungkan dari blower dan diberi cahaya. Aerasi dibuat untuk pergerakan air atau air berputar. Sumber pencahayaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah lampu 20 watt 9 buah, jarak antara wadah dan pencahayaan 30 cm. Pengambilan air

dilakukan dengan memompa langsung air dari saluran pembuangan utama tambak menggunakan pompa air, melalui selang menuju bak penelitian hingga mencapai volume 300 liter per bak. Jarak antara sumber air limbah dan lokasi penelitian sekitar 100 meter dan pengambilan air dari saluran pembuangan utama pada lokasi dimana air tersebut sudah siap untuk dibuang dari area tambak.



**Gambar 2. 1. Limbah tambak udang intensif**

Udang dipelihara hingga umur DOC 90 dengan padat tebar 250 ekor per meter persegi di petakan tambak seluas 1.200 m<sup>2</sup>, total 300.000 ekor udang. Budidaya dilakukan tanpa IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) karena fokus penelitian ini adalah analisis kualitas air limbah selama proses bioremediasi menggunakan rumput laut dalam kondisi terkontrol. Dengan bak terkontrol, variabel seperti pergerakan air dan pencahayaan dapat diatur konsisten, menunjukkan observasi detail terhadap perubahan kualitas air.

Penelitian menggunakan 9 bak terkontrol, masing-masing diisi 300 liter air limbah, dengan 3 kali ulangan untuk perlakuan penanaman *K. alvarezii*, *G. verrucosa*, dan *E. spinosum*. Penggunaan bak terkontrol dari terpal memudahkan pengambilan sampel berkala untuk analisis kualitas air dan rumput laut. Aerasi bertujuan menjaga sirkulasi air dan distribusi nutrisi untuk bioremediasi oleh rumput laut, dilakukan untuk memastikan kondisi seragam di semua bak terkontrol, sehingga hasil eksperimen valid.

Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Dissolved Oxygen Meter (Lutron DO 5509) untuk mengukur oksigen terlarut.
- Hand Refractometer (RHS 10 ATC) untuk mengukur salinitas.
- pH Meter Digital (Lutron PH 201) untuk mengukur pH.
- Spektrofotometer UV-Vis untuk analisis kuantitatif nitrat, Ortofosfat, dan komponen kimia lainnya dalam sampel air.
- Kjeldahl Nitrogen Distillation Unit dan Spektrofotometer untuk mengukur total nitrogen dan fosfor total.

- TSS Meter atau Turbidimeter untuk mengukur total padatan tersuspensi (TSS).
- Ammonia Test Kit untuk pengukuran amonia dalam air.
- Nitrit Test Kit untuk pengukuran nitrit.

Setiap alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini memiliki akurasi dan ketelitian yang sesuai dengan standar yang diterima untuk pengukuran kualitas air. Nilai hasil pengukuran dilaporkan dengan memperhatikan ketelitian alat dan standar baku mutu yang ditetapkan, sehingga hasil yang diperoleh dapat diandalkan untuk analisis lebih lanjut.

### 2.3. Analisis Data

Data yang diperoleh dari analisis laboratorium diolah secara tabulasi dan dianalisis secara deskriptif untuk mendapatkan gambaran yang jelas tentang komposisi unsur hara dalam limbah tambak udang. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan persyaratan kualitas air sesuai peraturan yang berlaku, dan disajikan dalam bentuk tabel. Dengan demikian, hasil analisis ini dapat digunakan untuk memahami dampak lingkungan dari limbah tambak udang dan merencanakan strategi pengelolaan limbah yang lebih efektif.

Hasil pengukuran pada Tabel 1 berikut menunjukkan variasi dalam konsentrasi berbagai unsur hara.

### 2.4. Hasil

Hasil pengukuran pada Tabel 1 berikut menunjukkan variasi dalam konsentrasi berbagai unsur hara.

**Tabel 1. Parameter Kualitas Air limbah Tambak Udang Intensif**

No	Parameter	Kadar Terukur	Baku Mutu Efluen
1	Total Nitrogen (Total N)	16,974 ± 0,021 ppm	4,000 ppm**
2	Amoniak (NH <sub>3</sub> )	0,266 ± 0,005 ppm	< 0,100 ppm*
3	Nitrit (NO <sub>2</sub> )	1,146 ± 0,005 ppm	< 2,500 ppm*
4	Nitrat (NO <sub>3</sub> )	7,670 ± 0,010 ppm	< 75 ppm*
5	Oksigen Terlarut (DO)	3,580 ± 0,015 ppm	3,000 – 7,500 ppm*
6	Orthoposphate (PO <sub>4</sub> )	2,259 ± 0,007 ppm	< 0,100 ppm*
7	Fosfor Total (Total P)	2,196 ± 0,015 ppm	0,200 ppm*
8	TSS (Total Padatan Tersuspensi)	156 ± 0,100 ppm	≤ 200 *
9	BOT (Bahan Organik Terlarut)	60 ± 0,100 ppm	20 ppm **
10	pH	6,550 ± 0,010	7,500-8,500*
11	Salinitas	28 ± 0,100 ppt	15 – 25 ppt *
12	Konsentrasi CO <sub>2</sub>	18,800 ± 0,100 ppm	1 – 10 ppm ***

Data Primer 2021

Keterangan :

-\* Merujuk pada nilai yang diatur dalam Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor. KEP.28/MEN/2004 tentang Pedoman Umum Budidaya Udang Di Tambak

-\*\* Merujuk pada nilai yang diatur oleh Ministry of Natural Resources and Environment (MNRE), 2007.

-\*\*\* Merujuk pada nilai yang diatur pada buku Syamsuddin, R. (2014). Pengelolaan kualitas air: Teori dan aplikasi di sektor perikanan. Pijar Press. hal. 212

Total Nitrogen (Total N) dalam limbah tambak udang intensif tercatat sebesar 16.974 ppm, yang jauh melampaui baku mutu yang ditetapkan sebesar 4.0 ppm. Sumber nitrogen dalam sistem akuakultur seperti tambak udang sangat beragam. Sumber utama meliputi sisa protein pakan yang tidak dikonsumsi oleh udang, yang jika dibiarkan dapat terakumulasi di dasar tambak dan mengurai, melepaskan nitrogen. Selain itu, ada juga pakan yang telah dikonsumsi tetapi tidak dicerna sepenuhnya, yang diekskresikan oleh udang dan juga berkontribusi pada tingkat nitrogen melalui proses dekomposisi. Udang yang mati dan bahan organik lain yang membusuk dalam tambak juga menjadi sumber penting nitrogen.

Proses katabolisme protein yang terjadi pada udang memiliki peran sentral dalam siklus nitrogen. Saat protein diproses oleh udang, nitrogen yang terkandung dalam protein dihilangkan dalam bentuk amonia melalui proses yang dikenal sebagai deaminasi. Amonia ini kemudian dilepaskan ke dalam air, baik melalui insang atau sistem ekskresi udang, menambah beban nitrogen dalam sistem. Tingkat amonia yang tinggi bisa toksik bagi udang dan harus dikelola dengan cermat melalui strategi seperti pengoptimalan pemberian pakan, peningkatan kualitas air, dan penggunaan teknologi filtrasi yang efektif untuk menjaga keseimbangan nitrogen dan mendukung kesehatan ekosistem akuakultur.

Konsentrasi tinggi Total N menunjukkan adanya potensi eutrofikasi yang kuat, karena nitrogen adalah salah satu unsur hara utama yang mempromosikan pertumbuhan alga berlebihan di perairan. Amoniak ( $\text{NH}_3$ ) dengan kadar 0.2660 ppm, melebihi ambang batas <0.1 ppm. Meskipun tidak sebesar Total N, amoniak pada level ini masih dapat membahayakan kehidupan perairan, terutama larva dan ikan muda, karena sifat toksiknya meskipun pada konsentrasi rendah.

Ortofosfat ( $\text{PO}_4$ ) dan Fosfor Total (Total P) terukur masing-masing sebesar 2.259 ppm dan 2.196 ppm, keduanya melebihi baku mutu yang sangat ketat (<0.1 ppm dan 0.2 ppm). Fosfor adalah unsur hara yang memicu eutrofikasi, menunjukkan bahwa limbah tambak juga sangat berpotensi kepada pertumbuhan berlebih alga dan gangguan pada kualitas air.

