

KAJIAN TENTANG MANAJEMEN BUDIDAYA DENGAN PENAMBAHAN DEDAK FERMENTASI PADA BUDIDAYA UDANG VANNAMEI (PENAEUS VANNAMEI) SISTEM TRADISIONAL

Mahsyar Taufiq Abr

ABSTRACT

Peningkatan permintaan global udang vannamei sering kali terkendala oleh rendahnya efisiensi pada sistem budidaya tradisional akibat masalah kualitas air dan ketergantungan tinggi pada input kimia. Penelitian ini mengevaluasi penggunaan probiotik berbasis dedak padi fermentasi sebagai solusi lokal berbiaya rendah di Desa Pantai Timur, Kabupaten Wajo. Melalui pendekatan eksperimental pada 18 tambak (masing-masing 1 ha), penelitian ini menguji pengaruh perlakuan terhadap respons fisiologis, kualitas lingkungan, dan produktivitas udang selama 50 hari masa pemeliharaan. Data menunjukkan bahwa aplikasi dedak fermentasi secara signifikan meningkatkan aktivitas enzim amilase dan kadar glikogen, yang mengindikasikan perbaikan metabolisme karbohidrat dan cadangan energi udang. Meskipun aktivitas protease dan lipase tidak berubah nyata, intervensi ini efektif menstabilkan ekosistem tambak. Kualitas air tetap terjaga sesuai standar Permen KP No. 75/2016, dengan keunggulan berupa fluktuasi pH yang lebih stabil serta rendahnya akumulasi senyawa toksik seperti amonia, nitrit, dan nitrat. Kondisi lingkungan yang optimal tercapai pada suhu 27–32°C dengan kedalaman air 70–80 cm. Secara biologis, penggunaan dedak fermentasi berhasil meningkatkan bobot akhir udang dan mempertahankan tingkat kelangsungan hidup (survival rate) yang tinggi. Dengan menekan angka mortalitas, metode ini terbukti mampu menjaga stabilitas produktivitas tambak tanpa beban biaya pakan komersial yang berlebihan. Temuan ini menyimpulkan bahwa dedak padi fermentasi merupakan intervensi strategis yang efektif untuk meningkatkan efisiensi pakan dan keberlanjutan ekosistem pada budidaya udang vannamei tradisional.

Kata Kunci : *Udang vannamei; Budidaya tradisional; Dedak fermentasi; Fisiologi; Kualitas air*

PENDAHULUAN

Seiring dengan pertumbuhan populasi dan kesadaran akan pentingnya gizi udang, permintaan produk perikanan, khususnya udang, di seluruh dunia terus meningkat. Namun, hal ini seringkali menyebabkan tekanan lingkungan yang memerlukan tata kelola yang lebih baik untuk mengendalikannya (Garlock *et al.*, 2024). Meskipun budidaya udang vanamei telah berkembang pesat menjadi komoditas ekspor utama, ketergantungan pada pupuk kimia dan pakan komersil seringkali menyebabkan masalah lingkungan dan biaya produksi yang tinggi (Kashem *et al.*, 2024).

Sistem budidaya udang vannamei tradisional menggunakan teknologi minim di tambak tanah. Metode budidaya udang tradisional adalah yang paling umum di Indonesia, termasuk di wilayah kabupaten Wajo, di mana sebagian besar petani menggunakan metode ini untuk menanam udang vannamei. Metode budidaya tradisional hanya menggunakan pupuk tanpa pakan, dan metode budidaya tradisional plus menggunakan pupuk dan pakan komersil. Karena menggunakan teknologi yang sederhana dan mudah dipahami oleh petambak, budidaya sistem tradisional sangat populer di Indonesia.

Sistem budidaya tradisional sering menghadapi masalah pengelolaan kualitas air dan kesehatan udang, yang secara signifikan memengaruhi pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang. Dengan meningkatkan resistensi terhadap patogen dan stabilisasi ekosistem mikroba akuatik, penggunaan probiotik sebagai biokontrol memiliki potensi besar untuk mengurangi

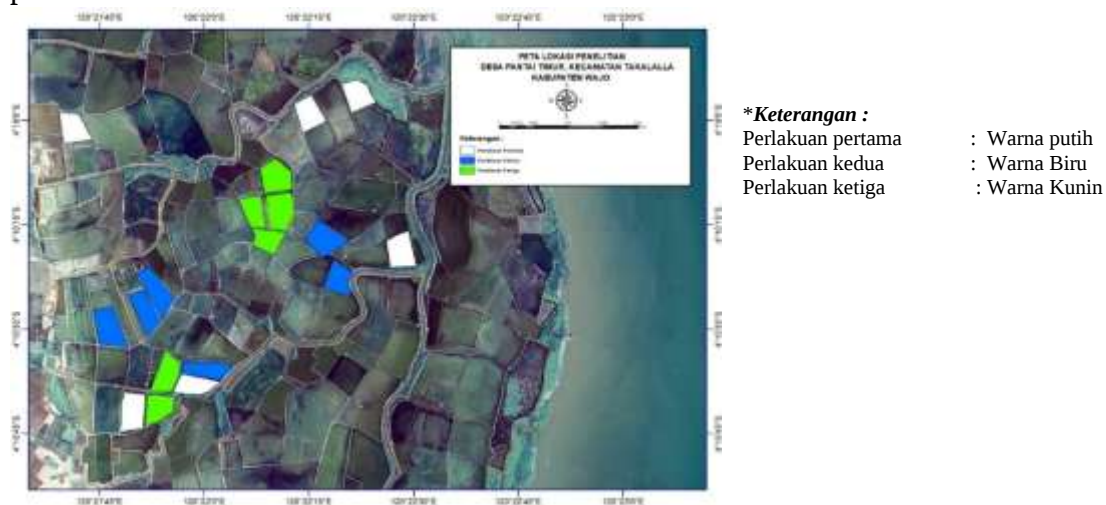
masalah tersebut (Restrepo *et al.*, 2021). Secara khusus, probiotik dapat meningkatkan kesehatan usus udang, yang merupakan komponen penting dalam penyerapan nutrisi dan respons imun. Namun, sensitivitas termal dapat menghalangi penerapan probiotik dalam pakan (Nankervis & Jones, 2022).

Namun, formulasi probiotik yang efektif dan stabil, terutama yang berasal dari konsorsium bakteri lokal, masih membutuhkan penelitian lebih lanjut untuk memaksimalkan manfaatnya dalam lingkungan budidaya non-steril (Guo *et al.*, 2023). Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa penambahan probiotik, termasuk strain bakteri asam laktat dan bakteri ungu nonsulfur, dapat meningkatkan ekspresi gen kekebalan tubuh dan melindungi larva udang dari patogen akuatik seperti *Vibrio parahaemolyticus* (Afonso *et al.*, 2021; Wada *et al.*, 2022).. Oleh karena itu, integrasi probiotik khusus yang berbasis pada bahan baku lokal seperti dedak padi sebagai pembawa agen probiotik masih membutuhkan penelitian lebih lanjut untuk membuktikan bahwa mereka berfungsi dengan baik dalam sistem budidaya konvensional yang memiliki karakteristik lingkungan yang berbeda (Guo *et al.*, 2023). Oleh karena itu, dengan menggunakan probiotik berbasis dedak fermentasi, penelitian ini bertujuan untuk memberikan data empiris yang mendukung pengembangan teknik budidaya akuakultur berkelanjutan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi respons fisiologis seperti enzim pencernaan dan kadar glikogen, parameter kualitas air, dan kinerja pertumbuhan udang *Vannamei* (*Litopenaeus vannamei*) pada sistem budidaya tradisional.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini akan mengadopsi pendekatan eksperimental dengan tiga metode budidaya tradisional yang berbeda perlakuan, melibatkan perancangan perlakuan dengan penambahan probiotik berbasis dedak fermentasi pada sistem budidaya tradisional untuk udang *Vannamei*. Metode ini akan mencakup uji respons fisiologis (enzim pencernaan dan kadar glikogen), pengukuran parameter kualitas air dan mengevaluasi efek probiotik ini pada pertumbuhan dan Kesehatan udang.

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Pantai Timur, Kecamatan Takalalla, Kabupaten Wajo, Sulawesi Selatan. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada tingkat produksi udang serta keberadaan petani yang masih menerapkan metode tradisional. Berikut ditampilkan peta lokasi penelitian :



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Peralatan yang digunakan meliputi alat tulis menulis, Laptop, kalkulator, timbangan digital, peralatan pengujian kualitas air (DO meter, pH meter, Refraktor meter, Termometer, Secchi disk), instrumen laboratorium canggih seperti spectrometer,

Persiapan Probiotik Berbasis Dedak Fermentasi:



Gambar 2. Proses pembuatan dedak fermentasi

Berikut 3 metode eksperimen budidaya sistem tradisional yang diamati :



Gambar 3. Tiga Metode Eksperimen budidaya udang vannamei sistem tradisional

Jumlah tambak yang digunakan dalam percobaan yaitu 6 tambak setiap percobaan dengan masing luasan 1 hektar dan tebaran 50.000 ekor/tambak dan dipelihara selama 50 hari. Parameter Pengamatan :

Pertama, aktivitas enzim pencernaan dan kadar glikogen. Berikut ilustrasi alur pengukuran enzim pencernaan dan kadar glikogen



Gambar 4. Prosedur uji kandungan enzim pencernaan



Kedua, Prosedur pengukuran dan pengamatan parameter kualitas air. Berikut ilustrasi pengamatan parameter kualitas air tambak budididaya.



Ketiga, pengukuran bobot spesifik, survival rate dan produksi setiap tambak percobaan. berikut ilustrasi pengukuran bobot spesifik, *survival rate* dan produksi setiap tambak percobaan.



Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara **Deskriptif**. Data yang diperoleh yaitu data kualitatif dan data kuantitatif. Data kualitatif yang diperoleh dari wawancara dan observasi akan dianalisis menggunakan metode analisis tematik. Peneliti akan mengidentifikasi variabel utama yang muncul dari data yang dikumpulkan, kemudian mengelompokkan informasi berdasarkan variabel tersebut. Hal ini akan membantu dalam memahami konteks dan pengaruh manajemen pakan dan penambahan dedak fermentasi terhadap respons fisiologis (enzim pencernaan dan kadar glikogen), parameter kualitas air dan mengevaluasi efek probiotik ini terhadap pertumbuhan dan kesehatan udang. Sedangkan untuk data kuantitatif yang diperoleh dari nilai rata-rata variabel yang dihitung dari hasil pengamatan, analisis dilakukan dengan menggunakan **Microsoft excel**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Respon Fisiologi Enzim pencernaan dan Kadar Glikogen pada udang vannamei

Indikator fisiologi udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) adalah parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat kesehatan, stres, metabolisme, dan adaptasi udang terhadap lingkungan budidaya. Indikator ini mencakup perubahan pada tingkat hemolimfa (darah udang), aktivitas enzim, serta respon organ tubuh. Pada penelitian ini yang diamati yaitu enzim pencernaan (Protease, amilase dan lipase) dan kandungan glikogen pada tubuh udang vannamei.

