



## **Peran Mikroorganisme Menguntungkan dalam Pengendalian Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND) pada Budidaya Udang: Sebuah Tinjauan**

### ***The Role of Beneficial Microorganisms in Controlling Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND): A Review***

**Jery Prastiyo<sup>1</sup>, Minoru Maeda<sup>2</sup>, Hamdan Syakuri<sup>1</sup>, Nuning Vita Hidayati<sup>1</sup>, Rose Dewi<sup>3</sup>, Philipus Uli Basa Hutabarat<sup>3\*</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Magister Sumber Daya Akuatik, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Professor DR. HR Boenyamin No. 708, Purwokerto Utara, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53122, Indonesia

<sup>2</sup>Kyushu Medical Co. Ltd, Fukuoka, Japan

<sup>3</sup>Program Studi Magister Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Professor DR. HR Boenyamin No. 708, Purwokerto Utara, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53122, Indonesia.

\*Corresponding Author: [philipus.ulibasa@unsoed.ac.id](mailto:philipus.ulibasa@unsoed.ac.id)

Diterima: 1 November 2025, Disetujui: 1 Desember 2025

### **ABSTRAK**

Penyakit Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease [la2.1](AHPND) merupakan salah satu ancaman utama dalam budidaya udang yang disebabkan oleh *Vibrio parahaemolyticus* [la3.1]pembawa plasmid toksin PirAB. Upaya pengendalian konvensional berbasis antibiotik telah memunculkan permasalahan resistensi antimikroba dan kerusakan mikrobiota usus. Artikel ini merupakan tinjauan pustaka yang bertujuan untuk mengevaluasi potensi mikroorganisme, khususnya genus *Bacillus*, sebagai agen biokontrol alternatif dalam mengendalikan AHPND. Berbagai riset yang dipublikasikan dalam sepuluh tahun terakhir dianalisis secara kritis untuk menilai efektivitas, mekanisme kerja, dan tantangan aplikatif probiotik mikroorganisme terhadap AHPND. Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa strain *Bacillus*, seperti *B. subtilis*, *B. licheniformis*, dan *B. velezensis*, mampu menekan infeksi AHPND secara signifikan melalui produksi senyawa antibakteri dan stimulasi imun udang. Artikel ini juga mengungkap adanya ketidakkonsistenan metodologis dalam pengujian efektivitas probiotik dan pentingnya harmonisasi eksperimen untuk pengembangan probiotik skala industri. Kajian ini memberikan perspektif ilmiah berbasis bukti mengenai peran mikroorganisme dalam akuakultur berkelanjutan bebas antibiotik.

**Kata Kunci:** AHPND, *Bacillus*, biokontrol, probiotik, *Vibrio parahaemolyticus*

### **ABSTRACT**

*Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND) has emerged as a major transboundary threat in shrimp aquaculture, primarily caused by *Vibrio parahaemolyticus* harboring the PirAB toxin-encoding plasmid. Conventional antibiotic-based control measures have raised concerns about antimicrobial resistance and gut microbiota disruption. This review systematically evaluates the potential of beneficial microorganisms, particularly *Bacillus* species, as biocontrol agents against AHPND. A total of 25 peer-reviewed articles published between 2013 and 2023 were analyzed, focusing on strain*

*efficacy, mechanisms of antagonism, and field applicability. Recent findings show that strains such as B. subtilis, B. licheniformis, and B. velezensis can significantly improve shrimp survival rates through antimicrobial compound production, gut microbiota modulation, and immune stimulation. In addition, the use of predatory filamentous bacteria such as Saprospira sp. presents a novel approach to pathogen suppression. However, challenges remain regarding strain-specific performance, environmental stability, and methodological inconsistencies across studies. This review highlights the need for standardized experimental protocols and integrated biocontrol strategies to advance antibiotic-free, sustainable shrimp farming*

**Keywords:** AHPND, antimicrobial resistance, Bacillus, probiotic, biocontrol, shrimp microbiota, Vibrio parahaemolyticus

## PENDAHULUAN

Budidaya udang, khususnya jenis Litopenaeus vannamei, adalah salah satu subsektor penting dalam produksi perikanan budidaya global. Produksi komoditas ini terus mengalami peningkatan, seiring dengan tingginya permintaan pasar internasional serta kontribusinya terhadap ketahanan pangan dan ekonomi masyarakat di daerah pesisir Asia Tenggara (Kumar *et al.*, 2021). Namun demikian, kesuksesan budidaya udang ini terancam oleh berbagai penyakit lintas batas, salah satunya adalah Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease [Ia5.1] (AHPND), yang sebelumnya dikenal sebagai Early Mortality Syndrome (EMS) (Ahmed *et al.*, 2021).

