

DINAMIKA KELIMPAHAN *Vibrio* spp. pada MEDIA BUDI DAYA DAN ORGAN UDANG VANAME (*Litopenaeus vannamei*) DI TAMBAK INTENSIF

DYNAMICS OF *Vibrio* spp. ABUNDANCE IN REARING WATER AND ORGANS OF WHITELEG SHRIMP (*Litopenaeus vannamei*) UNDER INTENSIVE CULTURE SYSTEM

Ananda Aryani¹, Amiqtatul Fikriyah^{1*}, Desy Febrianti¹

¹Program Studi Budi Daya Ikan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Jembrana, Jembrana
Bali

*Korespondensi: amiqtatul.fikriyah@gmail.com

ABSTRACT

Vibrio spp. are opportunistic pathogens that threaten the health and survival of whiteleg shrimp (*L. vannamei*). This study aimed to analyze the abundance dynamics of *Vibrio* spp. in the culture medium, hepatopancreas, and intestine of shrimp in intensive ponds over two production cycles. Weekly sampling was conducted across three ponds using grab sampling for water and random sampling for shrimp specimens. *Vibrio* spp. were isolated on TCBS agar, followed by total colony enumeration (CFU/mL) and morphological identification. Results showed fluctuating *Vibrio* spp. abundance in the culture medium, dominated by yellow colonies with no green, black, or luminous colonies detected. In the hepatopancreas and intestine, only yellow *Vibrio* were found, ranging from $0-1.52 \times 10^5$ CFU/mL and $0-9.6 \times 10^5$ CFU/mL, respectively. Bacterial abundance was higher in the intestine compared to other organs, while the hepatopancreas population remained low and stable. Dissolved oxygen and total organic matter significantly influenced these population dynamics. These findings emphasize the necessity of stringent water quality management and probiotic application to mitigate *Vibrio* spp. infection risks.

Keywords: culture water; hepatopancreas; intensive ponds; intestine; *Vibrio*

ABSTRAK

Vibrio spp. merupakan bakteri patogen oportunistik yang dapat menginfeksi organ vital dan mengancam kelangsungan hidup udang vaname (*L. vannamei*). Penelitian ini bertujuan menganalisis dinamika kelimpahan *Vibrio* spp. pada media budi daya, hepatopankreas, dan usus udang di tambak intensif selama dua siklus pemeliharaan. Sampel diambil mingguan dari tiga petak tambak menggunakan metode *grab sampling* untuk air dan *random sampling* untuk udang. Isolasi dilakukan menggunakan media TCBS agar, dilanjutkan dengan perhitungan *total plate count* (CFU/mL) dan identifikasi morfologi. Hasil menunjukkan kelimpahan *Vibrio* spp. di media budi daya berfluktuasi dengan dominasi koloni kuning, tanpa temuan koloni hijau, hitam, atau bercahaya. Pada hepatopankreas dan usus hanya ditemukan *Vibrio* kuning dengan rentang masing-masing $0-1,52 \times 10^5$ CFU/mL dan $0-9,6 \times 10^5$ CFU/mL. Kelimpahan bakteri pada usus cenderung lebih tinggi dibandingkan organ lain, sementara populasi di hepatopankreas relatif rendah dan stabil. Parameter kualitas air, terutama oksigen terlarut dan total bahan organik, diduga kuat memengaruhi dinamika populasi ini. Penelitian ini merekomendasikan pengelolaan kualitas air yang ketat dan aplikasi probiotik untuk menekan risiko infeksi *Vibrio* spp.

Kata kunci: hepatopancreas; media budi daya; tambak intensif; usus; *Vibrio*

I. PENDAHULUAN

Keberhasilan budi daya udang sangat dipengaruhi oleh kualitas lingkungan, khususnya parameter kualitas air yang berperan dalam pertumbuhan, kelangsungan hidup, serta respons fisiologis udang (Sitanggang & Amanda, 2019; Andayani *et al.*, 2023). Salah satu tantangan utama dalam budi daya intensif adalah infeksi bakteri *Vibrio* spp. yang berasosiasi dengan penyakit seperti *white feces disease* (WFD), vibriosis dan *acute hepatopancreatic necrosis disease* (AHPND) (Adam *et al.*, 2022), yang dapat mengakibatkan kematian massal dan kerugian ekonomi hingga mencapai USD 43 miliar di Asia (Kumar *et al.*, 2021).

Dinamika populasi *Vibrio* spp. dipengaruhi oleh berbagai parameter kualitas air, seperti suhu, salinitas, pH, oksigen terlarut (DO), konsentrasi senyawa nitrogen, dan akumulasi bahan organik (Ina-Salwany *et al.*, 2019; Pariakan dan Rahim., 2021). Penurunan kualitas air dapat meningkatkan stres fisiologis pada udang dan mengganggu keseimbangan komunitas mikroba, sehingga meningkatkan kerentanan terhadap infeksi bakteri (Kah Sem *et al.*, 2023). Oleh karena itu, pengelolaan dan pemantauan kualitas air secara berkala menjadi aspek penting dalam pengendalian populasi *Vibrio* spp. di tambak intensif.

Vibrio spp. merupakan kelompok bakteri gram negatif yang tersebar luas di lingkungan perairan dan bersifat patogen oportunistik. Infeksi *Vibrio* spp. umumnya terjadi pada udang yang berada dalam tekanan stres lingkungan (Ambat *et al.*, 2022). Patogenisitas *Vibrio* spp. dipengaruhi oleh mekanisme *quorum sensing* (QS), yaitu sebuah sistem komunikasi kimiawi antar sel yang mengatur ekspresi faktor virulensi sesuai kepadatan populasi bakteri (Papenfert

dan Bassler, 2016).

Saat fase awal infeksi atau ketika populasi bakteri berada pada kepadatan sel yang rendah (*low cell density*), akumulasi molekul sinyal (*autoinducer*) masih minimum sehingga ekspresi gen virulensi ditekan. Namun, seiring dengan meningkatnya populasi bakteri di dalam lingkungan atau jaringan inang, sistem QS akan mengaktifkan ekspresi sinkron dari berbagai gen yang berperan langsung dalam patogenisitas. Aktivasi regulasi berbasis QS secara signifikan meningkatkan kemampuan koordinasi *Vibrio* untuk menginvasi jaringan, mengatasi mekanisme sistem pertahanan tubuh inang, dan memperparah infeksi penyakit (Kaur-Kahlon *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2023).

Selain terdapat pada media budi daya, *Vibrio* spp. juga dapat mengkolonisasi organ penting seperti hepatopankreas dan usus, sehingga keberadaannya sering digunakan sebagai indikator kesehatan udang (Saraswati *et al.*, 2023). Kepadatan populasi bakteri *Vibrio* umumnya dilakukan melalui isolasi dan kultur pada media agar selektif (Ramdhaniah *et al.*, 2024).

