

**EVALUASI SUPLEMENTASI *Sargassum* sp. *LOW MOLECULAR WEIGHT FUCOIDAN* (LMWF) TERHADAP RESPON IMUN UDANG VANAME (*Litopenaeus vannamei*)**

**SKRIPSI**

**Oleh**

**CHAIRUNISA S HARRY  
NPM 2214111015**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2026**

**EVALUASI SUPLEMENTASI *Sargassum* sp. *LOW MOLECULAR WEIGHT FUCOIDAN* (LMWF) TERHADAP RESPON IMUN UDANG VANAME (*Litopenaeus vannamei*)**

**Oleh**

**CHAIRUNISA S HARRY**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
SARJANA PERIKANAN**

**Pada**

**Jurusan Perikanan dan Kelautan  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2026**

## ABSTRAK

### EVALUASI SUPLEMENTASI *Sargassum* sp. **LOW MOLECULAR WEIGHT FUCOIDAN** (LMWF) TERHADAP RESPON IMUN UDANG VANAME (*Litopenaeus vannamei*)

Oleh

**CHAIRUNISA S HARRY**

Penyakit merupakan salah satu tantangan dalam budidaya udang vaname karena hanya memiliki sistem imun bawaan atau non spesifik, pengendalian penyakit menggunakan imunostimulan yang diharapkan mejadi solusi praktis, efektif dan ramah lingkungan. Pengembangan imunostimulan berbasis *low molecular weight fucoidan* (LMWF) dari *Sargassum* sp. memiliki urgensi tinggi sebagai strategi pencegahan penyakit pada budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). Tujuan penelitian ini untuk mengevaluasi suplementasi *Sargassum* sp. *Low Molecular Weight Fucoidan* (LMWF) terhadap respon imun udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari empat perlakuan tiga ulangan. Penelitian ini meliputi kontrol (P1), pemberian pakan komersil dengan penambahan *fucoidan* 1 g/kg pakan (P2), Pemberian pakan komersil dengan penambahan LMWF 1 g/kg pakan (P3), dan Pemberian pakan komersil dengan penambahan LMWF 1,5 g/kg pakan (P4). Hewan uji berupa udang vaname dengan berat 5 g yang dipelihara selama 14 hari dengan kepadatan 10 ekor dalam kontainer kapasitas 60 liter, serta diberikan pakan komersil. Parameter yang diamati yaitu THC, AF/IF, TPP, Ekspresi gen, SR, dan kualitas air. Hasil menunjukkan pemberian LMWF tidak berpengaruh nyata pada THC, dan AF/IF, pada TPP hanya pada perlakuan P3 ( $P > 0$ ), sedangkan parameter ekspresi gen hanya gen LGBP pada hari ke-7 yang mengalami *upregulated*.

Kata kunci: Fukoidan, Imunostimulan, LMWF, *Sargassum* sp., Udang Vaname

## ABSTRACT

### **Evaluation of Low Molecular Weight Fucoidan (LMWF) Supplementation of *Sargassum* sp. on the Immune Response of Whiteleg Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)**

By

**CHAIRUNISA S HARRY**

Disease is one of the challenges in whiteleg shrimp cultivation because it only has an innate or non-specific immune system, disease control using immunostimulants is expected to be a practical, effective and environmentally friendly solution. The development of low molecular weight fucoidan (LMWF) based immunostimulants from *Sargassum* sp. has high urgency as a disease prevention strategy in whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture. The purpose of this study was to supplement *Sargassum* sp. low molecular weight fucoidan (LMWF) on the immune response of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Completely Randomized Design (CRD) consisting of four treatments with three replications. This study included control (P1), provision of commercial feed with the addition of fucoidan 1 g / kg of feed (P2), provision of commercial feed with the addition of LMWF 1 g / kg of feed (P3), and provision of commercial feed with the addition of LMWF 1.5 g / kg of feed (P4). The test animals were whiteleg shrimp weighing 5 grams, kept for 14 days at a density of 10 individuals in a 60-liter container, and fed commercial feed. The parameters observed were THC, AF/IF, TPP, gene expression, SR, and water quality. The results showed that LMWF administration had no significant effect on THC and AF/IF, on TPP only in the P3 treatment ( $P>0$ ), while the only gene expression parameter was the LGBP gene on the 7th day which experienced upregulation.

Keywords: Fucoidan, Immunostimulant, LMWF, *Sargassum* sp, Whiteleg Shrimp

Judul Skripsi : Evaluasi Suplementasi *Sargassum* sp. *Low Molecular Weight Fucoidan* (LMWF) Terhadap Respon Imun Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*)

Nama Mahasiswa : Chairunisa S. Harry

Nomor Pokok Mahasiswa : 2214111015

Program Studi : Budidaya Perairan

Fakultas : Pertanian



Dr. Agus Setyawan, S.Pi., M.P.  
NIP. 198408052009121003

Hilma Putri Fidyandini, S.Pi., M.Si.  
NIP. 199001282019032018

2. Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan

Munti Sarida, S.Pi., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 198309232006042001

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Agus Setyawan, S.Pi., M.P.**



Sekretaris : **Hilma Putri Fidyandini, S.Pi., M.Si.**



Penguji Bukan Pembimbing : **Ir. Siti Hudaidah, M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



**Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.**

NIP. 196411181989021002

Tanggal lulus ujian skripsi : 17 April 2026



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
FAKULTAS PERTANIAN  
JURUSAN PERIKANAN DAN KELAUTAN

Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145 Telp (0721) 704946 Fax (0721) 770347

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi yang berjudul "**Evaluasi Suplementasi *Sargassum Sp. Low Molecular Weight Fucoidan (LMWF)* Terhadap Respon Imun Udang Vaname (*Litopenaeus Vannamei*)**" tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh pihak lain untuk mendapatkan karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebut dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata dalam naskah skripsi ini ditemukan dan terbukti terdapat unsur-unsur fabrikasi, falsifikasi, plagiat dan konflik kepentingan saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S1) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Bandar Lampung, 6 Mei 2026

Yang membuat pernyataan



Chairunisa S. Harry  
NPM. 2214111015

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Gotong Royong, Lampung Tengah, pada tanggal 6 Februari 2004 sebagai anak ketiga dari pasangan Bapak Ir. Cholisi Muhlis dan Ibu Nuriyah. Penulis menempuh pendidikan formal dari Taman Kanak-kanak Insan Kamil, Bandar Jaya Lampung Tengah, pada tahun 2009-2010, lalu melanjutkan pendidikan dasar di SD 1 Seputih Jaya pada tahun 2011-2016, dilanjutkan ke pendidikan menengah pertama di SMPN 4 Terbanggi Besar, pada tahun 2016-2019, dan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Terbanggi besar, pada tahun 2019-2022.

Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang Pendidikan tinggi di Program Studi Budidaya Perairan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2022. Penulis pernah mengikuti kegiatan magang mandiri di UPTD Balai Benih Ikan, Kota Metro pada bulan Januari tahun 2024, dan magang mandiri di PT. Central Proteina Prima, Kalianda, Lampung Selatan pada bulan Juli tahun 2024.

Penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Cahaya Mas, Kec. Sungkai Barat, Kab. Lampung Utara, Lampung. selama 31 hari pada bulan Januari-Februari 2025. Penulis juga telah melaksanakan kegiatan Praktik Umum di Balai Besar Perikanan Budidaya Air Tawar, Sukabumi Jawa Barat. Penulis terpilih dalam program RIIM-1V\_Batch 2 BRIN (Riset Inovasi Indonesia Maju), sebuah program pendanaan riset nasional yang diakui sebagai bagian dari skema Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) melalui jalur Studi Independen dan dari program tersebut penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Evaluasi Suplementasi *Sargassum* sp. *Low*

*Molecular Weight Fucoidan (LMWF) Terhadap Respon Imun Udang Vaname  
(Litopenaeus vannamei)”*

Untuk orang tua tercinta, Ibu Nuriyah dan Bapak Ir. Cholisi Muhlis, yang menjadi sumber kekuatan dan inspirasi penulis dalam setiap langkah.

## SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Karena atas Rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul “*Evaluasi Suplementasi Sargassum sp. Low Molecular Weight Fucoidan (LMWF) Terhadap Respon Imun Udang Vaname (Litopenaeus vannamei)*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana perikanan di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan FP Unila;
2. Munti Sarida, S.Pi., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan;
3. Dr. Agus Setyawan, S.Pi., M.P. selaku Dosen Pembimbing Utama;
4. Hilma Putri Fidyandini, S.Pi., M.Pi selaku Dosen Pembimbing Pembantu/Sekretaris;
5. Ir. Siti Hudaidah, M.Sc. selaku Penguji Utama;
6. Dr. Yudha Trinoegraha A., S.Pi., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik;
7. Ir. Cholisi Muhlis dan Nuriyah selaku Kedua orang tua.
8. Chyntia Dewi S Harry, Chairani Kartini S Harry, dan M. Chadafi S Harry selaku kakak dan adik penulis.
9. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) selaku penyandang dana penelitian dalam program RIIM IV *Batch 2*.

Bandar Lampung, Juni 2026

Chairunisa S Harry

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang & Masalah.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Manfaat Penelitian .....	4
1.4 Kerangka Pikir Penelitian .....	4
1.5 Hipotesis Penelitian.....	7
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	9
2.1 Biologi Udang Vaname ( <i>Litopenaeus vannamei</i> ) .....	9
2.1.1 Klasifikasi .....	9
2.1.2 Morfologi .....	9
2.1.3 Habitat Udang Vaname .....	11
2.1.4 Siklus Hidup Udang Vaname .....	11
2.2 Respon Imun Udang.....	12
2.3 Imunostimulan .....	13
2.4 Klasifikasi dan Morfologi <i>Sargassum</i> sp. ....	14
2.5 Ekpresi Gen Imun .....	14
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	16
3.1. Waktu dan Tempat.....	16
3.1.1 Waktu Penelitian .....	16

3.1.2. Tempat Penelitian .....	16
3.2 Bahan dan Alat .....	16
3.2.1 Bahan .....	16
3.2.2 Alat .....	17
3.3 Rancangan Penelitian .....	19
3.4 Prosedur Penelitian.....	20
3.4.1 Ekstraksi Fukoidan dari <i>Sargassum</i> sp .....	20
3.4.2 Pembuatan <i>Low Molecular Weight Fucoidan</i> (LMWF) .....	21
3.4.3 Persiapan Wadah dan Hewan Uji Penelitian .....	21
3.4.4 Persiapan Pakan .....	22
3.4.5 Pemeliharaan Hewan Uji.....	22
3.4.6 Pengambilan Sampel Udang .....	22
3.5 Parameter.....	23
3.5.1 <i>Total Haemocyte Count</i> (THC) .....	23
3.5.2 Aktivitas Fagositosis/Indeks Fagositosis.....	23
3.5.3 Total Protein Plasma (TPP).....	24
3.5.4 Ekspresi Gen Imun .....	24
3.5.5 <i>Survival Rate</i> (SR).....	26
3.5.6 Kualitas Air .....	26
3.6 Analisis Data .....	27
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>28</b>
4.1 Hasil .....	28
4.1.1 <i>Total Haemocyte Count</i> (THC) .....	28
4.1.2 Aktivitas Fagositosis .....	29
4.1.3 Indeks Fagositosis .....	30
4.1.4 Total Protein Plasma (TPP).....	30
4.1.5 Ekspresi Gen .....	31
4.1.6 <i>Survival Rate</i> (SR).....	31
4.1.7 Kualitas Air .....	32
4.2 Pembahasan.....	33
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>38</b>
5.1 Simpulan .....	38
5.2 Saran.....	38

