

Pemantauan Kualitas Air dan Kontaminasi *Vibrio* spp. pada Udang Putih Pasifik (*Litopenaeus vannamei*) yang Dibudidayakan dengan Sistem Super – Intensif: Studi Kasus di Situbondo, Jawa Timur, Indonesia

Putu Angga Wiradana^{1*}, Mayadita Dwi Sani², Putu Eka Sudaryatma³, I Made Gde Sudyadnyana Sandhika¹, I Gede Widhiantara¹, I Wayan Rosiana¹, Arif Nur Muhammad Ansori⁴, and Ummul Firmani⁵

¹Program Studi Biologi, Fakultas Kesehatan dan Sains, Universitas Dhyana Pura, Indonesia; e-mail: angga.wiradana@undhirabali.ac.id

²Pengawas Penyakit dan Pengendali Penyakit Hewan, Dinas Peternakan Kabupaten Bangkalan, Indonesia

³Badan Pengendalian dan Pengawasan Mutu Hasil Kelautan dan Perikanan (BPPMHKP) Denpasar, Bali, Indonesia

⁴Sekolah Pascasarjana, Kampus B, Universitas Airlangga, Indonesia

⁵Jurusan Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Gresik, Indonesia

ABSTRAK

Penyakit yang disebabkan oleh kelompok *Vibrio* spp. selama program budidaya *Litopenaeus vannamei* berpotensi menyebar ke perairan melalui perpindahan larva, kontaminasi silang, hingga tingginya padat tebar. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki kualitas air dan kelimpahan *Vibrio* spp. pada *L. vannamei* yang dibudidayakan menggunakan sistem super-intensif. Evaluasi fluktuasi kualitas air dan bakteri *Vibrio* spp. dilakukan dengan pengukuran parameter kualitas air (suhu, oksigen terlarut, salinitas, nilai pH, dan amoniak) pada media pemeliharaan *L. vannamei*. Pemeriksaan *Vibrio* spp. dilakukan pada air pemeliharaan dan tubuh udang *L. vannamei* dengan mengkultur pada media selektif CHROMAgar serta identifikasi pada kenampakan hepatopankreas. Pemantauan dilakukan mulai dari Days of Culture (DOC) 30 – 150. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai DO pada pemeliharaan hari ke-150 cenderung mengalami peningkatan, yang diikuti dengan peningkatan nilai suhu dan kadar amoniak secara signifikan dibandingkan dengan usia pemeliharaan 30 hari ($p \leq 0.05$). Tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada nilai pH dan salinitas pada DOC 30 dan 150. Cemar *Vibrio* spp. pada media pemeliharaan cenderung tinggi pada DOC 30, sedangkan cemaran *V. parahaemolyticus* dan *V. cholera* cenderung tinggi pada DOC 90 dan 60 pada tubuh *L. vannamei*. Cemaran *Vibrio* spp., pada *L. vannamei* dapat dikaitkan dengan tingginya padat penebaran, berdampak pada penurunan DO dan peningkatan suhu dan amoniak pada sistem budidaya super-intensif.

Kata kunci: Udang putih pasifik; kualitas air; *Litopenaeus vannamei*; sistem super-intensif; akuakultur.

ABSTRACT

Diseases caused by the *Vibrio* spp. during the cultivation program of *Litopenaeus vannamei* has the potential to spread into waters through the spread of larvae, cross-contamination, and high stocking densities. This study aims to investigate air quality and describe *Vibrio* spp. on *L. vannamei* cultivated using a super intensive system. Evaluation of air quality fluctuations and *Vibrio* spp bacteria. carried out by measuring air quality parameters (temperature, dissolved oxygen, salinity, pH value, and ammonia) in *L. vannamei* rearing media. Examination of *Vibrio* spp. carried out on air and body maintenance of *L. vannamei* shrimp by culturing on CHROMAgar selective media and identification of the appearance of the hepatopancreas. Monitoring was carried out starting from Days of Culture (DOC) 30 – 150. The results showed that the DO value on the 150th day of maintenance tended to increase, which was followed by a significant increase in temperature values and ammonia levels compared to the 30 days maintenance periods ($p \leq 0.05$). There were no significant differences in pH and salinity values at DOC 30 and 150. Contamination of *Vibrio* spp. in the maintenance media it tends to be high at DOC 30, while *V. parahaemolyticus* and *V. cholera* contamination tends to be high at DOC 90 and 60 in *L. vannamei* bodies. Contamination of *Vibrio* spp., in *L. vannamei* can be associated with high stocking density and has an impact on reducing DO and increasing temperature and ammonia in super intensive cultivation systems.

Keywords: Pacific white shrimp; water quality; *Litopenaeus vannamei*; super intensive system; aquaculture.

Citation: Wiradana, P. A., Sani, M. D., Sudaryatma, P. E., Sandhika, I. M. G. S., Widhiantara, I. G., Rosiana, I. W., Ansori, A. N. M., dan Firmani, U. (2024). Pemantauan Kualitas Air dan Kontaminasi *Vibrio* spp. pada Udang Putih Pasifik (*Litopenaeus vannamei*) yang Dibudidayakan dengan Sistem Super – Intensif: Studi Kasus di Situbondo, Jawa Timur, Indonesia. Jurnal Ilmu Lingkungan, 22(6), 1545-1553, doi: 10.14710/jil.22.6.1545-1553

1. PENDAHULUAN

Udang merupakan komoditas akuakultur yang paling banyak dibudidayakan di dunia karena permintaan pasarnya yang besar (Xuan et al., 2021) termasuk di Indonesia. Karena nilai komersialnya yang besar dan kemampuan reproduksinya yang mengesankan (Sani et al., 2022), udang putih pasifik (*Litopenaeus vannamei*) menjadi komoditas budidaya udang yang paling sukses dibudidayakan serta menyumbang hingga 80% dari produksi jenis udang budidaya lainnya (Prathiviraj et al., 2021). Produksi dari *L. vannamei* di seluruh dunia mencapai 5.812,18 ribu ton pada tahun 2020, senilai lebih dari 33 juta USD (FAO, 2020). Pengembangan teknologi akuakultur dengan sistem super-intensif sudah dikembangkan guna mendukung jumlah panen *L. vannamei*. Sistem ini menerapkan padat tebar benih udang yang tinggi berkisar 300 – 1.000 ekor/m² dan dengan nilai produktivitas yang dapat mencapai 100 – 150 ton/ha/siklus (Utami et al., 2022).