Pemantauan kelimpahan bakteri selama proses produksi diperlukan untuk memahami dinamika populasi bakteri serta keterkaitannya dengan kondisi lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis kelimpahan *Vibrio* spp. pada media budi daya, hepatopankreas, dan usus udang vaname sebagai dasar pengelolaan kualitas air dan strategi pencegahan penyakit pada tambak intensif.

II. METODE PENELITIAN

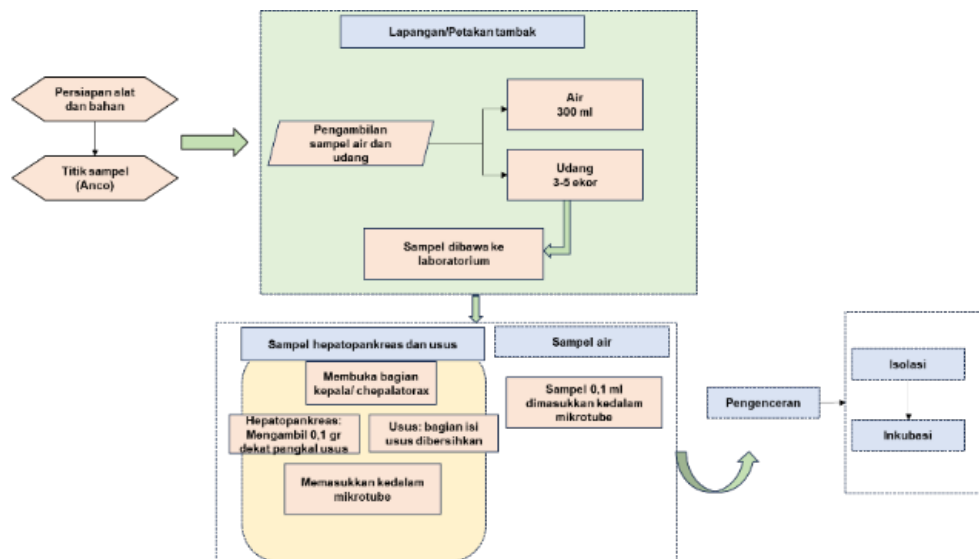
2.1 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan selama dua siklus pemeliharaan di tambak pembesaran udang, Kabupaten Sumbawa Barat, Nusa Tenggara Barat. Pengambilan sampel dilakukan secara mingguan mulai

Mei 2024 hingga Januari 2025. Sampel air, hepatopankreas, dan usus udang dikoleksi dari tiga petak tambak berbeda, yaitu petak kode 1, 4, dan 7. Sampel air diambil sebelum pemberian pakan, dimulai pada umur udang *days of culture* (DOC) 20.

Sampel air diambil menggunakan

metode *grab sampling* di titik jembatan anco, sedangkan udang diambil secara acak dari anco pada masing-masing petak. Selanjutnya, organ hepatopankreas dan usus dipisahkan secara aseptik untuk dilakukan pengujian *Vibrio* spp. Alur pengambilan dan pengujian sampel disajikan Gambar 1.



Gambar 1. Alur pengambilan sampel

2.2 Sterilisasi Alat dan Pembuatan Media

Sterilisasi peralatan kaca dilakukan secara kering menggunakan oven pada suhu 180°C selama 2 jam. Sementara itu, sterilisasi basah menggunakan autoklaf pada suhu 121°C dengan tekanan 2 atm selama 15 menit dilakukan untuk mensterilkan media, pipette tips, akuades, dan larutan NaCl fisiologis 0,85%, serta media pertumbuhan bakteri. Media *thiosulfate citrate bile sucrose* (TCBS) disiapkan sebagai media selektif dengan melarutkan media ke dalam akuades steril sesuai instruksi pabrikan. Campuran media kemudian dididihkan hingga larut sempurna dan dituang ke dalam cawan petri steril. Larutan pengencer NaCl 0,85% didistribusikan ke dalam mikrotube masing-masing sebanyak 900 µL sebelum disterilisasi.

2.3 Isolasi dan Enumerasi *Vibrio* spp.

Prosedur isolasi, pengenceran sampel, dan penyiapan media mengacu pada metode standar analisis mikrobiologi perairan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 2332.4:2006 (Badan Standardisasi Nasional [BSN, 2006]). Sebanyak 3 ekor udang vaname diambil secara acak (*random sampling*) dari masing-masing petak setiap minggu sebagai ulangan sampel. Udang dibedah secara aseptis untuk memisahkan organ usus dan hepatopankreas.

Sampel air sebanyak 0,1 mL diinokulasi tanpa pengenceran, sementara 0,1 g sampel organ (hepatopankreas dan usus) dihomogenkan dan diencerkan hingga seri 10⁻² dan 10⁻³. Inokulasi dilakukan pada media TCBS menggunakan metode *spread plate*, kemudian diinkubasi pada suhu 28–30°C selama 18–24 jam. Pengujian untuk setiap

sampel dilakukan secara *duplo* (dua cawan petri per pengenceran) Perhitungan kepadatan bakteri menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC) dengan satuan *colony forming unit* per mililiter (CFU/mL) mengacu pada (1) (Aris *et al.*, 2024).

$$\text{Jumlah koloni} = \frac{\text{Jumlah koloni}}{\text{Volume sampel}} \times \text{Pengenceran} \quad (1)$$

2.4 Identifikasi Morfologi dan Analisis Data

Identifikasi dilakukan berdasarkan karakteristik morfologi koloni yang meliputi bentuk, tepian, warna, dan elevasi mengikuti metode Rahmah *et al.* (2023). Persentase dominansi tipe koloni dihitung untuk membandingkan distribusi antar jenis sampel. Identifikasi konfirmasi dilakukan menggunakan media CHROMagar *Vibrio* apabila kepadatan bakteri koloni hijau melebihi 50 CFU/mL sesuai SOP perusahaan. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan dinamika kelimpahan *Vibrio* spp. pada media budi daya dan organ target udang.

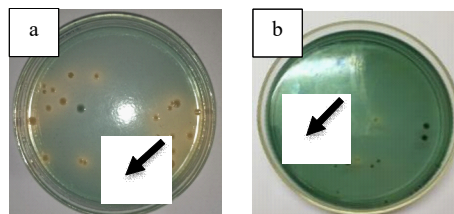
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Morfologi *Vibrio* spp.

Vibrio spp. merupakan bakteri halofilik yang umum ditemukan pada lingkungan perairan dengan salinitas 20–40 ppt. *Vibrio* spp. mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungan dan dapat berkembang pada kondisi oksigen terlarut rendah karena bersifat fakultatif anaerob (Hitijahubessy *et al.*, 2022). *Vibrio* spp. tetap mampu berproliferasi pada kondisi minim oksigen sehingga prevalensinya cenderung meningkat pada organ yang rentan stres seperti hepatopankreas dan usus (Kah Sem *et al.*, 2023).

Pertumbuhan bakteri dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi dan kondisi lingkungan

(Risna *et al.*, 2022). Koloni *Vibrio* spp. mulai terlihat secara visual sekitar 12–24 jam setelah inokulasi pada media yang sesuai (CDC, 2024). Hasil isolasi bakteri pada media TCBS menunjukkan dua tipe koloni utama, yaitu kuning dan hijau (Gambar 2).