Tabel 1. Hasil pengukuran nilai enzim pencernaan dan kadar glikogen

No	Parameter uji	Nilai Hasil		
		P1	P2	P3
1	Enzim Protease (U/mg protein)	0,11±0,03	0,14±0,04	0,12±0,03
2	Enzim Amilase (U/mg protein)	1,81±0,46	2,07±0,47	2,21±0,11
3	Enzim Lipase (U/mg protein)	0,06±0,06	0,11±0,02	0,05±0,02
4	Glikogen (mg/g jaringan)	1,02±0,16	0,92±0,20	1,22±0,28

Hasil pengujian enzim pencernaan menunjukkan bahwa nilai enzim amilase atau enzim pencernaan amilun pada perlakuan pertama dan kedua cenderung lebih rendah. Pada perlakuan ketiga, di mana dedak ditambahkan, nilai enzim amilase atau enzim pencernaan amilun cenderung lebih tinggi dari perlakuan pertama dan kedua. Ini juga menunjukkan hubungan antara perlakuan dengan glikogen; nilai glikogen pada perlakuan ketiga lebih tinggi daripada perlakuan pertama dan kedua.

Dengan menambahkan bakteri probiotik ke media pemeliharaan, ekologi perairan dapat dipulihkan. Probiotik berfungsi sebagai promotor pertumbuhan udang untuk vannamei karena bakteri yang masuk ke saluran pencernaan udang dapat meningkatkan keseimbangan mikrob dalam usus dan bertanggung jawab untuk membuat enzim pencernaan eksogen seperti protease, amilase, dan lipase. Moriaty (1998) menyatakan bahwa enzim dan antimikroba yang diproduksi oleh bakteri *Bacillus* sp. menyebabkan sintasan dan pertumbuhan udang menjadi lebih baik.

Daya cerna dan konsumsi pakan udang uji meningkat sebagai hasil dari aktivitas enzim yang meningkat dalam saluran pencernaan mereka. Dengan menggunakan probiotik Bioremediasi *Bacillus* sp. dengan konsentrasi 0,5 ppm per minggu dalam media budidaya, kualitas lingkungan budidaya dapat diperbaiki dan aktivitas enzim pencernaan α -amilase dan protease dapat meningkat, sehingga meningkatkan pertumbuhan sintasan udang dan vannamei (Alamsyah, 2011). Perlakuan ketiga menunjukkan kadar enzim Amilase yang lebih tinggi daripada perlakuan sebelumnya. Ini disebabkan oleh penambahan dedak fermentasi, yang mengandung enzim amilase yang mudah dicerna udang, dan karbohidrat yang telah dipecahkan menjadi gula sederhana selama proses perlakuan ini.

Hal ini menunjukkan bahwa proses fermentasi dapat meningkatkan kualitas nutrisi dedak, yang membantu sintesis protein dan akumulasi energi dalam jaringan tubuh udang dengan lebih efektif (Wang *et al.*, 2025). Aktivitas enzim protease dan amilase yang dihasilkan selama proses fermentasi juga dikaitkan dengan peningkatan kualitas nutrisi ini. Substrat kompleks yang diuraikan menjadi lebih sederhana dan lebih mudah diserap oleh organisme monogastrik (Nyerhovwo *et al.*, 2020).

Pada perlakuan ketiga, pakan yang ditambahkan fermentasi dedak padi, kadar glikogen paling tinggi. Ini sesuai dengan penelitian Zaenuddin *et al.* (2018) yang menunjukkan bahwa pakan dengan karbohidrat tinggi (dengan kandungan karbohidrat lebih dari 40%) dapat berfungsi sebagai pengganti pakan komersil yang biasa digunakan di pasar untuk budidaya udang vannamei. Penggunaan karbohidrat pakan sebesar 40% meningkatkan kadar glikogen hati juvenil tilapia GIFT selama 45 hari. Mereka juga menemukan bahwa ikan yang diberi makan glukosa memiliki tingkat glikogen hati yang lebih tinggi daripada ikan yang diberi tepung gandum.

Selain aktivitas enzim pencernaan, fermentasi dedak dan bakteri *Bacillus* meningkatkan kadar glikogen hepatopankreas udang vanamei. Kadar glikogen yang lebih tinggi menunjukkan cadangan energi yang tersedia lebih baik untuk mendukung metabolisme dan aktivitas fisiologis udang, yang sejalan dengan peningkatan efisiensi pemanfaatan pakan karena aktivitas enzim pencernaan yang lebih baik (Lingga *et al.*, 2023).

2. Parameter kualitas air budidaya

Parameter kualitas air adalah parameter utama yang diamati untuk melihat pengaruh dari setiap perlakuan yang diberikan. Berikut data rata-rata nilai hasil pengamatan dari setiap perlakuan.

a. Pengukuran parameter kualitas air secara fisika :

Tabel 2 Hasil pengukuran parameter kualitas air secara fisika.

No	Parameter Kualitas Air	Nilai Hasil					
		P1		P2		P3	
		Pagi	Sore	Pagi	Sore	Pagi	Sore
1	Suhu (standart : 28-32 °C)	28,00 °C±0,00	32,00 °C±0,00	27,94°C±0,2 4	30,06 °C±0,24	27,30 °C±0,46	31,06 °C±0,74
2	Warna Air	Coklat Kemerahan		Coklat Kehijauan		Coklat Kehijauan	
3	Kecerahan Air (standart 30-45 cm)	49,06 cm±21,09		56,50 cm±16,51		59,56 cm±16,74	
4	Ketinggian air (standart 80-100 cm)	80 cm ±0,00		80 cm ±0,00		80 cm ±0,00	

***Keterangan :** Berdasarkan standar mutu kualitas air budidaya udang vannamei di tambak tradisional pada Peraturan Menteri Kelautan Dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 75/Permen-Kp/2016 Tentang Pedoman Umum Pembesaran Udang Windu (*Penaeus Monodon*) Dan Udang Vaname (*Litopenaeus Vannamei*).

1) Suhu air tambak

Suhu air tambak dalam penelitian ini rata-rata berkisar antara 27°C dan 32°C di semua perlakuan. Ini mungkin disebabkan oleh hujan dan cuaca panas yang berubah-ubah, serta angin kencang selama proses pemeliharaan. Namun, kematian terjadi pada tambak percobaan, tetapi tingkat kematian tidak terlalu tinggi pada perlakuan ketiga. Ini adalah peran mikkroba dari proses pemberian dedak fermentasi tambahan. Ini sesuai dengan penelitian (Dutta *et al.*, 2022) yang menunjukkan bahwa pemanasan air yang disebabkan oleh aktivitas mikroba dalam dedak fermentasi dapat membantu mengurangi penyebaran penyakit tertentu. Namun, untuk

menghindari stres termal yang berbahaya, dampak ini harus diperiksa secara menyeluruh. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menentukan ambang batas suhu ideal yang dihasilkan oleh dedak fermentasi agar dapat bermanfaat bagi udang dan ekosistem budidaya lainnya tanpa berdampak buruk pada mereka. Kondisi lingkungan yang tidak stabil, seperti perubahan suhu yang drastis, dapat menyebabkan respons stres pada udang; respons ini ditunjukkan dengan peningkatan kadar glukosa, alanin transaminase, dan hormon kortisol (Fathy, 2024). Proses biokimia dan fisiologis yang penting untuk pertumbuhan, reproduksi, dan kekebalan dapat terganggu oleh kondisi stres ini (Fathy, 2024).

Untuk membuat strategi manajemen yang efektif, penelitian lebih lanjut diperlukan mengenai cara udang menyesuaikan diri dengan perubahan suhu yang disebabkan oleh dedak fermentasi dan dampak jangka panjangnya terhadap sistem kekebalan tubuh udang. Selain itu, adaptasi udang terhadap perubahan suhu yang cepat, seperti yang dapat terjadi selama transfer antar wadah atau perubahan kondisi lingkungan, dapat mengurangi kesehatan dan kekebalan udang dan meningkatkan kelentannya terhadap patogen (Arbon *et al.*, 2023). Oleh karena itu, untuk mengurangi dampak negatif pada kesehatan dan ketahanan udang, penting untuk menjaga suhu tidak berubah secara cepat dan memastikan waktu aklimatisasi yang cukup (Arbon *et al.*, 2023).

2) Warna air tambak

Warna air berfungsi sebagai petunjuk penting tentang kualitas lingkungan perairan. Mereka dipengaruhi oleh penetrasi cahaya matahari dan proses fotosintesis fitoplankton, yang pada gilirannya mempengaruhi suhu dan ketersediaan oksigen terlarut. Berbagai faktor, seperti suspensi partikel koloid, konsentrasi bahan organik terlarut, dan biomassa fitoplankton, dapat memengaruhi warna air secara keseluruhan. Karena warna air memengaruhi kesehatan dan kenyamanan udang serta produktivitas tambak secara keseluruhan, sangat penting untuk memahami dinamika warna air dalam budidaya udang Vannamei.

Air tambak yang kaya akan fitoplankton dan alga lainnya biasanya berwarna hijau karena mekarnya alga sel tunggal seperti *Chaetoceros*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Skeletonema*, *Cyclotella*, *Synedia*, *Achnanthes*, *Amphora*, dan *Euglena*, serta kelompok alga hijau, khususnya *Chlorella*. Beberapa alga lain, seperti *Dunaliella*, *Platymonas*, dan *Chlamydomonas*, juga ditemukan dalam air kolam. Secara umum, transparansi berkisar antara 20 dan 70 cm (Mane *et al.*, 2017). Adanya bahan organik dalam perlakuan kedua (pupuk dan pakan) dan perlakuan ketiga (dedak fermentasi dan pakan) mempengaruhi kondisi ini. Untuk menjaga kestabilan warna air, penggantian air berkala diperlukan untuk perlakuan ketiga.

Pengaruh dedak fermentasi terhadap biomassa mikroba dan ketersediaan nutrisi dapat mengubah parameter ini. Ini dapat mempengaruhi spektrum cahaya yang menembus kolom air, stabilitas suhu, dan ketersediaan pakan alami udang (Parma *et al.*, 2022). Studi sebelumnya menunjukkan bahwa bahan organik dari dedak fermentasi dapat meningkatkan pertumbuhan fitoplankton tertentu; spesies dominan yang tumbuh dapat mengubah warna air menjadi kehijauan atau kecoklatan (Colas & Faucheur, 2023).

