

PENGARUH PROBIOTIK AT-BAK TERHADAP PERTUMBUHAN DAN SISTEM IMUN UDANG VANAME (*Litopenaeus vannamei*)

Rindi Putri Amelia¹, Indra Wirawan², Sri Oetami Madyowati³

^{1,2,3}Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Dr Soetomo Surabaya
E-mail : rindiputri57@gmail.com

ABSTRACT

Whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) is an introduced shrimp that has recently gained popularity due to its many advantages, such as disease resistance, rapid growth, high survival rate during cultivation, and low feed conversion ratio (FCR). However, in cultivation activities, problems arise that become obstacles, one of which is the declining environmental quality that can trigger disease and decreased immunity in shrimp. Therefore, the use of probiotics is needed. This study aimed to determine the effect of AT-Bak probiotic with different concentrations on the growth and immune performance of whiteleg shrimp. The design used in this study was a Completely Randomized Design (CRD) with 4 treatments and 6 replications. The treatments consisted of probiotic supplementation at concentrations of 15, 20, 25, 30 mL/kg feed. The addition of At-Bak probiotic doses in the feed had a significant effect on the absolute weight growth of whiteleg shrimp. The results of the ANOVA test showed a significant difference between treatments ($P < 0.05$), where treatment D (30 ml/kg feed) produced the highest average absolute weight growth compared and THC to other treatments. In conclusion, the application of AT-Bak probiotic at a dose of 30 ml/kg feed provides the best results in improving growth and immune response of whiteleg shrimp.

Keywords: absolute weight growth, immune system, *Litopenaeus vannamei*, probiotics

ABSTRAK

Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) merupakan salah satu jenis udang introduksi yang saat ini semakin populer karena memiliki berbagai keunggulan, seperti tahan terhadap penyakit, pertumbuhan cepat, tingkat kelangsungan hidup tinggi selama pemeliharaan, serta rasio konversi pakan (FCR) yang rendah. Namun, dalam kegiatan budidaya sering muncul berbagai permasalahan yang menjadi kendala, salah satunya adalah penurunan kualitas lingkungan yang dapat memicu timbulnya penyakit dan menurunkan sistem imun udang. Oleh karena itu, penggunaan probiotik diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian probiotik AT-Bak dengan konsentrasi berbeda terhadap pertumbuhan dan sistem imun udang vaname. Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan dan 6 ulangan. Perlakuan yang diberikan berupa penambahan probiotik dengan

konsentrasi 15, 20, 25, dan 30 ml/kg pakan. Penambahan dosis probiotik AT-Bak dalam pakan memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan berat mutlak udang vaname. Hasil uji ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antar perlakuan ($P < 0,05$), di mana perlakuan D (30 ml/kg pakan) menghasilkan rata-rata pertumbuhan berat mutlak dan nilai *Total Hemocyte Count* (THC) tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Kesimpulannya, pemberian probiotik AT-Bak dengan dosis 30 ml/kg pakan memberikan hasil terbaik dalam meningkatkan pertumbuhan dan respon imun udang vaname.

Kata Kunci: *Litopenaeus vannamei*, pertumbuhan berat mutlak, probiotik, sistem imun

PENDAHULUAN

Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) merupakan salah satu jenis udang introduksi yang banyak diminati, karena memiliki banyak keunggulan seperti tahan terhadap penyakit, pertumbuhan cepat (masa pemeliharaan 100–110 hari), tahan terhadap perubahan lingkungan, padat tebar tinggi, sintasan selama pemeliharaan tinggi dan rasio konversi pakan (FCR) yang rendah (Rahim, 2021). Udang vaname yang terkenal dengan julukan *white leg shrimp* atau udang kaki putih ini tidak hanya populer di Indonesia, tetapi juga di negara Asia seperti Jepang, Amerika Serikat dan China. Pada tahun 2001 melalui SK Menteri Kelautan dan Perikanan RI. No.41/2001 udang vaname dikenalkan dan mulai dibudidayakan di Indonesia. Pada saat itu udang vaname menggantikan udang windu yang mulai terserang penyakit virus dan mengakibatkan produksi udang windu menurun (Pratama *et al.*, 2017). Menurut KKP (2021), udang memberikan kontribusi terbesar diantara komoditi lain yaitu sebesar 39,20%. Menurut Dimantara (2019), peningkatan kontribusi ini disebabkan udang telah menunjukkan dominasinya sebagai salah satu komoditi ekspor andalan di pasar dunia.

Namun, dalam kegiatan budidaya, penurunan kualitas lingkungan menjadi salah satu permasalahan utama yang dapat memicu timbulnya penyakit pada udang. Salah satu masalah yang dihadapi dalam budidaya udang adalah serangan penyakit yang diakibatkan oleh virus dan bakteri (KKP, 2024). Penyakit yang menyerang akan menghambat perkembangan udang yang dipelihara. Banyak kendala yang perlu diwaspadai dalam budidaya udang vaname di tambak, diantaranya kendala utama yang masih sulit dikendalikan adalah penyediaan pakan dan air media pemeliharaan yang berkualitas dan adanya serangan penyakit (Darwanti *et al.*, 2016). Pemberian pakan yang kurang dan tidak tercukupinya nutrisi pakan akan menyebabkan pertumbuhan udang terganggu, akan tetapi sebaliknya pemberian pakan yang berlebihan serta sisa pakan yang tidak habis dimakan udang akan berdampak pada penurunan kualitas perairan (Megawati, 2017). Kurangnya pemberian pakan atau *underfeeding* pada udang vaname dapat mengakibatkan udang mengalami gagal tumbuh, ukuran tidak seragam, pertumbuhan lambat, kanibalisme, dan tubuh tampak keropos. Sedangkan *overfeeding* dapat mengakibatkan penurunan kualitas air sehingga udang stress,

pertahanan terhadap penyakit menurun, pertumbuhan terhambat, bahkan tingkat kematian tinggi (Renitasari *et al.*, 2021).