TSS (Total Padatan Tersuspensi), pH, Salinitas, Intensitas Cahaya, dan Konsentrasi  $\text{CO}_2$  berada dalam berbagai rentang yang menunjukkan kondisi operasional tambak dan karakteristik limbahnya. TSS (Total Padatan Tersuspensi) terukur pada 156 ppm, masih dalam batas baku mutu  $\leq 200$  ppm. BOT (Bahan Organik Terlarut) terukur pada 60 ppm, melebihi baku mutu 20 ppm. pH terukur pada 6.55, berada di bawah rentang baku mutu 7.5-8.5. Salinitas terukur pada 28 – 30 ppt, di luar batas baku mutu 15 – 25 ppt. Konsentrasi  $\text{CO}_2$  terukur pada 18.80 ppm, melebihi baku mutu 1 – 10 ppm.

Meskipun beberapa parameter ini tidak langsung berkaitan dengan unsur hara, parameter kualitas air ini memberikan peranan penting tentang kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi proses biologis dan kimia di dalam tambak. Dari data ini, jelas bahwa ada ketidaksesuaian terhadap baku mutu yang menunjukkan resiko eutrofikasi dan potensi bahaya terhadap kehidupan perairan.

Penting untuk mengembangkan dan menerapkan strategi pengelolaan limbah yang efektif untuk mengurangi konsentrasi unsur hara ini di dalam efluen tambak udang

## 2.5. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengukuran, kandungan unsur hara dalam air limbah tambak udang telah diidentifikasi dan evaluasi dampaknya terhadap ekosistem perairan tambak udang telah dikaji dengan tujuan mendukung pengelolaan limbah yang lebih efektif dan berkelanjutan. Konsentrasi Total Nitrogen, Amonia, Amonium, Nitrit, Nitrat, dan Oksigen Terlarut yang diukur menunjukkan adanya potensi risiko terhadap keseimbangan ekosistem perairan, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

### 2.5.1. Total Nitrogen

Total Nitrogen (Total N) mencapai 16,9742 ppm, menunjukkan tingkat polusi unsur hara yang tinggi dan melebihi nilai ambang batas Baku Mutu Air Tambak Udang yaitu 4.0 ppm, hal ini mencerminkan akumulasi unsur hara berlebih yang berpotensi memicu eutrofikasi (Smith et al., 1999). Proses amonifikasi awalnya didominasi oleh sisa pakan yang tidak termakan, ekskreta udang, dan hasil moulting yang mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme yang menghasilkan amoniak. Dapat dijelaskan bahwa sisa pakan menyediakan substrat bagi mikroorganisme dekomposer, termasuk bakteri dan jamur, yang berperan dalam proses dekomposisi (Burford & Williams, 2001). Mikroorganisme menguraikan materi organik kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana yang disebut Hidrolisis. Hidrolisis merupakan langkah awal dalam dekomposisi di mana enzim yang dikeluarkan oleh mikroorganisme memecah polimer besar dalam sisa pakan dari protein menjadi monomer yang lebih kecil menjadi asam amino, dinyatakan oleh Wetzel dan Likens (1991) bahwa dekomposisi materi organik di ekosistem perairan umumnya melibatkan dua proses yaitu degradasi hidrolitik polimer organik berat molekul tinggi menjadi senyawa berat molekul rendah dan mineralisasi oksidatif senyawa organik berat molekul rendah menjadi senyawa anorganik.

Produk hidrolisis asam amino mengalami mineralisasi termasuk amonia. Mineralisasi adalah proses dalam siklus nitrogen yang mengubah nitrogen organik menjadi bentuk anorganik yang dapat lebih mudah diakses oleh organisme lain dalam ekosistem. Seperti yang telah dijelaskan, amonia terbentuk melalui deaminasi asam amino. Amonia yang dihasilkan dari dekomposisi sisa pakan dapat larut dalam air, menambah beban nitrogen dalam ekosistem tambak. Park & Kim, (2016) menyatakan bahwa deaminasi asam amino menghasilkan amonia, yang dapat mengganggu efisiensi pencernaan anaerobik dalam mengolah limbah kaya protein. Amonia yang terbentuk dari deaminasi ini dapat mengakumulasi dan tidak terkonversi menjadi metana karena toksisitas amonia.

Ekskreta udang dan kulit udang (hasil molting) dalam ekosistem tambak udang intensif berkontribusi signifikan terhadap siklus nitrogen dan proses dekomposisi, seperti pada sisa pakan, namun dengan dinamika khusus yang terkait dengan metabolisme udang. Ekskreta udang, yang terutama terdiri dari urin dan feses,

adalah sumber utama nitrogen organik dan anorganik dalam limbah tambak udang intensif.

Bagian besar dari nitrogen dalam ekskreta udang dan kulit udang ada dalam bentuk organik, terutama sebagai hasil dari metabolisme protein. Protein yang dikonsumsi dan tidak digunakan untuk pertumbuhan. Sebagian nitrogen dalam ekskreta udang langsung dikeluarkan dalam bentuk amonia, salah satu bentuk nitrogen anorganik yang paling langsung tersedia di alam. Amonia adalah hasil dari proses metabolisme alami dan dikeluarkan melalui insang. Penelitian oleh Burford dan Williams (2001) mengkarakterisasi dan mengkuantifikasi limbah nitrogen yang terlarut dari pemberian makan udang (*Dissolved Nitrogen*), dan mempelajari bagaimana komunitas mikroba di air tambak udang menggunakan senyawa nitrogen yang terlarut. Temuan utama menunjukkan bahwa sumber utama nitrogen terlarut adalah amonia yang diekskresikan dari insang udang.

Sama seperti sisa pakan, ekskreta udang dan kulit udang mengalami mineralisasi oleh mikroorganisme dekomposer. Proses ini mengubah nitrogen organik dalam ekskreta menjadi bentuk anorganik, seperti amonia, yang kemudian dapat diutilisasi oleh tanaman air dan mikroorganisme. Proses spesifik di mana nitrogen organik diubah menjadi amonia. Karena sebagian dari ekskreta udang sudah dalam bentuk amonia, proses amonifikasi ini lebih langsung terkait dengan fraksi organik ekskreta. Amonia dan bentuk nitrogen anorganik lain yang dihasilkan dari ekskreta udang menjadi sumber unsur hara bagi rumput laut dan tanaman air. Ini mendukung rantai makanan perairan tetapi juga bisa memicu pertumbuhan alga berlebih jika tidak dikontrol.

### 2.5.2. Amonia (NH<sub>3</sub>)

Amonia (NH<sub>3</sub>) dalam air limbah tambak udang intensif merupakan elemen penting dalam siklus nitrogen dan berdampak signifikan pada dinamika ekosistem perairan. Amonia, terutama berasal dari dekomposisi bahan organik seperti sisa pakan, pakan yang tidak dicerna dan ekskreta udang, diolah oleh mikroba dalam air dan memainkan peran kunci dalam siklus nitrogen sebagai substrat untuk nitrifikasi. Karakteristik amonia, seperti tingginya kemampuan larut dan mobilitas, memudahkan penyebarannya yang cepat dalam ekosistem air. Wei et al., (2020) menyatakan bahwa oksidasi amonia adalah proses signifikan dari siklus nitrogen di banyak ekosistem sedimen, termasuk sedimen tambak udang.

Dalam limbah tambak udang, pengukuran amonia adalah indikator penting dari kualitas air dan kesehatan ekosistem. Kadar amonia (NH<sub>3</sub>) sebesar 0.266 ppm lebih besar dari batas maksimum yang ditetapkan yaitu  $\leq 0,1$  ppm. Ini berarti konsentrasi amonia yang terdeteksi dalam air limbah tambak udang intensif melebihi nilai ambang batas Baku Mutu Air Tambak Udang, menandakan bahwa tingkat amonia dalam sampel berpotensi menimbulkan risiko toksisitas bagi ekosistem perairan. Kir & Kumlu (2006) meneliti toksisitas akut amonia terhadap pascalarva udang *Penaeus semisulcatus* dalam kaitannya dengan salinitas. Studi ini menggarisbawahi bahwa amonia adalah toksikan umum yang dihasilkan dari



ekskresi nitrogen oleh udang dan mineralisasi pakan dan feses yang tidak dikonsumsi.

Akumulasi amonia-nitrogen di air kolam dapat menurunkan kualitas air, mengurangi pertumbuhan, meningkatkan konsumsi oksigen, mengubah konsentrasi protein dan asam amino bahkan menyebabkan kematian tinggi. Selanjutnya Ling et al., (2010) meneliti kualitas air dan beban polutan dari tambak udang saat panen. Studi ini menemukan bahwa amonia-nitrogen total adalah bentuk utama nitrogen anorganik di tambak dan nilai rata-rata di kolam dan saluran lebih dari 1 ppm, melebihi maksimum yang direkomendasikan untuk ikan. Oleh karena itu, kualitas air tambak dan saluran menunjukkan bahwa air limbah tambak tidak boleh dibuang langsung ke lingkungan perairan sekitar tetapi harus diolah dan unsur haranya harus dipulihkan.