AHPND pertama kali dilaporkan di Tiongkok pada 2009 dan telah menyebar ke negara-negara produsen udang L. vannamei utama seperti Vietnam, Malaysia, Thailand, Meksiko, Filipina, dan Indonesia (Saputra *et al.*, 2023). Di Indonesia, keberadaan AHPND telah dikonfirmasi di beberapa wilayah seperti Serang, Banten, dengan tingkat kematian mencapai 100% dalam 4 hari pasca infeksi (Mai *et al.*, 2021). Penyakit ini disebabkan oleh Vibrio parahaemolyticus [Ia6.1] yang membawa plasmid pVA1 pengkode toksin PirA dan PirB, yang merusak jaringan hepatopankreas udang melalui mekanisme pembentukan pori dan disrupti struktur intraseluler (Li *et al.*, 2017; Soto-Rodriguez *et al.*, 2022).

AHPND dapat memberikan dampak ekonomi dan ekologi pada industri

budidaya udang Litopenaeus vannamei. Secara ekonomi, AHPND menyebabkan kerugian finansial yang besar bagi para petani udang karena tingginya angka kematian dan penurunan produktivitas. Negara-negara penghasil udang utama seperti Thailand, Vietnam, dan Indonesia telah melaporkan penurunan signifikan dalam produksi udang akibat wabah AHPND (Kumar *et al.*, 2021). Kerugian ekonomi ini juga mempengaruhi pasar global udang, dengan meningkatnya harga dan berkurangnya pasokan, yang pada akhirnya berdampak pada konsumen. Industri budidaya udang harus mengalokasikan dana tambahan untuk penelitian dan pengembangan metode pencegahan serta pengobatan AHPND, yang dapat meningkatkan biaya produksi (Leano & Mohan, 2018).

Secara ekologi, AHPND mengancam keberlanjutan ekosistem akuatik di wilayah budidaya. Praktik intensif untuk memerangi penyakit ini, seperti penggunaan antibiotik dan bahan kimia, dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan resistensi patogen. Peningkatan perhatian terhadap praktik budidaya yang berkelanjutan dan ramah lingkungan menjadi penting untuk meminimalkan dampak jangka panjang AHPND pada ekosistem (Li *et al.*, 2017).

Penggunaan antibiotik dalam penanganan AHPND telah menimbulkan masalah resistensi antimikroba dan gangguan terhadap mikrobiota usus udang (Natrach *et al.*, 2025). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan alternatif yang lebih

ramah lingkungan dan berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pemanfaatan mikroorganisme sebagai agen biokontrol. Genus *Bacillus* merupakan salah satu mikroorganisme yang telah diteliti memiliki potensi sebagai probiotik antagonis terhadap patogen AHPND serta mampu meningkatkan respons imun udang (Pakingking *et al.*, 2016).

Artikel ini bertujuan untuk meninjau literatur mengenai potensi mikroorganisme sebagai agen biokontrol terhadap *V. parahaemolyticus* penyebab AHPND, menjelaskan mekanisme antagonisme mikroorganisme, dan mengkaji prospek aplikatifnya dalam budidaya udang yang berkelanjutan.