Wilayah pesisir di Kabupaten Situbondo, Jawa Timur menjadi salah satu sentra budiaya *L. vannamei* di Indonesia. Data menunjukkan bahwa luas lahan pertambakan udang di Kabupaten Situbondo mencapai 754,2 ha dan terdiri dari 550,1 ha tambak intensif hingga super intensif, 32,1 ha tambak smei intensif, dan 172 ha tambak tradisional (Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP) Kabupaten Situbondo, 2013). Meskipun produktivitas yang dihasilkan sangat besar, kemunculan infeksi patogen masih menjadi kekhawatiran global yang dapat menghambat bisnis budidaya *L. vannamei* dan mengakibatkan kerugian finansial yang signifikan (Jithendran et al., 2021; Riandi et al., 2021; Wiradana et al., 2022).

Kualitas air memegang peran penting dalam usaha akuakultur karena mempengaruhi kesehatan, kelangsungan hidup, dan pertumbuhan hewan budidaya (Wanja et al., 2020). Kualitas fisik, kimia, dan biologis air berdampak signifikan pada perkembangan dan kesehatan hewan budidaya (Chidiac et al., 2023). Oleh sebab itu, untuk memperoleh lingkungan tambak yang sehat, parameter kualitas air harus dijaga pada tingkat idealnya. Paparan kronis terhadap konsentrasi yang tidak memadai dari satu atau lebih faktor kualitas air akan menyebabkan udang menjadi stress, sehingga meningkatkan resiko mereka terhadap infeksi penyakit (Boyd, 2017). Faktor kualitas air yang signifikan dalam lingkungan budidaya seperti suhu, pH, oksigen terlarut (DO), amoniak, dan tingkat kejernihan air (Akongyuure and Alhassan, 2021).

Pemantauan terhadap kualitas mikrobiologis air menjadi tantangan yang masih dihadapi oleh petambak *L. vannamei* (Mahenda et al., 2021; Riandi et al., 2021; Wiradana et al., 2022). Kualitas mikrobiologis air pada sistem akuakultur dapat menentukan keberhasilan atau kegagalan usaha budidaya (Lindholm-Lehto, 2023; Tarnecki and Guttman, 2023). Produk makanan laut yang dibudidayakan berpotensi terkontaminasi dengan mikroba kontaminan yang mampu menimbulkan resiko serius terhadap keamanan makanan laut dan keehatan manusia (Stentiford et al., 2022). Bakteri patogen dapat diperoleh udang dari air pemeliharaan yang tercemar, dan kontaminasi silang yang dapat berasal dari manusia dan hewan (Alfiansah et al., 2020).

Bakteri telah banyak terlibat dalam penyakit yang ditularkan melalui makanan termasuk infeksi yang disebabkan oleh *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Vibrio* spp., *Shigella* spp., dan penghasil racun *Staphylococcus aureus* dan *Clostridium botulinum* (Kim and Lee, 2017). Saat ini, kriteria kualitas air mikroba menggunakan bakteri indikator tinja seperti total coliform, fecal coliform, *Enterococcus* spp., dan *Escherichia coli* untuk mendeteksi adanya kontaminasi tinja pada badan air, karena kontaminasi ini dapat membahayakan kesehatan hewan budidaya dan manusia (Wen et al., 2020). *Vibrio* spp. bertanggung jawab terhadap kasus infeksi manusia yang mengkonsumsi makanan laut mentah atau kurang matang, serta pembudidaya yang tidak menangani produk perikanan yang tercemar dengan baik. Jenis *Vibrio* spp. yang mampu menginfeksi manusia adalah *V. parahemolyticus*, *V. cholera*, dan *V. anguillarum*.

Telah banyak penelitian yang mengungkapkan jenis kontaminan mikroba dalam sistem akuakultur dan jalur transmisinya terhadap infeksi hewan budidaya. Namun, masih belum banyak laporan yang mengungkapkan kondisi kualitas air terhadap cemaran *Vibrio* spp. pada budidaya sistem nursery *L. vannamei*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menyelidiki parameter kualitas air dan cemaran *Vibrio* spp. pada sistem budidaya super-intensif *L. vannamei*.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di pertambakan udang putih pasifik yang dipelihara menggunakan sistem super-intensif di Kabupaten Situbondo, Jawa Timur. Penelitian dilakukan dari bulan April – September 2023. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kolam pemeliharaan udang putih pasifik, *L. vannamei* dengan sistem super-intensif di Kabupaten Situbondo, Jawa Timur

Kolam pemeliharaan memiliki luas $\pm 3,000 \text{ m}^2$ dengan padat tebar rata-rata mencapai 310 benur/ m^2 . Tambak dilengkapi dengan bahan polietilen densitas tinggi (HDPE) pada dinding dan plastic mulsa, serta kincir angin sebanyak 30 buah sebagai sistem aerasi (Riandi et al., 2021; Sani et al., 2022, 2020).

2.2. Kondisi dari *L. vannamei*

Ukuran udang putih pasifik yang ditebar di kolam budidaya sistem super-intensif adalah udang postlarva selama 10 hari (PL.10) dengan alasan pada tahap ini, udang sudah mencapai perkembangan insang dan sistem pencernaan yang lengkap, sehingga mampu bertahan hidup. Udang putih pasifik diberikan pakan alami selama tahap PL.10 dan siap diberikan pakan buatan berupa pellet yang dipecah untuk menghasilkan pakan starter untuk menyesuaikan dengan usia udang PL.20 (Wiradana et al., 2022). Pakan pellet yang digunakan berasal dari perusahaan pakan hewan komersial yang memenuhi standar stabilitas air dan daya tahan pellet (Charoen Pokphand, IDN).

2.3. Sampel Air Tambak

Sampel air tambak udang putih pasifik dikoleksi selama 5 bulan pada masing-masing petak pertambakan. Jumlah petak pertambakan yang digunakan untuk sampling adalah sebanyak 5 petak dengan sistem super-intensif. Koleksi sampel air menggunakan botol kaca steril berukuran 500 ml yang dilengkapi dengan penutup berbahan karet. Botol sampel dimasukkan ke dalam air pemeliharaan hingga terisi penuh. Sampel air dikumpulkan pada tiap sisi kolam pemeliharaan dan dicampurkan menjadi satu pada botol steril yang baru yang sebelumnya telah dibilas terlebih dahulu dengan air tambak dan ditutup rapat. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam *cooler box* yang telah diisi es dan ditransportasikan ke laboratorium.