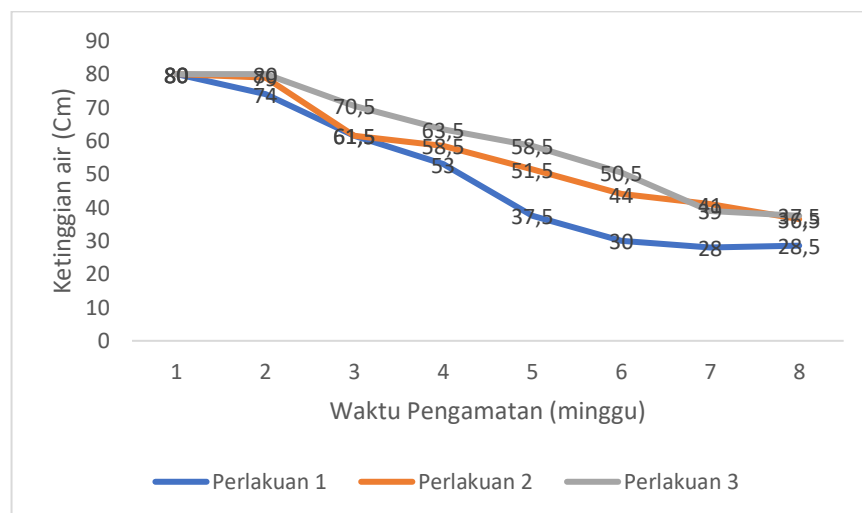
3) Kecerahan air tambak

Salah satu indikator penting kualitas air adalah kecerahan air, yang menunjukkan seberapa jauh cahaya dapat menembus kolom air dan memengaruhi fotosintesis fitoplankton dan kemampuan udang untuk melihat. Untuk budidaya udang Vannamei, kecerahan yang ideal

sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem perairan dan meringankan tekanan pada hewan budidaya. Jumlah partikel tersuspensi, biomassa fitoplankton, dan bahan organik terlarut adalah beberapa faktor yang dapat memengaruhi kecerahan air. Penambahan dedak fermentasi dapat memengaruhi semua faktor ini. Kandungan bahan organik di tambak memengaruhi kecerahan air tambak. Partikel tersuspensi, akumulasi limbah organik yang meningkat seiring dengan hari-hari budidaya udang, bacaan kecerahan, dan nilai kecerahan adalah beberapa faktor penting yang berkontribusi pada peningkatan konsentrasi bahan organik di tambak intensif (Ariadi *et al.*, 2019).

Dalam penelitian ini, kecerahan pada perlakuan pertama dan kedua gelap lebih cepat daripada warna air pekat. Ini karena terlalu banyak bahan organik yang ditambahkan dari pupuk dan pakan menyebabkan penumpukan bahan organik di perairan tambak, yang menyebabkan kecerahan turun dengan cepat. Di sisi lain, perlakuan ketiga cenderung lebih stabil karena tambahan bahan organik dari dedak fermentasi yang lebih stabil.

Sebagai sumber protein nabati alternatif untuk akuakultur, dedak fermentasi dapat mengubah komposisi pakan dan kualitas air secara tidak langsung melalui perubahan dinamika nutrisi dan biomassa mikroba (Mugwanya *et al.*, 2022). Namun, jika tidak digunakan dengan benar, dedak fermentasi dapat meningkatkan kekeruhan air. Ini terutama disebabkan oleh peningkatan biomassa mikroba atau partikel tersuspensi lainnya. Biomassa ini dapat menghambat penetrasi cahaya dan memengaruhi produktivitas primer (Eggink *et al.*, 2024; Ma & Hu, 2023).



Gambar 8. Hasil pengamatan kecerahan

4) Kedalaman air tambak

Kedalaman air tambak tradisional rata-rata kurang baik, hanya 70-80 cm, dan ini tentu berdampak pada kualitas parameter air lainnya. Dalam budidaya udang vaname, optimalisasi kedalaman air sangat penting karena memengaruhi pertumbuhan udang serta berbagai kualitas air (Cahyanurani & Hariri, 2021). Kesesuaian kualitas air pada tambak akan sangat memengaruhi kondisi dan kinerja udang yang dibudidayakan. Jika parameter kualitas air stabil, tingkat produktivitas panen akan meningkat (Halim *et al.*, 2022). pH, suhu, salinitas, kadar oksigen terlarut, dan beberapa parameter kualitas air esensial lainnya dipengaruhi oleh kedalaman air (Somantri *et al.*, 2022). Variasi kedalaman dapat memengaruhi distribusi

oksigen dan stratifikasi termal. Metabolisme dan kelangsungan hidup udang vaname dipengaruhi oleh perubahan ini (Shilman *et al.*, 2025). Sebagai contoh, perubahan dalam kedalaman air tambak dapat memengaruhi kompetisi nutrisi antar mikroorganisme. Perubahan ini berdampak pada keseimbangan ekosistem perairan dan ketersediaan oksigen terlarut bagi udang (Ariadi & Mujtahidah, 2022). Ketersediaan oksigen terlarut ideal adalah 4–8 mg/L (Djamali *et al.*, 2023). Jumlah amonia, nitrit, dan nitrat yang ada dalam air juga dipengaruhi oleh kedalaman air. Semua konsentrasi ini merupakan sinyal penting untuk kesehatan ekosistem tambak (Utama *et al.*, 2023). Manajemen kedalaman air yang tepat dapat membantu mempertahankan kualitas air dalam rentang yang tepat untuk pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang vaname (Fatimah *et al.*, 2023).

b. Pengukuran Kualitas air secara kimia :

Tabel 3. Hasil Pengukuran parameter kualitas air secara kimia

No	Parameter Kualitas Air	Nilai Hasil					
		P1		P2		P3	
		Pagi	Sore	Pagi	Sore	Pagi	Sore
1	pH (standart 7,5-8,5 ppt)	7,30 ppt $\pm$ 0,21	7,70 ppt $\pm$ 0,28	8,21 ppt $\pm$ 0,13	8,60 ppt $\pm$ 0,15	8,08 ppt $\pm$ 0,32	8,46 ppt $\pm$ 0,22
2	Salinitas (standart 5-40 ppt)	7,71 ppt $\pm$ 2,64	7,71 ppt $\pm$ 2,64	20,06 ppt $\pm$ 0,24	20,06 ppt $\pm$ 0,24	23,55 ppt $\pm$ 3,11	23,55 ppt $\pm$ 3,11
3	Dissolved Oxygen (standart >3,0 ppm)	3,46 ppm $\pm$ 0,41	6,35 ppm $\pm$ 0,92	5,90 ppm $\pm$ 0,98	9,07 ppm $\pm$ 1,03	4,32 ppm $\pm$ 0,45	9,43 ppm $\pm$ 1,11
4	Alkalinitas (standart 100-250 mg/l)	122,00 mg/l $\pm$ 8,45		127,57 mg/l $\pm$ 4,58		125,97 mg/l $\pm$ 24,47	
5	Amonia (standart <0,01 mg/l)	0,75 mg/l $\pm$ 0,14		0,56 mg/l $\pm$ 0,11		0,54 mg/l $\pm$ 0,09	
6	Nitrit (standart <0,01 mg/l)	0,3 mg/l $\pm$ 0,12		0,22 mg/l $\pm$ 0,10		0,06 mg/l $\pm$ 0,03	
7	Nitrat (standart 0,5 mg/l)	1,55 mg/l $\pm$ 0,15		1,56 mg/l $\pm$ 0,18		1,25 mg/l $\pm$ 0,30	
8	Fosfat (standart 0,1 mg/l)	0,91 mg/l $\pm$ 0,19		0,69 mg/l $\pm$ 0,14		0,35 mg/l $\pm$ 0,12	

***Keterangan :** Berdasarkan standar mutu kualitas air budidaya udang vannamei di tambak tradisional pada Peraturan Menteri Kelautan Dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 75/Permen-Kp/2016 Tentang Pedoman Umum Pembesaran Udang Windu (*Penaeus Monodon*) Dan Udang Vaname (*Litopenaeus Vannamei*)

1) pH air

Untuk mengetahui berapa banyak ion hidrogen ada dalam larutan perairan, Anda dapat menggunakan indikator pH. Faktor pH dapat basa, netral, atau asam. Nilai pH ideal untuk pertumbuhan udang vaname adalah sekitar 8,3, menurut Duan *et al.* (2019). Nilai pH di bawah 6,9 atau di atas 9,7 dapat menyebabkan stress pada udang (Yu *et al.*, 2020). Selain itu, pH yang berada di bawah kisaran toleransi menyebabkan penurunan sintasan dan kulit menjadi lembek. Penguraian atau dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme menyebabkan penurunan pH air tambak, yang mengakibatkan pelepasan CO₂, yang dapat menurunkan konsentrasi oksigen dan pH air. Selain itu, reaksi pH air tambak yang rendah dapat menyebabkan peningkatan kandungan bahan organik secara keseluruhan. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa aktivitas mikroorganisme proses tanah yang merusak bahan organik dipengaruhi secara langsung oleh pH media air (L Cao 2012).

Nilai pH perlakuan pertama dalam penelitian ini lebih rendah daripada perlakuan kedua dan ketiga. Menurut Permen KP nomor 75 tahun 2016, setiap perlakuan tetap memenuhi standar kualitas pH air. Studi ini juga menunjukkan bahwa menambahkan dedak fermentasi dapat membantu menjaga pH air tambak stabil. pH air, sebuah parameter penting yang menentukan kemudahan osmoregulasi udang dan efisiensi proses biologis di perairan, dapat berubah jika dedak fermentasi ditambahkan ke dalam sistem budidaya udang Vannamei. Salah satu sumber perubahan pH dapat berasal dari produksi asam organik selama proses fermentasi dedak, yang kemudian dilepaskan ke dalam air. Sumber lain dapat berasal dari perubahan aktivitas mikroba di dalam kolom air, yang berdampak pada siklus karbon dan nitrogen (Anand *et al.*, 2023).

Dalam kasus ini, penambahan dedak fermentasi dapat mempengaruhi pH secara tidak langsung melalui penyediaan substrat bagi bakteri kemudian dapat berinteraksi dengan mikroalga untuk mengontrol pH dan siklus karbon (Casagli *et al.*, 2021). Selain itu, tindakan mikroba yang disebabkan oleh fermentasi dedak, seperti proses nitrifikasi dan denitrifikasi, mempengaruhi pH air secara signifikan karena proses ini secara intrinsik terkait dengan produksi dan konsumsi ion hidrogen (Zhou *et al.*, 2023).