## ULASAN

### AHPND dan Patogenesis oleh *Vibrio* spp.

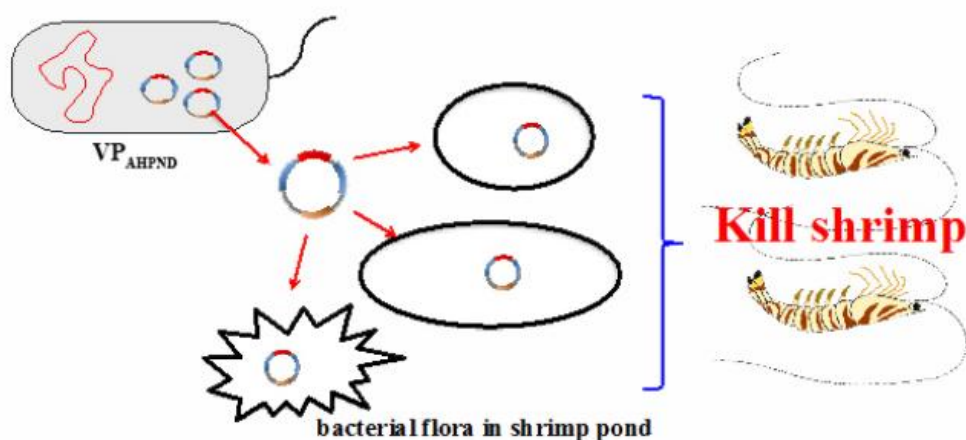
AHPND merupakan penyakit akut yang menyerang hepatopankreas udang dan menyebabkan kematian dalam waktu singkat. Penyebab utama penyakit ini adalah *Vibrio parahaemolyticus* yang membawa plasmid toksin PirAB. Mekanisme patogenesitas bakteri ini melibatkan kerusakan pada sel epitel

tubulus hepatopankreas, nekrosis jaringan, dan gangguan fungsi pencernaan (Li *et al.*, 2017). Selain *V. parahaemolyticus*, spesies lain seperti *V. owensii* dan *V. harveyi* juga dilaporkan membawa gen pVA1 melalui transfer (Jeon, 2022).

Sebaran geografis AHPND yang luas menunjukkan bahwa penyebaran gen plasmid patogenik dapat terjadi lintas spesies dan lintas wilayah melalui aktivitas budidaya, perdagangan benur, serta faktor lingkungan (Muthukrishnan, 2019; Dehao Wang., 2022). Hal ini menjadi tantangan besar bagi pengendalian penyakit secara konvensional karena pendekatan berbasis antibiotik tidak mampu menjangkau dinamika ekologis yang kompleks dari mikroba di lingkungan akuakultur.

Pentingnya pemahaman tentang patogenesis *Vibrio* spp. dan dinamika komunitas mikroba di sistem budidaya menjadi landasan pengembangan strategi biokontrol yang tepat sasaran. Strategi ini dapat mencakup pengurangan kolonisasi patogen di saluran cerna, kompetisi perebutan nutrisi, dan penekanan ekspresi gen virulen melalui intervensi mikroba antagonis (Gambar 1).

### Probiotik Mikroorganisme sebagai Agen Biokontrol



Gambar 1. Ilustrasi hipotetik dari skenario terburuk wabah AHPND pada udang budidaya melalui transfer tidak sengaja plasmid yang mengkode gen toksin PirAB dari *VPAHPND* ke spesies lain dari flora bakteri di kolam udang (Hirono *et al.* 2016)

Pemanfaatan mikroorganisme probiotik sebagai agen biokontrol telah menunjukkan hasil positif dalam menghambat perkembangan AHPND. Genus *Bacillus* merupakan kandidat utama karena kemampuannya membentuk spora, menghasilkan senyawa antibakteri seperti surfaktan dan fengisin, serta menstimulasi sistem imun udang (Dongdong Wang *et al.*..., 2020).

Proespraiwong *et al.*... (2023) menunjukkan bahwa strain *Bacillus* dari usus udang tahan AHPND mengandung gen *srfAA* dan *bacA* yang berperan dalam antagonisme terhadap *V. parahaemolyticus*. Studi oleh Surawut *et al.*... (2023) menunjukkan bahwa kombinasi tiga strain *Bacillus* (yakni *B. subtilis*, *B. licheniformis*, dan *B. megaterium*) dapat menurunkan tingkat infeksi dan meningkatkan kelangsungan hidup udang. (Jeon *et al.*..., 2022) juga melaporkan bahwa aplikasi *B. velezensis* mampu meningkatkan survival rate udang hingga 100% dibandingkan dengan kontrol.