Parameter pH, salinitas, oksigen terlarut, dan suhu diukur langsung di lingkungan, sedangkan parameter NH_4 diukur di laboratorium. Total Vibrio Count (TVC), *V. parahaemolyticus*, *V. cholera*, dan *V. alginolyticus*

dianalisis dengan menumbuhkan sampel pada medium CHROMAgar. Sampel air diencerkan menggunakan larutan NaCl fisiologis 0,9% 9 ml, hingga mencapai faktor pengenceran 10^{-4} . Sampel dari pengenceran ini kemudian ditanam pada medium CHROMAgar yang diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C . Indikator positif ditunjukkan dengan perubahan warna koloni, yaitu warna ungu positif *V. parahaemolyticus*; warna hijau positif *V. cholera*; dan warna putih positif *V. alginolyticus* (Kriem et al., 2015; Liu et al., 2024; Santajit et al., 2022). Pengulangan dilakukan sebanyak 4 kali untuk masing-masing parameter kualitas air yang diukur (nilai pH, suhu, salinitas DO, dan NH_3).

2.4. Koleksi Sampel *L. vannamei*

Sampel benur udang putih pasifik dikoleksi dari masing-masing pertambakan, dengan jumlah 20 ekor dan berat rata-rata sebesar 17,6 gram/ekor. Kelompok *Vibrio* spp. pada benur udang putih pasifik ditentukan sama dengan metode kualitas air, namun sebanyak 10 gram daging udang diencerkan ke dalam 90 ml larutan NaCl fisiologis 0,9% untuk memperoleh faktor pengenceran 10^{-1} , kemudian sampel diencerkan kembali hingga mencapai faktor pengenceran 10^{-4} . Sampel kemudian ditumbuhkan pada medium dan metode yang sama dengan sampel air.

2.5. Analisis Statistik

Data yang telah dikumpulkan kemudian diinput ke Ms. Excel (Microsoft, USA) dan kemudian dianalisis menggunakan software SPSS. 23 (IBM, USA). Untuk mengetahui perbedaan rerata dan standar deviasi (SD) dari tiap parameter, hasil dianalisis dengan One Way ANOVA, selanjutnya untuk mengetahui perbedaan yang signifikan dari tiap sampel dilanjutkan dengan uji DUNCAN dengan selang kepercayaan 5%. Perbedaan yang signifikan ditunjukkan dengan nilai $P \leq 0.05$. Data yang diperoleh ditampilkan dalam bentuk Tabel, Grafik, dan Gambar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kualitas Air Tambak Udang Sistem Super-Intensif

Hasil pengukuran terhadap parameter kualitas air tambak *L. vannamei* menunjukkan bahwa adanya fluktuatif di tiap bulan. Nilai pH menunjukkan masih dalam kisaran normal dari awal pemeliharaan hingga bulan Agustus dengan kisaran 7.72 - 7.82 atau tidak berbeda secara signifikan di tiap bulannya ($p \geq 0.05$) dan masih dalam rentang normal berdasarkan baku mutu kualitas air pemeliharaan *L. vannamei*.

Nilai pH yang terjaga pada kondisi netral dan alkalinitas yang lebih tinggi memiliki korelasi terhadap pertambahan bobot, laju pertumbuhan spesifik, konversi pakan dan bobot akhir yang lebih tinggi pada *L. vannamei* (Spelta et al., 2021). Kondisi pH sangat penting karena merupakan variabel stress lingkungan yang paling sensitif (selain suhu dan kandungan oksigen terlarut) (Wang et al., 2002).

Perubahan yang signifikan pada nilai pH juga dipengaruhi oleh aktivitas fotosintetik dan respirasi yang diperankan oleh fitoplankton yang muncul pada air (Riandi et al., 2021; Sani et al., 2022).

Fungsi fisiologis *L. vannamei* dipengaruhi oleh tekanan pH karena udang ini termasuk dalam spesies euryhaline. Penurunan pH yang terlalu ekstrem dapat menyebabkan stress oksidatif, mengurangi pasokan aktivitas antioksidan dan parameter imunologi pada *L. vannamei* terutama yang dipelihara dengan kepadatan tinggi (Duan et al., 2017; Han et al., 2018). Menariknya, pH yang cenderung basa (>9,5) juga mampu menurunkan berat badan udang dibandingkan pada kondisi nilai pH sebesar 8.0. Begitu pula dengan nilai pH yang bersifat asam (<6,5) menyebabkan penurunan aktivitas SOD, GSH-Px, GST, dan MDA pada udang (Yu et al., 2020).

Parameter suhu pada penelitian ini cenderung mengalami peningkatan hingga akhir masa pemeliharaan (Bulan Agustus). Peningkatan tertinggi ditunjukkan pada Bulan Agustus ($27.12 \pm 0.25^\circ\text{C}$) atau lebih tinggi secara signifikan dibandingkan dengan 4 bulan sebelumnya (Tabel 1). Walau demikian, nilai suhu ini masih dalam rentang normal. Peningkatan suhu yang lebih tinggi pada penelitian ini juga sangat penting di dalam menunjang metabolisme udang yang menjelang usia panen.

Suhu optimal untuk menunjang pertumbuhan *L. vannamei* adalah sekitar 28°C , terutama menjelang usia dewasa. Namun, peningkatan suhu seringkali terjadi akibat penambahan usia *L. vannamei* di lapangan yang menyebabkan tekanan termal pada udang, menurunkan respon imunitas dan meningkatkan kerentanan terhadap infeksi penyakit. Penelitian sebelumnya mengungkapkan bahwa *L. vannamei* memiliki sensitivitas yang lebih tinggi terhadap suhu rendah dan masih memiliki toleransi termal yang baik pada rentang suhu 15, 20, 25, dan 30°C (Kumlu et al., 2010). Studi kasus lainnya menunjukkan bahwa padat tebar udang *L. vannamei* sebesar 90 – 330 udang/ m^2 menunjukkan hasil produktivitas terbaik pada suhu diatas 26°C dan

menurun pada suhu di bawah 22°C . Perlu dicatat bahwa penelitian ini dilakukan pada Bulan April – September yang notabene merupakan musim kemarau. Pada musim kemarau, suhu perairan relatif lebih hangat dan dapat mencapai 30°C .