**DAFTAR PUSTAKA..... 39**  
**LAMPIRAN..... 48**

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Bahan yang digunakan beserta konsentrasi, merk, dan fungsinya.....	16
2. Alat penelitian beserta spesifikasi dan fungsinya.....	17
3. Primer gen imun udang vaname.....	24
4. Komposisi bahan sintesis cDNA.....	25
5. Komposisi bahan qPCR .....	26
6. Kondisi qPCR .....	26
7. <i>Fold change</i> udang vaname beserta gen target, hari pengamatan, dan keterangannya.....	31
8. Kisaran nilai kualitas air media pemeliharaan udang vaname. ....	33

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian.....	6
2. Morfologi udang vaname .....	10
3. Tata letak wadah penelitian .....	20
4. Perubahan <i>Total Haemocyte Count</i> (THC) udang vaname selama periode pengamatan pada berbagai perlakuan suplementasi <i>Fuoidan</i> dan <i>Low Molecular Weight Fuoidan</i> (LMWF).....	28
5. Perubahan Aktivitas Fagositosis (AF) udang vaname selama periode pengamatan pada berbagai perlakuan suplementasi <i>Fuoidan</i> dan <i>Low Molecular Weight Fuoidan</i> (LMWF).....	29
6. Perubahan Indeks Fagositosis (IF) udang vaname selama periode pengamatan pada berbagai perlakuan suplementasi <i>Fuoidan</i> dan <i>Low Molecular Weight Fuoidan</i> (LMWF) .....	30
7. Perubahan Total Protein Plasma (TPP) udang vaname selama periode pengamatan pada berbagai perlakuan suplementasi <i>Fuoidan</i> dan <i>Low Molecular Weight Fuoidan</i> (LMWF).....	31
8. Perubahan <i>Survival Rate</i> (SR) udang vaname selama periode pengamatan pada berbagai perlakuan suplementasi <i>Fuoidan</i> dan <i>Low Molecular Weight Fuoidan</i> (LMWF) .....	32

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. <i>Flowchart</i> Ekstraksi Fukoidan dari <i>Sargassum</i> sp.....	49
2. Analisis data THC .....	50
3. Analisis data AF .....	51
4. Analisis data IF.....	52
5. Analisis data TPP .....	53

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang & Masalah

Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) masih menjadi salah satu komoditas ekspor unggulan Indonesia terlihat dari prospek pasarnya yang masih potensial sejak tahun 2019 (Wulandari, 2024). Komoditas ini merupakan primadona ekspor di Indonesia karena memiliki kontribusi volume ekspor sekitar 85% (Nisa et al., 2023). Pada tahun 2024, KKP juga berhasil mendongkrak peningkatan produksi 5 komoditas unggulan ekspor yakni udang, kepiting, rumput laut, lobster dan tilapia. Produksi budidaya udang di Indonesia pada tahun 2024 mencapai 1,13 juta ton, naik sekitar 16,7 % dibanding tahun 2023 (KKP, 2025). Hal ini menjadi salah satu bukti bahwa komoditas udang memiliki nilai ekonomis dan permintaan pasar yang tinggi di pasaran, dan dapat memberikan dampak positif bagi perkembangan budidaya udang vaname dari sistem tradisional sampai sistem intensif.

Udang vaname hanya sistem imun udang yang hanya bergantung pada mekanisme imun bawaan (*innate immunity*) tanpa memiliki sistem tambahan seperti vertebrata, sehingga tidak mampu membentuk antibodi terhadap patogen yang pernah menginfeksi sebelumnya (Wang & Wang, 2013). Di antara penyakit yang paling berbahaya adalah *White Spot Syndrome Virus* (WSSV), yang mampu menyebabkan mortalitas 80–100 % udang stadia juvenile (Srinivas et al., 2016). Selain itu, *Infectious Hypodermal and Hematopoietic Necrosis Virus* (IHHNV) dapat menyebabkan deformasi dan kematian pada udang muda, sedangkan *Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease* (AHPND) yang disebabkan oleh bakteri *Vibrio parahaemolyticus*

berperan signifikan dalam kematian larva dan penurunan kelangsungan hidup (Reyes et al., 2022). Sementara itu, penyakit multifaktorial seperti *White Feces Syndrome* (WFS) yang melibatkan infeksi *Enterocytozoon hepatopenaei* dan gangguan disbiosis usus bersama bakteri *Vibrio* sering muncul di tambak dan berdampak pada pertumbuhan, konsumsi pakan, serta mortalitas yang tersembunyi (Piamsomboon & Han, 2022). Berdasarkan dari penelitian sebelumnya wabah AHPND di Asia Tenggara, termasuk Indonesia dan Vietnam, telah menurunkan produksi udang hingga lebih dari 40% per tahun, penyakit AHPND biasanya menyerang hepatopankreas dan menyebabkan kerusakan jaringan melalui toksin *PirA* dan *PirB* yang dihasilkan oleh *V. parahaemolyticus* (Han et al., 2015).

Dalam pengendalian penyakit bakterial pada udang vaname umumnya masih mengandalkan penggunaan antibiotik (Triga et al., 2023). Meskipun bekerja dengan cepat, penggunaan antibiotik yang berlebihan dapat menyebabkan resistensi bakteri, residu antibiotik dalam lingkungan perairan, serta mengganggu keseimbangan mikrobiota alami (Sumini & Kusdarwati, 2020). Salah satu cara menanggulangi penyakit yang lebih ramah lingkungan yaitu dengan menggunakan imunostimulan. Penggunaan imunostimulan telah banyak dibuktikan sebagai pencegah penyakit pada ikan. Efek imunostimulan dari glucan, kitin, laktoferin dan levamisol telah banyak dilaporkan untuk melindungi ikan dan udang dari serangan penyakit (Muahiddah & Diamahesa, 2022). Imunostimulan dapat meningkatkan imun non-spesifik pada ikan dan udang. Penggunaan bahan-bahan alami sebagai imunostimulan dipercaya meningkatkan imun non-spesifik ikan dan udang untuk menangkal serangan penyakit dan ramah lingkungan sehingga dapat mendukung sistem budidaya yang berkelanjutan (Payung & Manopo, 2015).

Penggunaan imunostimulan alami seperti fukoidan yang diekstrak dari *Sargassum* sp. menjadi penting dalam upaya pencegahan penyakit pada udang vaname, terutama dalam budidaya intensif dimana tekanan patogen tinggi. Fukoidan merupakan polisakarida sulfat alami yang banyak ditemukan pada dinding sel alga cokelat (*Phaeophyceae*) seperti *Sargassum* sp., *Laminaria* sp., dan *Fucus* sp..

Senyawa ini tersusun terutama atas *monosakarida L-fukosa* dengan gugus sulfat, serta dapat mengandung gula lain seperti *galaktosa*, *manosa*, *xilosa*, dan asam uronat. Kandungan gugus sulfat dan struktur rantainya menjadikan fukoidan memiliki berbagai aktivitas biologis, seperti antioksidan, antivirus, antiinflamasi, antikoagulan, serta imunomodulator (Haggag et al 2023). Selain itu juga, proses ekstraksi fukoidan masih membutuhkan biaya dan teknologi yang tidak murah, sehingga ketersediaan produk fukoidan yang konsisten untuk skala budidaya besar masih menjadi kendala (Chadwick et al., 2025). Fukoidan alami yang diekstrak dari alga cokelat seperti *Sargassum sp.* umumnya memiliki berat molekul tinggi (*High Molecular Weight Fucoidan* atau HMWF). HMWF beberapa kekurangan dalam pengaplikasian HMWF, yaitu memiliki bioavailabilitas yang rendah atau lebih sulit untuk masuk ke dalam sel dan jaringan tubuh udang, sehingga hanya sedikit imunostimulan yang dapat dimanfaatkan oleh tubuh udang (Jia et al., 2016). Berat molekul yang besar menyebabkan molekul fukoidan lebih sulit melewati membran usus dan membran sel, sehingga penyerapan serta distribusinya ke jaringan tubuh menjadi rendah. Selain itu, ukuran molekul yang besar cenderung meningkatkan viskositas larutan dan menurunkan kelarutan, sehingga kontak dengan permukaan absorpsi saluran pencernaan menjadi kurang efisien. Karena itu, hanya sebagian kecil fukoidan yang dapat dimanfaatkan oleh tubuh udang (Luo & Liu., 2025).

Pengembangan imunostimulan berbasis *low molecular weight fucoidan* (LMWF) dari *Sargassum sp.* memiliki urgensi tinggi sebagai strategi pencegahan penyakit pada budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) (Sinurat et al., 2016). Selain itu, *Sargassum sp.* LMWF memiliki bioaktivitas lebih tinggi karena lebih mudah diserap dan lebih efektif dalam memicu respon imun dibanding fukoidan berukuran besar (Hwang et al., 2019). Salah satu metode yang digunakan untuk menghasilkan LMWF adalah depolimerisasi enzimatis menggunakan bakteri laut penghasil *fucoidanase*, termasuk *Cytobacillus kochii*. Berdasarkan penelitian menunjukkan bahwa isolat *C. kochii* dari lingkungan laut mampu menghasilkan enzim *fucoidanase* yang dapat memutus ikatan glikosidik pada fukoidan secara lebih selektif dan ramah

lingkungan, serta menghasilkan oligosakarida fukoidan dengan struktur yang lebih seragam dibanding metode kimia maupun fisik (Back et al., 2023). Proses biokonversi berbasis bakteri ini dinilai lebih efektif untuk aplikasi budidaya karena memungkinkan produksi LMWF dengan aktivitas biologis yang lebih stabil dan berpotensi meningkatkan respon imun udang secara lebih efektif (Silchenko et al., 2013). Dengan demikian, pemanfaatan *C. kochii* sebagai agen depolimerisasi membuka peluang baru dalam produksi LMWF yang efisien, berkelanjutan, dan aplikatif untuk mendukung kesehatan udang vaname di sistem budidaya intensif.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh suplementasi *Sargassum* sp. *low molecular weight fucoidan* (LMWF) terhadap respon imun udang vaname (*Litopenaeus vannamei*).

## **1.3 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini yaitu untuk membantu para pembudidaya udang dalam mengatasi penyakit patogenik seperti virus, bakteri, parasit, dan jamur pada udang vaname, serta memberikan informasi mengenai pengaplikasian penggunaan imunostimulan berbasis *Sargassum* sp. *low molecular weight fucoidan* (LMWF) terhadap respon imun udang vaname (*Litopenaeus vannamei*).