Salah satu alternatif untuk menanggulangi terjadinya serangan penyakit, serta untuk meningkatkan imun udang adalah dengan penggunaan probiotik. Bakteri probiotik misalnya *Lactobacillus* dan *Bacillus* menunjukkan aktivitas antagonis terhadap berbagai spesies *Vibrio*, sehingga potensial digunakan sebagai strategi pengendalian patogen pada budidaya udang (Thompson, 2022). Selain itu, bakteri probiotik juga membantu pencernaan dengan memecah senyawa kompleks menjadi zat yang lebih sederhana sehingga lebih mudah diserap tubuh. Mekanisme ini meningkatkan kinerja pertumbuhan dalam hal berat, panjang, dan rasio konversi pakan (Amiin *et al.*, 2023). Aplikasi probiotik pada budidaya udang telah terbukti memperkuat sistem kekebalan tubuh (imun) dan meningkatkan ketahanan terhadap penyakit (Khanjani *et al.*, 2024). Probiotik dipertimbangkan sebagai suplemen potensial untuk udang selama budidaya, memberikan manfaat sebagai pengendalian penyakit dan peningkatan produksi (Tamilselvan & Raja, 2024). Berdasarkan hasil penelitian Fernando (2016), bakteri yang dapat dijadikan sebagai bakteri probiotik adalah dari kelompok *Lactobacillus*. Bakteri ini merupakan bakteri penghasil asam laktat yang memproduksi antimikrobia berupa bakteriosin yang dapat menghambat pertumbuhan patogen dan memiliki fungsi dalam pencernaan nutrisi (Suryani dan Nurliyani, 2017). Menurut Xie *et al.* (2024), suplementasi probiotik pada pakan dapat meningkatkan aktivitas enzim pencernaan dan memperbaiki morfologi usus sehingga menaikkan penyerapan nutrisi, pertumbuhan, dan efisiensi pakan.

Pemilihan probiotik AT-Bak dalam penelitian ini didasarkan pada kandungan bakteri yang berpotensi meningkatkan pertumbuhan dan sistem imun udang, yaitu *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum*, dan *Bacillus subtilis*. Bakteri dari genus *Lactobacillus* diketahui mampu menghasilkan asam laktat dan senyawa antimikroba yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri patogen, sedangkan *Bacillus subtilis* berperan dalam meningkatkan aktivitas enzim pencernaan serta memperbaiki kualitas lingkungan budidaya (Amiin *et al.*, 2023). Kombinasi bakteri tersebut menjadikan probiotik komersial seperti AT-Bak berpotensi meningkatkan efisiensi pemanfaatan pakan, pertumbuhan, serta respon imun udang. Hal ini sejalan dengan penelitian Khanjani *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa suplementasi probiotik dapat meningkatkan respon imun dan ketahanan terhadap penyakit. Selain itu, Xie *et al.* (2024) menjelaskan bahwa probiotik mampu meningkatkan aktivitas enzim pencernaan dan penyerapan nutrisi, sehingga berdampak langsung terhadap pertumbuhan udang vaname (*Litopenaeus vannamei*).

Berdasarkan uraian permasalahan tersebut, penelitian tentang aplikasi pemberian probiotik merk At-Bak dengan berbagai konsentrasi berbeda terhadap pertumbuhan berat mutlak dan performa sistem imun udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) menjadi penting untuk dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian probiotik pada pakan terhadap pertumbuhan berat mutlak dan sistem imunitas udang vaname, serta menentukan dosis pemberian probiotik yang paling tepat dalam pakan untuk memicu pertumbuhan berat mutlak dan meningkatkan imun udang vaname. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber ilmu pengetahuan dan informasi khususnya bagi peneliti dan masyarakat luas terkait pemberian probiotik pada pakan terhadap

pertumbuhan berat mutlak dan performa sistem imun udang vaname. Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah bahwa penambahan probiotik merk At-Bak dengan konsentrasi berbeda berpengaruh terhadap pertumbuhan berat mutlak dan sistem imun udang vaname (*L. vannamei*).

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 30 hari pada tanggal 24 Oktober hingga 24 November 2025, bertempat di Tambak PT. MSF-TAD yang berada di Kecamatan Gerokgak, Kabupaten Buleleng, Provinsi Bali.

Hewan Uji

Percobaan ini menggunakan hewan uji berupa udang vaname (*L. vannamei*) dengan umur pemeliharaan (DOC) 30 hari yang diperoleh dari tambak budidaya PT. MSF-TAD yang berada di Kecamatan Gerokgak, memiliki berat rata-rata 3 gram. Yuan *et al.* (2020) menyebutkan bahwa penggunaan udang vaname pada DOC 30 merupakan ukuran standar dalam beberapa protokol penelitian, dan banyak studi menggunakan DOC 30 sebagai titik sampling awal. Jumlah udang yang digunakan dalam penelitian ini adalah 18 ekor untuk setiap wadah perlakuan dengan padat tebar tersebut. Kepadatan udang dalam penelitian ini disesuaikan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan 10-20 ekor udang per wadah percobaan (Usman *et al.*, 2024). Jumlah tersebut dipilih karena masih sesuai untuk skala laboratorium dan dapat menjaga kestabilan kualitas air selama uji berlangsung.

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga kelompok berdasarkan fungsinya. Untuk keperluan kultur probiotik, digunakan timbangan, drum kapasitas 200 liter, dan gelas ukur. Untuk penelitian pemeliharaan udang, digunakan aerator, bak plastik persegi panjang 20 liter sebagai wadah pemeliharaan, pH meter, termometer, refraktometer, DO meter, timbangan digital, alat tulis, dan kamera untuk dokumentasi. Untuk pengecekan *Total Hemocyte Count* (THC) udang, digunakan suntikan (*syringe*) 1 ml, sarung tangan, tabung *microtube*, *hand counter*, mikroskop, *haemocytometer*, dan mikropipet.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi udang vaname DOC 30 sebagai hewan uji, air media yang diambil dari petak budidaya, pakan udang merk Nanami dengan kandungan protein 32%, serat 3,5%, lemak 6%, kelembaban 11%, dan abu 13%, probiotik merk At-Bak yang mengandung *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum*, dan *Bacillus subtilis*, serta antikoagulan Natrium Sitrat sebagai larutan pengencer agar hemosit tidak menggumpal saat pengambilan sampel darah udang.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental karena memudahkan peneliti dalam menguji hubungan sebab-akibat secara lebih terkontrol. Menurut Niara dan Hotimah (2024), metode eksperimen merupakan cara penelitian yang akurat dan tepat karena dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu variabel terhadap variabel lainnya secara langsung.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan, masing-masing terdiri dari enam kali pengulangan, sehingga menghasilkan total dua puluh empat unit percobaan. Rumus pengulangan menurut Suhaerah (2012), untuk menentukan jumlah perlakuan dan ulangan dalam penelitian eksperimental menggunakan rumus Federer sebagai berikut.

$$(t-1)(n-1) \geq 15$$

Keterangan :

t = Jumlah perlakuan

n = Jumlah ulangan

Dari hasil tersebut maka penelitian ini menggunakan 6 kali ulangan dengan perlakuan sebagai berikut.