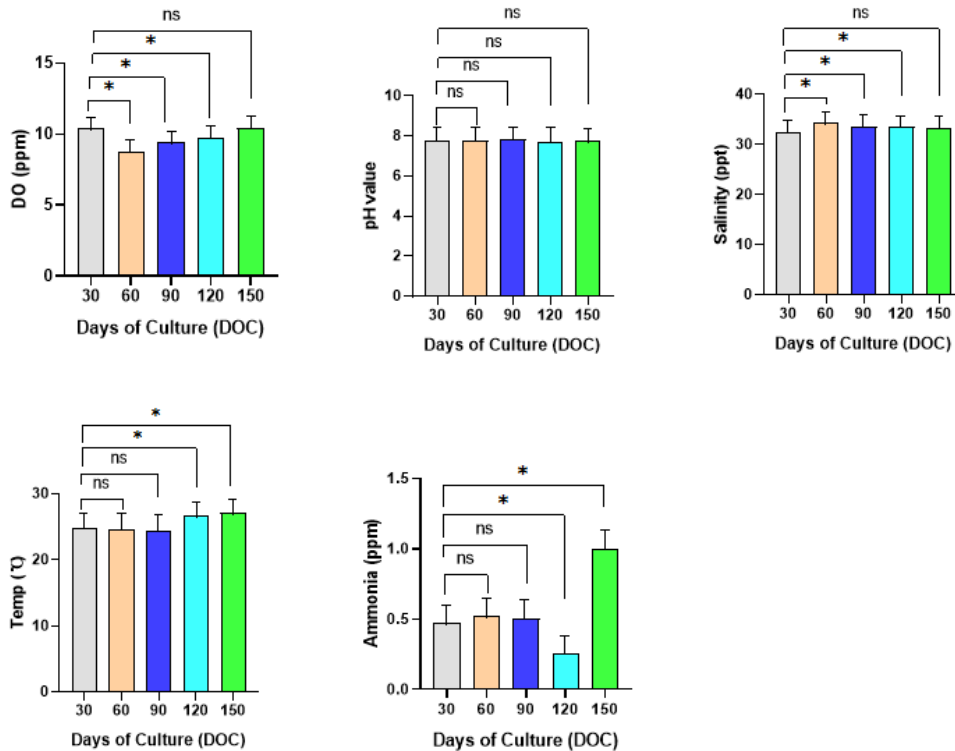
Perlu memperhatikan upaya mitigasi seperti panen parsial terhadap udang jika menjelang musim penghujan, karena notabene suhu cenderung menurun pada musim ini dan udang akan rentan terhadap serangan penyakit akibat padat tebar yang tinggi. Ukuran rata – rata udang juga sangat baik (12,6 gr) pada padat tebar 90 – 180 udang/ m^2 (Araneda et al., 2020). Suhu yang relatif rendah juga meningkatkan ekspresi gen yang terlibat dalam pelepasan energi dan produksi asam lemak tak jenuh (Wang et al., 2018). Suhu 13°C pada air pemeliharaan mampu menurunkan nafsu makan udang *L. vannamei* hingga meningkatkan respon oksidatif yang lebih tinggi dibandingkan suhu tinggi (28°C) (Huang et al., 2017; Xu et al., 2018).

Salinitas menjadi parameter penting yang mengatur respon fisiologis *L. vannamei* yang dibudidayakan dalam segala sistem. Hasil pemantauan terhadap parameter salinitas pada penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada DOC ke-30 sampai DOC ke-120 (Tabel 1). Namun, pemantauan salinitas pada DOC ke-150 cenderung mengalami peningkatan tetapi tidak signifikan dari pemantauan sebelumnya. Menariknya, kisaran salinitas ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan baku mutu yang telah ditetapkan (15 – 25 ppt). Penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa *L. vannamei* yang dibudidayakan pada sistem bioflok dengan variasi salinitas menunjukkan udang ini memiliki nilai kelangsungan hidup >72% pada kisaran salinitas 8; 12; 16; 25; dan 35 ppt. Begitu pula dengan bobot akhir dan laju pertumbuhan yang relatif rendah pada salinitas 8 – 12 ppt (Esparza-Leal et al., 2016). Penambahan salinitas air hingga 3% disebutkan dapat menjadi pilihan untuk mengurangi dampak negatif ketidakseimbangan ionik terhadap pertumbuhan *L. vannamei* (Moura et al., 2021).

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kualitas Air Tambak Udang Putih Pasifik (*Litopenaeus vannamei*) pada Sistem Super-Intensif di Kabupaten Situbondo, Jawa Timur

Parameter	Bulan					P value	Baku mutu
	April	Mei	Juni	Juli	Agustus		
pH (mg/l)	7.72 ± 0.20^a	7.75 ± 0.19^a	7.82 ± 0.09^a	7.71 ± 0.05^a	7.72 ± 0.05^a	0.786	7.5 – 8
Suhu (mg/l)	24.82 ± 0.55^a	24.62 ± 0.15^a	24.40 ± 0.11^a	26.67 ± 0.12^b	27.12 ± 0.25^c	0.000	28 – 32
Salinitas (mg/l)	32.50 ± 0.57^a	34.25 ± 0.50^c	33.50 ± 0.57^b	33.50 ± 0.57^b	33.25 ± 0.50^{ab}	0.008	15-25
DO (mg/l)	10.37 ± 0.09^c	8.78 ± 0.58^a	9.42 ± 0.29^b	9.75 ± 0.47^b	10.42 ± 0.17^c	0.000	>4
NH ₃ (mg/l)	0.47 ± 0.05^b	0.52 ± 0.05^b	0.50 ± 0.00^b	0.25 ± 0.28^a	1.00 ± 0.00^c	0.000	0
Log 10 of <i>V. parahaemolyticus</i> (CFU/ml)	3.47	3.30	3.39	-	-	-	4
Log 10 of <i>V. cholerae</i> (CFU/ml)	3.30	1	2	2	3	-	4
Log 10 of <i>V. alginolyticus</i> (10CFU/ml)	3.47	1	2	2	3	-	4

Pengulangan terhadap pengukuran kualitas air adalah sebanyak 4 kali. Angka dengan notasi huruf berbeda pada tiap kolom yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan secara signifikan ($p \leq 0.05$) berdasarkan uji Duncan. Deteksi cemaran *Vibrio* spp. dilakukan secara deskriptif analitik. Baku mutu kualitas air berdasarkan Peraturan Kualitas Air di BPPBAP Maros Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), Republik Indonesia.



Gambar 2. Perbandingan Kualitas Air Pemeliharaan Udang Putih Pasifik (*L. vannamei*) pada Sistem Super-Intensif di Kabupaten Situbondo, Jawa Timur, Indonesia. Notasi * Menunjukkan Perbedaan yang Signifikan antar Kelompok dan ns Menunjukkan Tidak Signifikan

Kadar oksigen terlarut (DO) pada penelitian ini cenderung menurun dari awal masa pemeliharaan (DOC 30) dan mengalami peningkatan kembali pada DOC ke-120 dan 250. Penurunan kadar DO pada DOC ke-60 dan 90 dapat diakibatkan oleh mulai bertambahnya usia dari *L. vannamei* sehingga memerlukan pasokan oksigen yang lebih banyak untuk metabolismenya. Penurunan ini juga dapat diakibatkan oleh padat tebar yang tinggi pada sistem ini hingga mulai munculnya mikroorganisme (bakteri dan fitoplankton) yang memanfaatkan oksigen untuk kelangsungan hidup mereka, walaupun hal ini masih perlu dibuktikan lebih lanjut. Penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa bakteri heterotrofik membutuhkan oksigen dalam jumlah yang besar untuk mengasimilasi amoniak yang dihasilkan dari feses *L. vannamei*. Bakteri nitrifikasi yang terbentuk dengan lambat berdampak pada lonjakan amoniak dan nitrit yang beracun (Ray et al., 2011). Pergantian air dan penambahan aerator pada DOC ke-120 dapat membantu meningkatkan suplai DO pada penelitian ini. Penambahan probiotik juga penting dilakukan untuk memecah bahan organik yang selanjutnya digunakan oleh pemasok oksigen sebagai nutrisi untuk meningkatkan laju fotosintesis (Monier et al., 2023).