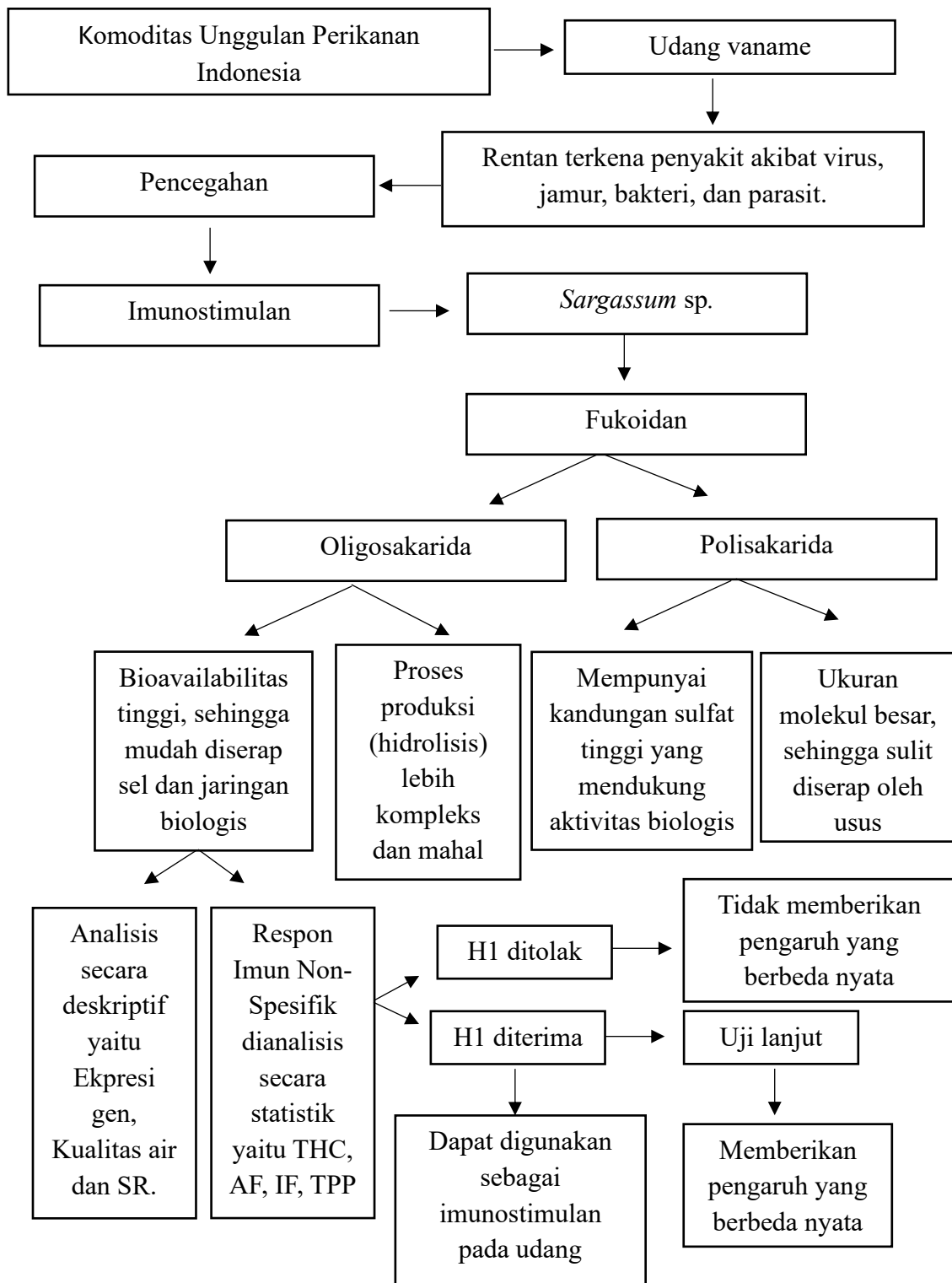
## **1.4 Kerangka Pikir Penelitian**

Udang vaname masih menjadi salah satu komoditas ekspor unggulan Indonesia. Hal ini menjadi salah satu bukti bahwa komoditas udang memiliki nilai ekonomis dan permintaan pasar yang tinggi di pasaran, dan dapat memberikan dampak positif bagi perkembangan budidaya udang vaname dari sistem tradisional sampai sistem intensif. Namun dengan sistem padat tebar yang tinggi dapat mengakibatkan masalah, yaitu adanya serangan penyakit seperti bakteri, virus, parasit, dan jamur. Mun-

culnya penyakit bisa saja disebabkan karena respon imun non spesifik udang yang lemah.

Salah satu solusi dalam pengobatan penyakit yaitu dengan menggunakan imunostimulan yang lebih aman dan ramah lingkungan. Salah satu kandidat yang menjanjikan adalah fukoidan, senyawa polisakarida sulfat yang diperoleh dari alga cokelat seperti *Sargassum*. Fukoidan telah terbukti memiliki berbagai aktivitas biologis, termasuk antimikroba, antioksidan, dan imunostimulan. Lebih lanjut, bentuk *low molecular weight fucoidan* (LMWF) diketahui memiliki keunggulan dibandingkan fukoidan dengan berat molekul tinggi, terutama dari segi penyerapan dan efektivitas biologisnya.

Penelitian sebelumnya (Patel et al., 2025) dalam penelitiannya menggunakan fucoidan dari *Sargassum johnstonii* dan mengujikannya pada udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) yang diinfeksi *Vibrio parahaemolyticus*. Hasilnya menunjukkan bahwa pemberian fukoidan dengan dosis 2% dalam pakan mampu meningkatkan total *hemocyte count* (THC), aktivitas enzim *phenoloxidase* (PO), dan *respiratory burst activity*, serta menurunkan angka kematian udang secara signifikan dibandingkan dengan kelompok kontrol. Secara umum kerangka pikir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian

## 1.5 Hipotesis Penelitian

Hipotesis yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. *Total haemocyte count* (THC)

H1: semua  $\tau_i = 0$

Suplementasi *Sargassum* sp. *low molecular weight fucoidan* (LMWF) pada pakan tidak memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap *total haemocyte count* (THC) udang vaname (*Litopenaeus vanamei*).

H1: minimal ada satu  $\tau_i \neq 0$

Minimal ada satu perlakuan suplementasi *Sargassum* sp. *low molecular weight fucoidan* (LMWF) pada pakan memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap *total haemocyte count* (THC) udang vaname (*Litopenaeus vanamei*).

b. *Aktivitas Fagositosis* (AF)

H1: semua  $\tau_i = 0$

Suplementasi *Sargassum* sp. *low molecular weight fucoidan* (LMWF) pada pakan tidak memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap *aktivitas fagositosis* (AF) udang vaname (*Litopenaeus vanamei*).

H1: minimal ada satu  $\tau_i \neq 0$

Minimal ada satu perlakuan suplementasi *Sargassum* sp. *low molecular weight fucoidan* (LMWF) pada pakan memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap *aktivitas fagositosis* (AF) udang vaname (*Litopenaeus vanamei*).

c. *Indeks Fagositosis* (IF)

H1: semua  $\tau_i = 0$

Suplementasi *Sargassum* sp. *low molecular weight fucoidan* (LMWF) pada pakan tidak memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap *indeks fagositosis* (IF) udang vaname (*Litopenaeus vanamei*).

H1: minimal ada satu  $\tau_i \neq 0$

Minimal ada satu perlakuan suplementasi *Sargassum* sp. *low molecular weight fucoidan* (LMWF) pada pakan memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap indeks fagositosis (IF) udang vaname (*Litopenaeus vannamei*).

d. Total protein plasma (TPP)

H1: semua  $\tau_i = 0$

Suplementasi *Sargassum* sp. *low molecular weight fucoidan* (LMWF) pada pakan tidak memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap total protein plasma (TPP) udang vaname (*Litopenaeus vanamei*).

H1: minimal ada satu  $\tau_i \neq 0$

Minimal ada satu perlakuan suplementasi *Sargassum* sp. *low molecular weight fucoidan* (LMWF) pada pakan memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap total protein plasma (TPP) udang vaname (*Litopenaeus vannamei*).

e. *Survival Rate* (SR)

H1: semua  $\tau_i = 0$

Suplementasi *Sargassum* sp. *low molecular weight fucoidan* (LMWF) pada pakan tidak memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap tingkat kelangsungan hidup (SR) udang vaname (*Litopenaeus vannamei*).

H1: minimal ada satu  $\tau_i \neq 0$

Minimal ada satu perlakuan suplementasi *Sargassum* sp. *low molecular weight fucoidan* (LMWF) pada pakan memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap tingkat kelangsungan hidup (SR) udang vaname (*Litopenaeus vannamei*).

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Biologi Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*)

#### 2.1.1 Klasifikasi

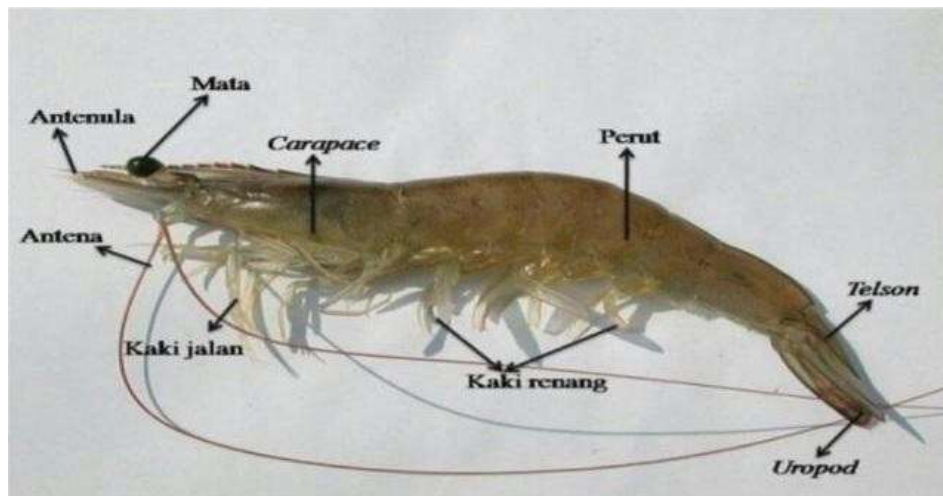
Klasifikasi udang vaname menurut Wyban & Sweeney (1991), sebagai berikut:

Kingdom	: Animalia
Filum	: Arthropoda
Subfilum	: Crustacea
Kelas	: Malacostraca
Subkelas	: Eumalacostraca
Ordo	: Decapoda
Subordo	: Dendrobrachiata
Famili	: Penaeidae
Genus	: <i>Penaerus</i>
Subgenus	: <i>Litopenaeus</i>
Spesies	: <i>Litopenaeus vannamei</i>

#### 2.1.2 Morfologi

Menurut Cahyani (2021), udang vaname mempunyai tubuh berwarna putih transparan (*white shrimp*), tetapi ada pula yang berwarna kebiruan, panjang tubuh udang vaname bisa mencapai 23 cm. Tubuh vaname dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian bagian kepala (*thorax*) dan perut. Bagian kepala udang vaname terdiri dari antenula, antenna, mandibula, dua pasang *maxillae*. Tiga pasang *maxilliped*, dan lima

pasang kaki jalan dibagian kepala. Kepala udang vaname juga dilengkapi dengan tiga pasang maxilliped dan lima pasang kaki berjalan (*periopoda*) atau kaki sepuluh (*decapoda*). *Maxiliped* sudah mengalami modifikasi dan berfungsi sebagai organ untuk makan. *Endopodite* kaki berjalan menempel pada *chepalothorax* yang dihubungkan oleh *coxa*. Sedangkan pada bagian perut (*abdomen*) udang vaname terdiri dari enam ruas dan pada bagian abdomen terdapat lima pasang kaki renang dan sepasang *uropoda* (mirip ekor) yang membentuk kipas bersama-sama *telson*. Udang vaname dicirikan oleh adanya gigi pada *rostrum* bagian atas dan bawah, mempunyai dua gigi di bagian ventral dari *rostrum* dan gigi 8-9 di bagian dorsal serta mempunyai antena panjang. Morfologi udang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Morfologi udang vaname  
Sumber: Akbaidar, 2013

Menurut Jiang et al., (2000) ada beberapa sifat-sifat penting yang dimiliki udang vaname, antara lain aktif pada kondisi gelap (*nocturnal*), dapat hidup pada salinitas lebar (*euryhaline*) dan tumbuh pada salinitas 15-30 ppt. Selain itu juga udang vaname dapat memangsa jenis (kanibal), tipe pemakan lambat tetapi terus menerus, menyukai hidup di dasar (bentik) dan mencari makan lewat organ sensor (*chemoreceptor*). Seperti hewan arthropoda lainnya, udang vaname juga mengalami molting. Pada fase larva, molting terjadi setiap 30-40 jam pada 28°C. Juvenil udang

ukuran 1–5 gram akan molting setiap 4-6 hari, tetapi udang berukuran 15 gram akan molting setiap 2 minggu.