Perlakuan A: Pemberian probiotik dengan konsentrasi 15 ml/kg pakan

Perlakuan B: Pemberian probiotik dengan konsentrasi 20 ml/kg pakan

Perlakuan C: Pemberian probiotik dengan konsentrasi 25 ml/kg pakan

Perlakuan D: Pemberian probiotik dengan konsentrasi 30 ml/kg pakan

Berdasarkan penelitian Tuiyo (2023), dosis probiotik 15–30 ml/kg pakan dipilih dalam penelitian skala laboratorium untuk memastikan keseimbangan antara efektivitas dan keamanan bagi udang. Agar pengambilan data tidak bias, maka penempatan wadah udang dilakukan secara acak sesuai dengan *layout* penelitian yang telah dirancang.

Prosedur Penelitian

Persiapan yang dilakukan sebelum penelitian meliputi beberapa tahapan.

1. Persiapan wadah

Persiapan wadah penelitian dilakukan dengan membersihkan bak dari kotoran menggunakan deterjen hingga bersih, kemudian dijemur hingga kering. Bak plastik disusun sesuai dengan layout penelitian dan diisi air sebanyak 20 liter yang berasal dari petak budidaya. Penggunaan air sebanyak 20 liter ini sesuai dengan penelitian Putra *et al.* (2021) yang melaporkan bahwa uji probiotik dilakukan pada wadah berisi 20 liter air, dengan pakan yang diberi probiotik pada tingkat 15–30 ml/kg pakan. Bak plastik yang sudah diisi air diberi aerasi 1 titik pada setiap bak.

2. Persiapan hewan uji

Persiapan udang vaname dilakukan dengan menyiapkan udang DOC 30 dengan berat rata-rata 3 gram. Udang dimasukkan ke dalam bak pemeliharaan sebanyak 10 ekor/bak ditambah dengan 8 ekor khusus untuk pengecekan THC (3 ekor diambil pada hari ke-0 atau sebelum perlakuan, 2 ekor diambil pada hari ke-14, dan 3 ekor diambil pada akhir penelitian) tanpa pengecekan pertumbuhan berat mutlak, sehingga total sebanyak 18 ekor/bak. Jumlah sampel pada hari ke-14 dibatasi menjadi 2 ekor untuk meminimalkan stres dan risiko mortalitas akibat pengambilan hemolim yang bersifat invasif selama masa pemeliharaan. Metode ini sesuai dengan penelitian Qodriyah *et al.* (2025) yang melaporkan bahwa pengambilan hemolim untuk analisis THC dilakukan setiap minggu pada udang *L. vannamei* yang diberi pakan selama satu bulan pemeliharaan. Metode ini memungkinkan pemisahan antara pengukuran pertumbuhan berat mutlak dan parameter imunologis (THC), serta mengurangi stres pada udang yang diambil hemolimnya, sehingga dapat meningkatkan validitas data.

3. Persiapan probiotik dan pakan

Persiapan probiotik pada pakan dilakukan dengan beberapa tahapan. Bahan probiotik perlu diperam terlebih dahulu sesuai petunjuk pemakaian produk, yaitu satu liter probiotik dikombinasikan dengan tiga liter molase dan empat puluh enam liter air, kemudian dibiarkan tumbuh selama dua hari (total 48 jam) di lingkungan tertutup dengan sedikit paparan oksigen. Pakan *crumble* yang digunakan adalah produk komersial Nanami. Pakan ditimbang berdasarkan masing-masing perlakuan sebanyak 1 kg, kemudian dicampur dengan probiotik sesuai dosis perlakuan: 15 ml/kg pakan, 20 ml/kg pakan, 25 ml/kg pakan, dan 30 ml/kg pakan. Probiotik pada pakan diaduk secara merata lalu diangin-anginkan hingga kering dan disimpan dalam wadah tertutup rapat untuk mencegah kontaminasi. Pakan yang telah dicampur probiotik dibuat secara berkala setiap 2–3 hari sekali untuk menjaga viabilitas mikroorganisme probiotik. Pakan disimpan dalam wadah tertutup rapat pada suhu ruang ($\pm 25\text{--}27^\circ\text{C}$) dan ditempatkan di area kering serta terhindar dari paparan sinar matahari langsung untuk mencegah kontaminasi dan penurunan kualitas probiotik. Dosis pemberian pakan sebanyak 5% dari biomassa per hari, mengikuti metode yang digunakan oleh Lee *et al.* (2018) pada penelitian kebutuhan protein udang vaname.

4. Persiapan dan Analisis Sampel THC

Persiapan sampel THC dilakukan dengan prosedur sebagai berikut: udang segar dikeringkan dengan tissue, kemudian disiapkan larutan garam antikoagulan dengan menimbang 1 gram Natrium Sitrat dan dimasukkan ke dalam labu ukur, ditambahkan 9 ml akuades steril dan dihomogenkan. Darah udang diambil sebanyak 0,05 ml atau 50 μl dari pangkal kaki jalan kelima dengan menggunakan *disposable syringe* ke dalam tabung pengumpul. Darah udang diambil kembali sebanyak 0,05 ml atau 50 μl dan dipindahkan ke tabung pengencer yang sudah berisi 0,05 ml atau 50 μl antikoagulan (1:1), kemudian dihomogenkan selama 5 menit. Sampel darah sebanyak 0,02 ml atau 20 μl diambil dari tabung pengencer dan diteteskan ke atas *haemocytometer*, lalu ditutup dengan *cover glass*. Sel hemosit diamati dan dihitung pada 25 kotak kecil menggunakan haemocytometer di bawah mikroskop dengan perbesaran $400\times 40\times$ objektif (Inayati, 2022).

5. Pemeliharaan dan Pengamatan

Pelaksanaan penelitian dilakukan secara berurutan sebagai berikut. Udang vaname ditebar dalam wadah 24 unit yang telah berisi air dan aerator, kemudian diberi pakan yang sudah disiapkan. Pakan diberikan sebanyak 5% dari berat biomassa per hari dengan frekuensi pemberian pakan 3 kali sehari. Parameter kualitas air meliputi pH, suhu, salinitas, dan oksigen terlarut (DO) diukur setiap hari pada pagi hari. Penyiponan dilakukan dengan membuang sekitar 15% volume air setiap 2 hari sekali, kemudian ditambahkan volume air seperti volume asal. Setiap akhir minggu dilakukan penimbangan berat untuk mengetahui pemberian dosis pakan pada minggu berikutnya, dan pada minggu keempat dilakukan penimbangan berat akhir.