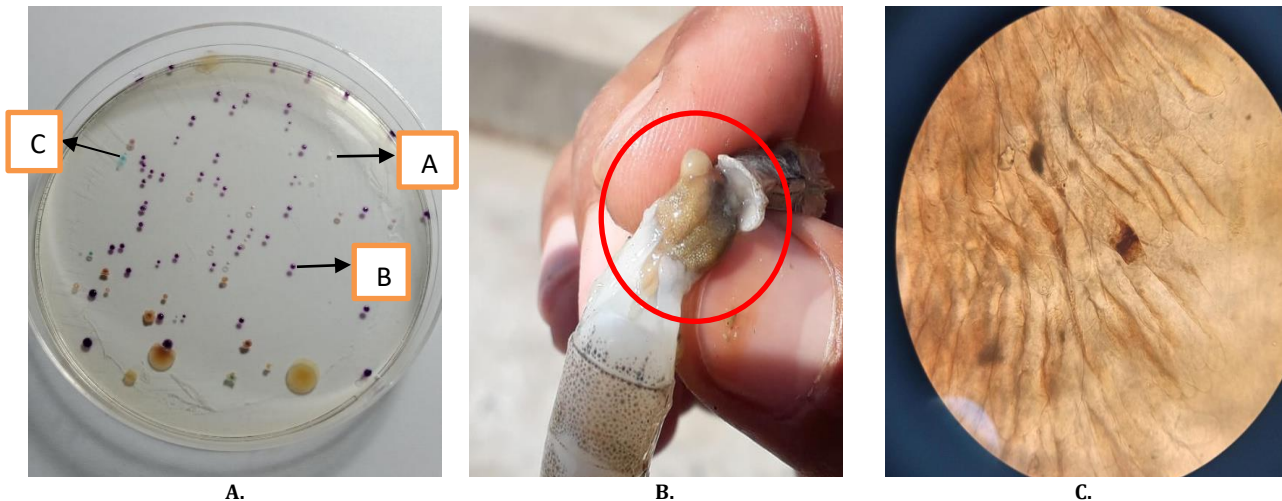
Kandungan amoniak dalam penelitian ini menunjukkan peningkatan yang signifikan pada DOC ke-150 jika dibandingkan dengan DOC sebelumnya (Tabel 1). Kadar amoniak yang tinggi tidak

direkomendasikan pada kolam pemeliharaan *L. vannamei*. Peningkatan usia dari *L. vannamei* dan penurunan oksigen sangat berdampak terhadap peningkatan amoniak. Di sisi lain, bahan organik yang terakumulasi di kolam pemeliharaan dapat berubah menjadi amoniak yang merupakan senyawa beracun dan dapat menyebabkan kematian pada *L. vannamei* (Dauda et al., 2019; Kamaruddin et al., 2021). Jika paparan amoniak terjadi secara kronik, maka menghambat pertumbuhan, fisiologis, dan perubahan hepatopankreas dan insang dari *L. vannamei* (Zhang et al., 2023). Sistem budidaya intensif sangat beresiko meningkatkan akumulasi amoniak karena adanya amonifikasi yang diperantarai oleh detritus organik seperti kelebihan pakan dan feses (Miranda-Filho et al., 2009).

Keberadaan *V. parahaemolyticus* pada air pemeliharaan dan tubuh *L. vannamei* cenderung berbeda pada penelitian ini. Kelimpahan *V. parahaemolyticus* terdeteksi pada DOC 30 – 90 pada air pemeliharaan dan pada DOC 90 di tubuh *L. vannamei*. Di sisi lain, tidak terdeteksi keberadaan *V. parahaemolyticus* pada DOC 120 dan 150 pada air maupun tubuh *L. vannamei* (Tabel 1 dan Tabel 2). Berbeda dengan *V. parahaemolyticus*, keberadaan *V. cholera* dan *V. alginolyticus* pada kolam pemeliharaan dijumpai hingga DOC 150, sedangkan *V. cholera* pada DOC 30 dan 60 dan *V. alginolyticus* tidak terdeteksi pada tubuh *L. vannamei* (Tabel 1 dan Tabel 2).

Tabel 2. Hasil Pengukuran *Vibrio* spp. Benur Udang Putih Pasifik (*Litopenaeus vannamei*) pada Sistem Super-Intensif di Kabupaten Situbondo, Jawa Timur

Parameter	Bulan				
	April	Mei	Juni	Juli	Agustus
Log 10 of <i>V. parahaemolyticus</i> (10 CFU/gr)	-	-	2	-	-
Log 10 of <i>V. cholera</i> (CFU/gr)	2	2,90	-	-	-
Log 10 of <i>V. alginolyticus</i> (CFU/gr)	-	-	-	-	-



Gambar 3. Kenampakan *Vibrio* spp. pada Air dan Gejala Klinisnya pada Udang *L. vannamei* yang Dibudidayakan Menggunakan Sistem Super-Intensif. A. Koloni dari *Vibrio* spp., yang Diisolasi dari Air Pemeliharaan Menggunakan Media Chromagar (A. Koloni Putih = *V. Cholera*; B. Koloni Ungu = *V. Parahaemolyticus*; dan C. Koloni Hijau = *V. Alginolyticus*); B. Kenampakan Hepatopankreas *L. Vannamei* yang Terinfeksi oleh *Vibrio* spp. yang Berwarna Pucat; C. Kenampakan Mikroskopis dari Hepatopankreas *L. Vannamei* yang Mengalami Pengkerutan

Penyakit utama pada budidaya udang air asin adalah Vibriosis yang diakibatkan oleh kelompok *Vibrio* spp. seperti *V. parahaemolyticus*, *V. cholera*, *V. alginolyticus*, dan *V. campbellii* yang mampu menghambat pertumbuhan dan kematian udang pada masa perkembangan pasca larva (Sotomayor et al., 2019). *V. parahaemolyticus* merupakan bakteri yang bersifat oportunistik dan telah dilaporkan penyebab patogen sindrom nekrosis hepatopankreatik akut (AHPND) pada *L. vannamei* (Cornejo-Granados et al., 2017). *V. cholera* termasuk dalam bakteri zoonosis yang secara luas keberadaannya di ekosistem perairan yang dapat menginfeksi ikan, udang, serta hewan air lainnya. Serupa dengan penelitian ini, laporan lainnya menyebutkan *V. cholera* dapat tumbuh dan berkembang dengan baik di air budidaya dan tubuh hewan akuatik yang memiliki sistem imunitas yang lemah akibat penurunan kualitas air budidaya (Halpern and Izhaki, 2017). Penyakit Zoa II Syndrome pada larva udang *L. vannamei* juga dilaporkan oleh beberapa jenis *Vibrio* termasuk *V. alginolyticus* (Sathish Kumar et al., 2017; Wiradana et al., 2022). Selain udang, bakteri ini juga dapat menginfeksi lobster dan kepiting (Radhakrishnan and Kizhakudan, 2019; Sullivan and Neigel, 2018).