Gambar 2. (a) Koloni *Vibrio* spp. warna kuning dan (b) Koloni warna hijau

Perbedaan warna koloni mencerminkan kemampuan bakteri dalam memfermentasi sukrosa. Koloni kuning (fermentatif) ditemukan lebih dominan dibandingkan koloni hijau (non-fermentatif) pada seluruh petak tambak. Secara morfologis, koloni kuning berbentuk bulat, bertepi rata, dan memiliki elevasi cembung, yang umumnya mengarah pada kelompok bakteri fermentatif seperti *V. alginolyticus* atau *V. cholerae* (Haliman *et al.*, 2024). Sementara itu, koloni hijau mengarah pada *V. parahaemolyticus*, *V. harveyi*, *V. vulnificus*, dan *V. fischeri* (Aziza dan Chaidir, 2024). Bakteri *V. parahaemolyticus* diketahui sebagai agen penyebab AHPND yang memicu kematian massal pada udang (Syamsuddin *et al.*, 2023), sedangkan *V. harveyi* dapat menyebabkan vibriosis dengan tingkat mortalitas tinggi (Suratmi dan Haryanto, 2021).

Dominasi koloni kuning mengindikasikan bahwa komunitas *Vibrio* spp. di semua petak tambak cenderung memiliki tingkat virulensi yang lebih rendah. Stabilitas komunitas mikroba bersifat dinamis. Perubahan lingkungan yang minor dapat menggeser keseimbangan komunitas dan memicu

ekspresi gen virulensi yang pada akhirnya meningkatkan risiko infeksi sistemik pada udang (Papenfort dan Bassler, 2016; Zhang *et al.*, 2023).

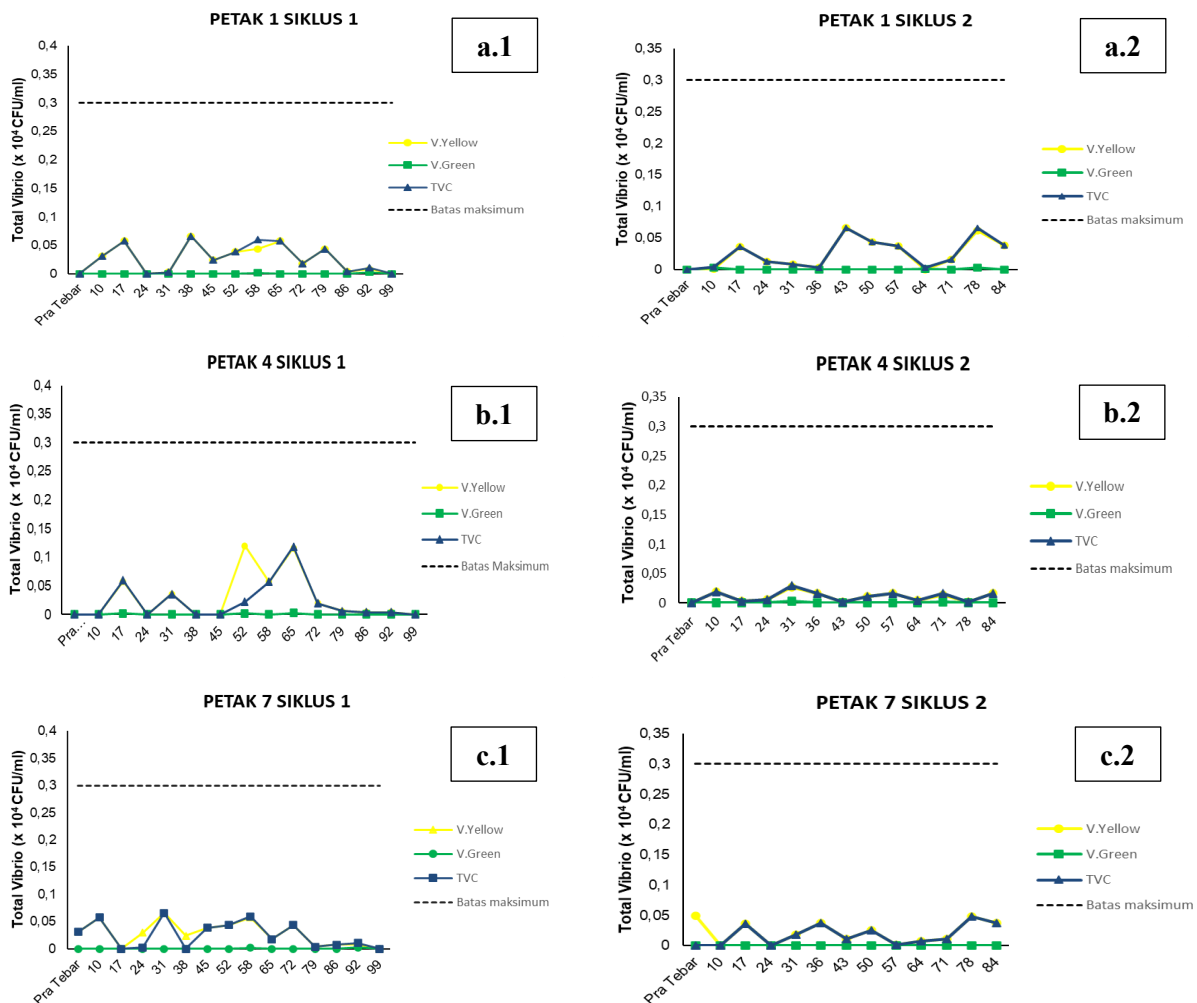
Sesuai SOP perusahaan, jika jumlah koloni hijau pada sampel air melebihi ambang batas 50 CFU/mL, dilakukan identifikasi lanjutan menggunakan media CHROMagar. Media kromogenik digunakan untuk mempermudah diferensiasi spesies berdasarkan warna spesifik seperti hijau kebiruan (*V. cholerae*), krem (*V. alginolyticus*), dan ungu (*V. parahaemolyticus*) (Rahmah *et al.*, 2023),.

Selain itu, keberadaan koloni berpendar (*luminous*) yang mengindikasikan *V. harveyi* serta koloni hitam (penghasil H₂S) tetap diwaspadai sebagai potensi patogen berbahaya yang tidak memfermentasi sukrosa namun bersifat toksik bagi inang.