6. Pengukuran *Total Hemocyte Count* (THC)

Pengecekan *Total Hemocyte Count* (THC) dilakukan sebanyak 3 kali yaitu pada hari ke-0, 14, dan 28. Menurut Truc *et al.* (2021), pengukuran *Total Haemocyte Count* (THC) dilakukan secara berkala pada hari ke-0, 14, dan 28 untuk memantau perubahan respon imun udang selama perlakuan probiotik. Alasan pemilihan ketiga titik waktu tersebut diperkuat oleh penelitian Truong *et*

al. (2025) yang melaporkan bahwa pengukuran THC dilakukan pada hari ke-0, 14, dan 28 karena ketiga waktu tersebut mewakili tahap awal, pertengahan, dan akhir respon imun udang terhadap perlakuan yang diberikan. Hari ke-0 berfungsi sebagai baseline nilai awal THC sebelum perlakuan, hari ke-14 sebagai titik tengah untuk melihat perubahan signifikan di tengah perlakuan, dan hari ke-28 sebagai titik akhir untuk memberikan gambaran efek jangka panjang perlakuan.

Perhitungan Pertumbuhan Berat Mutlak

Timbangan digital digunakan untuk mengukur berat udang secara tepat. Pengukuran bobot dilakukan dua kali, pertama pada awal pemeliharaan dan selanjutnya pada akhir pemeliharaan. Menurut Fadri *et.al.*, (2016), rumus pertumbuhan berat mutlak digunakan untuk mengetahui pertambahan berat dengan persamaan sebagai berikut:

$$W = W_t - W_o$$

Keterangan:

W = Pertambahan berat mutlak (g)

W_t = Berat rata-rata akhir (g)

W_o = Berat awal (g)

Perhitungan *Total Hemocyte Count* (THC)

Total Haemocyte Count merupakan salah satu indikator sistem pertahanan pada udang vaname yang berfungsi dalam proses fagositosis, nodulasi, dan enkapsulasi. Jumlah hemosit yang tinggi menggambarkan bahwa kesehatan udang baik. Total hemosit dihitung menggunakan haemocytometer dengan bantuan mikroskop pembesaran 40x. Sampel yang digunakan untuk pengecekan THC adalah 2-3 ekor per wadah, sesuai dengan penelitian Qodriyah *et al.* (2025) yang merupakan praktik umum dalam penelitian probiotik udang vaname. Adapun rumus perhitungan THC berdasarkan Inayati (2022) adalah sebagai berikut:

$$\text{Total Hemocyte Count (sel/ml)} = \Sigma \text{Hemosit} \times \text{FP} \times 10^4$$

Keterangan:

Σ Hemosit = Total jumlah hemosit

FP = Faktor Pengencer

Analisis Data

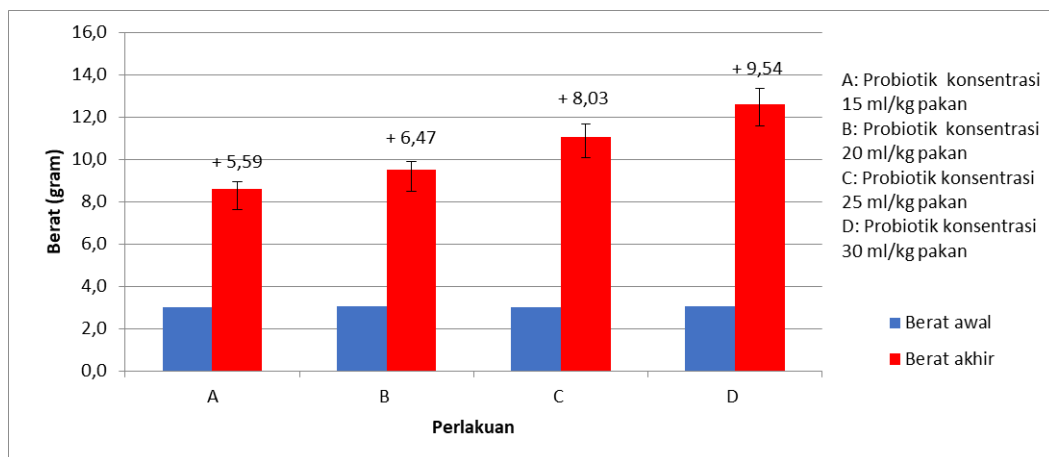
Analisis varians atau *Analysis of Variance* (ANOVA) satu arah dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan (penambahan probiotik At-Bak pada konsentrasi yang berbeda) terhadap parameter yang diukur yang dilakukan dengan membandingkan nilai kritis uji F 5%.

Jika analisis ANOVA menunjukkan bahwa hasil perlakuan berbeda nyata atau sangat nyata, maka dilanjutkan dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) pada tingkat 5%. Uji BNT adalah prosedur komparatif yang menggunakan kuadrat tengah gabungan residu (KTG/S) yang diperoleh dari hasil analisis varians, taraf nyata, derajat bebas galat, dan t-tabel. Pendekatan ini merupakan proses untuk menentukan apakah perbedaan rata-rata perlakuan adalah nyata secara statistik. Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS *Statistics 25*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan Berat Mutlak Udang Vaname

Berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh perbedaan dosis probiotik merk At-Bak dalam pakan terhadap pertumbuhan berat udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) pada DOC 30 diperoleh rata-rata yang berbeda antar perlakuan. Data berat awal dan berat akhir penelitian udang vaname selama 30 hari disajikan dalam Gambar 1. Perlakuan D menunjukkan rata-rata paling tinggi terhadap pertumbuhan berat mutlak udang vaname yaitu 9,54 gram. Sementara itu, pada perlakuan C, B, dan A berurutan menunjukkan rata-rata pertumbuhan berat mutlak semakin menurun.



Gambar 1. Diagram pertumbuhan berat mutlak *L. vannamei*

Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang nyata atau tidak antar perlakuan, maka dilakukan uji ANOVA 5% satu arah dan didapatkan hasil sign ($P = 0,000 < 0,05$). Artinya, penambahan dosis probiotik At-Bak yang berbeda dalam pakan memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan berat mutlak udang vanamei. Perbedaan signifikan antar perlakuan menunjukkan bahwa perlakuan yang diterapkan mampu memengaruhi laju pertumbuhan udang melalui dukungan terhadap proses metabolisme, pemanfaatan nutrisi, dan efisiensi energi. Perlakuan dengan berat mutlak tertinggi diduga mampu menciptakan kondisi lingkungan atau ketersediaan nutrisi yang lebih optimal, sehingga udang dapat memaksimalkan pertumbuhan jaringan tubuhnya.