2) Salinitas

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai salinitas tambak dengan tambahan dedak fermentasi lebih stabil daripada tambak tanpa perlakuan dedak fermentasi. Hal ini menunjukkan bahwa dedak fermentasi memengaruhi kadar salinitas air yang ditanam dalam tambak secara tidak langsung. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Enggink *et al.* 2024, ini menunjukkan bahwa dampak fermentasi dedak terhadap salinitas mungkin lebih kompleks daripada hanya perubahan langsung; ini termasuk perubahan kimiawi yang mempengaruhi sifat osmotik air. Sebagai contoh, tekanan osmotik air dapat dipengaruhi oleh produksi senyawa organik terlarut yang meningkat dari dedak fermentasi, meskipun konsentrasi garam anorganik tidak berubah secara signifikan. Akibatnya, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mempelajari bagaimana dedak fermentasi mempengaruhi komposisi ionik dan total padatan terlarut dalam air budidaya, serta bagaimana dampaknya terhadap proses osmoregulasi udang Vannamei. Selain itu, ada kemungkinan bahwa dedak fermentasi dapat mempengaruhi konsentrasi nitrit dalam air. Ini karena udang sangat toksik terhadap nitrit karena hemocyanin tidak dapat membawa oksigen (Liang *et al.*, 2023).

3) Dissolved Oxygen (DO)

Karena oksigen adalah bagian penting dari proses respirasi, pengaruh oksigen terlarut (DO) sangat besar terhadap kelangsungan hidup udang. sesuai dengan temuan studi (Ariadi *et al.*, 2019). Di ekosistem kolam, oksigen terlarut sangat penting bagi udang dan mikroorganisme lain. Metabolisme aerobik, yang mendukung berbagai fungsi fisiologis seperti pertumbuhan, pergerakan, reproduksi, dan respons imun, memanfaatkan oksigen terlarut untuk menghasilkan energi. Stres pada udang, penurunan nafsu makan, penundaan pertumbuhan, peningkatan kerentanan terhadap penyakit, dan bahkan kematian massal dapat disebabkan oleh kekurangan oksigen terlarut, juga dikenal sebagai hipoksia (Ahsan, 2021).

Dalam penelitian ini, perlakuan pertama memiliki nilai DO lebih rendah daripada perlakuan lainnya; namun, nilai DO pada perlakuan ketiga cenderung lebih stabil dan kondisi tidak jauh berbeda dengan perlakuan kedua. DO pada penelitian ini memiliki nilai yang stabil

karena luasan tambak memenuhi dan adanya aktivitas fotosintesis dari fitoplankton sebagai salah sumber oksigen dalam air. Suhu air, aktivitas fotosintetik, dekomposisi bahan organik, dan respirasi biota adalah beberapa faktor yang dapat memengaruhi fluktuasi DO dalam sistem akuakultur (Arbon *et al.*, 2023).

4) Alkalinitas

Alkalinitas adalah kemampuan penyangga air untuk menahan perubahan pH, yang utamanya disebabkan oleh konsentrasi bikarbonat dan karbonat. Oleh karena itu, kestabilan sangat penting untuk menjaga lingkungan akuatik tetap ideal untuk udang. Alkalinitas yang cukup dalam budidaya udang vanamei tidak hanya menstabilkan pH, tetapi juga membantu proses molting dan mineralisasi cangkang udang serta pertumbuhan fitoplankton, yang merupakan inti rantai makanan (Dutta *et al.*, 2022).

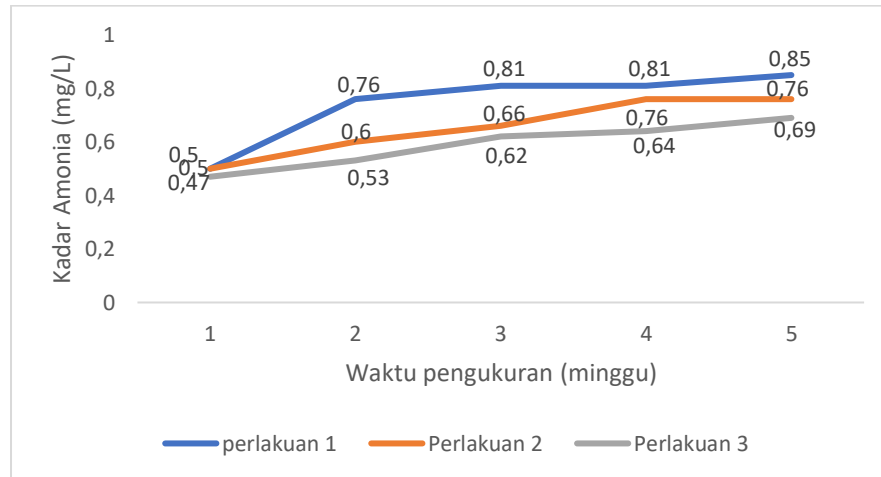
Bakteri menghancurkan bahan organik dan menghasilkan CO₂ dari proses respirasi, yang menghasilkan alkalinitas. Alkalinitas dapat membantu bakteri nitrifikasi. Ini sesuai dengan pernyataan Gaines *et al.* (2023) bahwa pengasaman dari respirasi larva dan aktivitas mikroba dapat menyebabkan rendahnya nilai alkalinitas, yang menghasilkan CO₂ yang bergabung dengan air untuk membentuk asam karbonat, yang mengurangi alkalinitas. Jika dibandingkan dengan air tambak dengan konsentrasi alkalinitas yang rendah, air tambak dengan konsentrasi alkalinitas yang tinggi akan mengalami fluktuasi pH yang lebih rendah setiap hari (Boyd *et al.*, 2003). Organisme akuatik tidak menyukai air dengan tingkat alkalinitas yang tinggi karena biasanya diikuti oleh nilai kesadahan atau kadar garam natrium yang tinggi (Effendi, 2024).

5) Amonia (NH₃)

Limbah yang paling umum di tambak udang adalah amonia. Amonia berasal dari sisa pakan udang vannamei yang tidak termakan, sisa organisme biota yang mati, dan sisa metabolisme udang. Amonia selalu ada dalam limbah tambak, sebagian besar karena hidrolisis protein dari pakan yang terlarut dalam air dan ekresi udang. Menurut Choo dan Tanaka (2000), ammonia dihasilkan dari pemecahan protein menjadi asam amino dan deaminasi oksidatif. Berlebihan nitrogen dalam limbah budidaya dapat menyebabkan eutrofikasi perairan penerima, yang mengakibatkan penurunan kualitas habitat organisme akuatik (Xia *et al.*, 2024).

Nilai amonia dalam penelitian ini meningkat seiring dengan usia udang vannamei, seperti yang ditunjukkan pada **gambar 9**. Nilai amonia yang ditambahkan pada perlakuan ketiga, yang melibatkan dedak fermentasi, cenderung lebih rendah daripada pada perlakuan sebelumnya. Ini disebabkan oleh bakteri pengurai tambahan yang ada dalam dedak fermentasi. Bakteri heterotrof, yang mengubah nitrogen anorganik menjadi protein mikroba, diaktifkan oleh pemberian dedak fermentasi, yang secara signifikan dapat mengurangi akumulasi amonia total dalam air tambak. Rasio C:N yang tinggi mempercepat proses ini. Ini memungkinkan pertumbuhan bakteri heterotrof lebih cepat daripada bakteri nitrifikasi, sehingga kontrol amonia dapat dicapai pada tahap awal budidaya (Rodrigues *et al.*, 2022). Selain itu, telah ditunjukkan bahwa penggunaan bahan yang dihasilkan dari fermentasi berhasil mencegah hadirnya senyawa amina yang dapat merusak organisme budidaya (Han *et al.*, 2022). Karena sifatnya yang murah, dedak fermentasi dapat menurunkan biaya produksi dan dapat menggantikan peran pakan komersial dalam mendukung kesehatan ekosistem tambak (Mugwanya *et al.*, 2022) dan (Siddik *et al.*, 2024). sekaligus mempercepat pemisahan bahan

organik dari sisa pakan, yang biasanya menumpuk di dasar tambak, dan menyebabkan perubahan ekstrim dalam parameter kualitas air. Keberadaan komunitas bakteri yang lebih beragam membantu stabilitas konsentrasi amonia ini. Komunitas bakteri ini tidak hanya membawa limbah keluar tetapi juga meningkatkan ketahanan udang terhadap serangan patogen melalui mekanisme stabilisasi mikroekosistem perairan (Guo *et al.*, 2023).

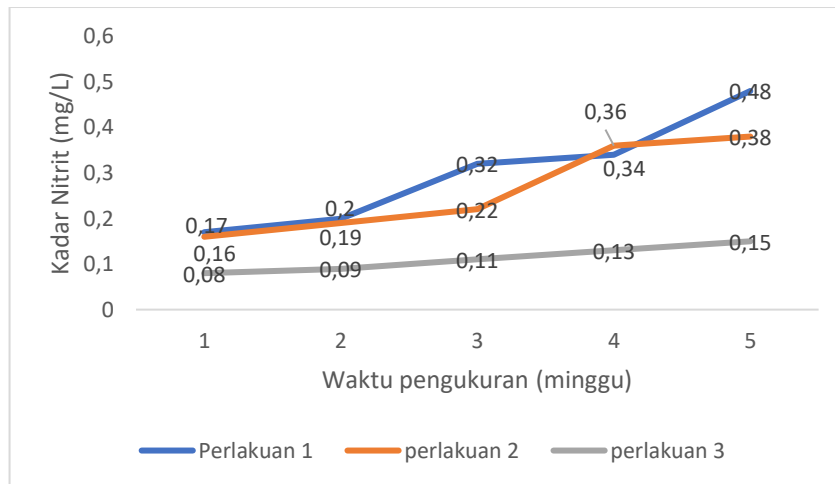


Gambar 9. Hasil pengukuran ammonia

6) Nitrit (NO_2)

Nitrit dalam jumlah besar di perairan berbahaya dan dapat membahayakan kehidupan udang. Nilai nitrit dalam perairan berkorelasi dengan berbagai faktor, termasuk kecerahan, pH, saline, fosfat, dan TOM. Semakin pekat perairan, lebih banyak bahan organik di dalamnya, sehingga nilai nitrit juga meningkat (Ghufron *et al.*, 2018). Selain itu, tingkat nitrit dan amonia yang tinggi dapat berkontribusi pada tingkat konsumsi oksigen yang tinggi sehubungan dengan proses dekomposisi yang terjadi dalam ekosistem perairan (Wafi *et al.*, 2021).