### 2.5.3. Nitrit (NO<sub>2</sub>)

Tabel 1 menunjukkan bahwa kadar Nitrit (NO<sub>2</sub>) dalam air limbah tambak udang intensif tercatat sebesar 1.146 ppm. Jika membandingkan dengan standar Baku Mutu Air yang ditetapkan untuk Nitrit, yaitu  $\leq 2.5$  ppm, maka konsentrasi Nitrit dalam sampel berada di bawah ambang batas yang diizinkan. Meskipun berada di bawah batas maksimum, keberadaan Nitrit dalam konsentrasi berapapun tetap perlu dikelola dengan hati-hati karena potensi toksisitasnya yang tinggi, terutama dalam sistem perairan tertutup seperti tambak udang intensif. Tangkitjwisut et al., (2016) meneliti pengembangan proses untuk peningkatan Nitrite-Oxidizing Bacteria (NOB) (bakteri pengoksidasi nitrit) yang dapat diterapkan untuk penghilangan nitrit dalam kolam udang payau.

Amoniak selanjutnya menjadi substrat bagi bakteri nitrifikasi, yang memainkan peran penting dalam mengoksidasi amoniak menjadi nitrit, dan nitrit menjadi nitrat, sebuah proses yang sangat bergantung pada ketersediaan oksigen terlarut. Ketersediaan oksigen terlarut memfasilitasi bakteri nitrifikasi dalam oksidasi amoniak, dengan nitrit sebagai produk antara, menuju pembentukan nitrat, yang merupakan bentuk nitrogen yang lebih stabil dan kurang toksik (Burgin & Hamilton, 2007).

Fakta bahwa kadar oksigen terlarut dalam sampel limbah 3.58 ppm menunjukkan bahwa kandungan oksigen rendah, yang dapat mempengaruhi laju nitrifikasi. Kondisi ini mengarah pada akumulasi nitrit pada konsentrasi 1.146 ppm, yang berpotensi beracun jika tidak dioksidasi lebih lanjut menjadi nitrat.

Nitrit (NO<sub>2</sub>) memegang peran yang kritis dalam siklus nitrogen di lingkungan perairan. Di satu sisi, nitrit adalah komponen esensial dalam siklus nitrogen, yang merupakan proses biogeokimia penting yang mengatur ketersediaan nitrogen di lingkungan unsur hara yang sangat penting bagi kehidupan semua organisme. Disamping itu nitrit berpotensi berbahaya dan bersifat toksik bagi banyak organisme perairan, terutama pada konsentrasi tinggi. Camargo & Alonso (2006) menyelidiki toksisitas nitrit terhadap tiga spesies invertebrata. Menemukan bahwa nitrit memiliki toksisitas tinggi terhadap hewan perairan dan beberapa sumber polusi antropogenik meningkatkan konsentrasi nitrit dalam siklus nitrogen.

Terbentuk sebagai produk sementara dalam proses nitrifikasi, nitrit dihasilkan oleh bakteri nitrifikasi yang mengubah amonia ( $\text{NH}_3$ ) menjadi nitrit sebelum akhirnya berubah menjadi nitrat ( $\text{NO}_3$ ). Proses denitrifikasi yang tidak lengkap juga dapat menghasilkan nitrit meskipun berada di tengah-tengah siklus nitrogen dan umumnya ditemukan dalam konsentrasi rendah di lingkungan alami.

#### 2.5.4. Nitrat ( $\text{NO}_3$ )

Kadar nitrat ( $\text{NO}_3$ ) yang terukur dalam air limbah tambak udang intensif adalah 7,6704 ppm, sedangkan Baku Mutu Air untuk nitrat ditetapkan harus kurang dari 75 ppm. Dengan demikian, kadar nitrat dalam sampel yang diuji jauh lebih rendah dan jauh di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh Baku Mutu Air Tambak Udang. Ini menunjukkan bahwa, setidaknya untuk parameter nitrat, limbah tambak udang yang dianalisis tidak melebihi standar yang ditetapkan dan berada dalam batas yang dianggap aman untuk lingkungan sesuai dengan regulasi yang ada. Penelitian oleh Priyadarsani & Abraham (2016) mengamati kualitas air dan sedimen dalam sistem budidaya udang tradisional yang dikenal sebagai bheri. Studi ini mencatat tingkat nitrat 0.056 - 0.091 ppm dalam air kolam yang berada dalam batas aman dan memberikan perspektif tentang tingkat nitrat yang ditemukan dalam sistem budidaya udang yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Kadar nitrat ( $\text{NO}_3$ ) yang terukur pada 7.6704 ppm, meskipun jauh di bawah ambang batas Baku Mutu Air Tambak Udang yang ditetapkan kurang dari 75 ppm berpotensi menimbulkan efek negatif terhadap lingkungan. Nitrat, yang merupakan bentuk teroksidasi dari nitrogen, memegang peranan penting dalam siklus nitrogen dan ekosistem perairan, berfungsi sebagai unsur hara utama bagi tanaman dan mikroorganisme fotosintetik. Proses pembentukan nitrifikasi melibatkan transformasi amonia ( $\text{NH}_3$ ) menjadi nitrit ( $\text{NO}_2$ ) dan selanjutnya menjadi nitrat ( $\text{NO}_3$ ) oleh bakteri. Selain itu, nitrat juga berperan sebagai penerima elektron bagi mikroorganisme, memiliki peran kunci dalam transfer elektron di sedimen anoksik (keadaan dimana suatu lingkungan tidak memiliki oksigen atau sangat kekurangan oksigen) dan siklus nitrogen (Xu et al., 2014).

Meskipun kandungannya di bawah ambang batas regulasi, keberadaan nitrat dalam lingkungan tetap memerlukan penanganan yang tepat. Mobilitas tinggi menyebabkan nitrat cenderung menumpuk di perairan, di mana meski pada kadar rendah, tetap dapat mempengaruhi ekosistem terutama jika kondisi lain mendukung eutrofikasi atau pertumbuhan alga berlebih. McIntosh & Fitzsimmons, (2003) melaporkan bahwa limbah budidaya, yang sering kali diperkaya dengan senyawa nitrogen seperti nitrat dapat berkontribusi nyata terhadap eutrofikasi jika tidak dikelola dengan baik. Namun, unsur hara ini dapat bermanfaat sebagai unsur hara bagi rumput laut.

Konsentrasi nitrat 7.6704 ppm mencerminkan nitrifikasi yang telah berlangsung, tetapi juga mengungkapkan potensi untuk eutrofikasi jika limbah dilepaskan ke lingkungan tanpa perawatan yang memadai. Denitrifikasi, konversi nitrat menjadi gas nitrogen oleh bakteri denitrifikasi, idealnya akan mengurangi konsentrasi nitrat dalam limbah. Namun, proses ini membutuhkan kondisi anaerobik

yang tidak ada secara konsisten dalam limbah tambak yang teroksidasi dengan baik. Sehingga, keberadaan nitrat yang tinggi pada data menandakan bahwa denitrifikasi tidak berlangsung secara efektif, atau laju produksi nitrat melalui nitrifikasi melebihi laju denitrifikasi.

Siklus nitrogen dalam limbah tambak udang tidak hanya mengandalkan reaksi biologis yang dikatalisis oleh enzim tetapi juga kondisi fisikakimia seperti pH dan suhu. Enzim seperti amonia monooksigenase memfasilitasi oksidasi amoniak menjadi nitrit, sedangkan enzim nitrit oksidase terlibat dalam oksidasi lebih lanjut menjadi nitrat. Kondisi seperti pH yang tinggi dapat meningkatkan toksisitas amoniak, sementara suhu yang lebih tinggi dapat mempercepat amonifikasi dan nitrifikasi. Dalam ekosistem budidaya, telah diidentifikasi bahwa konsentrasi nitrat yang melebihi 1 ppm sudah berpotensi memicu eutrofikasi, proses yang mempercepat pertumbuhan ganggang dan tanaman air, menyebabkan penurunan kualitas air dan kesehatan ekosistem (Smith et al., 1999). Lebih lanjut, Baku Mutu Air Tambak Udang yang ditetapkan kurang dari 75 ppm, sebagai standar pengendalian untuk memastikan keberlanjutan dan kesehatan ekosistem budidaya.