Berdasarkan uji BNT 5%, setiap kenaikan dosis probiotik cenderung meningkatkan pertumbuhan berat mutlak, dengan perbedaan signifikan terutama pada perlakuan A (15 ml/kg) dan B (20 ml/kg). Perlakuan D (30 ml/kg) menghasilkan berat mutlak tertinggi, diduga karena mampu menyediakan kondisi optimal dalam pemanfaatan nutrisi dan efisiensi energi. Perlakuan C dan B menunjukkan nilai di antara perlakuan D dan A, mengindikasikan bahwa semakin optimal perlakuan, semakin tinggi pertumbuhan yang dihasilkan. Dengan demikian, perlakuan D direkomendasikan sebagai dosis terbaik untuk meningkatkan berat mutlak udang vaname. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan suplemen probiotik pada dosis optimal mampu meningkatkan pemanfaatan nutrisi dan efisiensi metabolisme.

Peningkatan pertumbuhan berat mutlak udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) pada penelitian ini diduga dipengaruhi oleh kandungan mikroorganisme dalam probiotik AT-Bak, seperti *Lactobacillus* dan *Bacillus*, yang mampu meningkatkan pencernaan pakan melalui produksi enzim pencernaan serta menyeimbangkan mikrobiota usus. Kondisi ini menyebabkan penyerapan nutrisi menjadi lebih efisien sehingga mendukung pertumbuhan udang. Sebaliknya, pada dosis probiotik yang lebih rendah, aktivitas mikroorganisme diduga belum optimal dalam meningkatkan pemanfaatan nutrisi. Hasil ini sejalan dengan penelitian Hasani Azhdari *et al.* (2023) yang melaporkan bahwa suplementasi probiotik seperti *Bacillus subtilis* dan *Lactobacillus plantarum* dalam pakan dapat meningkatkan kinerja pertumbuhan udang *Litopenaeus vannamei* melalui peningkatan aktivitas pencernaan dan pemanfaatan nutrisi.

Total Hemocyte Count (THC)

Total Haemocyte Count (THC) merupakan salah satu parameter penting untuk menilai status respon imun non-spesifik udang vanamei. Hemosit berperan sebagai garis pertahanan pertama terhadap patogen dan stres lingkungan, sehingga perubahan nilai THC mencerminkan respon imun organisme terhadap perlakuan dan kondisi pemeliharaan.

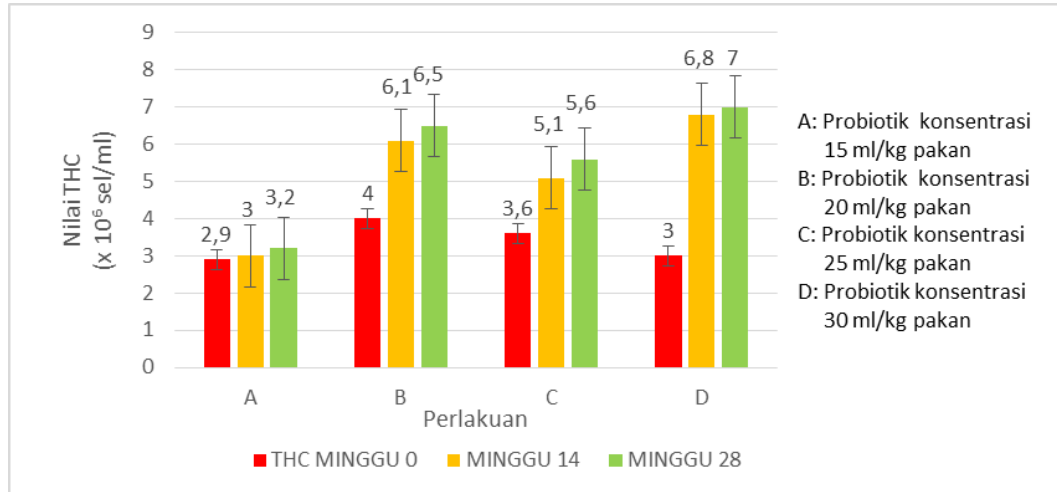
Nilai THC udang vaname menunjukkan variasi yang berbeda antar perlakuan. Perlakuan A memiliki kisaran nilai THC terendah yaitu $2,1-3,8 \times 10^6$ sel/ml, menunjukkan respon imun non-spesifik yang paling rendah dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan kondisi fisiologis udang cenderung stabil namun berada pada tingkat respons imun yang rendah. Sebaliknya perlakuan B dan C menunjukkan peningkatan THC dengan rata-rata $5,5 \times 10^6$ dan $4,8 \times 10^6$, meskipun variasi antar individu cukup besar, terlihat dari standar deviasi yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan adanya stimulasi respon imun namun tidak merata dalam populasi udang pada perlakuan tersebut. Pada perlakuan D memiliki rata-rata THC yang hampir sama dengan perlakuan B yaitu $5,6 \times 10^6$ tetapi kisaran nilai standar deviasinya yang terbesar, hal ini menunjukkan adanya respon yang sangat bervariasi, menunjukkan bahwa beberapa individu menunjukkan peningkatan THC yang tinggi sementara yang lain tidak.

Peningkatan nilai THC pada perlakuan B, C, dan D dibandingkan perlakuan A menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan mampu menstimulasi produksi hemosit, yang berperan penting dalam mekanisme pertahanan nonspesifik udang, seperti fagositosis, enkapsulasi, dan produksi senyawa antimikroba. Nilai THC yang lebih tinggi umumnya diasosiasikan dengan kondisi kesehatan udang yang lebih baik dan ketahanan yang lebih tinggi terhadap stres lingkungan maupun patogen. Peningkatan nilai THC pada beberapa perlakuan menunjukkan respon imun non-spesifik yang lebih tinggi, sesuai dengan laporan Hertika *et al.* (2024) yang menemukan bahwa perlakuan tertentu dapat meningkatkan jumlah hemosit pada udang vaname (*Litopenaeus vannamei*).