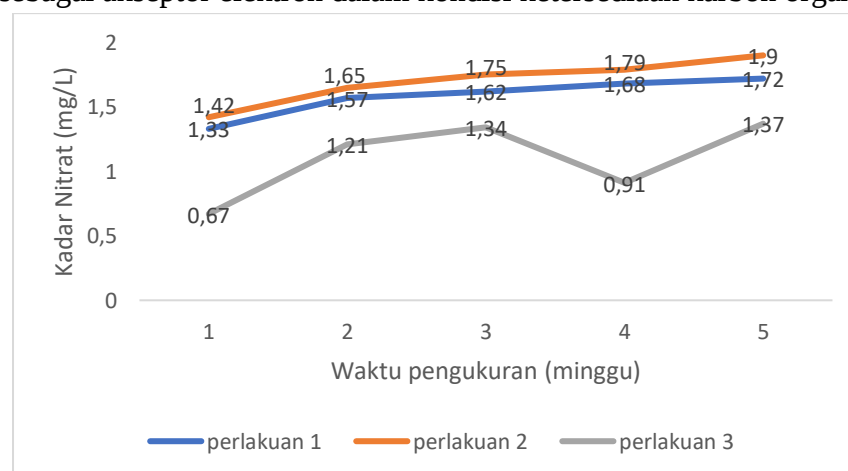
Dalam penelitian ini, nilai nitrit rata-rata meningkat seiring dengan usia budidaya udang. Peningkatan pada perlakuan ketiga atau dedak fermentasi lebih rendah daripada perlakuan sebelumnya. Ini menunjukkan bahwa kadar nitrat di air tambak dipengaruhi oleh dedak fermentasi. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Zhang *et al.* (2023), dan Xia *et al.* (2024), yang menunjukkan bahwa dengan menambah dedak fermentasi, ketersediaan poli- β -hidroksibutirat meningkat. Bakteri yang mengumpulkan polyphosphate denitrifying berfungsi sebagai donor elektron, dan ini memungkinkan bakteri untuk mengurangi anion nitrit menjadi gas nitrogen melalui jalur metabolisme anaerobik dan anoksik. Peningkatan kelimpahan gen fungsional nirK dan norB dari filum Proteobacteria mendukung aktivitas ini. Ini secara efektif mengurangi konsentrasi zat nitrogen berbahaya sekaligus mengurangi akumulasi fosfor di lingkungan budidaya melalui proses bioakumulasi (Xia *et al.*, 2024). Selain itu, pemanfaatan karbon organik dari dedak fermentasi ini meningkatkan aktivitas genus *Accumulibacter*. Genus ini memiliki kemampuan untuk menggunakan nitrit sebagai akseptor elektron pengganti oksigen, sehingga proses pembersihan nitrogen dan fosfat dapat dilakukan secara bersamaan dalam kondisi oksigen terlarut yang rendah (Zhang *et al.*, 2023).



Gambar 10. Hasil pengukuran Nitrit

7) Nitrat (NO_3)

Fitoplankton membutuhkan nitrat sebagai salah satu nutrisi untuk menunjang pertumbuhannya (Gunawan, 2024). Terlalu banyak nitrat dapat menyebabkan blooming dan merusak kualitas air kolam. Nilai nitrat udang vannamei dalam penelitian ini meningkat seiring dengan umurnya. Semakin banyak input organik dari pakan, feses, dan plankton mati menyebabkan peningkatan Nitrat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai nitrat pada perlakuan ketiga yang menggunakan input dedak fermentasi meningkat lebih lambat dari perlakuan lain, seperti yang ditunjukkan pada **gambar 11**, yang menunjukkan peningkatan nilai nitrat yang lebih lambat. Ini karena aktivitas bakteri pengurai dalam dedak fermentasi, yang dapat memperlambat peningkatan konsentrasi nitrat. Aktivitas ini sejalan dengan penelitian sebelumnya (Wei *et al.*, 2022) yang menunjukkan bahwa bakteri denitrifikasi seperti *Rhizobiales* dan *Nitrosomonadales* memulai proses denitrifikasi dengan menggunakan senyawa tersebut sebagai akseptor elektron dalam kondisi ketersediaan karbon organik.



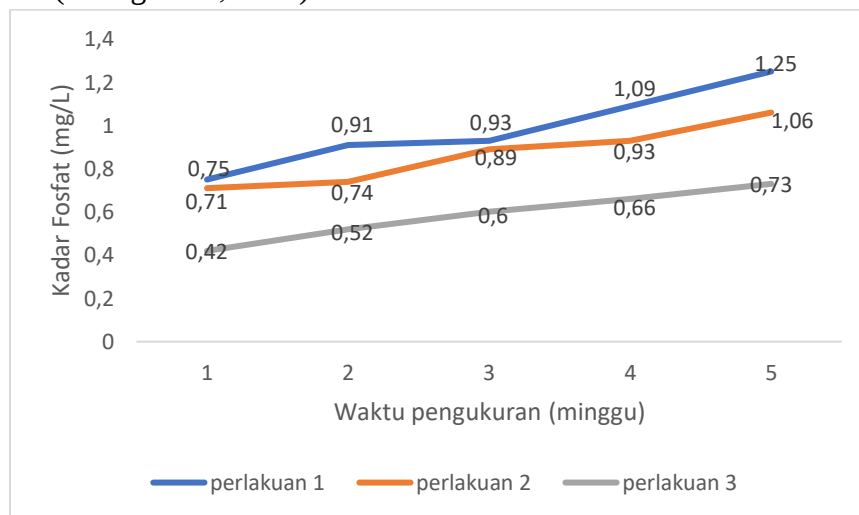
Gambar 11. Hasil pengukuran Nitrat

8) Fosfat (PO_4)

Fosfat juga merupakan komponen hara makro penting bagi ekosistem perairan karena berfungsi sebagai penghalang pertumbuhan fitoplankton, yang merupakan produsen utama (Krisyanto, 2021). Untuk mendorong pertumbuhan fitoplankton, yang merupakan sumber pakan alami bagi udang vaname, diperlukan fosfat dalam konsentrasi yang tepat, yang secara tidak langsung mendukung produktivitas budidaya udang vaname. Kadar fosfat yang terlalu

tinggi dapat menyebabkan eutrofikasi, yang meningkatkan kelimpahan fitoplankton. Menurut Malerba (2012), sisa pakan dan ekskresi udang adalah sumber fosfat kolam udang.

Nilai fosfat meningkat seiring dengan umur udang yang dibudidaya, seperti yang ditunjukkan oleh pengujian kondisi fosfat dalam penelitian ini. Nilai fosfat meningkat lebih lambat pada perlakuan ketiga dengan dedak fermentasi daripada perlakuan sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah fosfat yang meningkat dihambat oleh tambahan dedak fermentasi. Ini sejalan dengan penelitian sebelumnya (Sun *et al.*, 2024), di mana bakteri heterotrof mengaktifkan fosfatase ekstraseluler dengan menghidrolisis fosfat organik menjadi fosfat anorganik terlarut. Fosfat organik kemudian diserap oleh fitoplankton atau diikat kembali melalui proses mineralisasi di lapisan sedimen. Dengan memberikan bahan organik ini, populasi bakteri pereduksi sulfat dan bakteri fungsional lainnya meningkat. Bakteri ini memperkaya struktur komunitas mikroba sedimen, yang menghasilkan homeostasis lingkungan melalui pengaturan siklus sulfur dan fosfor yang lebih stabil. Selain itu, lebih banyak karbon organik yang tersedia dalam dedak membantu mikroba berfungsi berkembang biak yang berpartisipasi dalam mineralisasi fosfor organik. Ini secara langsung meningkatkan ketersediaan nutrisi penting untuk produktivitas primer tanpa menyebabkan pengayaan fosfat yang berlebihan di kolom air (Hu *et al.*, 2024). Mekanisme pelepasan fosfor dari sedimen juga memengaruhi stabilitas konsentrasi fosfat. Mekanisme ini dikendalikan oleh interaksi metabolisme antara bakteri fermentatif yang menghasilkan asam lemak volatil dan bakteri yang mengurangi sulfat dalam kondisi anaerobik (Zhu *et al.*, 2024). Proses ini melibatkan hidrolisis bahan organik kompleks yang menyediakan asetat bagi organisme akumulasi fosfat (organisme akumulasi fosfat atau PAO) untuk menyimpan polifosfat secara intraseluler selama fase aerobik. Ini mengurangi risiko eutrofikasi yang sering terjadi pada sistem tradisional karena akumulasi sisa pakan (Zhang *et al.*, 2022).



Gambar 12. Hasil pengukuran fosfat

c. Pengukuran parameter kualitas air secara biologi

Tabel 4. Hasil pengamatan jenis plankton

No	Parameter Uji	Nilai Hasil		
		Perlakuan 1	Perlakuan 2	Perlakuan 3
1.	Jenis Plankton	Fitoplankton Menguntungkan : <i>Bacillariophyceae</i> , <i>diatom</i> , <i>Gyrosigma sp</i> , <i>Navicula Sp</i> . Merugikan : <i>Nitzschia</i> <i>Sp</i> , <i>Dinoflagellata</i> , <i>Algae</i> <i>Dinoflagellata</i>	Fitoplankton Menguntungkan : <i>Bacillariophyceae</i> , <i>diatom</i> , <i>Gyrosigma sp</i> , <i>Navicula Sp</i> . Merugikan : <i>Nitzschia Sp</i> , <i>Dinoflagellata</i> , <i>Algae</i> <i>Dinoflagellata</i>	Fitoplankton Menguntungkan : <i>Bacillariophyceae</i> , <i>Navicula S36</i> . <i>Chrysophyta</i> , <i>diatom</i> , <i>Gyrosigma s</i> , <i>Navicula</i> <i>Sp</i> . Merugikan : <i>Nitzschia</i> <i>Sp</i> , <i>Dinoflagellata</i> , <i>Algae</i> <i>Dinoflagellata</i>

Sifat fisik dan kimia kualitas air, serta kandungan nutrisi yang dibuang dari limbah perairan di sekitar lokasi budidaya, memengaruhi kelimpahan dan jenis fitoplankton di tambak udang (Adhikari *et al.*, 2017). dan fosfor (Arofah *et al.*, 2021). Hasil ini sesuai dengan penelitian oleh Samocha dan Lawrence (1997), yang menemukan bahwa limbah dari kolam, terutama kolam yang dekat dengan area pembuangan, memengaruhi indeks kualitas air. Kondisi lingkungan seperti cahaya, suhu, dan konsentrasi nutrisi dalam air kolam memengaruhi kehadiran dan pertumbuhan fitoplankton (Yusoff *et al.*, 2002).

Di kolam intensif, indeks keseragaman fitoplankton adalah 0,81, sedangkan di kolam tradisional, indeksnya adalah 0,85, yang menunjukkan keseragaman tinggi. Indeks keseragaman tambak tradisional tinggi, menurut penelitian Palupi *et.al* (2021). Kelimpahan individu masing-masing spesies dalam suatu lingkungan tambak relatif sama; dengan kata lain, tidak ada dominasi spesies tertentu. Untuk menghasilkan udang berkualitas tinggi, kondisi ekologi lahan tambak yang baik sangat penting. Oleh karena itu, kualitas air dan keanekaragaman fitoplankton sangat penting untuk dipelajari dan diperhatikan. Faktor biotik dan abiotik kolam sangat mempengaruhi pembentukan keanekaragaman fitoplankton, dan faktor-faktor ini dapat mempengaruhi kesehatan udang yang dibudidayakan serta ekosistem akuakultur (Yang *et al.*, 2020).