Dalam proses eutrofikasi, asimilasi nitrat dan nitrogen oleh mikroalga dan tanaman air terlibat, dimana unsur hara dimanfaatkan untuk pertumbuhan. Mikroalga dan tanaman air menggunakan nitrogen untuk mensintesis protein, asam nukleat, dan molekul organik lain yang esensial untuk pertumbuhan dan reproduksi mikroalga dan tanaman air terlibat melalui serangkaian enzim yang mengkatalis transformasi nitrat menjadi bentuk amonia, yang kemudian diintegrasikan ke dalam asam amino (Mokhele et al., 2012). Ketika konsentrasi nitrat dan nitrogen dalam air melebihi batas normal, pertumbuhan mikroalga dan tanaman air menjadi tidak terkendali, mengakibatkan fenomena algal bloom. Konsekuensi jangka panjang dari fenomena ini cenderung negatif, dimana dekomposisi biomassa yang besar membutuhkan oksigen terlarut dalam air dan dapat menyebabkan kondisi hipoksia (Burgin & Hamilton, 2007; Pollock et al., 2007). Kondisi hipoksia ini dapat menyebabkan zona mati dimana kehidupan perairan hampir tidak bisa ditemukan.

#### **2.5.5. Fosfor Total (Total P)**

Hubungan antara nitrogen dan fosfor dalam ekosistem perairan memiliki implikasi signifikan terhadap eutrofikasi, suatu proses yang mengakibatkan pertumbuhan berlebihan mikroalga dan ganggang karena peningkatan ketersediaan unsur hara. Penelitian yang dilakukan Ice et al., (2003) menunjukkan bahwa dalam perairan tidak tercemar, konsentrasi Ortofosfat dan fosfor sering kali kurang dari 0.1 ppm, dengan nilai di bawah 0.03 ppm dapat membatasi pertumbuhan fitoplankton. Namun, dalam studi ini total fosfor adalah 2,1955 ppm di atas ambang batas Baku Mutu Air Tambak Udang yang ditetapkan sebesar 0,2 ppm dan hal ini mengindikasikan potensi risiko eutrofikasi.

Sumber fosfor pada limbah tambak udang intensif berasal dari beberapa aspek utama yang terkait dengan operasi tambak dan metabolisme biologis di dalamnya. Pakan merupakan sumber fosfor terbesar dalam tambak udang. Fosfor dalam pakan digunakan untuk mendukung pertumbuhan dan metabolisme udang,

tetapi tidak semua fosfor ini digunakan secara efisien oleh udang. Sebagian besar fosfor yang tidak digunakan dapat lepas ke dalam air melalui sisa pakan yang tidak dikonsumsi dan melalui ekskreta udang. Ekskreta udang, yang terdiri dari feses dan urin, mengandung fosfor yang berasal dari metabolisme udang. Meskipun udang menggunakan sebagian fosfor dari pakan untuk pertumbuhan dan fungsi biologis lainnya, sebagian fosfor tetap dikeluarkan sebagai limbah (Ambasankar et al., 2006; Lemos et al., 2021).

Sun & Boyd (2012) melaporkan bahwa pakan merupakan sumber utama masukan fosfor dan nitrogen, dan hanya sebagian kecil dari fosfor dan nitrogen yang diterapkan dalam pakan yang diinkorporasikan ke dalam udang atau tidak dimanfaatkan secara efisien oleh udang dan akhirnya dilepaskan kembali ke lingkungan, baik melalui ekskresi atau melalui sisa pakan yang tidak dimakan. Fosfor adalah elemen kimia dengan simbol P dan nomor atom 15, merupakan salah satu unsur hara esensial dan termasuk sebagai komponen penting dari ATP dan membran sel. Dalam konteks ekologi dan biologi, fosfor sering ditemukan dalam bentuk fosfat, yaitu senyawa yang mengandung ion fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).

Bahan organik lainnya di dalam tambak, seperti mikroorganisme mati, sisa tanaman, dan hewan lain yang mati, juga dapat terdekomposisi dan melepaskan fosfor ke dalam kolom air. Sumber lain fosfor dalam limbah tambak udang, yaitu bahan tambahan dan suplemen yang digunakan dalam budidaya udang, seperti vitamin dan mineral yang mengandung fosfor. Ini dapat menambah beban fosfor dalam sistem jika digunakan dalam jumlah yang signifikan (Ambasankar et al., 2006). Air yang digunakan untuk mengisi atau mengganti air di tambak juga bisa menjadi sumber fosfor, tergantung pada kualitas air sumber. Air permukaan, seperti air sungai atau danau, sering kali mengandung tingkat fosfor alami atau terkontaminasi dari aliran hulu (Barak dan Rijn, 2000).

Proses mineralisasi fosfor, pelepasan ke dalam kolom air, dan pengendapan kembali ke dasar ekosistem perairan merupakan bagian penting dari siklus fosfor dalam ekosistem tambak udang intensif. Proses-proses ini berinteraksi dalam cara yang kompleks dan memiliki implikasi penting terhadap dinamika unsur hara dan kualitas air dalam tambak udang intensif. Mineralisasi fosfor yang mengubah fosfor organik, yang terkandung dalam materi organik seperti sisa pakan, ekskreta udang, dan bahan organik lainnya, menjadi bentuk anorganik. Mikroorganisme, khususnya bakteri dan jamur, memainkan peran vital dalam proses ini dengan menggunakan enzim untuk memecah ikatan kimia dalam materi organik, melepaskan fosfor dalam bentuk yang dapat larut dalam air sebagai ion fosfat,  $\text{PO}_4$ . Hal ini dimulai dengan hidrolisis, di mana enzim fosfatase memecah ester fosfat dan senyawa organofosfat menjadi fosfat anorganik, dan dilanjutkan dengan oksidasi, di mana senyawa organik yang mengandung fosfor dioksidasi, membebaskan fosfor selama proses respirasi mikroba. Setelah menjadi anorganik, fosfor larut dalam air dan memasuki kolom air, di mana fosfor tersedia untuk dimanfaatkan oleh tumbuhan air dan fitoplankton sebagai unsur hara esensial.

Fosfor yang terlarut tidak selalu tetap dalam kolom air, sebagian dapat mengendap kembali ke dasar tambak sebagai bagian dari materi padat. Proses

pengendapan ini bisa terjadi secara langsung atau secara tidak langsung melalui jaringan makanan. Fosfor yang mengendap dapat terikat dalam sedimen dan, di bawah kondisi tertentu seperti anaerobik, dapat dire-mobilisasi kembali ke kolom air, menambah kompleksitas siklus fosfor dalam ekosistem tambak (Lefebvre et al., 2001).

Songsangjinda & Koolkaew (2002) melaporkan bahwa sekitar 45% nitrogen dan 26% fosfor terlarut dan tersuspensi di kolom air tambak udang dan air limbah yang mengandung nitrogen dan fosfor terlarut dan tersuspensi dilepaskan atau dibuang ke badan air alami (seperti sungai, danau, atau laut) yang berfungsi sebagai penerima atau penampung air limbah. "Penggantian air" ketika air di dalam tambak sudah kotor atau tercemar di-refresh dengan air baru untuk menjaga kualitas air yang sesuai untuk budidaya udang, dan selama proses tersebut air yang kaya akan unsur hara dan limbah di tambak dibuang ke lingkungan perairan sekitarnya. Keberadaan fosfor yang berlebih dalam ekosistem perairan memfasilitasi pertumbuhan eksplisif fitoplankton dan ganggang yang dapat menyerap fosfor untuk pertumbuhan. Mikroalga dan tanaman air membutuhkan nitrogen dan fosfor untuk sintesis molekul organik, seperti protein, asam nukleat, dan fosfolipid. Nitrogen diassimilasi dalam bentuk amonia atau nitrat, sedangkan fosfor diassimilasi sebagai Ortofosfat. Proses asimilasi ini memfasilitasi organisme fotosintetik untuk menggunakan energi matahari dalam mengubah CO<sub>2</sub> dan unsur hara anorganik menjadi biomassa organik melalui fotosintesis.

#### **2.5.6. Ortofosfat (PO<sub>4</sub>)**

Fosfor, terutama dalam bentuk Ortofosfat, merupakan unsur hara esensial untuk mikroalga dan tanaman air. Ortofosfat mudah diserap dan digunakan dalam proses metabolisme kunci, termasuk produksi ATP, dan sebagai komponen penting dari membran sel dalam fosfolipid (Reynolds & Davies, 2001; Jiménez et al., 2016). Ortofosfat (PO<sub>4</sub>), sebagai salah satu bentuk fosfat yang paling stabil dan mudah tersedia, memainkan peranan vital dalam mendukung kesehatan ekosistem perairan melalui kontribusinya pada dinamika unsur hara. Meskipun demikian, kelebihan Ortofosfat bisa mengganggu keseimbangan ekosistem dan kualitas air.