### **2.1.3 Habitat Udang Vaname**

Menurut (Wyban & Sweeney., 1991; Anggi et al., 2022) Habitat udang dapat berbeda-beda tergantung dari jenis dan persyaratan dari tingkatan dalam daur hidup udang. Pada umumnya udang bersifat bentis dan hidup di permukaan dasar la-ut. Habitat yang sangat disukai udang yaitu bagian dasar laut (*soft*) yang bercampur dengan lumpur berpasir. Secara rinci, induk udang putih ditemukan diperairan lepas Pantai pada kedalaman berikisar 70-72 meter. Karena udang putih menyukai daerah yang dasar perairannya berlumpur. Udang putih mempunyai dua sifat hidup yaitu *catadromus* atau dua lingkungan. Pada kondisi ini udang dewasa akan memijah di laut terbuka, akan tetapi setelah menetas, larva udang putih akan bermigrasi ke daerah pesisir atau daerah mangrove atau biasa disebut daerah *estuarine*, tempat *nursery ground*. Dan setelah udang dewasa maka akan bermigrasi ke laut untuk melakukan kegiatan pemijahan seperti pematangan gonad dan perkawinan.

### **2.1.4 Siklus Hidup Udang Vaname**

Menurut (Wyban & Sweeney., 1991; Santika et al., 2024) siklus hidup udang vaname dimulai pada saat telur difertilisasi dan lepas dari tubuh induk betina, kemudian akan mengalami ber-bagai macam tahap, yaitu : *Naupli*, *Zoea*, *Mysis* dan post *Larva*. Daerah penyebaran alami udang vaname adalah lautan Pasifik sebelah barat Mexixo, Amerika Tengah dan Amerika Selatan. Permintaan benih udang (benur) vaname semakin meningkat seiring dengan meningkatnya produksi pada kegiatan pembesaran vaname untuk memenuhi kebutuhan ekspor maupun impor. Ketersediaan benih yang berkualitas adalah salah satu faktor penentu keberha-silan budidaya udang vaname (Rasuliyanasari & Diniariwisan, 2024).

## 2.2 Respon Imun Udang

Imunitas merupakan ketahanan atau resistensi terhadap penyakit terutama pada infeksi. Sistem imun merupakan hasil antara sel, molekul-molekul dan jaringan yang memiliki peran dalam melakukan aktifitas ketahanan terhadap infeksi (Ismawati et al., 2020). Secara umum sistem pertahanan tubuh udang dibagi menjadi dua bagian yaitu sistem pertahanan tubuh seluler dan sistem pertahanan tubuh humoral. Sistem pertahanan tubuh seluler meliputi fagosit sel-sel hemosit, nodulasi dan encapsulasi. Sedangkan, sistem pertahanan tubuh humoral mencakup *phenoloksidase* (PO), *prophenoloksidase* (proPO), *lectin* dan *agglutinin* (Darwantin et al., 2016). Organ limfoid udang berperan penting dalam mengoordinasi respons imun. Pada saat terpapar patogen bakteri seperti *Vibrio parahaemolyticus*, organ ini akan memperlihatkan aktivasi luas terhadap reseptor pengenalan pola (*pattern recognition receptors*), sistem pengaktifan proPO, gen-gen terkait fagositosis, dan efektor imun lainnya. Sebaliknya, saat menghadapi infeksi virus seperti *White Spot Syndrome Virus* (WSSV), respons imun justru tampak terhambat atau ditekan pada tahap awal infeksi (Wang et al., 2021).

Selain itu, peningkatan imunitas udang yang disebabkan oleh suplementasi *Sargassum* sp. LMWF juga berkaitan dengan perbaikan sistem antioksidan dan stabilitas tubuh. *Sargassum* sp. LMWF mampu meningkatkan aktivitas enzim antioksidan seperti *superoxide dismutase* (SOD) dan *glutathione peroxidase* (GPx), sehingga mampu menekan akumulasi radikal bebas yang biasanya meningkat udang mengalami atau infeksi patogen (Liu et al., 2023). Dengan meningkatnya fungsi pertahanan fisik dan biokimia, udang yang diberi suplementasi LMWF biasanya menunjukkan tingkat kelangsungan hidup (*Survival rate*) yang lebih tinggi setelah tantangan patogen. Beberapa studi membuktikan bahwa suplementasi fukoidan dapat menurunkan tingkat mortalitas hingga 30–60% dibandingkan kontrol (Lee et al., 2024).

### 2.3 Imunostimulan

Udang vaname seperti *L. vannamei* bergantung sepenuhnya pada imunitas non-spesifik (*innate immunity*) termasuk hemosit, sistem *prophenoloxidase* (proPO), dan antimikroba sebagai garis pertahanan utama terhadap patogen lingkungan (Kumar et al., 2023). Imunostimulan alami dari alga laut, khususnya fukoidan dari genus *Sargassum*, dapat meningkatkan parameter imun non-spesifik dan berpotensi menjadi alternatif ramah lingkungan pengganti pada budidaya udang (Khanzadeh et al., 2024). Menurut (Li et al., 2023) mengatakan bahwa *Low Molecular Weight Fucoidan* (LMWF) cenderung memiliki aktivitas imunomodulator lebih tinggi dibandingkan fraksi bermolekul lebih besar, melalui aktivasi sel fagositik dan peningkatan produksi sitokin/mediator imun. Pada *L. vannamei*, suplementasi diet dengan fukoidan dari *Sargassum* diketahui dapat meningkatkan jumlah hemosit sirkulan, aktivitas fenoloksidase, kemampuan fagositik, dan ekspresi beberapa gen efektor imun parameter yang menunjukkan peningkatan kesiagaan imun bawaan. Peningkatan parameter imun tersebut umumnya berasosiasi dengan peningkatan tingkat kelangsungan hidup setelah tantangan bakteri *Vibrio* spp. (Sinurat et al., 2016).

Sebagai imunostimulan alami, fukoidan bermolekul rendah dari *Sargassum* memiliki kemampuan unik untuk memicu respons pertahanan udang tanpa memberikan beban tambahan pada tubuhnya. Berbeda dengan bahan sintesis, LMWF bekerja dengan cara menstimulasi mekanisme imun yang memang sudah dimiliki udang, sehingga efek yang diberikan lebih aman dan selaras dengan fisiologi alaminya. Ketika LMWF masuk melalui pakan, senyawa ini membantu dalam membangunkan sistem imun bawaan, sehingga hemosit lebih cepat aktif, jalur proPO dan proses pengenalan patogen berlangsung lebih efisien (Setyawan et al., 2018). Karena imunostimulan alami ini tidak bersifat toksik dan tidak patogenik, serta dapat meningkatkan efisiensi udang secara berkelanjutan, maka penggunaan *Sargassum* sp. sebagai sumber imunostimulan menjadi strategi yang sangat strategis dalam sistem budidaya intensif yang berkelanjutan (Muahiddah & Diamahesa, 2022).

## 2.4 Klasifikasi dan Morfologi *Sargassum* sp.

Adapun klasifikasi *Sargassum* sp. menurut (Atmadja et al., 1996) sebagai berikut:

Filum	: Ochrophyta
Kelas	: Pheophyceae
Ordo	: Fucales
Famili	: Sargassaceae
Genus	: <i>Sargassum</i>
Spesies	: <i>Sargassum</i> sp.

Thallus *Sargassum* berdiri tegak dari holdfast berbentuk *discoid* atau *shieldlike* yang melekat pada substrat (pada spesies bentik), sedangkan pada spesies holopelagik (seperti *S. natans* dan *S. fluitans*) *holdfast* tidak berkembang dan thallus mengapung bebas, dari holdfast tumbuh satu atau beberapa stipe utama (*axis*), yang bercabang membentuk cabang primer dan sekunder yang menopang *phylloid* (daun) dan vesikula (*pneumatocyst*) (Villa et al., 2007). *Phylloid Sargassum* biasanya berbentuk pipih dengan tepi bergigi halus atau berduri tergantung spesiesnya. Vesikula gas berbentuk bulat atau oblong melekat pada batang oleh pedisel kecil beberapa morfotipe seperti *S. natans I* memiliki vesikula berpuncak dengan duri kecil sebagai tanda pem-beda morfologi utama dibandingkan *S. fluitans III* yang vesikulanya halus (Siuda et al., 2024).

## 2.5 Ekpresi Gen Imun

Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) merupakan organisme akuatik yang hanya memiliki sistem imun bawaan (*innate immunity*) tanpa sistem imun adaptif seperti pada vertebrata, sehingga mekanisme pertahanan tubuhnya sangat bergantung pada respon imun nonspesifik yang dimediasi oleh sel hemosit dan molekul efektor imun (Tassanakajon et al., 2013). Sistem imun bawaan pada udang bekerja melalui mekanisme pengenalan molekul patogen yang dikenal sebagai *pathogen-associated*

*molecular patterns* (PAMPs) oleh protein pengenal pola atau *pattern recognition proteins* (PRPs) (Amparyup et al., 2013). Aktivasi PRPs tersebut akan memicu berbagai jalur respon imun yang melibatkan perubahan ekspresi gen imun sebagai bagian dari mekanisme pertahanan terhadap infeksi patogen (Li et al., 2019). Oleh karena itu, analisis ekspresi gen imun sering digunakan sebagai indikator molekuler untuk mengevaluasi aktivasi sistem imun pada udang yang mengalami stres lingkungan atau paparan patogen (Wang & Wang, 2013). Salah satu gen yang berperan penting dalam sistem imun udang adalah *lipopolysaccharide* and  $\beta$ -1,3-glucan binding protein (LGBP) yang berfungsi sebagai protein pengenal pola dalam sistem imun bawaan krustasea (Vargas & Yepiz, 2000). Selain LGBP, gen lectin juga merupakan komponen yang bekerja dalam sistem imun udang karena berfungsi sebagai molekul pengenal karbohidrat pada permukaan patogen (Luo et al., 2023). Lectin dapat berikatan secara spesifik dengan struktur karbohidrat tertentu pada dinding sel mikroorganisme sehingga memicu proses aglutinasi dan opsonisasi patogen (Amparyup et al., 2013). Gen lain yang memiliki peran penting dalam sistem imun udang adalah *prophenoloxidase* (proPO) yang merupakan komponen utama dalam sistem melanisasi pada krustasea (Cerenius & Soderhall, 2016). Sistem proPO berfungsi menghasilkan enzim *phenoloxidase* (PO) yang berperan dalam pembentukan melanin untuk mengisolasi dan menghancurkan patogen yang masuk ke dalam tubuh udang (Wang & Wang, 2013). Aktivasi sistem proPO biasanya dipicu oleh pengenalan patogen melalui protein pengenal pola seperti LGBP dan lectin (Tassanakajon et al., 2013). Peningkatan ekspresi gen proPO sering dikaitkan dengan peningkatan aktivitas respon imun nonspesifik seperti fagositosis dan enkapsulasi patogen oleh hemosit (Li et al., 2019).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Tempat

