

**APLIKASI *BIOBALL* DALAM MENURUNKAN KADAR NITRIT PADA LIMBAH  
TAMBAK UDANG VANAME (*Litopenaeus vannamei*)**

***APPLICATION OF BIOBALL IN REDUCING NITRITE LEVEL IN WHITE SHRIMP  
(Litopenaeus vannamei) POND WASTE***

**Sartika Tangguda<sup>1)</sup>, Lukas G.G. Serihollo<sup>2)</sup>, Zainal Usman<sup>2)</sup>, Pieter Amalo<sup>2)</sup>, Riris Yuli  
Valentine<sup>2)</sup>, Rifqah Pratiwi<sup>2)</sup>, Ni Putu Dian Kusuma<sup>2)</sup>, Dimas R. Hariyadi<sup>2)</sup>, Melkias  
Timuneno<sup>2)</sup>**

<sup>1,2</sup>Politeknik Kelautan dan Perikanan Kupang, Jl Kampung Baru, Pelabuhan Fery Bolok, Kupang, 85351, Indonesia

\*Corresponding Author: [tika.tangguda@gmail.com](mailto:tika.tangguda@gmail.com)

**ABSTRAK**

Limbah pada budidaya Udang vaname (*L. vannamei*) mengandung sejumlah senyawa yang bersifat toksik, salah satunya adalah Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) yang bersifat tidak stabil dalam air. Penyaringan limbah sangat diperlukan sebelum dibuang ke perairan umum untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan, salah satu cara yang dilakukan yaitu aplikasi *bioball* sebagai media tumbuh mikroorganisme atau bakteri yang berperan sebagai bioremediasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis jumlah *bioball* yang efektif untuk menurunkan kadar nitrit pada limbah budidaya udang vaname serta mengetahui parameter kualitas air yang berperan dalam penguraian limbah tambak udang tersebut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif untuk melihat pengaruh *bioball* dalam menurunkan kadar nitrit pada limbah tambak udang vaname. Penelitian ini diawali dengan menyalurkan air limbah hasil buangan kegiatan budidaya udang vaname ke dalam tandon penampungan. Kemudian pada masing-masing tandon penampungan dimasukkan filter biologis sesuai dengan rancangan, yaitu P1 (*bioball* sebanyak 2.000 buah), P2 (*bioball* sebanyak 3.000 buah), dan P3 (*bioball* sebanyak 4.000 buah). Parameter utama yang diamati adalah kadar nitrit, sedangkan parameter penunjang yang diamati terdiri dari kadar nitrat, fosfat, suhu, pH, salinitas, dan intensitas cahaya. Hasil penelitian menunjukkan perlakuan P2 (penggunaan *bioball* sebanyak 3.000 buah) menghasilkan kadar nitrit yang lebih rendah dibandingkan perlakuan P1 dan P3, yaitu 0.020 mg/L. Parameter kualitas air yang berpengaruh terhadap penguraian limbah tambak udang vaname dengan menggunakan *bioball* adalah suhu, pH, salinitas, intensitas cahaya, nitrat, dan fosfat. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan penambahan naungan atau *shelter* pada tandon penampungan limbah sehingga suhu dan intensitas cahaya tidak terlalu tinggi dan dapat memaksimalkan kinerja filter biologis.

Kata kunci: nitrit, bioremediasi, *bioball*

**ABSTRACT**

Waste from Vaname Shrimp (*L. vannamei*) cultivation contains a number of toxic compounds, one of which is Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) which is unstable in water. Waste filtration is essential before being discharged into public waters to prevent environmental pollution, one way is to apply *bioballs* as a growing medium for microorganisms or bacteria that act as bioremediation. This study aims to analyze the number of *bioballs* that are effective in reducing nitrite levels in vaname shrimp cultivation waste and to determine the water quality parameters that play a role in the decomposition of shrimp pond waste. The method used in this study is a descriptive method to see the effect of *bioballs* in reducing nitrite levels in vaname shrimp pond waste. This study began by channeling wastewater from vaname shrimp cultivation activities into a storage tank. Then, a biological filter was inserted into each storage tank according to the design, namely P1 (2,000 *bioballs*), P2 (3,000 *bioballs*), and P3 (4,000 *bioballs*). The main parameters observed were nitrite levels, while the supporting parameters observed consisted of nitrate, phosphate, temperature, pH, salinity, and light intensity levels. The results showed that treatment P2 (using 3,000 *bioballs*) produced lower nitrite levels compared to treatments P1 and P3, which was 0.020 mg/L. Water quality parameters that affect the decomposition of vaname shrimp pond waste using *bioballs* are temperature, pH, salinity, light intensity, nitrate, and phosphate. In further research, it is necessary

to add shade or shelter to the waste storage tank so that the temperature and light intensity are not too high and can maximize the performance of the biological filter.