Isolat *Vibrio* spp. yang ditumbuhkan pada media CHROMAgar akan memunculkan warna koloni spesifik sebagai indikator dalam mengenali jenis spesies ini. Pada penelitian ini, beberapa isolat *Vibrio* yang berhasil teridentifikasi pada air budidaya *L.*

vannamei terdokumentasi memiliki warna koloni yang berbeda pada media CHROMAgar yakni *V. parahaemolyticus* (koloni berwarna ungu), *V. cholera* (koloni berwarna putih), dan *V. alginolyticus* (koloni berwarna hijau) (Gambar 3A). Begitu pula dengan hasil pemantauan terhadap hepatopankreas dari *L. vannamei* yang terinfeksi oleh Vibriosis menampakkan warna hepatopankreas yang lebih pucat dengan kerutan secara mikroskopis (Gambar 3B dan C).

Mayoritas bakteri *Vibrio* spp. penyebab Vibriosis bersifat oportunistik dan mampu membahayakan kesehatan udang *L. vannamei*. Pengendalian vibriosis di lingkungan tambak sangat diperlukan melalui rencana manajemen kesehatan yang terpadu. Mempertahankan kualitas air dan pemilihan pasca larva *L. vannamei* yang bebas penyakit serta mengurangi kepadatan stok dapat digunakan untuk mengurangi ancaman Vibriosis pada tambak yang menerapkan sistem budidaya super-intensif (Alday-Sanz et al., 2020; Radhakrishnan and Kizhakudan, 2019).

4. KESIMPULAN

Budidaya udang putih pasifik, *L. vannamei* menggunakan sistem super-intensif mampu mempengaruhi kestabilan kualitas air pemeliharaan melalui perubahan dari parameter suhu, oksigen terlarut (DO), salinitas, dan amoniak, tetapi tidak mengubah nilai pH pada penelitian ini. Keberadaan

kelompok *Vibrio* spp. pada penelitian ini masih tergolong aman baik pada air pemeliharaan dan jaringan udang *L. vannamei*. Pemeriksaan lebih lanjut terhadap keberadaan *V. parahaemolyticus* pada tubuh udang mampu menyebabkan penurunan fungsi metabolisme dan kesehatan udang yang terlihat dari hepatopankreas yang pucat dan mengalami pengkerutan. Penelitian ini merupakan awal terhadap upaya mitigasi kontaminasi *Vibrio* spp. akibat perubahan kualitas air dan padat penebaran udang *L. vannamei* pada sistem super-intensif. Diperlukan kegiatan panen secara parsial pada sistem ini untuk mencegah penurunan laju pertumbuhan udang dan potensi infeksi penyakit. Mengingat pengendalian kualitas air sangat diperlukan untuk peningkatan kinerja produksi udang, maka penelitian selanjutnya masih dibutuhkan untuk melakukan penambahan probiotik mungkin bisa menjadi pilihan yang tepat untuk menjaga kualitas air dan sistem imunitas udang yang dibudidayakan dengan sistem ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akongyuure, D.N., Alhassan, E.H., 2021. Variation of water quality parameters and correlation among them and fish catch per unit effort of the Tono Reservoir in Northern Ghana. *J. Freshw. Ecol.* 36, 253–269. <https://doi.org/10.1080/02705060.2021.1969295>
- Alday-Sanz, V., Brock, J., Flegel, T.W., McIntosh, R., Bondad-Reantaso, M.G., Salazar, M., Subasinghe, R., 2020. Facts, truths and myths about shrimp in Aquaculture. *Rev. Aquac.* 12, 76–84. <https://doi.org/10.1111/raq.12305>
- Alfiansah, Y.R., Peters, S., Harder, J., Hassenrück, C., Gärdes, A., 2020. Structure and co-occurrence patterns of bacterial communities associated with white faeces disease outbreaks in Pacific white-leg shrimp *Penaeus vannamei* aquaculture. *Sci. Rep.* 10, 11980. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68891-6>
- Araneda, M., Gasca-Leyva, E., Vela, M.A., Domínguez-May, R., 2020. Effects of temperature and stocking density on intensive culture of Pacific white shrimp in freshwater. *J. Therm. Biol.* 94, 102756. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102756>
- Boyd, C.E., 2017. General Relationship Between Water Quality and Aquaculture Performance in Ponds, in: *Fish Diseases*. Elsevier, pp. 147–166. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804564-0.00006-5>
- Chidiac, S., El Najjar, P., Ouaini, N., El Rayess, Y., El Azzi, D., 2023. A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives. *Rev. Environ. Sci. Bio/Technology* 22, 349–395. <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09650-7>
- Cornejo-Granados, F., Lopez-Zavala, A.A., Gallardo-Becerra, L., Mendoza-Vargas, A., Sánchez, F., Vichido, R., Briebe, L.G., Viana, M.T., Sotelo-Mundo, R.R., Ochoa-Leyva, A., 2017. Microbiome of Pacific Whiteleg shrimp reveals differential bacterial community composition between Wild, Aquacultured and AHPND/EMS outbreak conditions. *Sci. Rep.* 7, 11783. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11805-w>
- Dauda, A.B., Ajadi, A., Tola-Fabunmi, A.S., Akinwole, A.O., 2019. Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. *Aquac. Fish.* 4, 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.10.002>
- Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP) Kabupaten Situbondo, 2013. Laporan Penyusunan dan Analisis Data Potensi Kelautan dan Perikanan Kabupaten Situbondo. Situbondo, Jawa Timur.
- Duan, Y., Zhang, Y., Dong, H., Zheng, X., Wang, Y., Li, H., Liu, Q., Zhang, J., 2017. Effect of dietary poly-β-hydroxybutyrate (PHB) on growth performance, intestinal health status and body composition of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Fish Shellfish Immunol.* 60, 520–528. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.11.020>
- Esparza-Leal, H.M., Amaral Xavier, J.A., Wasielesky, W., 2016. Performance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared in indoor nursery tanks under biofloc conditions at different salinities and zero-water exchange. *Aquac. Int.* 24, 1435–1447. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0001-5>
- FAO, 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Halpern, M., Izhaki, I., 2017. Fish as Hosts of *Vibrio cholerae*. *Front. Microbiol.* 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00282>
- Han, S., Wang, M., Wang, B., Liu, M., Jiang, K., Wang, L., 2018. A comparative study on oxidative stress response in the hepatopancreas and midgut of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* under gradual changes to low or high pH environment. *Fish Shellfish Immunol.* 76, 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.02.001>
- Huang, W., Ren, C., Li, H., Huo, D., Wang, Y., Jiang, X., Tian, Y., Luo, P., Chen, T., Hu, C., 2017. Transcriptomic analyses on muscle tissues of *Litopenaeus vannamei* provide the first profile insight into the response to low temperature stress. *PLoS One* 12, e0178604. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178604>
- Jithendran, K.P., Navaneeth Krishnan, A., Jagadeesan, V., Anandaraja, R., Ezhil Praveena, P., Anushya, S., Bala Amarnath, C., Bhuvaneshwari, T., 2021. Co-infection of infectious myonecrosis virus and *Enterocytozoon hepatopenaei* in *Penaeus vannamei* farms in the east coast of India. *Aquac. Res.* 52, 4701–4710. <https://doi.org/10.1111/are.15304>
- Kamaruddin, A., Nurhudah, M., Rukmono, D., Wiradana, A., 2021. Potential of probiotics *Bacillus subtilis* to reduce ammonia levels, *Vibrio* sp abundance, and increased production performance of Seaworm (*Nereis* sp) under laboratory scale. *Iraqi J. Vet. Sci.* 35, 757–763. <https://doi.org/10.33899/ijvs.2021.128408.1572>
- Kim, J.Y., Lee, J.-L., 2017. Correlation of Total Bacterial and *Vibrio* spp. Populations between Fish and Water in the Aquaculture System. *Front. Mar. Sci.* 4. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00147>
- Kriem, M.R., Banni, B., El Bouchtaoui, H., Hamama, A., El Marrakchi, A., Chaouqy, N., Robert-Pillot, A., Quilici, M.L., 2015. Prevalence of *Vibrio* spp. in raw shrimps (*Parapenaeus longirostris*) and performance of a chromogenic medium for the isolation of *Vibrio* strains. *Lett. Appl. Microbiol.* 61, 224–230. <https://doi.org/10.1111/lam.12455>
- Kumlu, Metin, Türkmen, S., Kumlu, Mehmet, 2010. Thermal tolerance of *Litopenaeus vannamei* (Crustacea: Penaeidae) acclimated to four temperatures. *J. Therm. Biol.* 35, 305–308. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2010.06.009>