##### 3.1.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus hingga Desember 2025.

##### 3.1.2. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Budidaya Perikanan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

#### 3.2 Bahan dan Alat

##### 3.2.1 Bahan

Adapun Bahan yang akan digunakan pada penelitian kali ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Bahan yang digunakan beserta konsentrasi, merk, dan fungsinya

No	Nama Bahan	Konsentrasi	Merek	Fungsi
1	Udang vaname	5 g	PT. Citra Pertiwi Bahary	Hewan yang akan diuji.
2	<i>Sargassum sp</i>	1 dan 1,5 g	-	Menghasilkan Fukoidan.
3	HCL	0,1 N dan 0,2 N	Merck	Bahan tahap maserasi.
4	Etanol Teknis 96%	96%	Smart Lab	Bahan tahap maserasi.
5	Disinfektan	-	Life Jacket	Pergantian air sebagai media hidup

Tabel 1. Bahan yang digunakan beserta konsentrasi, merk, dan fungsinya (lanjutan)

No	Nama Bahan	Konsentrasi	Merek	Fungsi
6	Pakan komersil	-	PT. Central Proteina Prima (CP Prima)	Pakan yang kan dicampurkan dengan fucoidam <i>Sargassum</i> sp.
7	Progol	-	Booster Progol	Perekat pakan.
8	Pospate Bufer Saline	-	Bioneer Pospate Bufer Saline	Bahan pengenceran.
9	EDTA	10%	Merck	Pengujian THC.
10	NaCl	0,9%	Merck	Membilas preparate AF.
11	Formalin 1%	1%	Merck	Pelemah bakteri.
12	Giemsa 10%	10%	Sigma	Pewarnaan Uji THC.
13	Bovine Serum Albumin	-	Sigma	Standar uji THC.
14	Reagen Bradford	-	Bio-Rad	Pengujian TPP.

### 3.2.2 Alat

Adapun alat yang akan digunakan pada penelitian kali ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Alat penelitian beserta spesifikasi dan fungsinya.

No	Nama Alat	Dimensi/ukuran	Merek	Fungsi
1	Kontainer	60 L	-	Wadah pemeliharaan udang.
2	Selang aerasi	-	-	Menyalurkan aerasi ke titik yang diinginkan.
3	Batu aerasi	-	-	Meningkatkan level optimal oksigen pada kontainer.
4	Blower	-	Resun LP-60	Menaikkan atau memperbesar tekanan udara atau gas yang akan dialirkan.
5	Plastik hitam	-	-	Untuk mengambil udang.
6	Waring	-	-	Menutup permukaan bak uji dan tandon.
7	Syringe 1 cc	1 cc	Smart Lab	Pengambilan sampel <i>Hemolymph</i> .
8	Tabung Eppendorf	1,5 ml	Eppendorf	Untuk menyimpan darah dan pengenceran.

Tabel 2. Alat penelitian beserta spesifikasi dan fungsinya (lanjutan)

No	Nama Alat	Dimensi/ukuran	Merek	Fungsi
9	Timbangan digital	0,01	Ohaus	Untuk menimbang bahan yang akan digunakan.
10	Spatula	-	Pyrex	Mengambil bahan saat proses menimbang.
11	Gelas ukur	-	Pyrex	Untuk mengukur volume larutan yang digunakan.
12	Autoklaf	121°C	Hirayama	Mensterilkan alat dan bahan uji.
13	Erlenmeyer	-	Pyrex	Pencampuran larutan dan bahan, menyimpan media.
14	Centrifuge	3.500 rpm	Joan Lab	Memisahkan partikel-partikel (sel atau protein) berdasarkan berat molekul (endapan).
15	Spekrofotometer	$\lambda$ 630 nm	Genesys 20	Mengukur absorbansi uji.
16	Botol spray	-	-	Mencampurkan larutan fukoidan dan pakan.
17	Kertas Whatman	-	Whatman	Menyaring hasil maserasi.
18	Evaporator	-	-	Mengavaporasi ekstrak.
19	Waterbath	60°C	-	Menciptakan kondisi konstan dan menginkubasi.
20	Tabung Falcon	-	Corning	Wadah proses sentrifus.
21	Oven	-	-	Mengeringkan ekstrak.
22	Haemocytometer	-	Neubauer	Mengamati darah untuk uji THC.
23	Mikroskop	40-400x	Olympus CX23	Pengamatan.
24	Pipet Tetes	10–1000 $\mu$ L	Eppendorf	Meneteskan larutan.
25	Kaca preparat	-	-	Membuat preparat.
26	Cover Glass	-	-	Menutup objek dikaca preparat.
27	Shacker	-	-	Menghomogenkan larutan.
28	Elisa Reader	-	Bio-Rad	Mendeteksi absorbansi sampel pada microtiter plate.
29	Mikropipet	-	Eppendorf	Memindahkan larutan.
30	Mikroplate	-	-	Wadah uji TPP.
31	Vortex	-	-	Menghomogenkan larutan.

Tabel 2. Alat penelitian beserta spesifikasi dan fungsinya (lanjutan)

No	Nama Alat	Dimensi/ukuran	Merek	Fungsi
32	Corong Kaca	-	-	Membantu proses ekstraksi dan pengenceran.
33	Refraktometer	-	-	Mengukur kadar atau konsentrasi bahan terlarut berdasarkan indeks biasnya.

### 3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode rancangan acak lengkap (RAL) yang terdiri dari 4 perlakuan dan 3 ulangan. Perlakuan yang digunakan yaitu:

P1 : Pemberian pakan komersil dengan tanpa penambahan *fucoidan* atau LMWF.

P2 : Pemberian pakan komersil dengan penambahan *fucoidan* 1 g/kg pakan.

P3 : Pemberian pakan komersil dengan penambahan LMWF 1 g/kg pakan.

P4 : Pemberian pakan komersil dengan penambahan LMWF 1,5 g/kg pakan.

Model linier yang digunakan pada rancangan acak lengkap menurut Gaspersz, (1991):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Keterangan :

$Y_{ij}$  = Hasil pengamatan pada perlakuan ke-i dan ulangan ke-j

$\mu$  = Rataan umum

$\tau_i$  = Perlakuan pengaruh ke-i

$\epsilon_{ij}$  = Pangaruh faktor random pada perlakuan

Berikut gambar susunan rancangan penelitian pada Gambar 3.



Gambar 3. Tata letak wadah penelitian

Keterangan:

P1.1, P1.2, P1.3 : Perlakuan P1 dan ulangan 1,2,3

P2.1, P2.2, P2.3 : Perlakuan P2 dan ulangan 1,2,3

P3.1, P3.2, P3.3 : Perlakuan P3 dan ulangan 1,2,3

P4.1, P4.2, P4.3 : Perlakuan P4 dan ulangan 1,2,3

### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Ekstraksi Fukoidan dari *Sargassum* sp.

Ekstrak fukoidan didapatkan dengan mengikuti prosedur yang dilakukan (Muahiddah & Isnansetyo, 2024). Sampel rumput laut dikeringkan menggunakan sinar matahari langsung, kemudian dihaluskan dengan menggunakan blender sampai menjadi bubuk kemudian dimaserasi dengan menggunakan etanol 96% selama 2 hari. Selanjutnya diganti dengan larutan HCl 0,1 N selama 24 jam. Ekstrak yang diperoleh, dipisahkan dari filtrat, kemudian rumput laut diekstrak ulang. Ekstraksi dilanjutkan dengan menggunakan larutan 0,2 N HCl selama 24 jam. Ekstrak yang diperoleh dijadikan satu, kemudian disaring terlebih dahulu dengan menggunakan kertas saring *whatman*. Selanjutnya dipekatkan menggunakan evaporator. Setelah tahap evaporasi, ekstrak dipresipitasi dengan etanol 95% dingin dan dilanjutkan dengan sentrifugasi dengan kecepatan 3.500 rpm selama 15 menit. Supernatan dibuang dan pelet dilarutkan dalam akuades pH 2, kemudian dilakukan presipitasi kembali menggunakan

CaCl<sub>2</sub> dan disentrifugasi kembali dengan kecepatan 3.500 rpm selama 15 menit. Supernatan diambil dan pelet dibuang. Fukoidan kemudian dipresipitasi dengan etanol 96% dingin lalu disentrifugasi untuk diambil peletnya. Pelet hasil sentrifugasi dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C selama ± 2 hari.

### **3.4.2 Pembuatan *Low Molecular Weight Fucoïdan* (LMWF)**

Pembuatan LMWF mengacu pada penelitian Setyawan et al., (2025) melaporkan bahwa dilarutkan fukoidan kering hasil ekstraksi dalam buffer pH 7,0 hingga mencapai konsentrasi 1 mg/mL, ditambahkan 100 µL supernatan bakteri simbion (*Cytobacillus kochii* GSD) yang mengandung enzim fukoidanase aktif. Dicampurkan perlahan menggunakan magnetic stirrer dan dilakukan pengadukan dengan menggunakan *shaker* pada suhu ruang selama 48 jam dengan pengadukan ringan (100–200 rpm) agar reaksi berlangsung homogen dan enzim tetap aktif. Selama proses pengadukan, fukoidan akan terdegradasi secara enzimatik menjadi oligosakarida fukoidan (OS-fukoidan) yang menghasilkan *low molecular weight fucoïdan* (LMWF) dalam bentuk cair. Menurut Putri, (2025) menunjukkan bahwa aktivitas enzim fukoidanase tertinggi terjadi pada inkubasi 72 jam, yang ditandai dengan diameter zona bening terbesar. Hal ini mengindikasikan bahwa produksi enzim berada pada kondisi optimum pada waktu tersebut. Namun demikian, inkubasi selama 48 jam juga menunjukkan aktivitas enzim yang relatif tinggi dan tidak berbeda jauh dengan 72 jam. Oleh karena itu, penggunaan waktu 48 jam masih dapat dipertimbangkan sebagai waktu optimum, karena lebih efisien serta tetap mampu menghasilkan degradasi *fucoïdan* menjadi LMWF secara efektif tanpa risiko degradasi berlebih.

### **3.4.3 Persiapan Wadah dan Hewan Uji Penelitian**

Wadah penelitian yang digunakan berupa kontainer berkapasitas 60 L yang dibersihkan dengan cara menyikat dan membilas dinding serta perlengkapannya, Wadah pemeliharaan dilengkapi dengan aerasi untuk menjaga kondisi air optimal. Setelah itu, wadah diisi air laut sebanyak 45 L yang telah disesuaikan salinitas, suhu, dan

pHnya, lalu distabilkan selama beberapa hari sambil dilakukan pengecekan parameter kualitas air. Hewan uji yang digunakan yaitu udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) dengan berat 5 g yang berasal dari PT. Citra Pertiwi Bahari Hatchery, Desa Suak melalui tahap adaptasi sebelum dimasukkan ke dalam wadah penelitian. Dalam satu kontainer diisi berkisar 10 ekor udang.