Zhi-fang (2010) menyampaikan bahwa pentingnya Ortofosfat terlarut dalam lingkungan dan bagaimana kelebihan orthophosfat dapat merusak keseimbangan ekosistem perairan. Berdasarkan Tabel 1., kadar Ortofosfat (PO<sub>4</sub>) dalam air limbah tambak udang intensif adalah 2,2587 ppm. Ini melebihi standar Baku Mutu air Tambak Udang yang ditetapkan yaitu kurang dari 0,1 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi Ortofosfat dalam air limbah jauh lebih tinggi daripada yang diizinkan oleh standar. Dalam perairan yang tidak tercemar, konsentrasi Ortofosfat dan fosfor sering kali kurang dari 0.1 ppm. Nilai di bawah 0.03 ppm dianggap rendah dan dapat membatasi pertumbuhan fitoplankton (Ice et al., 2003).

Konsentrasi yang tinggi dari Ortofosfat dalam air limbah dapat menyebabkan eutrofikasi, yang ditandai dengan pertumbuhan alga yang berlebihan, penurunan kadar oksigen terlarut, dan perubahan pada struktur dan fungsi ekosistem perairan. Hussain et.al., (2011) melakukan penelitian tentang penyerapan Ortofosfat dari air

limbah domestik menggunakan batu kapur dan karbon aktif granular. Studi ini menunjukkan bahwa pembuangan konsentrasi Ortofosfat yang berlebihan ke air penerima dapat menyebabkan masalah lingkungan seperti eutrofikasi. Selanjutnya Rout et al, (2016) menyatakan bahwa masukan berkelanjutan fosfat ke lingkungan perairan dapat menyebabkan peningkatan laju eutrofikasi yang mempengaruhi kualitas sumber air domestik, industri dan pertanian. Studi ini menekankan pentingnya pengelolaan dan penghapusan fosforus dari air limbah sebelum dibuang untuk mencegah peningkatan laju eutrofikasi. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) merekomendasikan batas maksimum pembuangan fosforus sebesar 0.5–1.0 ppm –1 (WHO, 2017).

### 2.5.7. TSS (Total Suspended Solids/ Total Padatan Tersuspensi )

Kadar Total Padatan Tersuspensi atau Total Suspended Solids (TSS) tersajikan pada Tabel 1 tercatat dengan nilai 156 ppm di bawah ambang batas Baku Mutu Air Tambak Udang yang ditetapkan kurang dari 200 ppm. Hal ini mengacu pada jumlah partikel padat yang terapung atau tersuspensi dalam air. TSS bisa terdiri dari berbagai jenis materi termasuk butiran tanah partikel organik dan mikroorganisme. Tingkat TSS yang tinggi dapat mengurangi kejernihan air dan mengganggu fotosintesis rumput laut sebagai tumbuhan air. TSS terdiri dari berbagai jenis materi, termasuk butiran tanah, partikel organik, dan mikroorganisme, yang semua berperan dalam dinamika siklus nitrogen.

Partikel tersuspensi dalam TSS memiliki permukaan yang dapat menyerap ion dan molekul dari air, termasuk amonia ( $\text{NH}_3$ ) dan ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ), dua bentuk utama nitrogen yang tersedia di perairan. Proses adsorpsi ini menyebabkan partikel TSS berfungsi sebagai reservoir sementara untuk nitrogen, mempengaruhi ketersediaan unsur hara untuk mikroorganisme nitrifikasi. Saat partikel organik dalam TSS terdekomposisi oleh aktivitas mikroba, nitrogen organik yang terikat dalam materi diurai menjadi bentuk anorganik (amonifikasi), yang kemudian dapat masuk ke dalam siklus nitrifikasi. Proses dekomposisi ini sangat bergantung pada kondisi lingkungan seperti suhu dan pH.

Kadar Total Suspended Solids (TSS) yang normal di perairan air payau dan batas aman bervariasi berdasarkan kondisi spesifik lingkungan dan kebutuhan ekosistem setempat. Penelitian yang dilakukan di perairan Raha, Sulawesi Tenggara menunjukkan bahwa kadar TSS bervariasi antara 74.8 hingga 78.9 ppm dengan rata-rata sekitar 76.5 ppm. Kadar ini masih sesuai dengan nilai ambang batas yang ditetapkan oleh pemerintah pada tahun 1988 untuk perikanan dan taman konservasi laut, namun tidak cocok untuk rekreasi seperti berenang atau aktivitas menyelam (Tarigan & Edward, 2010). Studi lain di Pantai Damas, Trenggalek, menemukan bahwa kadar TSS cukup tinggi yang ditunjukkan oleh kondisi air yang keruh. Kadar TSS pada Maret 2020 berkisar antara 37.8 hingga 72.6 ppm dan mengalami peningkatan hingga kisaran 72.7-145 ppm. Distribusi TSS tertinggi di Pantai Damas ditemukan pada musim hujan (Yonar et al., 2021). Kedua temuan ini menunjukkan bahwa tingkat TSS yang dapat dianggap normal atau aman bergantung pada

berbagai faktor termasuk lokasi geografis, kondisi ekosistem dan aktivitas manusia di sekitarnya.

### 2.5.8. BOT (Bahan Organik Terlarut)

Kadar Bahan Organik Terlarut yang tercatat sebesar 60 ppm menunjukkan bahwa nilai tersebut melampaui standar Baku Mutu Air Limbah Tambak Udang sebesar 20 ppm yang ditetapkan oleh peraturan terkait. Nilai ini menunjukkan jumlah materi organik yang terlarut dalam air. Materi organik ini bisa berasal dari berbagai sumber seperti sisa pakan, ekskresi organisme perairan, atau bahan alami dari lingkungan sekitar. Tingginya kadar BOT bisa menjadi masalah karena dapat memicu pertumbuhan mikroorganisme yang berlebihan, mengurangi kadar oksigen terlarut dalam air, dan mempengaruhi kesehatan dan pertumbuhan organisme perairan. Bolan et al., (2011) menyatakan bahwa BOT merupakan bagian signifikan dari siklus karbon global dan memiliki peran penting dalam siklus unsur hara serta interaksi kontaminan di lingkungan tanah dan perairan. BOT, yang merupakan fraksi organik yang paling mudah bergerak dan aktif, memengaruhi spektrum proses biogeokimia di lingkungan perairan dan terestrial. Ditambahkan oleh Jansen et al., (2014) bahwa BOT berperan penting dalam menghubungkan sistem terestrial dengan perairan. Sifat-sifat BOT yang berbeda selama transportasinya melalui sistem terestrial dan perairan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang dinamika BOT. Selain itu, interaksi antara dinamika BOT dengan proses fisik seperti hidrologi menunjukkan pentingnya pemahaman proses ini dalam skala lanskap. Sebuah studi yang dilakukan di dataran Songnen, China, menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi BOT di perairan air payau adalah 15.33 ppm. Studi ini menemukan bahwa ada perbedaan signifikan dalam konsentrasi rata-rata BOT antara perairan tawar dan perairan air payau, dengan perairan air payau memiliki konsentrasi BOT yang lebih tinggi (Song et al., 2013). Namun, perlu diperhatikan bahwa konsentrasi BOT dapat bervariasi berdasarkan lokasi dan kondisi spesifik lainnya di perairan air payau. Penting untuk mempertimbangkan data lokal atau spesifik wilayah untuk mendapatkan pemahaman yang lebih akurat tentang kadar BOT yang normal di perairan air payau tertentu.

Bahan Organik Terlarut (BOT) pada limbah tambak udang menjadi perhatian karena potensinya untuk memicu pertumbuhan mikroorganisme yang berlebihan, mengurangi kadar oksigen terlarut, dan mempengaruhi kesehatan dan pertumbuhan organisme perairan. Penelitian menunjukkan bahwa limbah BOT bisa diolah dan dimanfaatkan kembali, mengurangi dampak negatifnya dan bahkan memberikan nilai tambah. Limbah tambak udang dapat menjadi sumber unsur hara yang menguntungkan untuk pertumbuhan mikroalga tertentu. Penelitian oleh Arumugam et al. (2020) menemukan bahwa ekstrak lumpur limbah akuakultur dapat digunakan sebagai media pengayaan untuk budidaya mikroalga, menunjukkan potensi limbah ini untuk diolah menjadi produk yang bernilai tambah.

Sebuah studi oleh Santhi et al. (2017) menunjukkan bahwa biodegradasi limbah tambak udang dapat dipercepat dengan menggunakan metode pengolahan biologis seperti budidaya rumput laut, yang tidak hanya membantu membersihkan

air limbah tetapi juga memberikan pendapatan tambahan bagi petani udang. Jasmin et al. (2020) meninjau potensi bioremediasi dalam mengolah lumpur akuakultur, menyatakan metode ini sebagai cara yang ramah lingkungan untuk mengolah limbah organik tanpa menggunakan bahan kimia, menekankan pentingnya mencari solusi berkelanjutan untuk pengelolaan limbah. Penelitian ini menggambarkan berbagai pendekatan dalam pengelolaan limbah tambak udang, menekankan pentingnya mengolah BOT tidak hanya untuk mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan, tetapi juga untuk memanfaatkan potensi nilai tambahnya. Dengan menerapkan metode pengolahan yang tepat, limbah tambak udang dapat diubah menjadi sumber yang berharga untuk pertanian atau akuakultur lainnya.