- Wiradana, P. A., Sani, M. D., Sudaryatma, P. E., Sandhika, I. M. G. S., Widhiantara, I. G., Rosiana, I. W., Ansori, A. N. M., dan Firmani, U. (2024). Pemantauan Kualitas Air dan Kontaminasi *Vibrio* spp. pada Udang Putih Pasifik (*Litopenaeus vannamei*) yang Dibudidayakan dengan Sistem Super – Intensif: Studi Kasus di Situbondo, Jawa Timur, Indonesia. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(6), 1545-1553, doi: 10.14710/jil.22.6.1545-1553
- Lindholm-Lehto, P., 2023. Water quality monitoring in recirculating aquaculture systems. *Aquac. Fish Fish.* 3, 113–131. <https://doi.org/10.1002/aff2.102>
- Liu, J., Wu, Q., Xu, H., Pan, Y., Malakar, P.K., Zhao, Y., Zhang, Z., 2024. Change of antibiotic resistance in *Vibrio* spp. during shrimp culture in Shanghai. *Aquaculture* 580, 740303. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740303>
- Mahenda, A.A., Wiradana, P.A., Susilo, R.J.K., Soegianto, A., Ansori, A.N.M., Pradisty, N.A., 2021. Relationship of Water Quality with Phytoplankton Abundance in Kenjeran Coastal Waters, Surabaya, East Java, Indonesia. *Pollut. Res.* 40, 515–521.
- Miranda-Filho, K.C., Pinho, G.L.L., Wasielesky, W., Bianchini, A., 2009. Long-term ammonia toxicity to the pink-shrimp *Farfantepenaeus paulensis*. *Comp. Biochem. Physiol. Part C Toxicol. Pharmacol.* 150, 377–382. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2009.06.001>
- Monier, M.N., Kabary, H., Elfeky, A., Saadony, S., El-Hamed, N.N.B.A., Eissa, M.E.H., Eissa, E.-S.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. *Aquac. Int.* 31, 3437–3455. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01136-1>
- Moura, P.S. de, Wasielesky, W., Serra, F. da P., Braga, A., Poersch, L., 2021. Partial seawater inclusion to improve *Litopenaeus vannamei* performance in low salinity biofloc systems. *Aquaculture* 531, 735905. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735905>
- Prathiviraj, R., Rajeev, R., Fernandes, H., Rathna, K., Lipton, A.N., Selvin, J., Kiran, G.S., 2021. A gelatinized lipopeptide diet effectively modulates immune response, disease resistance and gut microbiome in *Penaeus vannamei* challenged with *Vibrio parahaemolyticus*. *Fish Shellfish Immunol.* 112, 92–107. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.02.018>
- Radhakrishnan, E. V., Kizhakudan, J.K., 2019. Health Management in Lobster Aquaculture, in: *Lobsters: Biology, Fisheries and Aquaculture*. Springer Singapore, Singapore, pp. 571–601. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9094-5_13
- Ray, A.J., Dillon, K.S., Lotz, J.M., 2011. Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. *Aquac. Eng.* 45, 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.09.001>
- Riandi, M.I., Susilo, R.J.K., Sani, M.D., Maharani, A.Y., Soegianto, A., Putranto, T.W.C., Wiradana, P.A., 2021. Surveillance Of *Vibrio* and Blue-Green Algae In Intensive System Of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus Vannamei*) In Situbondo Regency, East Java , Indonesia. *Poll Res* 40, 611–616.
- Sani, M.D., Maharani, A.Y., Riandy, M.I., Joko, R., Susilo, K., Wiradana, P.A., Soegianto, A., 2020. Monitoring of population density of *Vibrio* sp. and health condition of hepatopancreas Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) cultivated with intensive systems in Bulukumba Regency , South Sulawesi , Indonesia. *Ecol. Environ. Conserv.* 26, 1271–1275.
- Sani, M.D., Wiradana, P.A., Maharani, A.Y., Mawli, R.E., Mukti, A.T., 2022. The dominance and proportions of plankton in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) ponds cultivated with the intensive system in Bulukumba Regency, South Sulawesi, Indonesia. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 1036, 012057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1036/1/012057>
- Santajit, S., Kong-ngoen, T., Tunyong, W., Pumirat, P., Ampawong, S., Sookkrung, N., Indrawattana, N., 2022. Occurrence, antimicrobial resistance, virulence, and biofilm formation capacity of *Vibrio* spp. and *Aeromonas* spp. isolated from raw seafood marketed in Bangkok, Thailand. *Vet. World* 1887–1895. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2022.1887-1895>
- Sathish Kumar, T., Vidya, R., Kumar, S., Alavandi, S.V., Vijayan, K.K., 2017. Zoea-2 syndrome of *Penaeus vannamei* in shrimp hatcheries. *Aquaculture* 479, 759–767. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.07.022>
- Sotomayor, M.A., Reyes, J.K., Restrepo, L., Domínguez-Borbor, C., Maldonado, M., Bayot, B., 2019. Efficacy assessment of commercially available natural products and antibiotics, commonly used for mitigation of pathogenic *Vibrio* outbreaks in Ecuadorian *Penaeus* (*Litopenaeus*) *vannamei* hatcheries. *PLoS One* 14, e0210478. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210478>
- Spelta, A.C.F., Lorenzini, J.P.S., Neves, L. do C., Rodrigues, L. dos S., Lana, Â.M.Q., Nakayama, C.L., Marques, R.V., Napoli, M.Y.R., Alves, G.M., Miranda-Filho, K.C.M., 2021. Dynamics of the water quality parameters in the super-intensive culture of *Litopenaeus vannamei* in BFT system on artificial brackish water. *Aquac. Int.* 29, 2049–2063. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00734-1>
- Stentiford, G.D., Peeler, E.J., Tyler, C.R., Bickley, L.K., Holt, C.C., Bass, D., Turner, A.D., Baker-Austin, C., Ellis, T., Lowther, J.A., Posen, P.E., Bateman, K.S., Verner-Jeffreys, D.W., van Aerle, R., Stone, D.M., Paley, R., Trent, A., Katsiadaki, I., Higman, W.A., Maskrey, B.H., Devlin, M.J., Lyons, B.P., Hartnell, D.M., Younger, A.D., Bersuder, P., Warford, L., Losada, S., Clarke, K., Hynes, C., Dewar, A., Greenhill, B., Huk, M., Franks, J., Dal-Molin, F., Hartnell, R.E., 2022. A seafood risk tool for assessing and mitigating chemical and pathogen hazards in the aquaculture supply chain. *Nat. Food* 3, 169–178. <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00465-3>
- Sullivan, T.J., Neigel, J.E., 2018. Effects of temperature and salinity on prevalence and intensity of infection of blue crabs, *Callinectes sapidus*, by *Vibrio cholerae*, *V. parahaemolyticus*, and *V. vulnificus* in Louisiana. *J. Invertebr. Pathol.* 151, 82–90. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2017.11.004>
- Tarnecki, A.M., Guttman, L., 2023. Editorial: Microbial diversity as a prerequisite for resilience and resistance in sustainable aquaculture. *Front. Mar. Sci.* 10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1227795>
- Utami, D.A.S., Ramlanis, A.A., Faruq, W.E.M., Saputra, F., 2022. PADAT TEBAR OPTIMUM UNTUK MENDUKUNG OPTIMASI KUALITAS AIR DAN PRODUKSI TAMBAK INTENSIF UDANG VANAME (*Litopenaeus vannamei*). *J. Akuakultura Univ. Teuku*