Keywords: nitrite, bioremediation, bioball

## PENDAHULUAN

Populasi dunia diproyeksikan akan tumbuh lebih dari 30% pada tahun 2025 sehingga diperkirakan kebutuhan protein global akan meningkat hingga 70% (FAO, 2018). Dilansir dari sumber yang sama bahwa permintaan ikan global akan terus meningkat dan permintaan tersebut diperkirakan akan semakin dipenuhi oleh produksi perikanan budidaya. Melihat peluang tersebut, Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) melalui Kebijakan Ekonomi Biru 3 melakukan Pengembangan Perikanan Budidaya di Laut, Pesisir, dan Darat yang Berkelanjutan. Pada program tersebut terdapat 5 target komoditas yang menjadi unggulan, yaitu udang, rumput laut, nila, lobster, dan kepiting. Jenis udang yang menjadi primadona pembudidaya di Indonesia adalah udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). Selain itu, udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) juga merupakan salah satu komoditas ekspor perikanan yang menjadi andalan Indonesia (Serihollo et al., 2022).

Peningkatan trend produksi udang vaname menyebabkan perubahan sistem budidaya udang yang dahulu sistem ekstensif menjadi sistem intensif bahkan super intensif. Perubahan kegiatan budidaya perikanan yang pesat dengan penerapan sistem intensif telah memunculkan permasalahan berupa penurunan daya dukung tambak bagi kehidupan ikan/udang yang dibudidayakan (Suwoyo dan Markus, 2010). Selain itu, perubahan pola budidaya ini telah mempengaruhi penurunan kualitas lingkungan karena proses produksi akuakultur selalu diikuti oleh buangan limbah yang mengandung bahan organik dan nutrisi, baik yang bersifat partikel maupun terlarut (Muslim, 2013).

Pada kegiatan budidaya, semakin bertambahnya umur udang, maka jumlah pemberian pakan semakin meningkat. Pakan merupakan sumber utama nitrogen karena mengandung protein yang sangat tinggi (>30%). Kandungan protein yang tinggi menyebabkan tingginya limbah budidaya yang bersifat toksik. Limbah tersebut berasal dari sisa pakan, feses, dan sisa metabolisme yang dikeluarkan melalui insang. Peningkatan jumlah pakan tersebut mampu memicu peningkatan senyawa yang bersifat toksik bagi udang, seperti amonia ( $\text{NH}_3$ ) dan nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) (Supono, 2019).

Pengolahan limbah amonia dapat dilakukan dengan melibatkan mikroorganisme yang sering disebut bioremediasi. Bioremediasi merupakan sistem pengembalian kondisi lingkungan yang sudah tercemar kembali pada kondisi awal (Munawar dan Zaidan, 2013; Azubuike et al., 2016; Yuka et al., 2021). Secara prinsip, bioremediasi pada tambak udang adalah penambahan mikroorganisme tertentu untuk menormalkan kembali tambak udang yang telah rusak akibat tingginya senyawa metabolik terutama amonia dan nitrit (Badjoeri dan Widiyanto, 2008 dalam Yuka et al., 2021).

Biofilter pada dasarnya merupakan sebuah proses biologis yang memanfaatkan aliran air limbah yang melewati media (atau media penyangga) yang telah ditumbuhi mikroorganisme. Ada beberapa bahan yang bisa dijadikan media biofilter. Menurut Alfia et al. (2013), *Bioball* merupakan tempat berkembang biaknya berbagai bakteri yang dibutuhkan untuk memproses racun-racun di dalam air. *Bioball* berfungsi sebagai filter biologi yang merupakan media tumbuh bagi bakteri-bakteri yang dapat menghilangkan amonia yang terkandung dalam air. *Bioball* dibuat ringan dan terapung di air dan digunakan dalam jumlah banyak. Dijelaskan pula bahwa *bioball* berfungsi dengan baik sebagai filter dan menyebabkan kualitas air media tetap stabil dalam kisaran yang layak bagi pertumbuhan ikan.