### 2.5.9. Salinitas (ppt)

Kisaran salinitas 28ppt - 30 ppt yang disajikan dalam data menunjukkan kondisi salinitas air tambak udang, lebih tinggi jika dibandingkan dengan standar baku mutu air untuk pemeliharaan udang di tambak yaitu 15 ppt – 25 ppt. Namun demikian hal tersebut masih baik untuk budidaya karenasecara umum, air payau memiliki salinitas yang berkisar antara 10 ppt hingga kurang dari 35 ppt (Nature. 1971). Diketahui bahwa istilah air payau (brackish water) seringkali digunakan secara fleksibilitas dengan kisaran salinitas yang bervariasi berdasarkan geografis dan ekologi. Salinitas, yang merupakan ukuran total kandungan garam terlarut dalam air, adalah parameter penting yang mempengaruhi kualitas air dan kesehatan ekosistem perairan, khususnya dalam budidaya tambak udang. Bakteri nitrifikasi yang mengubah amonia menjadi nitrit dan nitrat memiliki rentang toleransi salinitas tertentu untuk aktivitas optimal. Jika salinitas terlalu tinggi atau terlalu rendah dari rentang ini, bisa menghambat proses tersebut, menyebabkan akumulasi amonia atau nitrit yang berbahaya di dalam sistem.

Salinitas memengaruhi tekanan osmotik lingkungan, yang jika terlalu berbeda dari tekanan intraselular, dapat menyebabkan stres osmotik pada mikroorganisme dan mempengaruhi aktivitas organisme perairan. Organisme perairan seperti udang dan ikan memerlukan kisaran salinitas tertentu untuk pertumbuhan dan reproduksi yang optimal. Salinitas yang berada di luar kisaran ideal dapat menyebabkan stres fisiologis pada organisme, mengganggu fungsi imun dan metabolisme, serta mempengaruhi tingkat kelangsungan hidup. Salinitas yang tinggi dapat dikaitkan dengan keberadaan ion dan partikel terlarut lainnya yang dapat memengaruhi kejernihan air dan penetrasi cahaya, yang penting untuk fotosintesis oleh tanaman air dan fitoplankton. Perubahan salinitas dapat mempengaruhi proses pengendapan dan resuspensi sedimen, yang berdampak pada distribusi TSS dan unsur hara terlarut, termasuk nitrogen dan fosfor, yang dapat memengaruhi kualitas air dan memicu eutrofikasi.

### 2.5.10. Derajat Keasaman (pH)

Data yang telah disajikan, menunjukkan bahwa pH air limbah yang diukur sesaat setelah dimasukkan ke wadah penelitian sebesar 6,55. Kandungan pH ini lebih rendah dari standar baku mutu air untuk budidaya udang yaitu antara 7,5 –



8.5. Salah satu penyebab pH air limbah ini rendah adalah rendahnya kandungan oksigen air limbah yaitu hanya 3,58 ppm dan tingginya kandungan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yaitu sebesar 18,8 ppm. Hal tersebut memicu naiknya konsentrasi ion hidrogen yang membuat kadar pH di air menurun dan air menjadi asam. Tingkat pH air yang rendah dapat mempengaruhi banyak proses kimia dalam air, termasuk ketersediaan unsur hara dan toksisitas logam berat, yang dapat memicu stres dan kematian udang yang dibudidayakan. Pada pH yang lebih rendah, terjadi peningkatan akumulasi gas nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ) selama denitrifikasi, terutama karena inhibisi enzimatik yang lebih besar pada pH di luar rentang optimal (pH 7.5 hingga 8.0) (Pan et al., 2012). Kejadian ini terjadi karena pada kondisi asam, aktivitas bakteri yang melakukan denitrifikasi menjadi lebih efisien.

Sebaliknya pada tingkat pH yang lebih tinggi mendukung akumulasi nitrit dalam sistem denitrifikasi. Studi menunjukkan bahwa pada pH tinggi, seperti 9.0, aktivitas bakteri seperti *Hyphomicrobium* yang mengandung NirK mendominasi, yang efisien untuk konversi nitrat menjadi nitrit, proses yang disebut denitrasi (Li et al., 2016). Kondisi ini disebabkan karena pada kondisi basa, amonia lebih stabil dan mudah dioksidasi menjadi nitrat. Secara spesifik, amonia, yang merupakan bentuk nitrogen yang sangat toksik, sangat dipengaruhi oleh perubahan pH. Dalam bentuk gas ( $\text{NH}_3$ ), keberadaan amonia lebih mendominasi pada pH tinggi dan sangat toksik bagi kehidupan perairan.

Perubahan kecil dalam pH dapat secara signifikan mempengaruhi ketersediaan dan toksisitas dari bentuk-bentuk nitrogen, yang pada gilirannya berdampak besar pada ekosistem air. Pergeseran pH yang meningkat dapat mempercepat proses nitrifikasi tetapi juga meningkatkan risiko toksisitas amonia, sementara penurunan pH bisa menguntungkan dalam mengurangi tingkat toksisitas amonia namun memperlambat nitrifikasi. Oleh karena itu, pemantauan dan pengaturan pH air tidak hanya penting untuk menjaga keseimbangan ekologi, tetapi juga untuk mengoptimalkan proses-proses kimia dan biologis yang terjadi di dalam air, termasuk dinamika nitrogen.

#### 2.5.11. Oksigen Terlarut (ppm)

Oksigen terlarut merupakan parameter penting dalam ekosistem perairan. menandakan jumlah oksigen yang tersedia untuk respirasi organisme air. Pada Tabel 1. dapat dilihat bahwa kandungan oksigen terlarut diukur dengan kisaran 3,58 hingga 9.30 ppm. Respirasi oleh organisme perairan dan dekomposisi materi organik terus berlangsung, hal ini memerlukan oksigen. Hal ini menyebabkan penurunan konsentrasi oksigen terlarut. terutama pada malam hari ketika fotosintesis berhenti karena kurangnya cahaya. Fluktuasi harian dalam kadar oksigen terlarut di ekosistem perairan dangkal dapat dipengaruhi oleh proses biologis seperti fotosintesis dan respirasi, serta proses fisik seperti difusi dan adveksi oksigen antara air dan atmosfer.

Penelitian Baxa et al. (2020) mengamati dua proses utama yang mempengaruhi kadar oksigen terlarut: produksi dan konsumsi oksigen di kolom air serta kebutuhan oksigen dari sedimen. yang dikenal sebagai Sediment Oxygen

Demand (SOD). SOD adalah proses di mana oksigen terlarut dalam air dikonsumsi oleh proses-proses biologis dan kimia dalam sedimen. Ini termasuk dekomposisi materi organik oleh mikroorganisme dan reaksi kimia oksidatif yang terjadi di antarmuka air-sedimen.

SOD dapat mendominasi sebagai sumber utama konsumsi oksigen. Ini berarti bahwa sebagian besar oksigen yang terlarut dalam air dikonsumsi oleh proses yang terjadi di sedimen. Oksigen terlarut adalah salah satu indikator terpenting dari kualitas air dan kesehatan ekosistem perairan. Oksigen diperlukan untuk respirasi oleh hampir semua bentuk kehidupan air, dan tingkatnya dalam air dapat memengaruhi berbagai proses biologis dan kimia. Berdasarkan data, tingkat oksigen terlarut diukur antara 3,58 - 9,30 ppm, yang secara umum menunjukkan kisaran yang cukup sehat untuk kebanyakan spesies perairan, termasuk udang dan ikan yang biasa dibudidayakan dalam tambak. Dalam respirasi aerobik, oksigen bertindak sebagai akseptor elektron terakhir dalam rantai transport elektron, memfasilitasi produksi ATP yang efisien dan memainkan peran kunci dalam nitrifikasi, di mana bakteri khusus mengubah amonia ( $\text{NH}_3$ ) menjadi nitrit ( $\text{NO}_2$ ), dan nitrit menjadi nitrat ( $\text{NO}_3$ ). Kedua langkah ini membutuhkan oksigen dan terhambat secara signifikan di lingkungan dengan oksigen terlarut rendah.

#### 2.5.12. Konsentrasi $\text{CO}_2$

Konsentrasi  $\text{CO}_2$  memegang peran penting dalam proses bioremediasi limbah karena berfungsi sebagai sumber karbon bagi mikroorganisme fotosintetik. Mikroorganisme ini menggunakan  $\text{CO}_2$  dalam proses fotosintesis untuk memproduksi energi dan biomassa. Konsentrasi  $\text{CO}_2$  seperti yang tercatat pada Tabel 1. 18,80 ppm menunjukkan tingginya kandungan  $\text{CO}_2$  pada lingkungan perairan limbah.