- Umar 6, 52. <https://doi.org/10.35308/ja.v6i1.6268>
- Wang, Q., Liu, Y., Zheng, Z., Deng, Y., Jiao, Y., Du, X., 2018. Adaptive response of pearl oyster *Pinctada fucata martensii* to low water temperature stress. *Fish Shellfish Immunol.* 78, 310–315. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.04.049>
- Wang, W.-N., Wang, A.-L., Chen, L., Liu, Y., Sun, R.-Y., 2002. Effects of pH on survival, phosphorus concentration, adenylate energy charge and Na⁺-K⁺ ATPase activities of *Penaeus chinensis* Osbeck juveniles. *Aquat. Toxicol.* 60, 75–83. [https://doi.org/10.1016/S0166-445X\(01\)00271-5](https://doi.org/10.1016/S0166-445X(01)00271-5)
- Wanja, D.W., Mbuthia, P.G., Waruiru, R.M., Mwadime, J.M., Bebora, L.C., Nyaga, P.N., Ngowi, H.A., 2020. Fish Husbandry Practices and Water Quality in Central Kenya: Potential Risk Factors for Fish Mortality and Infectious Diseases. *Vet. Med. Int.* 2020, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2020/6839354>
- Wen, X., Chen, F., Lin, Y., Zhu, H., Yuan, F., Kuang, D., Jia, Z., Yuan, Z., 2020. Microbial Indicators and Their Use for Monitoring Drinking Water Quality—A Review. *Sustainability* 12, 2249. <https://doi.org/10.3390/su12062249>
- Wiradana, P.A., Sani, M.D., Mawli, R.E., Ashshoffa, F.N.D., Widhiantara, I.G., Mukti, A.T., 2022. Monitoring the occurrence of Zoa Syndrome (ZS) in pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) larval from several hatcheries in East Java, Indonesia. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 1036, 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1036/1/012003>
- Xu, Z., Regenstein, J.M., Xie, D., Lu, W., Ren, X., Yuan, J., Mao, L., 2018. The oxidative stress and antioxidant responses of *Litopenaeus vannamei* to low temperature and air exposure. *Fish Shellfish Immunol.* 72, 564–571. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.11.016>
- Xuan, B.B., Sandorf, E.D., Ngoc, Q.T.K., 2021. Stakeholder perceptions towards sustainable shrimp aquaculture in Vietnam. *J. Environ. Manage.* 290, 112585. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112585>
- 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*. *Aquac. Reports* 16, 100280. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100280>
- Zhang, Y., Liu, J., Zhuo, H., Lin, L., Li, J., Fu, S., Xue, H., Wen, H., Zhou, X., Guo, C., Wu, G., 2023. Differential Toxicity Responses between Hepatopancreas and Gills in *Litopenaeus vannamei* under Chronic Ammonia-N Exposure. *Animals* 13, 3799. <https://doi.org/10.3390/ani13243799>