Tantangan dalam pengembangan probiotik berbasis *Bacillus* antara lain adalah kestabilan formulasi, daya tahan strain terhadap kondisi lingkungan kolam, serta kemampuan strain untuk beradaptasi dan mempertahankan aktivitas antagonis di lingkungan nyata. Selain itu, strain yang efektif di uji laboratorium belum tentu menunjukkan performa serupa di lapangan

### **Pemanfaatan Bakteri Predator Berfilamen sebagai Strategi Baru Biokontrol**

Penelitian oleh (Yeoh *et al.*... (2021) menunjukkan bahwa bakteri Predator Berfilamen seperti *Saprospira sp.* dan *Aureispira sp.* yang diisolasi dari habitat lamun mampu secara efektif menurunkan populasi *Vibrio parahaemolyticus* penyebab AHPND dalam kultur *in vitro*. Dalam waktu 15 jam, konsentrasi bakteri patogen menurun drastis dari  $10^7$  CFU/mL menjadi kurang dari  $10^4$  CFU/mL setelah ditambahkan bakteri predatori. Hasil *scanning electron microscopy*

memperlihatkan bahwa bakteri predator ini membentuk agregat dengan sel *Vibrio* dan menghancurkannya secara fisik dengan kontak langsung. Mekanisme ini menunjukkan efektivitas biologis yang menjanjikan dalam skenario budidaya yang kompleks dan berisiko tinggi terhadap AHPND.

### **Stabilitas Mikrobiota dan Efektivitas Probiotik *Bacillus***

Hasil penelitian Imaizumi *et al.*... (2021) mengungkapkan bahwa pemberian *Bacillus amyloliquefaciens* strain TOA5001 secara oral tidak hanya meningkatkan tingkat kelangsungan hidup udang putih (*L. vannamei*) yang diujikan pada AHPND, tetapi juga menyebabkan perubahan signifikan dalam komposisi dan keragaman mikrobiota lambung dan usus. Probiotik meningkatkan keragaman mikroba di lambung, mengurangi dominasi bakteri patogen seperti *Vibrio*, serta meningkatkan prevalensi bakteri genus *Isoptericola* yang berpotensi menguntungkan. Probiotik juga terbukti stabil dalam pH lambung udang dan mampu menurunkan pertumbuhan *V. parahaemolyticus* secara signifikan dalam uji *in vitro*

### **Evaluasi Keamanan Probiotik Genus *Vibrio***

Salah satu tantangan dalam penggunaan probiotik dari genus *Vibrio* adalah risiko transfer horizontal gen virulen, terutama plasmid pVAHPND. Studi oleh Restrepo *et al.*... (2021) menunjukkan bahwa meskipun strain probiotik *Vibrio diabolicus* (ILI strain) dapat menerima plasmid pVAHPND dengan frekuensi tinggi melalui konjugasi (hingga 70%), tidak ada gejala penyakit atau mortalitas yang terjadi ketika strain transkonjugan tersebut digunakan dalam uji tantangan pada udang. Hasil ini menunjukkan bahwa ekspresi faktor virulen tidak hanya tergantung pada keberadaan plasmid, tetapi juga regulasi genetik inang yang

kompleks. Selain itu, *V. diabolicus* mampu menstabilkan komunitas mikroba usus dan menekan pertumbuhan bakteri patogen, memperkuat potensinya sebagai probiotik aman dalam konteks AHPND.

Selain potensi manfaatnya, penggunaan probiotik dari genus *Vibrio* juga menyimpan risiko yang tidak dapat diabaikan, terutama terkait kemungkinan transfer horizontal plasmid virulen. Dalam skenario terburuk, plasmid yang mengandung gen toksin PirAB dari strain *V. parahaemolyticus* penyebab AHPND dapat berpindah secara tidak disengaja ke spesies bakteri lain di ekosistem kolam. Hal ini berpotensi menghasilkan strain baru yang juga bersifat patogenik, sehingga memperluas cakupan risiko dan menyulitkan pengendalian penyakit (Leaño, 2016). Oleh karena itu, evaluasi ekogenetik dan sistem pemantauan molekuler harus menjadi bagian integral dalam penggunaan probiotik *Vibrio*.