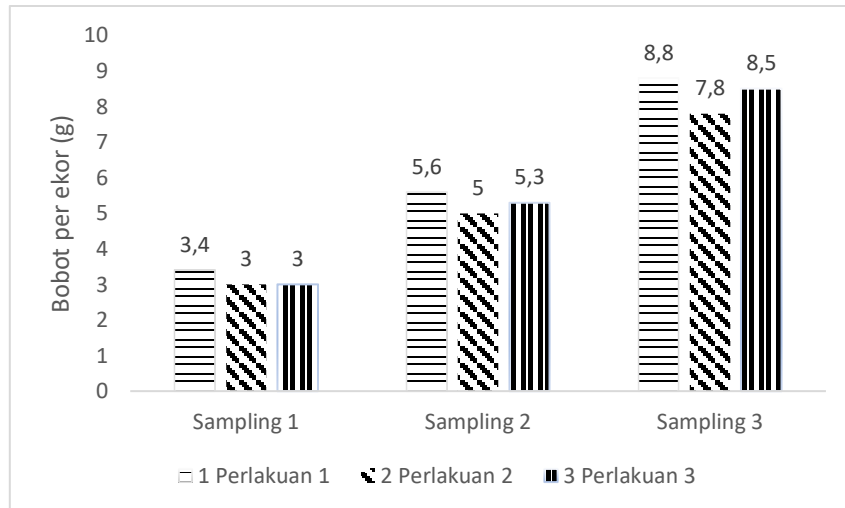
3. Pengaruh Penambahan Dedak Fermentasi Terhadap Pertumbuhan Bobot, Kelangsungan hidup dan Produktivitas.

Parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat efektivitas atau keberhasilan suatu metode budidaya. Berikut hasil pengukuran bobot akhir dan survival rate yang dilakukan dalam penelitian ini.

Tabel 5. Hasil pengukuran nilai rata-rata bobot akhir per ekor, survival rate, produksi setiap petak perlakuan

No	Paramater Uji	Nilai Hasil		
		P1	P2	P3
1.	Bobot Per ekor	8,4 g	7,6 g	8,5 g
2	<i>Survival rate</i>	24,10 %	40,90 %	62,90 %
3	Biomassa panen	107,5 kg	157,9 kg	265,8 kg

Pengukuran bobot per ekor dilakukan secara sampling dengan melakukan 3 kali sampling pada setiap perlakuan, berikut ini gambar grafik pertambahan bobot per ekor per perlakuan.



Gambar 13. Hasil pengukuran bobot pertumbuhan udang

Hasil pengujian menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan pakan kontrol tanpa fermentasi, pemberian pakan dan fermentasi dedak dapat meningkatkan bobot udang secara signifikan. Mereka juga dapat menjaga nilai kelangsungan hidup atau tingkat kelangsungan hidup. Ditunjukkan pada tabel 5. Ini disebabkan oleh fakta bahwa proses fermentasi mampu menguraikan kompleks karbohidrat dan senyawa anti-nutrisi pada dedak, sehingga mengoptimalkan ketersediaan nutrisi udang. Selain itu, tindakan mikroorganisme fermentor meningkatkan kandungan protein dan vitamin yang larut dalam air, yang mempercepat proses metabolisme dan penyerapan nutrisi pada jaringan tubuh udang (Eggink *et al.*, 2024). Prinsip fermentasi, yang menguraikan bahan organik kompleks menjadi bentuk yang lebih mudah dicerna, dapat memperpanjang masa simpan dan meningkatkan kualitas bahan pakan (Eggink *et al.*, 2024).

Selain itu, bahwa proses fermentasi meningkatkan bioavailabilitas mineral penting seperti kalsium, magnesium, besi, dan seng melalui penurunan kadar asam fitat yang mengikat mineral tersebut. Selain itu, proses fermentasi menghasilkan asam organik dan bakteriosin, yang memiliki kemampuan untuk menghentikan perkembangan patogen dan memperpanjang masa penyimpanan pakan, sehingga kualitas pakan yang dikonsumsi udang tetap terjaga selama masa pemeliharaan (Siddik *et al.*, 2024). Terjaganya proses pencernaan udang meningkatkan daya tahan tubuhnya terhadap penyakit, meningkatkan tingkat kelangsungan hidup.

Untuk mengukur keberhasilan strategi metode pemeliharaan dalam sistem budidaya yang berkelanjutan, pengukuran parameter produktivitas seperti efisiensi pemanfaatan pakan dan laju pertumbuhan khusus sangat penting. Laju pertumbuhan spesifik adalah parameter fisiologis yang menunjukkan kecepatan penambahan biomassa organisme per satuan waktu. Kualitas dan kuantitas pakan yang dikonsumsi serta kondisi lingkungan perairan secara langsung memengaruhinya (Garlock *et al.*, 2024). Selain itu, stres fisiologis pada udang dikurangi melalui pengelolaan limbah organik yang baik, yang memungkinkan energi metabolisme dioptimalkan untuk proses pertumbuhan dan pembentukan jaringan tubuh (Zheng

et al., 2024). Peningkatan berat mutlak yang signifikan pada akhir masa pemeliharaan menunjukkan bahwa penambahan fermentasi dedak mampu memaksimalkan potensi genetik udang vannamei dengan memberikan nutrisi yang seimbang dan senyawa bioaktif pendukung pertumbuhan. Senyawa bioaktif ini terdiri dari asam amino esensial, asam lemak tak jenuh, vitamin, dan enzim pencernaan yang dibuat selama proses fermentasi oleh aktivitas mikroorganisme. Ketersediaan asam amino esensial dan asam lemak dalam pakan fermentasi sangat penting untuk mempercepat sintesis protein dan jaringan seluler, sehingga meningkatkan laju pertumbuhan udang vannamei tertentu (Chen *et al.*, 2024).

KESIMPULAN

Penambahan dedak padi fermentasi pada sistem budidaya tradisional terbukti memberikan dampak positif terhadap respons fisiologis, kualitas lingkungan, pertumbuhan, dan produktivitas udang vannamei. Perlakuan dengan dedak fermentasi meningkatkan aktivitas enzim amilase dan kadar glikogen, membantu menjaga kestabilan kualitas air serta menekan akumulasi amonia, nitrit, nitrat, dan fosfat. Dampak tersebut berkontribusi terhadap peningkatan bobot udang, kelangsungan hidup, dan biomassa panen. Dengan demikian, dedak fermentasi berpotensi menjadi alternatif input lokal yang ekonomis dan berkelanjutan untuk meningkatkan efisiensi serta produktivitas budidaya udang vannamei tradisional.

REFERENSI

- Adhikari PL, Shrestha S, Bam W, Xie L, Perschbacher P. 2017. Evaluation of spatial-temporal variations of water quality and plankton assemblages and its relationship to water use in Kulekhani Multipurpose Reservoir, Nepal. *J Environ Prot* 8: 1270-1295. DOI: 10.4236/jep.2017.811079
- Afonso, A., Gomes, I. B., Saavedra, M. J., Giaouris, E., Simões, L. C., & Simões, M. (2021). Bacterial coaggregation in aquatic systems [Review of *Bacterial coaggregation in aquatic systems*]. *Water Research*, 196, 117037. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117037>
- Alamsyah.S. 2011. The Environmental Quality And Enzyme Activities Of Digestive Vannamei Shrimp (*Litopenaeus Vannamei*) On Various Concentrations Of Bioremediation-Bacillus Sp. Probiotics. *Fish Scientiae*, 1(2):161-178.
- Ahsan, A., Komariyah, S., & Febri, S. P. (2021). Utilization ingredients of anesthetic and different active substances in transportation closed wet system for survival of milkfish juvenile (*Chanos chanos*). *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 8(1), 31-35.
- Anand, U., Dey, S., Parial, D., Federici, S., Ducoli, S., Bolan, N., Dey, A., & Bontempi, E. (2023). Algae and bacteria consortia for wastewater decontamination and transformation into biodiesel, bioethanol, biohydrogen, biofertilizers and animal feed: a review [Review of *Algae and bacteria consortia for wastewater decontamination and transformation into biodiesel, bioethanol, biohydrogen, biofertilizers and animal feed: a review*]. *Environmental Chemistry Letters*, 21(3), 1585. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01562-w>
- Arbon, P., Martinez, M. A., Jerry, D. R., & Condon, K. (2023). Towards a ‘systems’ approach for viral challenge experiments in shrimp: Reporting guidelines for publication. *Reviews in Aquaculture*, 16(2), 923. <https://doi.org/10.1111/raq.12877>
- Ariadi, H., Mahmudi, M., Fadjar, M. (2019). Correlation between Density of *Vibrio* Bacteria with *Oscillatoria* sp. Abundance of Intensive *Litopenaeus vannamei* Shrimp Ponds.