3.2 Kelimpahan *Vibrio* spp.

3.2.1 Kelimpahan pada media budi daya

Kelimpahan *Vibrio* spp. pada media budi daya menunjukkan pola fluktuatif yang mengindikasikan interaksi dinamis antara faktor lingkungan dan aktivitas biologis tambak (Andayani *et al.*, 2024). Dinamika kelimpahan *Vibrio* spp. selama dua siklus pemeliharaan disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kelimpahan *Vibrio* spp. selama dua siklus pemeliharaan

Berdasarkan hasil pengamatan, Pada Petak 1, kelimpahan *Vibrio* spp. pada Siklus 1 menunjukkan fluktuasi yang relatif rendah dengan beberapa peningkatan populasi pada DOC 17, 38, 52, dan 65 (Gambar 3.a.1). Pola fluktuasi yang sama juga terlihat pada Siklus 2, namun frekuensi peningkatan populasi lebih sering dibandingkan Siklus 1, terutama pada DOC 43, 50, 57, dan 78 (Gambar 3.a.2). Meskipun demikian, seluruh nilai kelimpahan masih berada jauh di bawah batas maksimum.

Pengamatan pada Petak 4 menunjukkan perbedaan kelimpahan *Vibrio* spp. yang jelas antara kedua siklus pemeliharaan. Pada Siklus 1, kelimpahan bakteri berfluktuasi dengan puncak tertinggi terjadi pada DOC 52 dan 65 (Gambar 3.b.1). Koloni kuning hanya terdeteksi pada DOC 52 dan berkontribusi terhadap peningkatan nilai TVC pada periode tersebut. Sebaliknya, pada Siklus 2, kelimpahan *Vibrio* spp. relatif rendah dan lebih stabil sepanjang pemeliharaan (Gambar 3.b.2), tanpa lonjakan populasi seperti yang terjadi pada Siklus 1.

Kelimpahan *Vibrio* spp. pada Petak 7 relatif lebih rendah dibandingkan Petak 1 dan Petak 4 pada kedua siklus pemeliharaan. Pada Siklus 1 masih terlihat beberapa peningkatan populasi pada DOC 31, 45, 52, dan 65 (Gambar 3.c.1), sedangkan pada Siklus 2 fluktuasi yang terjadi cenderung lebih kecil dan stabil (Gambar 3.c.2). Rendahnya jumlah *Vibrio* spp. pada petak 7 mengindikasikan bahwa kondisi lingkungan budi daya relatif lebih terkendali sehingga mampu membatasi proliferasi bakteri oportunistik. Stabilitas populasi bakteri pada Petak 7 juga mengindikasikan bahwa keseimbangan komunitas mikroba dan kualitas air selama pemeliharaan dapat dipertahankan dengan baik.

Secara umum, selama 2 siklus seluruh petak menunjukkan dominasi koloni kuning

dibandingkan koloni hijau. Tidak ditemukan adanya koloni bercahaya (*luminous*) maupun koloni hitam selama dua siklus pemeliharaan mengindikasikan rendahnya keberadaan strain *Vibrio* patogen virulen. Dominasi koloni kuning menunjukkan bahwa komunitas *Vibrio* pada Petak 1 didominasi oleh kelompok fermentatif dengan potensi patogenitas yang relatif lebih rendah dibandingkan kelompok non-fermentatif (Amelia *et al.*, 2020). Meski mengalami fluktuasi, seluruh nilai kelimpahan *Vibrio* spp. masih berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan dalam Permen KP No. 75 Tahun 2016 yang juga diacu sebagai standar dalam SOP perusahaan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kondisi media budi daya secara umum masih tergolong terkendali.

3.2.2 Kelimpahan *Vibrio* spp. pada hepatopankreas

Hepatopankreas berperan penting dalam pencernaan, metabolisme, dan sistem imun udang (Hartanto dan Astiana, 2020). *Vibrio* spp. dapat memasuki tubuh melalui air atau pakan yang terkontaminasi, kemudian mengkolonisasi saluran pencernaan dan menyebar ke hepatopankreas melalui proses adhesi dan invasi jaringan (Hikmawati *et al.*, 2019). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa selama dua siklus pemeliharaan hanya ditemukan koloni bakteri berwarna kuning pada hepatopankreas (Tabel 1).

Tabel 1. Kelimpahan *Vibrio* spp. pada hepatopankreas

Petak Tambak	Kelimpahan <i>Vibrio</i> spp. (x10 ⁴ CFU/mL)	
	Siklus 1	Siklus 2
1	0-7,4	0-5,4
4	0-15,2	0-14,4
7	0-7,2	0-5,4

Kelimpahan *Vibrio* spp. pada hepatopankreas menunjukkan pola yang relatif seragam antar petak. Pada Siklus 1, kelimpahan tertinggi ditemukan pada Petak 4 dengan kisaran $0-15,2 \times 10^4$ CFU/mL, sedangkan Petak 1 dan Petak 7 masing-masing mencapai $0-7,4 \times 10^4$ CFU/mL dan $0-7,2 \times 10^4$ CFU/mL. Pada Siklus 2, kelimpahan *Vibrio* spp. cenderung menurun pada seluruh petak, dengan nilai tertinggi tetap ditemukan pada Petak 4 yaitu $0-14,4 \times 10^4$ CFU/mL.

Dominasi koloni kuning menunjukkan bahwa komunitas *Vibrio* pada hepatopankreas didominasi oleh kelompok fermentatif. Tidak ditemukan koloni hijau selama dua siklus pemeliharaan mengindikasikan bahwa keberadaan spesies *Vibrio* patogen relatif rendah, sehingga potensi infeksi pada sistem budi daya cenderung lebih terkendali (Syamsuddin *et al.*, 2023).

3.2.3 Kelimpahan *Vibrio* spp. pada usus

Usus merupakan organ yang berperan penting dalam pencernaan, penyerapan nutrisi, serta menjaga keseimbangan mikrobiota yang berkontribusi terhadap kesehatan fisiologis udang (Takwin *et al.*, 2022). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa selama dua siklus pemeliharaan hanya ditemukan koloni berwarna kuning pada usus, sedangkan koloni hijau, hitam, dan bioluminesen tidak terdeteksi.

Tabel 2. Kelimpahan *Vibrio* spp. pada usus

Petak Tambak	Total <i>Vibrio</i> spp. ($\times 10^4$ CFU/mL)	
	Siklus 1	Siklus 2
1	0-44	0-16
4	0-44	0-66
7	0-96	0-90