Dalam ekosistem tambak,  $\text{CO}_2$  berasal dari berbagai sumber yang terkait erat dengan aktivitas biologis dan proses kimia. Respirasi mikroorganisme dan biota tambak, seperti bakteri, fungi, ikan, dan invertebrata, adalah kontributor utama. Penguraian materi organik yang ada dalam air limbah untuk mendapatkan energi, menghasilkan  $\text{CO}_2$  sebagai produk sampingan. Bahan organik yang mengandung karbohidrat memainkan peran penting dalam produksi  $\text{CO}_2$  melalui proses degradasi yang dilakukan oleh mikroorganisme. Bahan-bahan ini bisa berasal dari berbagai sumber, termasuk sisa pakan yang tidak dikonsumsi, limbah tanaman, dan ekskreta hewan yang kaya akan karbohidrat. Proses penguraian bahan-bahan karbohidrat ini terjadi melalui dua jalur utama yaitu aerobik dan anaerobik.

Dalam ekosistem tambak, proses penguraian karbohidrat oleh mikroorganisme aerobik merupakan rangkaian reaksi biokimia yang melibatkan enzim seperti amilase dan selulase (Awasthi et al., 2018). Enzim ini membantu memecah karbohidrat kompleks menjadi gula yang lebih sederhana. Proses ini dimulai dengan hidrolisis, di mana amilase memecah pati menjadi maltosa, dan selulase menguraikan selulosa menjadi glukosa. Gula-gula ini kemudian mengalami glikolisis, di mana glukosa dipecah menjadi piruvat, menghasilkan ATP dan NADH sebagai sumber energi. Piruvat ini masuk ke siklus asam sitrat di mitokondria,

menghasilkan lebih banyak ATP, NADH, dan FADH<sub>2</sub>. Elektron dari NADH dan FADH<sub>2</sub> diangkut melalui rantai transport elektron, menggunakan oksigen sebagai akseptor elektron akhir untuk menghasilkan air dan menggerakkan sintesis ATP. Selama proses ini, CO<sub>2</sub> dihasilkan dan dilepaskan, berkontribusi pada pengelolaan limbah organik dan siklus karbon global, serta mengurangi potensi polusi di air tambak. Di bagian tambak yang lebih dalam atau kurang aerasi, proses anaerobik lebih dominan. Dalam kondisi anaerobik, mikroorganisme anaerobik menggunakan karbohidrat sebagai sumber energi dengan menghasilkan CO<sub>2</sub>, dan senyawa organik lainnya sebagai produk sampingan. Proses fermentasi ini kurang efisien dalam hal produksi energi dibandingkan dengan respirasi aerobik, tetapi memainkan peran vital dalam siklus karbon di ekosistem tambak.

Tumbuhan air dalam tambak juga memainkan peran penting dalam siklus CO<sub>2</sub>. Selama siang hari, tumbuhan ini menyerap CO<sub>2</sub> melalui proses fotosintesis dan menghasilkan oksigen, sedangkan pada malam hari, ketika fotosintesis tidak terjadi, tumbuhan tersebut menghasilkan CO<sub>2</sub> melalui respirasi. Proses kimia di dalam air, seperti pembentukan dan dekomposisi asam karbonat, juga menyumbang pada produksi CO<sub>2</sub>. Reaksi ini tidak hanya menghasilkan CO<sub>2</sub>, tetapi juga mempengaruhi keseimbangan pH dalam air, yang penting untuk kesehatan biologis kehidupan dalam tambak. CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh mikroorganisme menjadi komponen dalam proses fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan perairan. Selama fotosintesis, tumbuhan dan ganggang menggunakan energi dari cahaya matahari untuk mengubah CO<sub>2</sub> dan air menjadi glukosa dan oksigen. Glukosa ini kemudian digunakan sebagai sumber energi oleh tumbuhan, atau bisa kembali masuk ke dalam siklus limbah ketika tumbuhan mati dan terurai. Kehadiran tumbuhan perairan yang melakukan fotosintesis juga meningkatkan ketersediaan oksigen terlarut dalam air, yang sangat penting untuk kehidupan perairan dan efisiensi proses aerobik yang dilakukan oleh mikroorganisme. Oksigen yang dihasilkan melalui fotosintesis membantu menjaga kondisi aerobik di dalam ekosistem tambak, yang mendukung proses degradasi lebih lanjut dan menurunkan risiko kondisi anaerobik yang bisa menyebabkan akumulasi bahan berbahaya seperti metana.

Penelitian yang dilakukan di berbagai sistem CO<sub>2</sub> tinggi menunjukkan bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi dapat menyebabkan peningkatan laju pertumbuhan mikroorganisme spesifik, tergantung pada spesies tanaman dan pemupukan nitrogen (Blagodatskaya et al., 2010). Konsentrasi CO<sub>2</sub> yang tinggi dapat menurunkan pH air melalui pembentukan asam karbonat. pH yang rendah dapat menghambat bakteri nitrifikasi, yang memerlukan kondisi netral hingga sedikit alkalis untuk optimal berfungsi. Konsentrasi CO<sub>2</sub> yang tinggi di ekosistem tambak dapat menurunkan kandungan oksigen terlarut. Ini terjadi karena CO<sub>2</sub> yang larut dalam air dapat meningkatkan keasaman (pH turun), yang pada gilirannya mengurangi kapasitas air untuk menahan oksigen. Kondisi oksigen terlarut yang rendah penting karena berdampak langsung pada proses nitrifikasi dalam siklus nitrogen, yang sangat bergantung pada ketersediaan oksigen. Pada penelitian Luo et.al, (2016) bahwa denitrifikasi heterotrofik adalah proses dalam mengelola

konsentrasi nitrogen di sistem akuakultur, yang jika tidak diatur dapat menyebabkan masalah seperti eutrofikasi dan toksisitas amonia. Lebih lanjut dikatakan bahwa meskipun ada variasi dalam konsentrasi oksigen terlarut, kadar oksigen terlarut yang lebih rendah dari 6 ppm tidak secara signifikan menghambat proses denitrifikasi. Temuan ini menunjukkan bahwa kadar oksigen terlarut yang relatif rendah masih cukup untuk mendukung aktivitas bakteri denitrifikasi.

## 2.6. Simpulan

Penelitian ini mengungkapkan limbah tambak udang intensif sebagai sumber pencemar yang berpotensi merusak ekosistem perairan dan sebagai sumber unsur hara berharga bagi budidaya rumput laut. dapat mendukung keberlanjutan ekosistem perairan. Analisis menunjukkan bahwa :

1. Limbah tambak udang intensif yang mengandung konsentrasi Total Nitrogen sebesar 16.974 ppm dan Fosfor Total sebesar 2.196 ppm, jauh melampaui baku mutu yang ditetapkan. Ini mengindikasikan risiko eutrofikasi yang serius dan gangguan terhadap keseimbangan ekosistem perairan. Amonia, dengan konsentrasi 0.266 ppm, juga melebihi nilai ambang batas yang direkomendasikan (<0.1 ppm), menambah risiko toksisitas yang dapat membahayakan kehidupan akuatik. Kelebihan fosfor, terutama dalam bentuk Ortofosfat dengan konsentrasi 2.259 ppm, juga berpotensi menyebabkan pertumbuhan alga yang berlebihan, yang dapat menurunkan kualitas air dan mengurangi oksigen terlarut yang penting untuk kehidupan akuatik
2. Parameter seperti Nitrit dengan konsentrasi 1.146 ppm dan Nitrat dengan konsentrasi 7.670 ppm tercatat masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan (<2.5 ppm untuk Nitrit dan <75 ppm untuk Nitrat), menunjukkan bahwa dalam aspek ini, limbah tidak membahayakan. Ini menunjukkan bahwa beberapa komponen limbah dapat dikelola dengan baik atau tidak membahayakan.