Penelitian dengan menggunakan *bioball* sebagai filter biologis masih jarang dilakukan, dimana penelitian Wahbi et al., 2022 dengan menggunakan perbedaan filter pada air pemeliharaan udang vaname menunjukkan bahwa kombinasi filter *bioball*, pasir, dan arang menghasilkan tingkat kelangsungan hidup, pertumbuhan bobot mutlak, laju pertumbuhan harian tertinggi yaitu 78,66%; 6,35 gram; dan 0,2117 gram, serta kadar amonia terendah yaitu 0,10 mg/L. Namun penelitian ini belum memberikan informasi tentang kadar nitrit yang merupakan senyawa toksik bagi perairan, dengan variasi jumlah *bioball* yang berbeda. Semakin bertambahnya jumlah *bioball* sebagai filter biologis akan semakin meningkatkan jumlah bakteri nitrifikasi yang tumbuh pada media tersebut yang dapat menurunkan kadar senyawa

toksik (yaitu nitrit) pada limbah tambak udang vaname.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penelitian ini bertujuan menganalisis jumlah *bioball* yang efektif untuk mengurangi kadar nitrit pada limbah tambak udang vaname. Melalui penelitian ini juga dapat mengetahui parameter kualitas air yang mempengaruhi limbah tambak udang vaname.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Agustus – Oktober 2024 bertempat di *Teaching Factory* Budidaya, Politeknik Kelautan dan Perikanan Kupang. Lokasi *Teaching Factory* Budidaya ini berada di dalam kampus Politeknik Kelautan dan Perikanan Kupang dan berbatasan langsung dengan perairan pesisir Bolok, Kupang Barat, Nusa Tenggara Timur.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif, yaitu penelitian yang bertujuan untuk menggambarkan keadaan atau fenomena yang sedang diteliti. Melalui penelitian ini penulis ingin mengetahui efek penggunaan *bioball* dalam mengurangi kadar nitrit pada limbah tambak udang vaname dan mengetahui jumlah *bioball* yang efektif untuk mengurangi kadar nitrit pada limbah tambak udang vaname.

Penelitian ini diawali dengan menyalurkan air limbah hasil buangan kegiatan budidaya udang vaname ke dalam tandon penampungan (Gambar 1). Air limbah tersebut diukur kadar nitrit sebagai data awal. Kemudian pada masing-masing tandon penampungan dimasukkan *bioball* sebagai filter biologis sesuai dengan rancangan, yaitu P1 (*bioball* sebanyak 2000 buah), P2 (*bioball* sebanyak 3000 buah), dan P3 (*bioball* sebanyak 4000 buah). Pada akhir penelitian dilakukan pengukuran nitrit pada ketiga tandon penampungan sebagai data akhir untuk mengetahui perlakuan mana yang memberikan hasil terbaik dalam menurunkan kadar nitrit pada limbah hasil buangan kegiatan budidaya udang vaname.

Tandon penampungan berupa bak terpal bundar dengan diameter 3 meter dan ketinggian 1 meter, air limbah akan dimasukkan ke dalam tandon penampungan sampai ketinggian 50 cm (volume limbah sebanyak 3.532,5 liter). *Bioball* yang

digunakan memiliki diameter  $\pm 3$  cm, media biofilter ini akan ditempatkan pada tandon penampungan sampai ketinggian 40 cm (menyesuaikan hasil Penelitian Bastom, 2015) (Gambar 2).



Gambar 1. Penampungan Air Limbah Pada Wadah Penelitian

*Figure 1. Wastewater Storage in Research Tank*



Gambar 2. Aplikasi *Bioball* Pada Air Limbah  
*Figure 2. Application of Bioball in Wastewater*

Parameter utama yang diamati dalam penelitian ini adalah kadar nitrit dengan metode analisis nitrit sesuai dengan SNI 06-6989.9-2004. Pengukuran kadar nitrit dilakukan setiap 7 (tujuh) hari sekali selama 28 (dua puluh delapan) hari waktu pengamatan. Parameter penunjang yang diamati dalam penelitian ini adalah kadar nitrat, fosfat, suhu, pH, salinitas, dan intensitas cahaya.