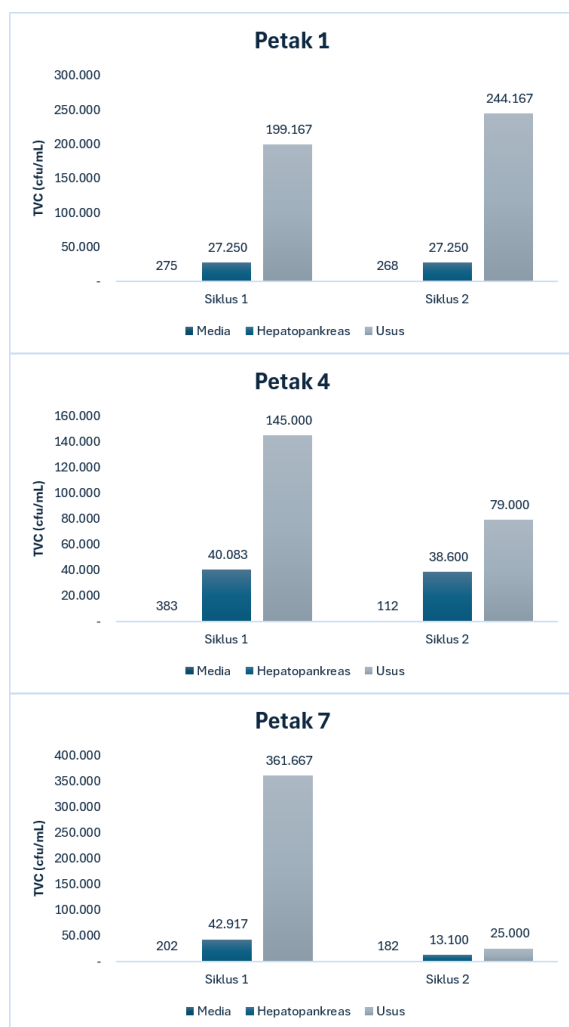
Berdasarkan Tabel 2, kelimpahan *Vibrio* spp. pada usus menunjukkan variasi antar petak dan antar siklus pemeliharaan. Pada Siklus 1, kelimpahan tertinggi ditemukan pada Petak 7 dengan kisaran $0-96 \times 10^4$ CFU/mL, sedangkan Petak 1 dan Petak 4 memiliki kisaran yang sama, yaitu $0-44 \times 10^4$ CFU/mL. Pada Siklus 2, kelimpahan *Vibrio* spp. pada Petak 1 menurun menjadi $0-1,6 \times 10^5$ CFU/mL, sementara Petak 4 meningkat hingga mencapai 66×10^4 CFU/mL. Petak 7 tetap menunjukkan kelimpahan tertinggi dengan kisaran $0-90 \times 10^4$ CFU/mL, meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan Siklus 1.

Dibandingkan dengan hepatopankreas, kelimpahan *Vibrio* spp. pada usus cenderung lebih tinggi pada seluruh petak. Kondisi ini menunjukkan bahwa usus merupakan lokasi utama kolonisasi bakteri. Selain itu, mikrobiota usus bersifat lebih dinamis dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan dibandingkan organ internal lainnya, sehingga lebih rentan mengalami perubahan komposisi komunitas bakteri (Garibay-Valdez *et al.*, 2021; Zeng *et al.*, 2024).

Dinamika kelimpahan *Vibrio* spp. pada usus diduga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan keseimbangan mikrobiota saluran pencernaan. Perubahan kualitas air dapat memicu stres pada udang dan mengganggu stabilitas komunitas mikroba, sehingga meningkatkan peluang proliferasi bakteri oportunistik (Kah Sem *et al.*, 2023). Deris *et al.* (2022) melaporkan bahwa salinitas tertentu dapat menekan pertumbuhan *Vibrio* spp., sedangkan Chang *et al.* (2024) menyatakan bahwa fluktuasi salinitas dapat meningkatkan stres dan mengganggu keseimbangan mikrobiota.

3.2.4 Jumlah total *Vibrio*

Secara umum, rata-rata jumlah total *Vibrio* (*total Vibrio count*/TVC) tertinggi ditemukan pada usus, diikuti hepatopankreas, sedangkan nilai terendah terdeteksi pada media budi daya. Hasil pengamatan nilai TVC pada media budi daya, hepatopankreas, dan usus menunjukkan adanya perbedaan kepadatan bakteri antar organ dan antar siklus pemeliharaan (Gambar 4).



Gambar 4. Jumlah TVC pada sampel media budi daya, hepatopankreas dan usus selama dua siklus

Nilai TVC pada organ terdeteksi lebih tinggi dibanding media budi daya. Pola ini menunjukkan bahwa organ internal, terutama usus, merupakan lokasi utama kolonisasi *Vibrio* spp. Perbedaan kepadatan bakteri antar organ dipengaruhi oleh karakteristik fisiologis saluran pencernaan yang memiliki komunitas mikroba berbeda pada setiap bagiannya. Struktur *foregut*, *midgut* (hepatopankreas), dan *hindgut* diketahui memiliki keragaman komunitas mikroba yang berbeda, baik dari segi komposisi maupun fungsi metabolik (Garibay-Valdez *et al.*, 2021).

Tingginya TVC pada usus diduga berkaitan dengan sifat mikrobiota usus (*gut microbiota*) yang lebih dinamis dan responsif terhadap perubahan kualitas air, lingkungan, maupun pakan dibandingkan hepatopankreas (Zeng *et al.*, 2024; Galaviz-Silva *et al.*, 2025). Karakteristik ini menyebabkan usus lebih rentan mengalami disbiosis dibandingkan hepatopankreas (Zeng *et al.*, 2017). Kerentanan tersebut berkaitan dengan paparan konstan terhadap pakan, sedimen, dan air yang membawa mikroorganisme perairan (Holt *et al.*, 2022). Selain itu, lapisan epitel tunggal dan membran peritrofik semi-permeabel pada usus mudah terganggu akibat stres lingkungan, sehingga menurunkan proteksi terhadap patogen (Duan *et al.*, 2019). Sebaliknya, hepatopankreas lebih terlindungi melalui sekresi peptida antimikroba, lektin, dan enzim pencernaan yang bersifat lisis terhadap bakteri (Liao *et al.*, 2024).

3.3 Kualitas Air selama Pemeliharaan

Sebagian besar parameter kualitas air masih berada pada kisaran toleransi fisiologis udang. Meskipun demikian, nilai tertinggi beberapa parameter seperti salinitas, nitrit, dan TOM sesekali melebihi nilai acuan yang

ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan (Permen KP)

Republik Indonesia Nomor 75 Tahun 2016 (Tabel 3).

Tabel 3. Kualitas air selama 2 siklus pemeliharaan

Parameter	Petak 1		Petak 4		Petak 7		Standar
	Siklus 1	Siklus 2	Siklus 1	Siklus 2	Siklus 1	Siklus 2	
DO (mg/L)	4,10-4,55	4,20-5,27	4-4,75	3,92-4,55	3,9-4,55	4,06-4,95	≥ 4
Suhu (°C)	25-28	27-28	26-28	27-28	27-28	27-28	> 27
Salinitas (ppt)	33-40	33-41	33-40	33-40	33-40	33-42	26-32
pH	7,6- 8,7	7,9- 8,8	7,6- 8,9	7,5- 8,9	7,5- 8,9	7,9- 8,8	7,5-8,5
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0-1,7	0,01- 2,3	0-2,8	0-2,2	0-2,3	0-2,3	≤ 1
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0-10	0-17,5	0-25	0-25	0-17,5	0-17,5	-
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0-1,5	0-5	0-4	0-2,5	0-4	0-4	-
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0-2,5	0-2,5	0-4	0-2,4	0-3,5	0-3,5	0,1-5
TOM	47-115	65-107	47-119	55-120	76-116	76-116	≤ 90

Keterangan:

- Standar mengacu pada Permen KP No. 75/PERMEN-KP/2016;
- Nilai yang dicetak tebal menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh kisaran hasil pengukuran berada di luar kisaran standar;
- Tanda (-) menunjukkan bahwa tidak terdapat nilai acuan spesifik yang digunakan dalam standar untuk parameter tersebut.