#### **3.4.4 Persiapan Pakan**

Persiapan pakan uji dengan preparasi pakan dengan cara disemprotkan dengan ekstrak fukoidan *Sargassum* sp. yang kemudian dikering anginkan, selanjutnya pakan siap diberi ke hewan uji, pemberian pakan sehari sebanyak 2,5 g perkontainer berdasarkan perhitungan berat rata-rata per ekor udang (gram) yang diukur selama periode budidaya (ABW).

#### **3.4.5 Pemeliharaan Hewan Uji**

Udang dipelihara selama 14 hari. Pakan yang digunakan pada penelitian ini adalah pakan komersil. Pemberian pakan dilakukan sebanyak 4 kali sehari yaitu pukul 07:00, 11:00, 15:00 dan 19:00 WIB.

#### **3.4.6 Pengambilan Sampel Udang**

Pengambilan sampel udang pada penelitian kali ini sebanyak 3 kali yaitu pada hari ke-0, hari ke-7, dan hari ke-14. Dalam pengambilan sampel diambil 3 ekor udang untuk mengambil *haemolymph* pada udang. Menurut Moullac & Haffner (2000) cara mengambil *haemolymph*, jarum dibilas menggunakan larutan antikoagulan (EDTA 10%). *Haemolymph* diambil sebanyak 0,2 ml dari ventral sinus pada pangkal ruas tubuh pertama menggunakan *syringe* 1 ml. Kemudian *haemolymph* dimasukkan ke dalam *microtube* yang sudah dibilas dengan antikoagulan dan disimpan dalam *cool box*.

### 3.5 Parameter

#### 3.5.1 *Total Haemocyte Count (THC)*

Perhitungan total hemosit didasarkan pada prosedur yang telah dilakukan penelitian sebelumnya menurut (Andrianti & Baihani, 2022). *Haemolymph* segar yang diperoleh (10  $\mu$ l) diencerkan menggunakan *phosphate buffer saline* (PBS) (20  $\mu$ l), lalu sampel yang telah diencerkan diambil menggunakan mikropipet dan diletakkan di atas permukaan *hemocytometer* pada bilik tengah dan diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 40x. Perhitungan yang digunakan untuk THC dilakukan dengan prosedur Compa-Courdova et al., (2002) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{THC} = \sum \text{Sel} \times \frac{1}{\text{Vol. dihitung}} \times \text{FP}$$

Keterangan:

THC = *Total haemocyte count*

FP = Faktor pengenceran

#### 3.5.2 *Aktivitas Fagositosis/Indeks Fagositosis*

Aktivitas fagositosis (AF) dan indeks fagositosis (IF) diuji berdasarkan pada penelitian Siwicki et al., (1994) yang dimodifikasi. Sampel hemolim segar (20  $\mu$ L) disuspensi dengan *Staphylococcus aureus* dan dibentuk dalam preparat ulas dan difiksatif menggunakan methanol. Preparat dicat menggunakan Giemsa 10% selama 20 menit. AF dan IF didapatkan dengan menggunakan rumus sebagaimana digunakan pada penelitian sebelumnya (Kawahara et al., 2009) sebagai berikut:

$$\text{AF}(\%) = \frac{\text{Jumlah sel fagosit aktif}}{\text{Jumlah sel yang diamati}} \times 100\%$$

$$\text{IF} = \frac{\text{Jumlah sel fagosit aktif}}{\text{Jumlah total bakteri yang dimakan}}$$

Keterangan:

AF = *Aktivitas fagositosis*

IF = *Indeks fagositosis*

### 3.5.3 Total Protein Plasma (TPP)

Prosedur perhitungan TPP pada udang, dilakukan dengan cara yaitu, *haemolymph* sebanyak 15  $\mu$ l disentrifuge 750 rpm selama 10 menit, lalu supernatan diambil sebanyak 5  $\mu$ l dalam 96 well microplate dan ditambahkan 250  $\mu$ l reagen *bradford* dan diinkubasi selama 10 menit. Selanjutnya, pengukuran kadar protein pada panjang gelombang 630 nm menggunakan *microplate reader* (Setyawan et al., 2018). Standar kadar protein dibuat dengan menggunakan *bovine serum albumin* (BSA) pada konsentrasi yang berbeda (0; 50; 100; 150; dan 200 mg/mL).

### 3.5.4 Ekspresi Gen Imun

Dalam penelitian ini terdapat tiga gen imun yang diamati yaitu LGBP (*lipopolysaccharide and  $\beta$ -1,3-glucan binding protein*), *prophenoloxidase* (proPO) dan lectin. Masing-masing gen diamati dan dibandingkan dengan *housekeeping gene* sebagai kontrol internal. Primer masing-masing gen terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Primer gen imun udang vaname

Gen	Primer	Sekuen(5'-3')	Accession	Referensi
LGBP	Liva LGBP qPCR F	CGG CAA CCA GTA CGG AGG AAC	EU102286	Chen et al (2015)
	Liva LGBP qPCR R	GTG GAA ATC ATC GGC GAA GGA G		
proPO	proPO-F	TTCAACGGTAGACCCGTGATTCTTC	AY723296	Wang (2007)
	proPO-R	TCTTGCCGGGTTAAGGTGAACAGT		
Lectin	Lectin V-F	TTT GTA AAC AAC AGG CAG TTC CAC	EF583939	Subaidah (2013)
	Lectin V-R	CTG TCT TTC ATC AGA ATG CTA CCT C		
$\beta$ -actin ( <i>internal control</i> )	Lvbac-F	CCT CCA CCA TGA AGA TCA AGATCA T	AF300705	Subaidah et al (2012)
	Lvbac-R	CAC TCC TGT GAA CAA TTG ATG GTC		

#### a. Isolasi RNA Hemolim

Metode isolasi RNA dilakukan dengan mengacu pada Schmittgen & Livak (2008) dengan beberapa penyesuaian. Sebanyak 50  $\mu$ L hemolim dicampurkan dengan 500  $\mu$ L larutan TRIzol, kemudian dihomogenkan dengan cara pipetting hingga homogen. Campuran tersebut dibiarkan pada suhu kamar selama sekitar 5 menit. Setelah itu, ditambahkan 100  $\mu$ L kloroform, dihomogenkan kuat selama  $\pm 5$  detik, dan kembali

diinkubasi pada suhu ruang selama 3 menit. Sampel kemudian disentrifugasi pada kecepatan 12.000 g selama 15 menit. Supernatan dipindahkan ke *microtube* 1,5 mL, kemudian ditambahkan 250  $\mu$ L isopropanol dan diinkubasi selama 15 menit. Sampel disentrifugasi pada kecepatan 12.000 g selama 10 menit. Supernatan ditaruh dalam *microtube* 1,5 mL, kemudian ditambahkan dengan etanol 75%, lalu disentrifugasi pada kecepatan 7.500 g selama 5 menit. Etanol dibuang dengan menggunakan *micropipette*, pellet RNA dikeringkan sebentar dan dilarutkan menggunakan 50–100  $\mu$ L nuclease-free water. Sampel RNA kemudian disimpan pada suhu  $-20^{\circ}\text{C}$ . Selanjutnya dilakukan pengukuran konsentrasi RNA ( $>100\text{ ng}/\mu\text{L}$ ) dan kemurnian RNA (1,5-2) sebanyak 1  $\mu\text{l}$  yang diteteskan menggunakan mikropipet di *NanoDrop 2000 spectrophotometer*.

#### b. Sintesis cDNA (*Reverse transcription*)

*Master mix* disiapkan dan ditambahkan 2  $\mu\text{L}$  RNA dengan konsentrasi 100  $\text{ng}/\mu\text{L}$  kemudian campuran dihomogenkan menggunakan *vortex*. Setelah campuran homogen, kemudian campuran direaksikan pada suhu  $42^{\circ}\text{C}$  selama 30 menit. Selanjutnya enzim *reverse transcriptase* diinaktivasi pada suhu  $94^{\circ}\text{C}$  selama 5 menit. Komposisi bahan untuk sintesis cDNA dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi bahan sintesis cDNA

Bahan	Volume ( $\mu\text{L}$ )
<i>Buffer AMV</i>	2,5
Enzim AMV <i>transcriptase</i>	0,125
<i>Mix reverse primer</i>	2
<i>nuclease free water</i>	5,875
Total	10,5

#### c. Real Time Quantitative PCR (qPCR)

Eksresi gen imun di analisis menggunakan qPCR mengikuti standar protocol qPCR. Bahan dan kondisi qPCR terdapat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Komposisi bahan qPCR

Bahan	Volume ( $\mu\text{L}$ )
KAPA SYBR FAST qPCR <i>kit master mix</i>	6,25
<i>Primer forward</i> (10 $\mu\text{M}$ )	0,25
<i>Primer reverse</i> (10 $\mu\text{M}$ )	0,25
ROX <i>low reference dye</i>	0,25
dH <sub>2</sub> O	10,5
Total	17,5

Tabel 6. Kondisi qPCR

Program	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	Waktu	Siklus
Pre-denaturasi	94	7'	1
Denaturasi	95	10''	
<i>Annealing</i>	60	30''	45
<i>Extention</i>	68	30''	
<i>Melting curve</i>	60-95	30'	1

### 3.5.5 Survival Rate (SR)

Parameter SR digunakan untuk mengetahui sejauh mana perlakuan tersebut mampu meningkatkan ketahanan tubuh udang terhadap stres lingkungan maupun infeksi patogen. Dengan demikian, semakin tinggi nilai SR maka semakin baik pula efektivitas perlakuan yang diberikan dalam mendukung kesehatan dan keberlangsungan hidup udang vaname. SR didapatkan dengan menggunakan rumus menurut (Wilke et al., 2025) sebagai berikut:

$$\text{SR (\%)} = \frac{\text{Jumlah udang hidup diakhir}}{\text{Jumlah udang hidup diawal}} \times 100\%$$

Keterangan:

SR = *Survival rate*

### 3.5.6 Kualitas Air

Pengukuran kualitas air dilakukan sebanyak 3 kali selama masa pemeliharaan, yaitu dilakukan pada hari ke-0, ke-7, dan ke-14. Pengukuran kualitas air yang dilakukan berupa suhu, pH, DO dan salinitas.

### 3.6 Analisis Data

Data respon imun non-spesifik yang diperoleh dianalisis menggunakan uji Anova (*analysis of variance*) dengan selang kepercayaan 95%, jika hasil menunjukkan adanya data yang tidak normal dan homogen maka akan diuji lanjut menggunakan Kruskal Walls. Apabila hasil menunjukkan berbeda nyata ( $P < 0,05$ ) maka akan diuji lanjut dengan uji Duncan pada tingkat kepercayaan 95%. Data parameter ekspresi gen, *survival rate*, dan kualitas air yang meliputi suhu, pH dan oksigen terlarut (DO) dianalisis secara deskriptif. Analisis deskriptif dilakukan dengan menyajikan data dalam bentuk tabel yang menunjukkan nilai rata-rata.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu, pemberian LMWF dalam pakan tidak menunjukkan berbeda nyata ( $P < 0,05$ ) dapat dilihat melalui perhitungan nilai *Total Haemocyte Count* (THC), aktivitas fagositosis, indeks fagositosis, dan perhitungan nilai TPP P3 berbeda nyata dengan P4 dan P1, serta ekspresi gen imun LGBP mengalami *upregulated* pada hari ke-7 dan mengalami *downregulated* pada hari ke-14, sedangkan *Lectin* pada penelitian ini mengalami *downregulated* pada hari ke-7 dan ke-14. Gen proPO pada hari ke-7 dan ke-14 mengalami *downregulated*. Tingkat kelangsungan hidup udang yang mencapai 100% pada seluruh perlakuan menunjukkan bahwa suplementasi LMWF aman digunakan dan mampu mempertahankan kondisi kesehatan udang selama masa pemeliharaan.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, perlu dilakukan uji tantang (*challenge test*) menggunakan patogen spesifik untuk mengevaluasi efektivitas LMWF dalam meningkatkan ketahanan udang terhadap penyakit secara nyata. Pengelolaan kualitas air, khususnya parameter pH, juga perlu dijaga dalam kisaran optimal agar energi metabolisme udang dapat difokuskan pada peningkatan sistem imun.