### **Kombinasi Strategi Biokontrol dan Implikasinya**

Pendekatan kombinasi antara probiotik (seperti *Bacillus* atau *Vibrio diabolicus*) dengan bakteri predatori filamentosa menunjukkan potensi sinergis untuk mengeliminasi patogen AHPND melalui berbagai mekanisme biologis—kompetisi nutrisi, stimulasi imun, hingga predasi langsung. Namun, masih diperlukan studi lanjut terkait kompatibilitas, efek ekologis jangka panjang, serta formulasi optimal untuk aplikasi lapangan yang efektif dan aman. Evaluasi Keamanan Probiotik Genus *Vibrio*

### **Analisis Kritis dan Arah Pengembangan Riset**

Berdasarkan telaah terhadap berbagai pendekatan biokontrol AHPND, terlihat bahwa mikroorganisme, terutama dari genus *Bacillus* dan kelompok bakteri filamentosa predatori, memiliki potensi besar dalam meningkatkan ketahanan udang terhadap infeksi *Vibrio*

*parahaemolyticus*. Namun, efektivitas tersebut masih dibatasi oleh tantangan metodologis dan aplikatif yang perlu dikaji lebih lanjut secara kritis. Pemahaman mengenai patogenesis AHPND telah cukup luas, terutama terkait plasmid virulen pVA1 dan gen toksin PirAB. Namun, masih diperlukan integrasi pendekatan molekuler berbasis PCR atau genomik untuk deteksi dini, pelacakan penyebaran, dan prediksi evolusi gen virulen di lingkungan budidaya tropis. Selain itu, penggunaan probiotik *Bacillus* telah terbukti efektif dalam meningkatkan survival rate dan menekan patogen (Kewcharoen & Srisapoom, 2019; Proespraiwong *et al.*, 2023), namun studi-studi yang ada masih menunjukkan variasi efektivitas akibat perbedaan metode uji, dosis, dan kondisi lingkungan (Tabel 1).

Pendekatan inovatif seperti pemanfaatan bakteri filamentosa predatori menunjukkan potensi besar dalam mengurangi beban patogen secara langsung, namun hingga kini aplikasinya masih terbatas pada skala laboratorium. Belum terdapat evaluasi jangka panjang mengenai efek ekologis atau interaksinya dengan mikrobiota usus udang yang menguntungkan.

Di sisi lain, studi terkait stabilitas komunitas mikroba usus menunjukkan bahwa probiotik *Bacillus* juga berperan dalam menjaga keseimbangan ekosistem internal udang (Azhdari *et al.*, 2023; Omar *et al.*, 2024), yang berkontribusi terhadap ketahanan terhadap penyakit. Namun demikian, korelasi langsung antara struktur mikrobiota dan performa budidaya (misalnya pertumbuhan atau FCR) masih jarang dilaporkan secara kuantitatif.

Pendekatan kombinasi antara probiotik dan bakteri predatori membuka peluang baru dalam strategi sinergis pengendalian AHPND, meskipun masih diperlukan data mengenai kompatibilitas antar strain, potensi antagonisme mikroba yang tidak diinginkan, serta formulasi yang optimal untuk aplikasi lapangan.

Secara keseluruhan, arah pengembangan riset ke depan perlu difokuskan pada harmonisasi protokol pengujian probiotik, eksplorasi sinergi antimikroba, serta penerapan pendekatan multi-omik (genomik, metagenomik, dan proteomik) untuk mendalami interaksi mikroba, patogen, dan inang dalam sistem budidaya tropis.

berskala industri untuk memastikan konsistensi dan efisiensi aplikasi probiotik ini. Pemanfaatan mikroorganisme sebagai agen biokontrol merupakan langkah strategis menuju sistem budidaya berkelanjutan yang lebih sehat dan bebas antibiotik.

Tabel 1. Efektivitas Beberapa Strain *Bacillus* terhadap AHPND pada Udang

| No | Strain <i>Bacillus</i>                                              | Asal Isolat               | Mekanisme Antagonisme                          | Efektivitas terhadap AHPND                                | Referensi                   |
|----|---------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 1  | <i>Bacillus subtilis</i> BSXE-1601                                  | Akuakultur, Tiongkok      | Produksi amicoumacin A                         | Menurunkan populasi <i>V. parahaemolyticus</i> signifikan | Wang et al. (2020)          |
| 2  | <i>Bacillus</i> spp. (K3)                                           | Usus udang bertahan AHPND | Gen <i>srfAA</i> dan <i>bacA</i> (antimikroba) | Survival rate 80–95% di berbagai salinitas                | Proespraiwong et al. (2023) |
| 3  | <i>B. subtilis</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>B. megaterium</i> | Komersial, Thailand       | Kompetisi, sekresi senyawa bioaktif            | Menurunkan infeksi dan meningkatkan survival rate         | Surawut et al. (2023)       |
| 4  | <i>B. velezensis</i> (B1 dan B3)                                    | Air laut, Korea Selatan   | Produksi senyawa antibakteri                   | Survival rate 100% vs 64.3% pada kontrol                  | Jeon et al. (2022)          |