Berdasarkan pengamatan, pada Siklus 1, Petak 7 memiliki nilai TOM yang relatif lebih tinggi dibandingkan petak lainnya serta nilai DO mencapai 3,9 mg/L (di bawah batas optimal ≥ 4 mg/L). Kondisi ini diikuti oleh nilai TVC yang relatif tinggi pada media pemeliharaan. Sebaliknya, pada Siklus 2, Petak 4 menunjukkan penurunan DO hingga 3,92 mg/L disertai salinitas, nitrit, dan TOM yang masih berada di luar kisaran acuan, serta diikuti oleh peningkatan nilai TVC.

Perubahan salinitas dapat memengaruhi kondisi fisiologis udang sekaligus dinamika mikroorganisme pada media budi daya (Aris *et al.*, 2024; Chang *et al.*, 2024). Selain itu, nilai TOM selama penelitian berkisar antara 47–120 mg/L dan cenderung meningkat seiring waktu. Akumulasi bahan organik dapat menyediakan sumber nutrisi bagi pertumbuhan *Vibrio* spp., namun peningkatan TOM tidak selalu diikuti oleh peningkatan jumlah bakteri karena

dipengaruhi oleh faktor lingkungan lain di tambak (Amalliyah, 2025).

Beberapa penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa perubahan kualitas air diduga berkontribusi terhadap peningkatan populasi bakteri oportunistik di lingkungan budi daya (Ariadi dan Mujtahidah, 2022; Pariakan *et al.*, 2023; Andayani *et al.*, 2024). Menurut Suprakto *et al.* (2024) pada sistem budi daya intensif perubahan kualitas air dan akumulasi limbah organik menjadi sumber nutrisi bagi pertumbuhan bakteri. Beban limbah dan kualitas air cenderung menurun seiring peningkatan umur pemeliharaan (DOC), akan tetapi dinamika *Vibrio* spp. tidak selalu meningkat seiring bertambahnya DOC. Hal ini memperkuat dugaan bahwa diduga perubahan kondisi lingkungan berkontribusi terhadap peningkatan kelimpahan *Vibrio* spp., namun hubungan tersebut tidak bersifat linear karena dipengaruhi oleh interaksi berbagai faktor lingkungan.

Selama periode pemeliharaan, penerapan manajemen kualitas air seperti penyiponan, pergantian air, dan aplikasi probiotik diduga berkontribusi dalam menjaga stabilitas populasi *Vibrio*. Probiotik diketahui mampu menekan pertumbuhan bakteri patogen melalui kompetisi nutrisi, produksi senyawa antagonistik, serta peningkatan respons imun inang (Fatmala *et al.*, 2019; Saraswati *et al.*, 2023).

3.4 Implikasi Pengelolaan Budi Daya

Berdasarkan sintesis beberapa penelitian dan praktik budi daya, kelimpahan *Vibrio* spp. dapat digunakan sebagai indikator risiko dalam pengambilan keputusan teknis. Strategi pengelolaan dilakukan secara bertahap, mulai dari pemeliharaan rutin dan pemantauan berkala

pada kondisi risiko rendah hingga peningkatan pengendalian kualitas air, aplikasi probiotik, evaluasi pemberian pakan, dan tindakan korektif pada kondisi risiko yang lebih tinggi (Tabel 4).

Sesuai Permen KP No. 75/PERMEN-KP/2016, ambang batas total *Vibrio* pada media pemeliharaan budi daya intensif adalah $\leq 1 \times 10^3$ CFU/mL. Namun, dalam praktiknya perusahaan atau pelaku budi daya dapat menerapkan batas operasional yang berbeda sesuai kondisi lingkungan, tingkat intensifikasi, dan kebijakan manajemen masing-masing. Oleh karena itu, kategori risiko pada Tabel 4 disusun berdasarkan sintesis berbagai literatur sebagai panduan praktis dalam pengelolaan kualitas air dan kesehatan udang.

Tabel 4. Contoh strategi pengelolaan berdasarkan literatur

Kelimpahan <i>Vibrio</i> spp. (CFU/mL)	Kategori Risiko	Tindakan Teknis
$< 5 \times 10^2$	Rendah	Manajemen rutin, probiotik 2× per minggu, pemantauan kualitas air mingguan (Mohammed <i>et al.</i> , 2025).
$5 \times 10^2 - 1 \times 10^3$	Sedang	Peningkatan frekuensi probiotik, pemantauan pH lebih intensif, pergantian air berkala (Mustafa <i>et al.</i> , 2019).
$1 \times 10^3 - 5 \times 10^3$	Tinggi	Aplikasi probiotik harian, sifon dasar kolam, pergantian air lebih intensif, evaluasi pemberian pakan (Halim <i>et al.</i> , 2023).
$> 5 \times 10^3$	Sangat tinggi	Pembatasan pakan, pergantian air bertahap, aplikasi bahan pengendali, evaluasi biosekuriti dan sanitasi (KKP, 2016)

Secara umum, peningkatan kelimpahan *Vibrio* spp. memerlukan tindakan pengelolaan yang lebih intensif. Pada kategori risiko rendah hingga sedang, pengelolaan difokuskan pada pemeliharaan rutin, pemantauan kualitas air, dan aplikasi probiotik secara berkala. Pada kategori tinggi, diperlukan peningkatan frekuensi pengelolaan seperti aplikasi probiotik, sifon dasar tambak, evaluasi pemberian pakan, dan pergantian air. Sementara itu, pada

kategori sangat tinggi diperlukan tindakan korektif yang lebih ketat, termasuk pembatasan pakan, peningkatan manajemen kualitas air, serta evaluasi sistem biosekuriti untuk mencegah perkembangan penyakit.

IV. KESIMPULAN

Kelimpahan *Vibrio* spp. berbeda antara media budi daya dan organ internal udang. Kelimpahan tertinggi ditemukan pada usus, diikuti hepatopankreas, sedangkan media