## DAFTAR PUSTAKA

- Atmadja, W. S., Kadi, A., Sulistijo., & Rachmaniar. (1996). Pengenalan jenis-jenis rumput laut Indonesia. Jakarta: Puslitbang Oseanologi-LIPI.
- Akbaidar, G.A. 2013. Penerapan Manajemen Kesehatan Budidaya Udang Vaname di Sentra Budidaya Udang Desa Sidodadi dan Desa Gebang Kabupaten Pesawaran. (Skripsi Tidak Terpublikasi). Universitas Lampung.
- Ale, M. T., Mikkelsen, J. D., & Meyer, A. S. (2011). Important determinants for fucoidan bioactivity : a critical review of structure-function relations and extraction methods for fucose-containing sulfated polysaccharides from. *Marine Drugs*, 9, 2106–2130. <https://doi.org/10.3390/md9102106>.
- Ambrosio, M. D., Santos, A. C., Alejo, A., Parola, A. J., & Costa, P. M. (2020). Light-mediated toxicity of porphyrin-like pigments from a marine polychaeta. *Marine Drugs*, 18(302), 1–14. <https://doi.org/doi:10.3390/md18060302>.
- Amparyup, P., Charoensapsri, W., & Tassanakajon, A. (2013). Prophenoloxidase system and its role in shrimp immune responses against major pathogens. *Fish and Shellfish Immunology*, 34, 990-1001.
- Andrianti, D.N., & Baihani. (2022). The effectiveness of white turmeric extract (*Curcuma zedoaria*) against the immune system of vannamei shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Journal of Fish Health*, 2(1), 14-23. [10.29303/jfn.v2i1.1130](https://doi.org/10.29303/jfn.v2i1.1130).
- Anggi, N., Yustiati, A., & Andriani, Y. (2022). Budidaya udang vaname pembesaran udang vannamei pada berbagai sistem akuakultur. *Journal of Fish Nutrition*, 2(1), 26–36. <https://doi.org/10.29303/jfn.v2i1.1130>.
- Back, C. R., Stennett, H. L., Williams, S. E., Wang, L., Gomez, J. O., Abdulle, O. M., Duffy, T., Neal, C., Mantell, J., Jepson, M. A., Hendry, K. R., Powell, D., Stach, J. E. M., Essex-lopresti, A. E., Willis, C. L., Curnow, P., & Race, P. R. (2023). A

new micromonospora strain with antibiotic activity isolated from the microbiome of a Mid-Atlantic Deep-Sea sponge. *Marine Drugs*, 21, 0–1.

- Bhassu, S., Shama, M., Tiruvayipati, S., S, T. C. C., Ahmed, N., & Yusoff, K. (2024). Microbes and pathogens associated with shrimps - implications and review of possible control strategies. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1–20. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1397708>.
- Cahyani, T.D. (2021). Isolasi dan identifikasi bakteri *Vibrio* sp. pada udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) yang dibudidayakan di desa buntun, kecamatan adipala, kabupaten Cilacap. (Skripsi Tidak Terpublikasi). Universitas Jendral Soedirman, Purwokerto.
- Cerenius, L., & Soderhall, K. (2016). Crustacean immunity and complement; a premature comparison. *American Zoologist*, 35(1), 60–67. <https://doi.org/DOI:10.2307/3884076>.
- Chadwick, M., Carvalho, L. G., Vanegas, C., & Dimartino, S. (2025). A comparative review of alternative fucoïdan extraction techniques from seaweed. *Marine Drugs*, 23(27), 1–36. <https://doi.org/doi.org/10.3390/md23010027>.
- Chen Y. Y., Chen J. C., Lin Y. C., Yeh S. T., & Huang C. L. (2015). White shrimp *Litopenaeus vannamei* that have received *Gracilaria tenuistipitata* extract show early recovery of immune parameters after ammonia stressing. *Marine Drugs* 13, 3606-3624.
- Chen, Y.Y., Chen, J.C., Kuo, Y.H., Lin, Y.C., Chang, Y.H., Gong, H.Y., & Huang, C.L. (2016). Lipopolysaccharide and b-1,3-glucan-binding protein (LGBP) bind to seaweed polysaccharides and activate the prophenoloxidase system in white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Developmental and Comparative Immunology* 55, 144-151. Doi: 10.1016/j.dci.2015.10.023.
- Cheng, W., Liu, C., Kuo, C., & Chen, J. (2005). Dietary administration of sodium alginate enhances the immune ability of white shrimp *Litopenaeus vannamei* and its resistance against *Vibrio alginolyticus*. *Fish & Shellfish Immunology*, 18, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2004.03.002>.
- Compa-Courdova, A.I., Hernandez-Saavedra, N.Y., Philippis, R.D., & Ascencio, F. (2002). Generation of superoxide anion and SOD activity in haemocytes and muscle of American white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as a response b-glucan and sulphated polysaccharide. *Fish and Shellfish Immunology*, 12, 353-366. Doi: 10.1006/fsim.2001.0377.

- Darwantin, K., Sidik, R., & Mahasri, G. (2016). Efisiensi penggunaan imunostimulan dalam pakan terhadap laju pertumbuhan, respon imun dan kelulushidupan. *Jurnal Biosains*, 18(2), 1–5.
- Ellen, J., Martin, G. G., Gerard, A. S., Hose, J. O. E., Martin, G. G., & Gerard, A. S. U. E. (2014). Scheme a decapod hemocyte classification and function cytochemistry, morphology, integrating. *Marine Biological Laboratory*, 178(1), 33–45.
- Fitton, J. H. (2011). Therapies from fucoidan ; multifunctional marine polymers. *Marine Drugs*, 9, 1731–1760. <https://doi.org/10.3390/md9101731>.
- Fredrick, W. S., & Ravichandran, S. (2012). Hemolymph proteins in marine crustaceans. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(6), 496–502. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(12\)60084-7](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(12)60084-7).
- Haggag, Y.A., Elrahman, A.A.A., Ulber, R., & Zayed, A. (2023). Fucoida in pharmaceutical formulations: a comprehensive review for smart drug delivery systems. *Marine Drugs*, 21(2), 1-23. <https://doi.org/10.3390/md21020112>
- Han, J. E., Tang, K. F. J., Tran, L. H., & Lightner, D. V. (2015). Photorhabdus insect-related (Pir) toxin-like genes in a plasmid of *Vibrio parahaemolyticus*, the causative agent of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) of shrimp. *Diseases of Aquatic Organisms*, 113(1), 33–40. <https://doi.org/10.3354/dao02830>.
- Hwang, P., Lin, H. V., Lin, H., & Lo, S. (2019). Dietary supplementation with low-molecular-weight fucoidan enhances innate and adaptive immune responses and protects against mycoplasma pneumoniae antigen stimulation. *Marine Drugs*. <https://doi.org/10.3390/md17030175>.
- Ismawati, I., Destryana, R. A., & Huzaimah, N. (2020). Imunitas udang vanname (*Litopenaeus vannamei*) yang diberi pakan tambahan daun kasembukan (*Paederia foetida* Linn.). *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 12(2), 201–206. <https://doi.org/10.21107/jk.v12i2.5998>.
- Iunes, R. S., Branco, P. C., Pressinotti, L. N., Carvalho, R. A. P. D. L. F. D., Roberto, J., & Silva, M. C. (2021). Does the heterotrophic system influence the cellular immune response of *Litopenaeus vannamei* shrimp? In vitro phagocytosis indices and superoxide anion production comparisons. *Fish & Shellfish Immunology Reports*, 2, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.fsirep.2021.100009>.

- Jiang, D.H., Lawrence, A.L., Neill, W.H., & Gong, H. (2000). Effects of temperature and salinity on nitrogenous excretion by *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 253, 193-209. doi.org/10.1016/S0022-0981(00)00259-8.
- Jia, Y., Sun, Y., Weng, L., Zhang, Q., Zhou, H & Yang, B. (2016). Low molecular weight fucoidan protects renal tubular cells from injury induced by albumin overload. *Scientific Reports*, 6, 1-10. doi:10.1038/srep31759.
- Kabrite, S., Bou-mitri, C., El, J., Fares, H., Hassan, H. F., & Boumosleh, J. M. (2019). Identification and dietary exposure assessment of tetracycline and penicillin residues in fluid mil, yogurt, and labneh: A cross-sectional study in Lebanon. *Veterinary World*, 12, 537–534. https://doi.org/10.14202/vetworld.2019.527-534.
- Kawahara, N., Shigematsu, K., Miyadai, T., & Kondo, R. (2009). Comparison of bacterial communities in fish farm sediments along an organic enrichment gradient. *Aquaculture*, 287, 107-113. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.10.003.
- Khanzadeh, M., Hoseinifar, S. H., Zargari, A., Tabibi, H., Van D, H., & Rabetimarghezar, N. (2024). Fucoidan derived from *Sargassum ilicifolium* affects growth and hemato-immunological parameters and antioxidant defense in Oscar (*Astronotus ocellatus*). *Frontiers in Marine Science*, 11, 1–16. https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1370871.
- Kitikiew, S., Chen, J., Putra, D. F., Lin, Y., Yeh, S., & Liou, C. (2013). Fucoidan effectively provokes the innate immunity of white shrimp *Litopenaeus vannamei* and its resistance against experimental *Vibrio alginolyticus* infection. *Fish and Shellfish Immunology*, 34(1), 280–290. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.11.016
- Kumar, S., Verma, A. K., Singh, S. P., & Awasthi, A. (2023). Immunostimulants for shrimp aquaculture: paving pathway towards shrimp sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(10), 25325–25343. https://doi.org/10.1007/s11356-021-18433-y.
- Lee, P., Trieu, H., Tran, Q., Huang, H., Nan, F., & Lee, M. (2024). *Sargassum horneri* extracts stimulate innate immunity, enhance growth performance, and upregulate immune genes in the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Fish and Shellfish Immunology*, 154(October), 109970. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109970.
- Li, C., Weng, S., & He, J. (2019). The two NF-κB pathways regulating bacterial and WSSV infection of shrimp. *Frontiers in Immunology*, 10, 1-10. https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.01785