Menurut penelitian Harlina *et al.* (2025), udang vaname yang sehat memiliki THC sekitar $2-5 \times 10^6$ sel/ml. Pada kondisi stres ringan, seperti perubahan salinitas, THC menurun menjadi $1-2 \times 10^6$ sel/ml. Infeksi patogen spesifik seperti WSSV menyebabkan penurunan THC di bawah 1×10^6 sel/ml. Nilai THC yang melebihi kisaran normal ($2-5 \times 10^6$ sel/mL) menunjukkan adanya

peningkatan aktivitas sistem imun udang, yang umumnya disebabkan oleh stimulasi imun atau perlakuan probiotik (Truong *et al.*, 2025).

Adapun pengaruh penambahan dosis probiotik At-Bak yang berbeda pada pakan terhadap nilai *total hemocyte count* (THC) udang vanamei DOC 30 tersaji dalam diagram batang pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Diagram batang nilai THC pertumbuhan *L. vannamei*

Berdasarkan hasil pengamatan THC udang vaname minggu ke-0, 14 dan 28, terlihat bahwa setiap perlakuan menunjukkan pola perubahan THC yang berbeda, yang mengindikasikan perbedaan respon imun udang terhadap perlakuan yang diberikan. Perlakuan A menunjukkan peningkatan paling rendah, dari 2,9 x 10⁶ di minggu 0 menjadi 3,2 x 10⁶ di minggu 28. Perlakuan B meningkat dari 4,0 x 10⁶ menjadi 6,5 x 10⁶, perlakuan C dari 3,6 x 10⁶ menjadi 5,6 x 10⁶, dan perlakuan D mengalami kenaikan paling tinggi, dari 3,0 x 10⁶ menjadi 7,0 x 10⁶. Secara ringkas, perlakuan D menunjukkan efektivitas tertinggi dalam meningkatkan THC, diikuti oleh B, C, dan A, sementara semua perlakuan mengalami tren kenaikan THC seiring waktu.

Berdasarkan hasil uji ANOVA 5% terhadap parameter Total Hemocyte Count (THC) udang vaname, diperoleh nilai nilai signifikansi ($P= 0,000 < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan berpengaruh nyata terhadap nilai THC udang vaname. Secara biologis, perbedaan nilai THC antar perlakuan menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan mampu memengaruhi sistem imun nonspesifik udang vanamei. THC merupakan indikator utama kesehatan udang karena hemosit berperan dalam mekanisme pertahanan tubuh seperti fagositosis, enkapsulasi, dan produksi senyawa antimikroba. Peningkatan nilai THC menandakan meningkatnya kemampuan udang dalam merespons stres lingkungan maupun serangan patogen.

Berdasarkan uji BNT 5%, perlakuan terbagi ke dalam dua subset homogen. Perlakuan A (15 ml/kg) berada pada subset pertama dengan rata-rata THC $3,0 \times 10^6$ sel/mL, sedangkan perlakuan B (20 ml/kg), C (25 ml/kg), dan D (30 ml/kg) berada pada subset kedua dengan nilai rata-rata berturut-turut 5,57; 4,77; dan $5,58 \times 10^6$ sel/mL. Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan A berbeda nyata dibandingkan perlakuan B, C, dan D, namun ketiga perlakuan tersebut tidak

berbeda nyata satu sama lain secara statistik pada taraf kepercayaan 95%. Meskipun terdapat perbedaan numerik antar perlakuan B, C, dan D, perbedaan tersebut belum cukup besar untuk dinyatakan signifikan, sedangkan selisih nilai THC antara perlakuan A dengan perlakuan lainnya cukup besar sehingga menghasilkan perbedaan yang signifikan.

Perlakuan A menghasilkan nilai THC terendah, mengindikasikan respons imun nonspesifik udang yang lebih rendah dibandingkan perlakuan lainnya. Sebaliknya, perlakuan B, C, dan D menunjukkan peningkatan nilai THC yang relatif serupa, menandakan bahwa ketiga perlakuan tersebut sama-sama efektif dalam menstimulasi produksi hemosit. Hemosit berperan penting dalam mekanisme pertahanan tubuh udang, meliputi fagositosis dan respons inflamasi terhadap patogen. Peningkatan THC ini diduga terjadi karena probiotik seperti *Lactobacillus* dan *Bacillus* mampu menstimulasi sistem imun melalui interaksi dengan mikrobiota usus serta menghasilkan senyawa imunostimulan, seperti asam organik dan komponen dinding sel (peptidoglikan), yang memicu aktivitas dan produksi hemosit pada udang, dengan demikian mencerminkan kondisi fisiologis dan status kesehatan udang yang lebih baik (Wilisetyadi *et al.*, 2022).

Kualitas Air

Hasil pengukuran kualitas air terdiri dari suhu, pH, salinitas, dan tingkat oksigen terlarut (DO) yang diperoleh setiap hari selama penelitian secara umum masih berada dalam kisaran yang masih dapat ditoleransi untuk menunjukkan pertumbuhan berat mutlak udang vaname DOC 30. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengontrol kondisi air ketika pemeliharaan udang vaname. Hasil dari pengukuran kualitas air pada media pemeliharaan udang disajikan dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 1. Hasil pengukuran kualitas air

	Perlakuan	Kisaran Nilai	Rata – Rata	Standar Deviasi (sd)	Sig. (Uji ANOVA 5%)
Data Kualitas Air Suhu	A	27,9 – 28,4	28,1	1.87083	0.590
	B	27,7 – 29,1	28,1	4.95648	
	C	27,0 – 27,9	27,6	3.16288	
	D	27,5 – 28,2	27,9	2.31661	
Data Kualitas Air Salinitas	A	37-39	38	0.75277	0.186
	B	38-39	39	0.51640	
	C	38-39	38	0.51640	
	D	38	38	0.00000	
Data Kualitas Air pH	Perlakuan	Kisaran Nilai	Rata – Rata	Standar Deviasi (sd)	Sig. (Uji ANOVA 5%)
	n	pH			
	A	7,8 – 8,2	8,0	1.37840	0.065

	Perlakuan	Kisaran Nilai DO	Rata – Rata	Standar Deviasi (sd)	Sig. (Uji ANOVA 5%)
	B	7,9 – 8,1	8,0	0.75277	
	C	7,9 – 8,0	7,9	0.51640	
	D	8,0 – 8,1	8,1	0.51640	
Data Kualitas Air DO	A	5,2 – 5,5	5,3	1.16905	0.350
	B	5,0 – 5,4	5,1	1.47196	
	C	4,6 - 5,6	5,1	4.21505	
	D	4,1 – 5,4	4,9	6.01387	

Berdasarkan Tabel 3, secara statistik rata-rata suhu air pada setiap perlakuan menunjukkan nilai yang relatif sama, dengan kisaran 27,0–29,1°C. Kisaran ini masih tergolong optimal untuk budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*), sehingga fluktuasi suhu selama penelitian tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan berat mutlak maupun respon imun. Hal ini didukung oleh Gunawan *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa suhu optimal untuk pertumbuhan udang vaname berada pada rentang 27–30°C. Hasil uji ANOVA pada taraf 5% menunjukkan bahwa suhu air antar perlakuan tidak berbeda nyata ($P = 0,590 > 0,05$), sehingga tidak dilanjutkan pada uji lanjut (BNT). Tidak adanya perbedaan nyata ini menunjukkan bahwa kondisi suhu selama penelitian berada dalam kisaran optimal dan tidak menimbulkan stres fisiologis pada udang.