- Ariadi, H., & Muhtahidah, T. (2022). ANALISIS PERMODELAN DINAMIS KELIMPAHAN BAKTERI *Vibrio* sp. PADA BUDIDAYA UDANG VANAME, *Litopenaeus vannamei*. *Jurnal Riset Akuakultur*, 16(4), 255. <https://doi.org/10.15578/jra.16.4.2021.255-262>
- Arofah S, Sari LA, Kusdarwati R 2021. The relationship with N/P ratio to phytoplankton abundance in mangrove Wonorejo waters, Rungkut, Surabaya, East Java. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 2021;718(1). doi:10.1088/1755-1315/718/1/012018
- Asaf, R., Ratnawati, E., Mustafa, A. (2015). Analisis pengaruh faktor lingkungan budidaya tambak terhadap produktivitas tambak di Kecamatan Tayu Kabupaten Pati Provinsi Jawa Tengah. *Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur*. hlm 789- 800
- Boyd.C.E. (2003). *Bottom Soil and Water Quality Management in Shrimp Ponds*, *Journal of Applied Aquaculture*, 13:1-2, 11-33
- Cahyanurani, A. B., & Hariri, A. (2021). Pembesaran Udang Vanname (*Litopenaeus vannamei*) Secara Intensif pada Kolam Bundar di CV. Tirta Makmur Abadi Desa Lombang, Kecamatan Batang-Batang, Sumenep, Jawa Timur. *Grouper*, 12(2), 35. <https://doi.org/10.30736/grouper.v12i2.93>
- Casagli, F., Rossi, S., Steyer, J. P., Bernard, O., & Ficara, E. (2021). Balancing Microalgae and Nitrifiers for Wastewater Treatment: Can Inorganic Carbon Limitation Cause an Environmental Threat? *Environmental Science & Technology*, 55(6), 3940. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c05264>
- Chen, B., Yu, P., Chan, W. N., Xie, F., Zhang, Y., Liang, L., Leung, K. T., Lo, K. W., Yu, J., Tse, G. M., Kang, W., & To, K. (2024). Cellular zinc metabolism and zinc signaling: from biological functions to diseases and therapeutic targets. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 9(1), 6. <https://doi.org/10.1038/s41392-023-01679-y>
- Choo, P.S. and K.Tanaka. 2000. Nutrient Levels in Ponds During the Grow-Out and Harvest Phase of *Penaeus Monodon* Under Semi Intensif or Intensive Culture. *Journal of JIRCAS* 8: 13-20
- Colas, S., & Faucheur, S. L. (2023). How do biomarkers dance? Specific moves of defense and damage biomarkers for biological interpretation of dose-response model trends. *Journal of Hazardous Materials*, 465, 133180. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133180>
- Duan Y, Wang Y, Liu Q, Zhang J, Xiong D, Changes in the intestine barrier function of *Litopenaeus vannamei* in response to pH stress, *Fish and Shellfish Immunology* (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.02.047>
- Dutta, D., Kundu, D., Jana, B. B., Lahiri, S., & Bhakta, J. N. (2022). Greenhouse-temperature induced manure driven low carbon footprint in aquaculture mesocosm. *Carbon Research*, 1(1). <https://doi.org/10.1007/s44246-022-00018-0>
- Effendi, H., 2003. Telaah kualitas air. Kanisius. Jakarta: 258.
- Eggink, K. M., Gonçalves, R., & Skov, P. V. (2024). Shrimp Processing Waste in Aquaculture Feed: Nutritional Value, Applications, Challenges, and Prospects. *Reviews in Aquaculture*, 17(1). <https://doi.org/10.1111/raq.12975>
- Eissa, E. H., Dowidar, H. A., Al-Hoshani, N., Baazaoui, N., Alshammari, N. M., Bahshwan, S. M. A., Kari, Z. A., Ibrahim, S., Munir, M. B., AL-Farga, A., Eissa, M. E. H., & El-Aziz, Y. M. A. (2024). Dietary supplementation with fermented prebiotics and probiotics can increase growth, immunity, and histological alterations in Pacific whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) challenged with *Vibrio parahaemolyticus*. *Aquaculture International*, 33(1). <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01704-z>
- Fan, R., Liu, H., Zhu, J., & Qin, G. (2025). Carbon footprint of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) cultured in recirculating aquaculture systems (RAS) in China. *Journal of Cleaner Production*, 510, 145606. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145606>

- Fathy, R. F. (2024). Divergent perspectives on the synergistic impacts of thermal-chemical stress on aquatic biota within the framework of climate change scenarios. *Chemosphere*, 355, 141810. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141810>
- Fatimah, N., Verdian, A. H., Oktaviana, A., Prastiti, L. A., Subhan, R. Y., Kurniawan, A., & Siburian, A. F. (2023). EVALUASI PERTUMBUHAN UDANG VANAME (*Litopenaeus vannamei*) YANG DIBERI PAKAN DENGAN SUPLEMENTASI KOMBINASI KALSIUM, MAGNESIUM, DAN VITAMIN D3. *Jurnal Riset Akuakultur*, 17(4), 227. <https://doi.org/10.15578/jra.17.4.2022.227-234>
- Gaines, E., Sturmer, L., Anderson, N., Laramore, S., Baker, S., 2023. The Role of pH , Alkalinity , and Calcium Carbonate in Shellfish Hatcheries. Unniversity of Florida 1–8.
- Garlock, T., Asche, F., Anderson, J. L., Eggert, H., Anderson, T. M., Che, B., Chávez, C., Chu, J., Chukwuone, N., Dey, M. M., Fitzsimmons, K., Flores, J., Guillén, J., Kumar, G., Liu, L., Llorente, I., Nguyen, T. L., Nielsen, R., Pincinato, R. B. M., ... Tveterås, R. (2024). Environmental, economic, and social sustainability in aquaculture: the aquaculture performance indicators. *Nature Communications*, 15(1), 5274. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49556-8>
- Ghufron, Muhammad, Mirni Lamid, Putri Desi Wulan Sari, and Hari Suprpto. 2018. “Teknik Pembesaran Udang Vaname (*Litopenaeus Vannamei*) Pada Tambak Pendampingan Pt Central Proteina Prima Tbk Di Desa Randutatah, Kecamatan Paiton, Probolinggo, Jawa Timur.” *Journal of Aquaculture and Fish Health* 7(2):70. doi: 10.20473/jafh.v7i2.11251
- Gunawan, A. I., Ariwibowo, T. H., Nurmaida, F. P., Ariyanto, F., Kamaluddin, M. W., Sanaba, U., ... & Tambunan, O. P. (2024). Inovasi Teknologi dalam Budidaya Udang: Penggunaan Water Quality Meter untuk Meningkatkan Produktivitas Udang di Sidoarjo. *Sewagati*, 8(3), 1697-1708.
- Guo, H., Fu, X., He, J., Wang, R., Yan, M., Wang, J., Dong, P., Huang, L., & Zhang, D. (2023). Gut bacterial consortium enriched in a biofloc system protects shrimp against *Vibrio parahaemolyticus* infection. *Microbiome*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40168-023-01663-2>
- H,A,M., Widiatmaka, Nirmala,K., Pertiwi, S., Ambarwulan, W. (2022). Analisis Kualitas Lingkungan Dan Produktivitas Tambak Budidaya Udang Windu Sistem Teknologi Tradisional Di Kabupaten Bulungan. *Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*. 8(2), 93-104. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/saintek>
- Halim, A. M., Fauziah, A., & Aisyah, N. (2022). KESESUAIAN KUALITAS AIR PADA TAMBAK UDANG VANNAMEI (*Litopenaeus vannamei*) DI CV. LANCAR SEJAHTERA ABADI, PROBOLINGGO, JAWA TIMUR. *Chanos Chanos*, 20(2), 77. <https://doi.org/10.15578/chanos.v20i2.11773>
- Han, T., Wang, T., Wang, Z., Xiao, T., Wang, M., Zhang, Y., Zhang, J., & Liu, D. (2022). Evaluation of gaseous and solid waste in fermentation bedding system and its impact on animal performance: A study of breeder ducks in winter. *The Science of The Total Environment*, 836, 155672. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155672>
- Hu, W., Zhang, Y., Rong, X., Zhou, X., Fei, J., Peng, J., & Luo, G. (2024). Biochar and organic fertilizer applications enhance soil functional microbial abundance and agroecosystem multifunctionality. *Biochar*, 6(1). <https://doi.org/10.1007/s42773-023-00296-w>
- Kashem, A. H. M., Das, P., Hawari, A. H., Mehariya, S., Thaher, M., Khan, S., Abduquadir, M., & Jabri, H. A. (2023). Aquaculture from inland fish cultivation to wastewater treatment: a review [Review of *Aquaculture from inland fish cultivation to wastewater treatment: a review*]. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 22(4), 969. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09672-1>

- Krisiyanto, K., Sunaryo, S., & Redjeki, S. (2021). Komunitas Fitoplankton Dan Kualitas Air Budidaya Udang Vannamei di Marine Science Techno Park Jepara. *Journal of Marine Research*, 10(4), 501-507
- L. Cao, "Farming Shrimp For The Future: A Sustainability Analysis of Shrimp Farming In China". A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (Natural Resource and Environment) in The University of Michigan, 2012
- Liang, Q., Dong, B., Li, A., Wu, L., Zhang, Y., Han, T., & Liu, X. (2023). scRNA-seq analysis reveals toxicity mechanisms in shrimp hemocytes subjected to nitrite stress. *Chemosphere*, 316, 137853. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.137853>
- Lingga, R., Adibrata, S., Putri, S. G., Sari, A. D., & Jeniver, J. (2023). Performa Bebek Petelur yang Dibudidayakan pada Skala Rumah Tangga di Pekarangan Rumah yang Diberi Pakan Berprobiotik. *JURNAL PETERNAKAN*, 20(2), 65. <https://doi.org/10.24014/jupet.v20i2.19271>
- M.S. Chakravarty, P.R.C. Ganesh , D. Amarnath, B. Shanthi Sudha, and T. Srinu Babu, "Spatial variation of water quality parameters of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture ponds at Narsapurapupeta, Kajuluru and Kaikavolu villages of East Godavari district, Andhra Pradesh". *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*; 4(4): 390-395, 2016.
- Ma, M., & Hu, Q. (2023). Microalgae as feed sources and feed additives for sustainable aquaculture: Prospects and challenges. *Reviews in Aquaculture*, 16(2), 818. <https://doi.org/10.1111/raq.12869>
- Malerba, M. E., Connolly, S. R., & Heimann, K. (2012). Nitrate–nitrite dynamics and phytoplankton growth: Formulation and experimental evaluation of a dynamic model. *Limnology and Oceanography*, 57(5), 1555-1571
- Mane, A.M., Pattanaik, S.S., Jadhav, R., Jenar, A.K. 2017. Pond Coloration, Interpretation and Possible Measures of Rectification for sustainable Aquaculture practice. *AQUACULTURE TIMES* Vol. 3(3). Department of Aquaculture, College of Fisheries, CAU, Lembucherra, India
- Monier, M. N., Kabary, H., Elfeky, A., Saadony, S., El-Hamed, N. N. B. A., Eissa, M. E. H., & Eissa, E. H. (2023). The effects of *Bacillus* species probiotics (*Bacillus subtilis* and *B. licheniformis*) on the water quality, immune responses, and resistance of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) against *Fusarium solani* infection. *Aquaculture International*, 31(6), 3437. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01136-1>
- Moriarty D.J.W. 1998. Control of Luminous *Vibrio* Species in Penaeid Aquaculture Ponds. *Aquaculture*, 164 : 351–358.
- Mugwanya, M., Dawood, M. A. O., Kimera, F., & Sewilam, H. (2022). Replacement of fish meal with fermented plant proteins in the aquafeed industry: A systematic review and meta-analysis [Review of *Replacement of fish meal with fermented plant proteins in the aquafeed industry: A systematic review and meta-analysis*]. *Reviews in Aquaculture*, 15(1), 62. Wiley. <https://doi.org/10.1111/raq.12701>
- Mustafa, A., Hasnawi., Athirah, A., Sommeng, A., Ali, S. A. (2014). Karakteristik, kesesuaian, dan pengelolaan lahan untuk budidaya di tambak Kabupaten Pohuwato Provinsi Gorontalo. *J. Ris. Akuakultur*, 9(1), 135-149.
- Nankervis, L., & Jones, C. (2022). Recent advances and future directions in practical diet formulation and adoption in tropical Palinurid lobster aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 14(4), 1830. <https://doi.org/10.1111/raq.12675>
- Nyerhovwo, J. T., Egbune, E. O., Akpovwehwee, A. A., Daniel, A., Ezedom, T., Innocent, O., & Aganbi, E. (2024). Production of feed grade L-lysine using solid state fermentation for