- Li, R., Zhou, Q. L., Chen, S. T., Tai, M. R., Cai, H. Y., Ding, R., Liu, X. F., Chen, J. P., Luo, L. X., & Zhong, S. Y. (2023). Chemical characterization and immunomodulatory activity of fucoidan from *Sargassum hemiphyllum*. *Marine Drugs*, 21(1). <https://doi.org/10.3390/md21010018>.
- Liu, M., Liu, S., & Liu, H. (2021). Reports recent insights into hematopoiesis in crustaceans. *Fish & Shellfish Immunology Reports*, 2, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.fsirep.2021.100040>
- Liu, S., Wang, Q., Shao, Z., Liu, Q., He, Y., Ren, D., Yang, H., & Li, X. (2023). Purification and characterization of the enzyme fucoidanase from cobetia amphilecti utilizing fucoidan from. *Foods*.
- Liu, S., Zheng, S., Li, Y., Li, J., & Liu, H. (2020). Hemocyte-mediated phagocytosis in crustaceans. *Frontiers in Immunology*, 11, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.00268>
- Luo, J., Chen, Y., Huang, Y., Feng, J., Yuan, Y., Jian, J., Cai, S., & Yang, S. (2023). A novel C-type lectin for *Litopenaeus vannamei* involved in the innate immune response against *Vibrio* infection. *Fish and Shellfish Immunology*, 135, 1-9.
- Luo, P., & Liu, H. (2025). A comprehensive review of preparation and pharmacology of low molecular weight fucoidan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 311, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.143976>.
- Martin, L., Joaquim, A., Costa, M., Pinheiro, R., Ricardo, A., & Mendes, S. (2019). Galloyl - Hexahydroxydiphenoyl (HHDP) - Glucose Isolated From *Punica granatum* L . Leaves Protects Against Lipopolysaccharide (LPS) -Induced Acute Lung Injury in BALB / c Mice. *Frontiers in Immunology*, 10, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.01978>
- Moullac, G. Le, & Haffner, P. (2000). Environmental factors affecting immune responses in Crustacea. *Aquaculture*, 121–131.
- Muahiddah, N & Diamahesa, W. A. (2022a). Potential use of brown algae as an immunostimulant material in the aquaculture field to increase non-specific immunity and fight. *Journal of Fish Health*, 2, 109–115.
- Muahiddah, N., & Diamahesa, W, A. (2022b). Pengaruh imunostimulan dari bahan-bahan alami pada ikan dalam meningkatkan imun non-spesifik untuk melawan penyakit. *Jurnal Ilmu Perikanan Air Tawar*, 3(2), 37–44.
- Muahiddah, N., & Isnansetyo, A. (2024). Pemberian fucoidan secara oral dari hasil ekstraksi *Sargassum* sp. untuk menanggulangi *Motile Aeromonas Septicemia*

- pada ikan lele (*Clarias* sp.). *Jurnal Riset Akuakultur*, 18(3), 197–206.  
<https://doi.org/10.15578/jra.18.3.2023.197-206>.
- Nisa, A. C., Jatayu, D., & Abadi, R. F. (2023). Kinerja produksi budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) sistem intensif di PT. Pendawa Senajaya Kabupaten Situbondo. *Buletin Jalanidhitah Sarva Jivitam*, 5(2), 139–147.
- Patel, J.K., Parmar, P.V., Alwinpeter, M., Bajaniya, V.C., Chavda, V.M., Parmar, H.V., Nanjiyani, R.P., Rathod, V.J & Khoraba M.P. (2025). Effect of fucoidan extracted from the brown seaweed, *Sargassum johnstonii* on growth, survival, immune response and disease resistance to *vibrio parahaemolyticus* in *Penaeus vannamei* Boone, 1931. *International Journal of Agriculture and Food Science*, 7(1), 258-267. doi:<https://doi.org/10.33545/2664844X.2025.v7.i1.d.266>
- Payung, C. N., & Manopo, H. (2015). Peningkatan respon kebal non-spesifik dan pertumbuhan ikan nila. *Jurnal Budidaya Perairan*, 3(1), 11–18.
- Piamsomboon, P., & Han, J. E. (2022). White feces syndrome, a multifactorial syndrome of cultured shrimp: a mini review. *Fishes*, 7(6), 1–9.  
<https://doi.org/10.3390/fishes7060339>.
- Rasuliyanasari, M., & Diniariwisan, D. (2024). Pembenuhan larva udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) Di Balai Produksi Induk Udang Unggul dan Keckerangan Karangasem, Bali. *Jurnal Vokasi Ilmu-Ilmu Perikanan (Jvip)*, 4(2), 168. <https://doi.org/10.35726/jvip.v4i2.7153>.
- Reyes, G., Betancourt, I., Andrade, B., Panchana, F., Román, R., Sorroza, L., Trujillo, L. E., & Bayot, B. (2022). Microbiome of *Penaeus vannamei* larvae and potential biomarkers associated with high and low survival in shrimp hatchery tanks affected by *Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease*. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.838640>.
- Putri, W.A. (2025). Uji optimasi derajat keasam (pH) terhadap pertumbuhan dan aktivitas enzim fucoidanase bakteri *Cytobacillus kochii* GSD. (Skripsi Tidak Terpublikasi). Universitas Lampung.
- Santianez, W. J. E., Lastimoso, J. M. L., Hoshino, M., Villafuerte, B. N. Q., Kogame, K., & Trono, G. C. (2023). Molecular-assisted taxonomic study on the *Sargassum C.Agardh* (Fucales, Phaeophyceae) in northwestern Luzon, Philippines Wilfred. *Algologie*, 44(7), 127–142.

- Santika, E., Marlian, N., Lubis, F., Zurba, N., & Isbah, F. (2024). Laju pertumbuhan udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) di Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Ujung Batee. *Journal of Aceh Aquatic Science*, 8(1), .
- Schmittgen, T., & Livak, K.J. (2008). Analyzing real-time PCR data by the comparative CT method. *Nature Protocols*, 3(6), 1101–1108. <https://doi.org/10.1038/nprot.2008.73>.
- Setyawan, A., Amiin, M. K., Fidyandini, H. P., Lahay, A. F., Yusup, M. W., Nurhalisa, A. A., Saputra, R. H., Putri, W. A., Juliasih, N. L. G. R., Rivaie, A. R., & Saputra, S. (2025). Environmental effect on the growth and enzyme activity. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 17(2), 438–452.
- Setyawan, A., Isnansetyo, A., Murwantoko, I. S., & Handayani, C. R. (2018). Comparative immune response of dietary fucoidan from three Indonesian brown algae in white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *AAFL Bioflux*, 11(6), 1707–1723.
- Setyawan, A., Lestari, K. I., & Adiputra, Y. T. (2024). Dietary padina fucoidan from Lampung waters to enhance immune response of Pacific white shrimp. *Journal of Tropical Marine Science*, 7(April), 64–70. <https://doi.org/doi.org/10.33019/jour.trop.mar.sci.v7i1.5180>
- Silchenko, A. S., Kusaykin, M. I., Kurilenko, V. V., Zakharenko, A. M., Isakov, V. V., Zaporozhets, T. S., Gazha, A. K., & Zvyagintseva, T. N. (2013). Hydrolysis of fucoidan by fucoidanase isolated from the marine bacterium, formosa algae. *Marine Drugs*, 11, 2413–2430. <https://doi.org/10.3390/md11072413>
- Sinurat, E., Saepudin, E., Peranginangin, R., & Hudiyono, S. (2016). Immunostimulatory activity of brown seaweed-derived fucoidans at different molecular weights and purity levels towards white spot syndrome virus (WSSV) in shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 6(10), 082–091. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2016.601011>.
- Siuda, A. N. S., Blanfuné, A., Dibner, S., Verlaque, M., Boudouresque, C. F., Connan, S., Goodwin, D. S., Stiger-Pouvreau, V., Viard, F., Rousseau, F., Michotey, V., Schell, J. M., Changeaux, T., Aurelle, D., & Thibaut, T. (2024). Morphological and molecular characters differentiate common morphotypes of Atlantic holopelagic *Sargassum*. *Phycology*, 4(2), 256–275. <https://doi.org/10.3390/phyecology4020014>.
- Siwicki, A. K., Anderson, D. P., & Rumsey, G. L. (1994). Dietary intake of immunostimulants by rainbow trout affects non-specific immunity and

- protection against furunculosis. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 41(2), 125–139. doi: 10.1016/0165-2427(94)90062-0.
- Srinivas, D., Venkatrayalu, C., & Laxmappa, B. (2016). Identifying diseases affecting farmed *Litopenaeus*. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 4(2), 447–451.
- Sumini, S., & Kusdarwati, R. (2020). The discovery of *Vibrio harveyi* on *Litopenaeus vannamei* infected white feces disease in Situbondo, East Java. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 22(1), 9. <https://doi.org/10.22146/jfs.47791>.
- Subaidah S. (2013). Growth response and immune of white shrimp *Litopenaeus vannamei* on administration of recombinant giant grouper growth hormone]. PhD Thesis, Graduate School of Bogor Agriculture University, Indonesia, 143 pp.
- Subaidah S., Carman O., Sumantadinata K., Sukenda., & Alimuddin. (2012). Growth response and genes expression of white shrimp *Litopenaeus vannamei* immersed in recombinant giant grouper growth hormone solution. *Jurnal Riset Akuakultur* 7, 359-369.
- Tajika, A., Nützel, A., & Klug, C. (2018). The old and the new plankton: ecological replacement of associations of mollusc plankton and giant filter feeders after the Cretaceous. *PeerJ*, 6, 1–28. <https://doi.org/10.7717/peerj.4219>.
- Tassanakajon, A., Somboonwivat, K., Supungul, P., & Tang, S. (2013). Discovery of immune molecules and their functions in shrimp immunity. *Fish & Shellfish Immunology*, 34, 954–967.
- Triga, A., Smyrli, M., & Katharios, P. (2023). Pathogenic and opportunistic *Vibrio* spp. associated with vibriosis incidences in the greek aquaculture: the role of *Vibrio harveyi* as the principal cause of vibriosis. *Microorganisms*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/microorganisms11051197>.
- Vargas, A. F., & Yepiz, P. G. (2000). Beta glucan binding protein and its role in shrimp immune response. *Aquaculture*, 191, 13–21.
- Villa, T. D., Carillo, J. A., & Sanson, M. (2007). Distinctive morphological features of *Sargassum desfontainesii* (Fucales, Phaeophyceae). *Cryptogamie*, 8(4), 325–335.
- Wang Y. C., 2007 Expression of Immune-Related Genes In The Pacific White Shrimp. [PhD Thesis National Sun Yat-sen University]. Kaohsiung, Taiwan.

- Wang, F., Li, S., & Li, F. (2021). Different immune responses of the lymphoid organ in shrimp at early challenge stage of *vibrio parahaemolyticus* and wssv. *Animals*, *11*(8), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ani11082160>.
- Wang, X.W., & Wang, J.X. (2013). Pattern recognition receptors acting in innate immune system of shrimp against pathogen infections. *Fish & Shellfish Immunology*, *34*(4), 981-989. doi: 10.1016/j.fsi.2012.08.008.
- Wilke, T., Bendag, S., Barth, A., Reinold, T., & Schubert, P. (2025). Individual shrimp rearing increases the power of experimental trials. *Aquaculture Journal*, *5*(1), 1–10. <https://doi.org/10.3390/aquacj5010002>.
- Wulandari, D. K. (2024).Efektivitas berbagai meningkatkan sistem imunitas ikan bahan herbal meningkatkan sistem imunitas ikan. *Jurnal Kolaboratif Sains*. *7*(11), 4357–4366. <https://doi.org/10.56338/jks.v7i11.6257>.
- Wyban, J. A., & Sweeney, J. N. (1991). *Intensive shrimp production technology: The Oceanic Institute shrimp manual*. Honolulu, Hawaii: Oceanic Institute. ISBN: 0-9617016-3-3