Secara statistik, rata-rata kadar salinitas air pada setiap perlakuan juga menunjukkan nilai yang relatif sama, dengan kisaran 37–39 ppt dan rata-rata 38–39 ppt serta standar deviasi yang relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi salinitas selama penelitian stabil antar perlakuan. Kisaran tersebut masih termasuk dalam rentang toleransi udang vaname, sebagaimana dinyatakan oleh Anita (2018) bahwa salinitas 30–40 ppt masih dapat ditoleransi dengan baik selama parameter lingkungan lainnya berada dalam kondisi optimal. Salinitas yang stabil akan mengurangi kebutuhan energi untuk proses osmoregulasi, sehingga energi lebih banyak dimanfaatkan untuk pertumbuhan dan pemeliharaan sistem imun. Hasil uji ANOVA 5% menunjukkan bahwa salinitas tidak memberikan pengaruh nyata antar perlakuan ($P = 0,186 > 0,05$), sehingga tidak dilanjutkan pada uji lanjut (BNT).

Selanjutnya, nilai pH air selama penelitian berada pada kisaran 7,8–8,2 dan relatif seragam antar perlakuan. Kisaran ini masih termasuk dalam kondisi optimal bagi pertumbuhan dan kesehatan udang vaname, sehingga pH tidak menjadi faktor pembeda terhadap respon pertumbuhan dan sistem imun. Hal ini sesuai dengan pendapat Supono dan Widodo (2020). Hasil uji ANOVA 5% menunjukkan bahwa pH tidak berbeda nyata antar perlakuan ($P = 0,065 > 0,05$),

sehingga tidak dilanjutkan pada uji lanjut (BNT). Kondisi pH yang stabil menunjukkan bahwa lingkungan pemeliharaan tetap berada dalam kondisi yang mendukung aktivitas fisiologis udang.

Secara statistik, rata-rata kadar oksigen terlarut (DO) pada setiap perlakuan menunjukkan nilai yang relatif sama, dengan kisaran 4,1–5,6 mg/L dan rata-rata 4,9–5,3 mg/L. Nilai tersebut masih mampu mendukung aktivitas fisiologis udang, meskipun terdapat variasi yang ditunjukkan oleh standar deviasi. Menurut Suyanto dan Takarina (2017), fluktuasi DO dalam kisaran toleransi tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan udang selama tidak terjadi kondisi hipoksia. Hasil uji ANOVA 5% menunjukkan bahwa DO tidak berbeda nyata antar perlakuan ($P = 0,350 > 0,05$), sehingga tidak dilanjutkan pada uji lanjut (BNT). Selain itu, kestabilan DO selama penelitian juga diduga dipengaruhi oleh peran probiotik, khususnya *Bacillus*, yang mampu mendegradasi bahan organik dan mengurangi akumulasi limbah metabolik, sehingga membantu menjaga kualitas air dan kestabilan oksigen terlarut selama pemeliharaan.

PENUTUP

Kesimpulan

Penambahan dosis probiotik At-Bak dalam pakan memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan berat mutlak udang vaname. Hasil uji ANOVA menunjukkan perbedaan yang signifikan antar perlakuan ($P < 0,05$), di mana perlakuan D (30 ml/kg pakan) menghasilkan rata-rata pertumbuhan berat mutlak tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Penambahan probiotik At-Bak juga berpengaruh nyata terhadap *Total Hemocyte Count* (THC) udang vaname. Hasil uji ANOVA menunjukkan perbedaan signifikan antar perlakuan ($P < 0,05$), di mana perlakuan B, C, dan D menghasilkan nilai THC yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan A. Parameter kualitas air yang meliputi suhu, salinitas, pH, dan oksigen terlarut (DO) selama penelitian berada dalam kisaran optimal dan toleran bagi udang vaname. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa seluruh parameter kualitas air tersebut tidak memberikan pengaruh nyata antar perlakuan ($P > 0,05$), sehingga faktor kualitas air tidak menjadi variabel pembatas dalam penelitian ini.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran dapat diberikan untuk pengembangan budidaya udang vaname maupun untuk penelitian selanjutnya. Dalam kegiatan budidaya udang vaname penggunaan probiotik At-Bak dengan dosis 30 ml/kg pakan sangat disarankan karena terbukti mampu meningkatkan pertumbuhan berat mutlak dan mendukung sistem imun udang vaname secara signifikan dibandingkan dengan dosis lainnya. Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut, disarankan agar peneliti berikutnya menguji dosis probiotik yang lebih tinggi dari 30 ml/kg pakan atau mengkombinasikan probiotik dengan bahan-bahan lain seperti prebiotik atau imunostimulan, guna mengetahui potensi peningkatan pertumbuhan dan respon