- the Nigerian market. *Scientific Research and Essays*, 19(1), 1. <https://doi.org/10.5897/sre2023.6786>
- Palupi, M., Fitriadi, R., Wijaya, R., Raharjo, P., Nurwahyuni, R., 2021. Diversity of phytoplankton in the whiteleg (*Litopenaeus vannamei*) shrimp ponds in the south coastal area of Pangandaran. *Biodiversitas*. Vol.23(1):118-124. Program of Aquaculture, Faculty of Fisheries and Marine Science, Universitas Jenderal Soedirman. Indonesia. DOI: 10.13057/biodiv/d230115
- Parma, B., Wurdak, H., & Ceppi, P. (2022). Harnessing mitochondrial metabolism and drug resistance in non-small cell lung cancer and beyond by blocking heat-shock proteins [Review of *Harnessing mitochondrial metabolism and drug resistance in non-small cell lung cancer and beyond by blocking heat-shock proteins*]. *Drug Resistance Updates*, 65, 100888. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.drug.2022.100888>
- Peraturan Menteri Kelautan Dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 75/Permen-Kp/2016 Tentang Pedoman Umum Pembesaran Udang Windu (*Penaeus Monodon*) Dan Udang Vaname (*Litopenaeus Vannamei*)
- Qiang, J., Yang, H., He, J., Wang, H., Zhu, Z. X., & Xu, P. 2013. Comparative Study of the Effects of Two High-Carbohydrate Diets on Carbohydrate Growth and Hepatic Metabolic Enzyme Responses in juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 14: 515-525
- Qiao L, Chang Z, Li J, Chen Z. 2020. Phytoplankton community succession in relation to water quality changes in the indoor industrial aquaculture system for *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 527: 1-15. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735441
- Restrepo, L., Domínguez-Borbor, C., Bajaña, L., Betancourt, I., Rodríguez, J., Bayot, B., & Reyes, A. (2021). Microbial community characterization of shrimp survivors to AHPND challenge test treated with an effective shrimp probiotic (*Vibrio diabolicus*). *Microbiome*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40168-021-01043-8>
- Rodrigues, A. B., Pinheiro, I. C., Nonato, T. C. M., Ferenhof, E. A., & Sens, M. L. (2022). Valorization of reverse osmosis concentrate in the production of *Litopenaeus vannamei* and New Zealand spinach in an aquaponic system with biofloc. *Desalination*, 549, 116330. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.116330>
- Samocha T, Lawrence AL. 1997. Shrimp farms' effluent waters, environmental impact and potential treatment methods. *Interactions between Cultured Species and Naturally Occurring Species in the Environment* 24: 33-58.
- Shahidi, F., & Samarasinghe, H. G. A. S. (2025). How to assess antioxidant activity? Advances, limitations, and applications of in vitro, in vivo, and ex vivo approaches. *Food Production Processing and Nutrition*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s43014-025-00326-z>
- Shilman, M. I., Purnamawati, P., Susanti, R., & Redha, A. R. (2025). *Performance Kualitas Air Tambak Terhadap Kondisi Pertumbuhan Udang Vaname (Litopenaeus vannamei)*. *Jurnal Akuatiklestari*, 9(1), 125. <https://doi.org/10.31629/akuatiklestari.v9i1.7702>
- Siddik, M. A. B., Julien, B., Islam, S. M., & Francis, D. S. (2024). Fermentation in aquafeed processing: Achieving sustainability in feeds for global aquaculture production. *Reviews in Aquaculture*, 16(3), 1244. <https://doi.org/10.1111/raq.12894>
- Somantri, M., Arfan, M., & Siregar, O. S. (2022). Adaptasi Human Machine Interface (HMI) dalam Monitoring dan Kendali Kualitas Air pada Tambak Udang. *JURNAL SISTEM INFORMASI BISNIS*, 12(2), 73. <https://doi.org/10.21456/vol12iss2pp73-80>
- Sun, H., Wang, T., Liu, S., Tang, X., Sun, J., Liu, X., Zhao, Y., Shen, P., & Zhang, Y. (2024). Novel insights into the rhizosphere and seawater microbiome of *Zostera marina* in diverse mariculture zones. *Microbiome*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s40168-024-01759-3>

- Tsai, S.-W., Schwinghammer, L., Lee, C.-H., Lin, C., & Hou, C. (2022). Shifts of microbial community structure along substrate concentration gradients in immobilized biomass for nitrogen removal. *Npj Clean Water*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/s41545-022-00166-1>
- Utama, D., Widigdo, B., Kamal, M. M., & Taryono, T. (2023). EVALUASI KESESUAIAN TAMBAK BUDIDAYA UDANG VANAME DENGAN TINGKAT TEKNOLOGI BERBEDA DI PESISIR KABUPATEN LAMPUNG TIMUR, INDONESIA. *Jurnal Riset Akuakultur*, 235. <https://doi.org/10.15578/jra.17.4.2022.235-248>
- Wada, O. Z., Vincent, A. S., & Mackey, H. R. (2022). Single-cell protein production from purple non-sulphur bacteria-based wastewater treatment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 21(4), 931. <https://doi.org/10.1007/s11157-022-09635-y>
- Wafi, A., Ariadi, H., Muqsith, A., Mahmudi, M., Fadjar, M. (2021) Oxygen Consumption of *Litopenaeus vannamei* in Intensive Ponds Based on the Dynamic Modeling System. *Journal of Aquaculture and Fish Health* Vol. 10(1) - February 2021 DOI : 10.20473/jafh.v10i1.18102
- Wang, L., Pei, H., Xing, T., Chen, D., Chen, Y., Hao, Z., Tian, Y., & Ding, J. (2025). Gut bacteria and host metabolism: The keys to sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) quality traits. *Food Chemistry*, 144178. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144178>
- Wei, Z., Şenbayram, M., Zhao, X., Li, C., Jin, K., Wu, M., Rahman, M., Shan, J., & Yan, X. (2022). Biochar amendment alters the partitioning of nitrate reduction by significantly enhancing DNRA in a paddy field. *Biochar*, 4(1). <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00166-x>
- Wiyoto., Sukenda., Harris, E., Nirmala, K., Djokosetiyanto, D. (2016). Water Quality and Sediment Profile in Shrimp Culture with Different Sediment Redox Potential and Stocking Densities Under Laboratory Condition. *Ilmu kelautan*, 21(2), 65-76. DOI: 10.14710/ik.ijms.21.2.65-76
- Xia, F., You, J., Wang, Y., Subrahmanyam, M. V. (2024). *Comparison Traditional and New Technology on Shrimp Farming Nutritional Components of Shrimp*. School of Marine Science and Technology, Hainan Tropical Ocean University, Sanya, China, 11 : 2333-9721. <https://doi.org/10.4236/oalib.1112071>
- Xia, Y., Liu, Y., Zhang, K., Sun, J., Wang, G., Li, Z., Tian, J., Gong, W., Li, H., Xie, W., Kaneko, G., Xie, J., & Yu, E. (2024). Microorganism-mediated denitrogenation of aquaculture systems provoked by poly- β -hydroxybutyrate (PHB). *Npj Clean Water*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41545-024-00339-0>
- Yang W, Zhu J, Zheng C, Lukwambe B, Nicholas R, Lu K, Zheng Z. 2020. Succession of phytoplankton community during intensive shrimp (*Litopenaeus vannamei*) cultivation and its effects on cultivation systems. *Aquaculture* 10.1016/j.aquaculture.2019.734733. 520: 74733. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734733>
- Yu, Q., Xie, J., Huang, M., Chen, C., Qian, D., Qin, J. G., Chen, L., Jia, Y., Li, E. (2020). Growth and health responses to a long-term pH stress in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100280>
- Yusoff FM, Zubaidah MS, Matias HB, Kwan TS. 2002. Phytoplankton succession in intensive marine shrimp culture ponds treated with a commercial bacterial product. *Aquac Res* 33: 269-278. DOI: 10.1046/j.1355-557x.2002.00671.x
- Zaenuddin, Alamsyah, S., Hadijah. 2018. Effect Of The Different Sources Of Carbohydrate On Water Quality, Proximate Composition And Glycogen Content Of White Shrimp Juvenile *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Jurnal Ilmiah Samudra Akuatika*, 2(1): 1-8
- Zhang, C., Guisasola, A., & Baeza, J. A. (2022). Exploring the stability of an A-stage-EBPR system for simultaneous biological removal of organic matter and phosphorus. *Chemosphere*, 313, 137576. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137576>

- Zhang, D.-C., Li, X., Wu, Y., Xu, X., Liu, Y., Shi, B., Peng, Y., Dai, D., Sha, Z., & Zheng, J. (2023). Microbe-driven elemental cycling enables microbial adaptation to deep-sea ferromanganese nodule sediment fields. *Microbiome*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40168-023-01601-2>
- Zhang, F., Shi, X., Zhao, S., Арвола, J., Sun, B., Hao, R., Yang, Z., Wang, S., Zhao, Y., & Zhang, J. (2025). Dissolved oxygen dynamics in a shallow eutrophic lake: Quantify critical eco-environmental effects. *Ecological Indicators*, 179, 114190. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.114190>
- Zheng, T., Wang, P., Hu, B., Bao, T., & Qin, X. (2024). Mass variations and transfer process of shrimp farming pollutants in aquaculture drainage systems: Effects of DOM features and physicochemical properties. *Journal of Hazardous Materials*, 469, 133978. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133978>
- Zhou, J., Zheng, Y., Hou, L., An, Z., Chen, F., Liu, B., Wu, L., Qi, L., Dong, H., Han, P., Yin, G., Liang, X., Yang, Y., Li, X., Gao, D., Li, Y., Liu, Z., Bellerby, R., & Liu, M. (2023). Effects of acidification on nitrification and associated nitrous oxide emission in estuarine and coastal waters. *Nature Communications*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37104-9>
- Zhu, F., Radaelli, E., Palladino, G., Chen, C., Mazur, A., Penha, F. M., Cuartero, M., Turroni, S., & Çetecioglu, Z. (2024). Unveiling the impact of carbon sources on phosphorus release from sediment: Investigation of microbial interactions and metabolic pathways for anaerobic phosphorus recovery. *Chemical Engineering Journal*, 500, 157058. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.157058>