budi daya memiliki kelimpahan paling rendah. Seluruh isolat didominasi koloni kuning, sementara koloni hijau, hitam, dan bioluminesen tidak ditemukan selama penelitian. Hasil ini menunjukkan bahwa pemantauan kelimpahan *Vibrio* spp. pada media dan organ udang berpotensi digunakan sebagai indikator pendukung dalam evaluasi kondisi budi daya dan pengendalian penyakit.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, A., Widiastuti, M., Ernawati, Y., Yayan, Y. A., Insivitawati, E., Yuliana, Pakaya, F., Soegianto, A., & Khumaidi, A. (2022). Analysis of white feces disease (WFD) caused by *Vibrio* sp. and dinoflagellata in vannamei shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in brackishwater culture pond. *Moh*, 14(1), 160–166.
- Amalliyah, N., Hakimah, N., & Sugianti, B. (2025). Pengaruh total organic matter (TOM) dan alkalinitas terhadap kelimpahan *Vibrio* sp. pada pembenihan udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*). *Samakia: Jurnal Ilmu Perikanan*, 16(1), 30–38.
- Ambat, K. N., Abida, I. W., & Maherlina, R. (2022). Kelimpahan bakteri *Vibrio* sp. pada sampel air tambak di UPT Laboratorium Kesehatan Ikan dan Lingkungan Pasuruan, Jawa Timur. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 3(3), 66–72. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v3i3.16461>
- Amelia, F., Halalludin, B., Naim, S., & Permana, R. (2020). Diversity analysis of genus *Vibrio* in *Enterocytozoon hepatopenaei* (EHP) infected shrimp with Enterobacterial Repetitive Intergenic Consensus Polymerase Chain Reaction (ERIC PCR) method. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 9(3), 238. <https://doi.org/10.20473/jafh.v9i3.18855>
- Andayani, L., Fauziah, A., & Cahyanurani, B. (2024). Dynamics of *Vibrio* sp. abundance in the culture medium and *Vibrio* sp. hepatopankreas organ of vaname shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in CV. Program Studi Teknik Budi daya Perikanan, Politeknik Kelautan dan Perikanan. *Chanos*, 99–108. <https://doi.org/10.15578/chanos.v22i2.15567>
- Ariadi, H., & Mujtahidah, T. (2022). Analisis permodelan dinamis kelimpahan bakteri *Vibrio* sp. pada budi daya udang vaname, *Litopenaeus vannamei*. *Jurnal Riset Akuakultur*, 16(4), 255–262. <https://doi.org/10.15578/jra.16.4.2021.255-262>
- Aris, M., Samdan, M., & Ane, O. (2024). Perbandingan kepadatan bakteri *Vibrio* spp. pada budi daya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) di lokasi berbeda. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 5(3), 214–222.
- Aziza, R. N., & Chaidir, R. R. A. (2024). Isolasi bakteri *Vibrio* sp. resisten antibiotik pada sampel udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) dari Pasar Seketeng. *Journal of Life Science and Technology*, 2(1), 26.
- Badan Standardisasi Nasional. (2006). *SNI 01-2332.4:2006: Cara uji mikrobiologi—Bagian 4: Penentuan *Vibrio cholerae* pada produk perikanan*. Badan Standardisasi

Nasional.

- Chang, Y. T., Huang, W. T., Wu, P. L., Kumar, R., Wang, H. C., & Lu, H. P. (2024). Low salinity stress increases the risk of *Vibrio parahaemolyticus* infection and gut microbiota dysbiosis in Pacific white shrimp. *BMC Microbiology*, 24(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12866-024-03407-0>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2024). *Laboratory methods for the diagnosis of epidemic dysentery and cholera*. U.S. Department of Health & Human Services.
- Deris, Z. M., Iehata, S., Gan, H. M., Ikhwanuddin, M., Najiah, M., Asaduzzaman, M., Wang, M., Liang, Y., Danish-Daniel, M., Sung, Y. Y., & Wong, L. L. (2022). Understanding the effects of salinity and *Vibrio harveyi* on the gut microbiota profiles of *Litopenaeus vannamei*. *Frontiers in Marine Science*, 9, Article 974217. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.974217>
- Duan, Y., Wang, Y., Liu, Q., Zhang, J., & Xiong, D. (2019). Changes in the intestine barrier function of *Litopenaeus vannamei* in response to pH stress. *Fish & Shellfish Immunology*, 88, 142–149. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.02.047>
- Fatmala, I., Pranggono, H., & Linayati, L. (2019). Identifikasi bakteri *Vibrio* sp. dalam hepatopankreas udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) pada tambak yang diberi probiotik di Tambak Sampang Tigo Kelurahan Degayu Kota Pekalongan. *Jurnal Litbang Kota Pekalongan*, 16, 42–48. <https://doi.org/10.54911/litbang.v16i0.95>
- Galaviz-Silva, L., Rodríguez de la Fuente, A. O., Gomez-Flores, R., Ibarra-Gámez, J. C., Luna-Cruz, I. E., Elizondo-Luevano, J. H., Sánchez-Díaz, R., & Molina Garza, Z. J. (2025). Characterization of Microbiome Diversity in the Digestive Tract of *Penaeus vannamei* Fed with Probiotics and Challenged with *Vibrio parahaemolyticus* Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease. *Pathogens*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/pathogens14040320>
- Garibay-Valdez, E., Cicala, F., Martinez-Porchas, M., Gómez-Reyes, R., Vargas-Albores, F., Gollas-Galván, T., Martínez-Córdova, L. R., & Calderón, K. (2021). Longitudinal variations in the gastrointestinal microbiome of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *PeerJ*, 9. <https://doi.org/10.7717/peerj.11827>
- Halim, A. M., Fauziah, A., Ritonga, L. B., Arifin, M. Z., & Wulandari, A. (2023). Plankton pada pertumbuhan udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) di CV Rejo Royal Banyuwangi. *Jurnal Perikanan Pantura (JPP)*, 6(2), 405–414. <https://doi.org/10.30587/jpp.v6i2.6319>
- Haliman, R. W., Poncolaksito, E., Sujarwo, S., Ismawi, I., Kunadi, A., Berutu, N. W., Untari, D. R., Srisombat, S., Halalludin, B., Rizkiantino, R., & Laiman, H. (2024). Dinamika bakteri *Vibrio* spp. pada air laut di seputar sentra pembenihan udang vanamei (*Litopenaeus vannamei*) di Indonesia.

Acta Veterinaria Indonesiana, 12(2), 112–118.

<https://doi.org/10.29244/avi.12.2.112-118>

Hartanto, N., & Astiana, A. (2020). Performa dan infeksi patogen penyebab penyakit pada udang tambak yang menggunakan pakan FSBM. *SIGANUS: Journal of Fisheries and Marine Science*, 1(2), 1–8.

Hikmawati, F., Susilowati, A., & Setyaningsih, R. (2019). Detection of the number and pathogenicity of *Vibrio* spp. on green mussels (*Perna viridis*) in the tourist area of Yogyakarta. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*, 5(2), 334–339. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m050234>

Hitijahubessy, H., Samid, A., Jalmaf, K., Hasanela, & Huwae, C. (2022). Uji aktivitas antibakteri *Vibrio* sp. dari daun serai (*Wedelia* sp.). *Biofaal Journal*, 3(1), 43–50. <https://doi.org/10.30598/biofaal.v3i1p43-50>

Holt, C. C., Bass, D., & van der Giezen, M. (2020). Understanding the role of the shrimp gut microbiome in health and disease. *Aquaculture*, 518, 734831. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734831>

Ina-Salwany, M. Y., Al-saari, N., Mohamad, A., Mursidi, F., Mohd-Aris, A., Amal, M. N. A., Kasai, H., Mino, S., Sawabe, T., & Zamri-Saad, M. (2019). Vibriosis in Fish: A Review on Disease Development and Prevention. *Journal of Aquatic Animal Health*, 31(1), 3–22.