imun yang lebih optimal pada udang vaname. Selain itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan waktu pemeliharaan yang lebih panjang serta pengamatan terhadap parameter tambahan seperti laju pertumbuhan harian (*Specific Growth Rate/SGR*), rasio konversi pakan (*Feed Conversion Ratio/FCR*), dan tingkat kelangsungan hidup (*Survival Rate/SR*), sehingga dapat diperoleh gambaran performa budidaya yang lebih komprehensif dan aplikatif bagi para pembudidaya udang vaname.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, M. H., Sulmartini, D. W., & Sari, L. A. (2025). Pengaruh frekuensi pemberian pakan yang berbeda terhadap pertumbuhan berat mutlak udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 34(1), 45-53.
- Amiin, M. K., Sari, R., & Pratama, A. (2023). Peran bakteri probiotik dalam meningkatkan kinerja pertumbuhan dan efisiensi pakan pada budidaya udang. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 22(2), 112-121.
- Anita, N. (2018). Toleransi salinitas terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Ilmu Perikanan*, 9(1), 23-30.
- Darwanti, D., Suminto, S., & Sudaryono, A. (2016). Kendala budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) di tambak dan alternatif penanggulangannya. *Jurnal Perikanan dan Kelautan Tropis*, 12(1), 15-24.
- Dimantara, I. (2019). Dominasi udang sebagai komoditas ekspor andalan Indonesia di pasar dunia. *Buletin Ekonomi Perikanan*, 10(2), 78-89.
- Fadri, S., Muchlisin, Z. A., & Sugito, S. (2016). Pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) yang diberi pakan dengan suplementasi probiotik. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*, 1(1), 112-120.
- Fernando, A. (2016). *Lactobacillus sp.* sebagai agen probiotik potensial dalam budidaya perairan. *Jurnal Mikrobiologi Indonesia*, 10(3), 145-152.
- Gunawan, B. I., Supono, S., & Wardiyanto, W. (2021). Pengaruh suhu terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia*, 9(1), 33-42.
- Harlina, H., Mulyadi, M., & Tang, U. M. (2025). Profil total hemosit udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) yang sehat dan mengalami stres. *Jurnal Veteriner dan Perikanan*, 14(1), 55-64.
- Hasani Azhdari, M., Sourinejad, I., Kazemi, R., & Faghieh, H. (2023). Effects of dietary probiotic supplementation on growth performance, digestive enzyme activity, and immune response of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Reports*, 28, 101445.
- Hertika, A. M. S., Kusdarwati, R., & Putra, I. W. A. (2024). Respons imun nonspesifik udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) yang diberi perlakuan probiotik. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 16(1), 87-98.

- Inayati, N. (2022). Prosedur pengambilan dan perhitungan total hemosit udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). Laboratorium Kesehatan Ikan, Universitas Brawijaya.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2021). *Statistik ekspor perikanan Indonesia 2021*. Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2024). *Laporan kinerja budidaya udang nasional. Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya, KKP*.
- Khanjani, M. H., Sharifinia, M., & Emerenciano, M. G. C. (2024). Probiotics in shrimp aquaculture: A review of current knowledge and future perspectives. *Aquaculture International*, 32(2), 1245-1270.
- Lee, C., Kim, S., & Lee, K. J. (2018). Optimal dietary protein requirement for juvenile Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared in biofloc system. *Aquaculture Nutrition*, 24(5), 1485-1493.
- Megawati, M. (2017). Dampak pemberian pakan berlebih terhadap kualitas air dan pertumbuhan udang vaname. *Jurnal Riset Akuakultur*, 12(3), 267-276.
- Niara, S., & Hotimah, H. (2024). Metode eksperimen dalam penelitian perikanan: Keunggulan dan aplikasinya. *Jurnal Metodologi Penelitian*, 8(1), 34-42.
- Pratama, R., Supono, S., & Wardiyanto, W. (2017). Sejarah perkembangan budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) di Indonesia. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 8(2), 145-154.
- Putra, I. W. A., Kusdarwati, R., & Hertika, A. M. S. (2021). Uji efektivitas probiotik dengan dosis berbeda terhadap pertumbuhan udang vaname. *Journal of Aquaculture Science*, 6(1), 22-31.
- Qodriyah, L., Sari, L. A., & Wirawan, I. (2025). Profil total hemosit udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) selama pemberian pakan berprobiotik. *Jurnal Perikanan Universitas Dr Soetomo*, 3(1), 78-89.
- Rahim, A. (2021). Keunggulan budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) dibandingkan udang windu. *Media Akuakultur*, 16(2), 95-104.
- Renitasari, D., Suminto, S., & Sudaryono, A. (2021). Dampak overfeeding dan underfeeding pada budidaya udang vaname. *Jurnal Sains Akuakultur Tropis*, 5(1), 44-53.
- Suhaerah, S. (2012). *Perancangan percobaan: Teori dan aplikasi*. Universitas Hasanuddin Press.
- Supono, S., & Widodo, M. S. (2020). Manajemen kualitas air pada budidaya udang vaname intensif. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 21(1), 33-42.
- Suryani, S., & Nurliyani, N. (2017). Karakterisasi bakteri asam laktat penghasil bakteriosin sebagai agen probiotik. *Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian*, 12(2), 67-76.
- Suyanto, S., & Takarina, N. D. (2017). Fluktuasi oksigen terlarut dan pengaruhnya terhadap budidaya udang vaname. *Jurnal Biologi Lingkungan*, 5(2), 88-96.

- Tamilselvan, P., & Raja, K. (2024). Probiotic supplementation in shrimp culture: A sustainable approach for disease management and production enhancement. *Fish & Shellfish Immunology*, *144*, 109287.
- Thompson, J. (2022). Antagonistic activity of lactic acid bacteria against *Vibrio* species in shrimp aquaculture. *Aquaculture Research*, *53*(4), 1456-1468.
- Truc, T. T. T., Hai, T. N., & Hien, T. T. (2021). Monitoring of total haemocyte count in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during probiotic treatment. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, *21*(3), 345-354.
- Truong, Q. P., Nguyen, T. T., & Le, T. H. (2025). Temporal changes in haemocyte parameters of *Litopenaeus vannamei* in response to dietary probiotics. *Fish and Shellfish Immunology Reports*, *6*, 100189.
- Tuiyo, R. (2023). Penentuan dosis probiotik optimal untuk budidaya udang skala laboratorium. *Jurnal Perikanan dan Kelautan Tropis*, *14*(1), 55-64.
- Usman, U., Hadijah, H., & Syah, R. (2024). Kepadatan udang vaname dalam wadah percobaan untuk studi probiotik. *Jurnal Riset Akuakultur*, *19*(1), 33-42.
- Wilisetyadi, B., Mulyadi, M., & Tang, U. M. (2022). Peranan hemosit dalam sistem imun udang vaname. *Jurnal Kedokteran Hewan*, *16*(2), 67-75.
- Xie, J., Liu, Y., & Wang, X. (2024). Effects of probiotic supplementation on intestinal morphology and digestive enzyme activities in shrimp. *Aquaculture Nutrition*, *30*(2), 1-12.
- Yuan, J., Zhang, X., & Li, F. (2020). Standardization of shrimp culture protocols for research purposes. *Journal of the World Aquaculture Society*, *51*(3), 678-689.