## 2.7. Referensi

- Ambasankar, K., Ahamad Ali, S., & Syama Dayal, J. (2006). Effect of dietary phosphorus on growth and its excretion in tiger shrimp, *Penaeus monodon*. *Asian Fisheries Science*, 19 (1), 21-26. <https://doi.org/10.33997/j.afs.2006.19.1.003>
- Awasthi, M., Wong, J., Kumar, S., Awasthi, S., Wang, Q., Wang, M., Ren, X., Zhao, J., Chen, H., & Zhang, Z. (2018). Biodegradation of food waste using microbial cultures producing thermostable  $\alpha$ -amylase and cellulase under different pH and temperature.. *Bioresource technology*, 248 Pt B, 160-170 . <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.160>.
- Baxa, M., Musil, M., Kummel, M., Hanzlík, P., Tesařová, B., & Pechar, L. (2020). Dissolved oxygen deficits in a shallow eutrophic aquatic ecosystem (fishpond) - Sediment oxygen demand and water column respiration alternately drive the oxygen regime.. *The Science of the total environment*, 142647 . <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142647>
- Bolan, Nanthi & Adriano, Domy & Kunhikrishnan, Anitha & James, Trevor & Mcdowell, Rich & Senesi, Nicola. (2011). Dissolved organic matter:

biogeochemistry, dynamics, and environmental significance in soils. *Advances in Agronomy*, 110. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-385531-2.00001-3>

- Blagodatskaya, E., Blagodatsky, S., Dorodnikov, M., & Kuzyakov, Y. (2010). Elevated atmospheric CO<sub>2</sub> increases microbial growth rates in soil: results of three CO<sub>2</sub> enrichment experiments. *Global Change Biology*, 16. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02006.x>
- Burford, M., & Williams, K. (2001). The fate of nitrogenous waste from shrimp feeding. *Aquaculture*, 198, 79-93. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00589-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00589-5).
- Burgin, A., & Hamilton, S. (2007). Have we overemphasized the role of denitrification in aquatic ecosystems? A review of nitrate removal pathways. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5, 89-96. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[89:HWOTRO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[89:HWOTRO]2.0.CO;2).
- Camargo, J., & Alonso, Á. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment.. *Environment international*, 32 6, 831-49 . <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2006.05.002>
- Ge, H., Ni, Q., Li, J., Li, J., Chen, Z., & Zhao, F. (2018). Integration of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and green seaweed (*Ulva prolifera*) in minimum-water exchange aquaculture system. *Journal of Applied Phycology*, 31, 1425-1432. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1601-4>.
- Habaki, H., Aoki, Y., Egashira, R., Sato, K., & Eksangsri, T. (2016). Effects of Sterile *Ulva* sp. Growth Rate on Water Quality Control of Intensive Shrimp Culture Pond in Developing Countries. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 30, 341-349. DOI: <https://doi.org/10.15255/CABEQ.2014.2123>
- Hussain, S., Aziz, H., Isa, M., Ahmad, A., Leeuwen, J., Zou, L., Beecham, S., & Umar, M. (2011). Ortofosfat removal from domestic wastewater using limestone and granular activated carbon. *Desalination*, 271, 265-272. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2010.12.046>.
- Ice, G., & Binkley, D. (2003). Forest streamwater concentrations of nitrogen and phosphorus: A comparison with EPA's proposed water quality criteria. *Journal of Forestry*, 101, 21-28.
- Jansen, B., Kalbitz, K., & McDowell, W. (2014). Dissolved Organic Matter: Linking Soils and Aquatic Systems. *Vadose Zone Journal*, 13. <https://doi.org/10.2136/vzj2014.05.0051>.
- Jasmin, M., Syukri, F., Kamarudin, M., & Karim, M. (2020). Potential of bioremediation in treating aquaculture sludge: Review article. *Aquaculture*, 519, 734905. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734905>.
- Jiménez, J., Bru, S., Ribeiro, M., & Clotet, J. (2016). Phosphate: from stardust to eukaryotic cell cycle control. *International microbiology : the official journal of the Spanish Society for Microbiology*, 19 3, 133-141 . <https://doi.org/10.2436/20.1501.01.271>.
- Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor: KEP.28/MEN/2004 tentang Pedoman Umum Budidaya Udang Di Tambak. Diakses dari [https://dlhkp.kebumenkab.go.id/index.php/web/view\\_file/115](https://dlhkp.kebumenkab.go.id/index.php/web/view_file/115)

- Kim, I., Lee, K., Gruber, N., Karl, D., Bullister, J., Yang, S., & Kim, T. (2014). Increasing anthropogenic nitrogen in the North Pacific Ocean. *Science*, 346, 1102 - 1106. <https://doi.org/10.1126/science.1258396>
- Kir, M., & Kumlu, M. (2006). Acute Toxicity of Ammonia to *Penaeus semisulcatus* Postlarvae in Relation to Salinity. *Journal of The World Aquaculture Society*, 37, 231-235. <https://doi.org/10.1111/J.1749-7345.2006.00033.X>.
- Leininger, S., Urich, T., Schloter, M., Schwark, L., Qi, J., Nicol, G., Prosser, J., Schuster, S., & Schleper, C. (2006). Archaea predominate among ammonia-oxidizing prokaryotes in soils. *Nature*, 442, 806-809. <https://doi.org/10.1038/nature04983>
- Ling, T., Duning, B., Nyanti, L., Norhadi, I., & Emang, J. (2010). Water Quality and Loading of Pollutants from Shrimp Ponds during Harvesting. *Journal of environmental science & engineering*, 4, 13-18.
- Lemos, D., Coelho, R., Zwart, S., & Tacon, A. (2021). Performance and digestibility of inorganic phosphates in diets for juvenile shrimp (*Litopenaeus vannamei*): dicalcium phosphate, monocalcium phosphate, and monoammonium phosphate. *Aquaculture International*, 29, 681 - 695. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00651-3>
- Luo, G., Xu, G., Gao, J., & Tan, H. (2016). Effect of dissolved oxygen on nitrate removal using polycaprolactone as an organic carbon source and biofilm carrier in fixed-film denitrifying reactors. *Journal of environmental sciences*, 43, 147-152. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.10.022>.
- McIntosh, D., & Fitzsimmons, K. (2003). Characterization of effluent from an inland, low-salinity shrimp farm: what contribution could this water make if used for irrigation. *Aquacultural Engineering*, 27, 147-156. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(02\)00054-7](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(02)00054-7).
- Ministry of Natural Resources and Environment (MNRE), 2007. Effluent standard for brackishwater aquaculture. The Royal Government Gazette, Vol. 124 part 84 D, date Juli 13, B.E 2550 [http://www.secot.co.th/secot\\_ww/StandardSECOT/6.%E0%B8%84%E0%B8%B8%E0%B8%93%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%9E%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3.pdf](http://www.secot.co.th/secot_ww/StandardSECOT/6.%E0%B8%84%E0%B8%B8%E0%B8%93%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%9E%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3.pdf)
- Mokhele, Zhan, Yang, and Zhang. 2012. Review: Nitrogen assimilation in crop plants and its affecting factors. *Canadian Journal of Plant Science*. 92(3): 399-405. <https://doi.org/10.4141/cjps2011-135>
- Pan, Y., Ye, L., Ni, B., & Yuan, Z. (2012). Effect of pH on N<sub>2</sub>O reduction and accumulation during denitrification by methanol utilizing denitrifiers. *Water research*, 46 15, 4832-40. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.06.003>.
- Park, S., & Kim, M. (2016). Effect of ammonia on anaerobic degradation of amino acids. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20, 129-136. <https://doi.org/10.1007/S12205-015-0240-4>.
- Pollock, M., Clarke, L., & Dubé, M. (2007). The effects of hypoxia on fishes: from ecological relevance to physiological effects. *Environmental Reviews*, 15, 1-14. <https://doi.org/10.1139/A06-006>.

- Priyadarsani, L., & Abraham, T. (2016). Water and sediment quality characteristics of medium saline traditional shrimp culture system ( bheri ), 4, 309-318. <https://doi.org/10.17017/JFISH.V4I1.2016.81>.
- Rabiei, R., Phang, S., Yeong, H., Lim, P., Ajdari, D., Zarshenas, G., & Sohrabipour, J. (2014). Bioremediation Efficiency And Biochemical Composition Of *Ulva Reticulata* Forsskal (Chlorophyta) Cultivated In Shrimp (*Penaeus Monodon*) Hatchery Effluent. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 13, 621-639
- Rout, P. R., Bhunia, P., & Dash, R. R. (2016). Response Surface Optimization of Phosphate Removal from Aqueous Solution Using a Natural Adsorbent. *Trends in Asian Water Environmental Science and Technology*, 93–104. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-39259-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39259-2_8)
- Reynolds, C., & Davies, P. (2001). Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwaters: a British perspective. *Biological Reviews*, 76. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2000.tb00058.x>
- Santhi, N., Deivasigamani, B., & Subramanian, V. (2017). Studies on Biodegradation of Shrimp Farm Wastes by Using of Seaweeds. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6, 271-281. DOI: <https://doi.org/10.20546/IJCMAS.2017.601.033>
- Smith, V.H., Tilman, G.D., Nekola, J.C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, Volume 100, Issues 1–3, Pages 179-196. ISSN 0269-7491. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00091-3)