## KESIMPULAN

Penyakit AHPND yang disebabkan oleh *Vibrio parahaemolyticus* menjadi tantangan serius dalam industri budidaya udang global. Penggunaan mikroorganisme, khususnya genus *Bacillus*, telah terbukti menjanjikan sebagai agen biokontrol alternatif yang efektif dan ramah lingkungan. Beberapa strain seperti *B. velezensis*, *B. subtilis*, dan *B. licheniformis* menunjukkan kemampuan signifikan dalam menurunkan mortalitas udang dan menghambat perkembangan patogen melalui mekanisme produksi senyawa antimikroba serta penguatan sistem imun udang.

Analisis kritis dari berbagai studi menunjukkan bahwa meskipun efektivitas probiotik cukup menjanjikan, masih terdapat tantangan dalam standarisasi metode pengujian, karakterisasi molekuler strain, serta keterbatasan data lingkungan. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan pendekatan genomik dan uji lapang

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, J., Khan, M. H., Unnikrishnan, S., & Ramalingam, K. (2021). Acute Hepatopancreatic Necrosis Diseases (AHPND) as Challenging Threat in Shrimp. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 12(1), 978–991.  
<https://doi.org/10.33263/briac121.978991>
- Azhdari, S. M. H., Kazemzadeh Pournaki, S., Tavabe, K. R., Hosseini, S. V., Bagheri, D., Javanmardi, S., ... Frinsko, M. (2023). Effects of *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus plantarum* probiotics on the *Litopenaeus vannamei* growth performance, hemolymph factors, and physicochemical parameters. *Aquaculture Reports*, 33, 101873.  
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101873>
- Hirono, I., Tinwongger, S., Nochiri, Y., & Kondo, H. (2016). Latest research on

- acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) of penaeid shrimps. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10862/3082>
- Imaizumi, K., Tinwongger, S., Kondo, H., & Hirono, I. (2021). Analysis of microbiota in the stomach and midgut of two penaeid shrimps during probiotic feeding. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89415-w>
- Jeon, H. J., Song, J. W., Lee, C., Kim, B., Park, S. Y., Kim, J. H., ... Park, J. H. (2022). Antibacterial Activity of *Bacillus* Strains against Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease-Causing *Vibrio campbellii* in Pacific White Leg Shrimp. *Fishes*, 7(5). <https://doi.org/10.3390/fishes7050287>
- Kewcharoen, W., & Srisapoome, P. (2019). Probiotic effects of *Bacillus* spp. from Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) on water quality and shrimp growth, immune responses, and resistance to *Vibrio parahaemolyticus* (AHPND strains). *Fish & Shellfish Immunology*, 94, 175–189. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.09.013>
- Kumar, V., Roy, S., Behera, B. K., Bossier, P., & Das, B. K. (2021). Acute hepatopancreatic necrosis disease (Ahpnd): Virulence, pathogenesis and mitigation strategies in Shrimp aquaculture. *Toxins*, Vol. 13. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/toxins13080524>
- Leaño, E. M. (2016). Regional response on AHPND and other emerging shrimp diseases in the Asia-Pacific. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10862/3085>
- Li, P., Kinch, L. N., Ray, A., Dalia, A. B., Cong, Q., Nunan, L. M., ... Orth, K. (2017). Acute hepatopancreatic necrosis disease-causing *Vibrio parahaemolyticus* strains maintain an antibacterial type VI secretion system with versatile effector repertoires. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(13). <https://doi.org/10.1128/AEM.00737-17>
- Mai, D. H., Huynh, B. T., Nguyen, H. T., Nguyen, H. P., Nguyen, T. T., Tran, L. T., ... & Tran, H. V. (2021). Current status of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) and result of isolating AHPND-causing strains of farmed shrimp in Mekong Delta Region of Vietnam. *The Journal of Agriculture and Development*, 20(2), 36-43.
- Muthukrishnan, S., Defoirdt, T., Shariff, M., M. Y, I.-S., Yusoff, F. M., & Natrah, I. (2019, December 20). Horizontal gene transfer of the *pirAB* genes responsible for Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND) turns a non- *Vibrio* strain into an AHPND-positive pathogen. <https://doi.org/10.1101/2019.12.20.884320>
- Natrah, I., Muthukrishnan, S., Mohd-Padil, H., Mohamad, N., Alipiah, N. M., Shariff, M., ... Defoirdt, T. (2025). Antimicrobial Resistance in Malaysian Shrimp Aquaculture and Strategies to Reduce Its Occurrence. *Reviews in Aquaculture*, 17(3). <https://doi.org/10.1111/raq.70020>
- Omar, A., Marzouk, M., Mahfouz, N., Massoud, A., Shukry, M., Farrag, F., ... Moustafa, E. (2024). Effects of the putative probiotics *Bacillus licheniformis*, *Bacillus pumilus*, and *Bacillus subtilis* on white leg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, immune response, gut histology, water quality, and growth performance. *Open Veterinary Journal*, 14((1) (Zagazig Veterinary Confer), 144.