<https://doi.org/10.1002/aah.10045>

Kah Sem, N. A. D., Abd Gani, S., Chong, C. M., Natrah, I., & Shamsi, S. (2023). Management and mitigation of *Vibriosis* in aquaculture: Nanoparticles as promising alternatives. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(16), Article 12542. <https://doi.org/10.3390/ijms241612542>

Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2016). *Peraturan kelautan dan perikanan Republik Indonesia nomor 75/PERMEN-KP/2016 tentang pedoman umum pembesaran udang windu (Penaeus monodon) dan udang vaname (Litopenaeus vannamei)*. Kementerian Kelautan dan Perikanan, 1–43.

Kaur-Kahlon, G., Kumar, B. K., Ruwandeeepika, H. A. D., Defoirdt, T., & Karunasagar, I. (2021). Quorum Sensing Regulation of Virulence Gene expression in *Vibrio harveyi* during its Interaction with Marine Diatom *Skeletonema marinoi*. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 15(4), 2507–2519. <https://doi.org/10.22207/JPAM.15.4.78>

Kumar, V., Roy, S., Kumar, Bossier, P., & Kumar. (2021). Pathogenesis and mitigation strategies in shrimp aquaculture. *Toxins*, 13, 1–28.

Liao, G., Wang, W., Yu, J., Li, J., Yan, Y., Liu, H., Chen, B., & Fan, L. (2024). Integrated analysis of intestinal microbiota and transcriptome reveals that a coordinated interaction of the endocrine, immune system and gut microbiota response to heat stress in *Litopenaeus vannamei*. *Developmental*

& *Comparative Immunology*, 156, 105176.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dci.2024.105176>

- Mohammed, E. A. H., Ahmed, A. E. M., Kovács, B., & Pál, K. (2025). The significance of probiotics in aquaculture: A review of research trend and latest scientific findings. *Antibiotics*, 14(3), 1–26.
<https://doi.org/10.3390/antibiotics14030242>
- Mustafa, M. F., Bunga, M., & Achmad, M. (2019). Penggunaan probiotik untuk menekan populasi bakteri *Vibrio* sp. pada budi daya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). *Journal of Fisheries and Marine Science*, 2(2), 69–76.
- Papenfort, K., & Bassler, B. L. (2016). Quorum sensing signal–response systems in Gram-negative bacteria. *Nature Reviews Microbiology*, 14(9), 576–588.
<https://doi.org/10.1038/nrmicro.2016.89>
- Pariakan, A., & Rahim. (2021). Karakteristik kualitas air dan keberadaan bakteri *Vibrio* sp. pada wilayah tambak udang tradisional di pesisir Wundulako dan Pomalaa Kolaka. *JFMR: Journal of Fisheries and Marine Research*, 5(3), 547–556.
<https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2021.005.03.5>
- Pariakan, A., Rahim, R., & Indrayani, I. (2023). Pola hubungan salinitas, oksigen terlarut, dan pH terhadap bakteri *Vibrio* sp. pada lokasi budi daya udang (*Litopenaeus vannamei*) di Kabupaten Kolaka. *Samakia: Jurnal Ilmu Perikanan*, 14(2), 119–128.
<https://doi.org/10.35316/jsapi.v14i2.2654>

- Rahmah, W. N., Sartika, F., & Maduren, Y. E. S. (2023). Identifikasi bakteri pada nutrient agar plate di Laboratorium Mikrobiologi Universitas Muhammadiyah Palangkaraya. *Borneo Journal of Medical Laboratory Technology*, 5(2), 338–343.
<https://doi.org/10.33084/bjmlt.v5i2.5177>
- Ramdhaniah, V., Indrawati, A., & Prasetyo, F. (2024). Uji resistansi antibiotik bakteri *Vibrio parahaemolyticus* dari udang putih (*Litopenaeus vannamei*) serta identifikasi gen penyandi resisten ampicilin. *Acta Veterinaria Indonesiana*, 12(2), 97–105.
<https://doi.org/10.29244/avi.12.2.97-105>
- Risna, Y. K., Sri-Harimurti, S.-H., Wihandoyo, W., & Widodo, W. (2022). Kurva pertumbuhan isolat bakteri asam laktat dari saluran pencernaan itik lokal asal Aceh. *Jurnal Peternakan Indonesia (Indonesian Journal of Animal Science)*, 24(1), 1–7.
<https://doi.org/10.25077/jpi.24.1.1-7.2022>
- Saraswati, E., Putri, C. B., & Sari, S. N. (2023). Analisis kelimpahan bakteri *Vibrio* sp. pada media budi daya dan hepatopankreas udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) di kolam tertutup dan terbuka. *Jurnal Lemuru*, 5(2), 252–264.
<https://doi.org/10.36526/jl.v5i2.2991>
- Sitanggang, L., & Amanda, L. (2019). Analisa kualitas air alkalinitas dan

kesadahan (hardness) pada pembesaran udang putih (*Litopenaeus vannamei*) di laboratorium. *Jurnal Penelitian Terapan Perikanan dan Kelautan*, 1(1), 54–60.

Suprakto, B., Lestari, M. D., Aulia, D., Hikmah, N., & Wartini, S. (2024). Analisis komposisi dan kelimpahan bakteri vibrio sp. pada budidaya udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) sistem intensif. *Jurnal Perikanan Unram*, 14(1), 215–224. <https://doi.org/10.29303/jp.v14i1.777>

Suratmi, S., & Haryanto, S. (2021). Teknik isolasi produk ekstraseluler dan intraseluler dari bakteri *Vibrio harveyi*. *Buletin Teknik Litkayasa Akuakultur*, 19(1), 61–65. <https://doi.org/10.15578/blta.19.1.2021.61-65>

Syamsuddin, H. S. A., Bimantara, A., & Susanti, D. (2023). Deteksi Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND) pada udang putih (*Litopenaeus vannamei*) dan air tambak dengan metode Nested PCR. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1, 166–173.

Takwin, B. A., Setyowaty, D. N., & Azhar,

F. (2022). Pengaruh pemberian ekstrak daun jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) terhadap sistem imun udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) yang diinfeksi bakteri *Vibrio harveyi*. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 5(2), 598–609. <https://doi.org/10.33387/jikk.v5i2.5483>

Zeng, S., He, J., & Huang, Z. (2024). The intestine microbiota of shrimp and its impact on cultivation. In *Applied Microbiology and Biotechnology* (Vol. 108, Number 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13213-3>

Zeng, S., Huang, Z., Hou, D., Liu, J., Weng, S., & He, J. (2017). Composition, diversity and function of intestinal microbiota in pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) at different culture stages. *PeerJ*, 2017(11). <https://doi.org/10.7717/peerj.3986>

Zhang, S., Yang, Q., Eggermont, M., & Defoirdt, T. (2023). Quorum-sensing interference in vibrios. *Reviews in Aquaculture*, 15(4), 1452–1466. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/raq.1278>