- <https://doi.org/10.5455/OVJ.2024.v14.i1.13>
- Pakingking, R. V, Grace, E., De Jesus-Ayson, T., & Acosta, B. O. (2016). Proceedings of the ASEAN Regional Technical Consultation on EMS/AHPND and Other Transboundary Diseases for Improved Aquatic Animal Health in Southeast Asia 22-24.
- Proespraiwong, P., Mavichak, R., Imaizumi, K., Hirono, I., & Unajak, S. (2023). Evaluation of *Bacillus* spp. as Potent Probiotics with Reduction in AHPND-Related Mortality and Facilitating Growth Performance of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Farms. *Microorganisms*, 11(9).  
<https://doi.org/10.3390/microorganisms11092176>
- Restrepo, L., Domínguez-Borbor, C., Bajiña, 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>
- Saputra, A., Maftuch, Andayani, S., & Yanuhar, U. (2023). Pathogenicity of *Vibrio parahaemolyticus* causing Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND) in shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in Serang, Banten, Indonesia. *Biodiversitas*, 24(4), 2365–2373.  
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d240451>
- Soto-Rodriguez, S. A., Lozano-Olvera, R., Ramos-Clamont Montfort, G., Zenteno, E., Sánchez-Salgado, J. L., Vibanco-Pérez, N., & Aguilar Rendón, K. G. (2022). New Insights into the Mechanism of Action of PirAB from *Vibrio Parahaemolyticus*. *Toxins*, 14(4), 243.  
<https://doi.org/10.3390/toxins14040243>
- Surawut, S., Suntara, K., Puckdee, W., Kunsook, C., Kanjanavas, P., Kompatiparn, A., & Leeruksakiat, P. (2023). Decreased Severity of Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease in White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by Mixed Culture of *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* and *Bacillus megaterium*. *Tropical Life Sciences Research*, 34(1), 85–98.  
<https://doi.org/10.21315/tlsr2023.34.1.6>
- Wang, Dehao, Wang, L., Bi, D., Song, J., Wang, G., Gao, Y., ... Dong, X. (2022). Conjugative Transfer of Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease-Causing pVA1-Type Plasmid Is Mediated by a Novel Self-Encoded Type IV Secretion System. *Microbiology Spectrum*, 10(5).  
<https://doi.org/10.1128/spectrum.01702-22>
- Wang, Dongdong, Li, J., Zhu, G., Zhao, K., Jiang, W., Li, H., ... Tian, X. (2020). Mechanism of the Potential Therapeutic Candidate *Bacillus subtilis* BSXE-1601 Against Shrimp Pathogenic *Vibrios* and Multifunctional Metabolites Biosynthetic Capability of the Strain as Predicted by Genome Analysis. *Frontiers in Microbiology*, 11.  
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.581802>
- Yeoh, H. I., Izzatty, R., Furusawa, G., Amirul, A. A. A., Shu-Chien, A. C., & Sung, Y. Y. (2021). The *Vibrio*-predatory filamentous bacteria effectively removed acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) causative *Vibrio parahaemolyticus* in vitro. *Aquaculture Reports*, 21.  
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100910>