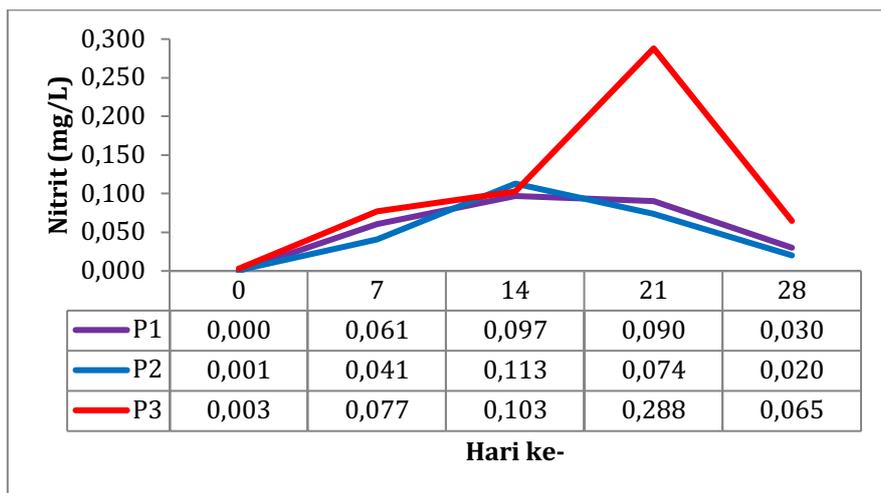
Metode analisis nitrat sesuai dengan SNI 06-2480-1991 sedangkan metode analisis fosfat sesuai dengan SNI 06-6983.31-2005. Pengukuran kadar nitrat dan fosfat dilakukan setiap 7 (tiga) hari sekali selama 28 (dua puluh delapan) hari waktu pengamatan. Pengukuran suhu menggunakan termometer, pengukuran pH menggunakan pH pen, pengukuran salinitas menggunakan refraktometer, dan pengukuran intensitas cahaya menggunakan lux meter. Pengukuran suhu, pH, salinitas, dan

intensitas cahaya dilakukan setiap hari selama 28 (dua puluh delapan) hari waktu pengamatan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) merupakan senyawa antara pada siklus Nitrogen, baik pada proses nitrifikasi antara senyawa amonia dan nitrat, maupun pada proses dinitrifikasi antara senyawa nitrat dan amonia.

Senyawa nitrit bersifat tidak stabil dan merupakan senyawa toksik yang dihindari oleh organisme budidaya. Pada penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap kadar nitrit pada semua perlakuan, dimana kadar nitrit mengalami perubahan selama pengamatan 28 (dua puluh delapan) hari seperti yang tersaji pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Perubahan Kadar Nitrit Pada Setiap Perlakuan Aplikasi *Bioball*  
Figure 3. Nitrite Level Changes in Each Treatment of *Bioball* Application

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa kadar nitrit pada semua perlakuan mengalami fluktuasi selama masa pengamatan, yaitu 28 (dua puluh delapan) hari. Pada semua perlakuan terjadi peningkatan kadar nitrit pada hari ke-14 diduga pada hari ke-14 ini terjadi proses nitrifikasi yang maksimal sehingga kadar nitrit meningkat. Kemudian pada hari ke-28 kadar nitrit pada semua perlakuan mengalami penurunan, diduga pada hari ke-28 ini terjadi proses nitrifikasi yang maksimal sehingga nitrit sudah diubah menjadi nitrat yang menyebabkan kadar nitrit menurun pada hari ke-28. Hal ini mendekati hasil penelitian yang dilakukan oleh Eprillia (2023) yang menyatakan bahwa kelimpahan bakteri *Nitrosomonas* pada hari ke-0 lebih tinggi dibandingkan hari ke-14 dan hari ke-28 sedangkan kelimpahan bakteri *Nitrobacter* pada hari ke-14 mencapai nilai optimal sehingga proses nitrifikasi dapat berlangsung dengan optimal.

Pada perlakuan P2 dengan penambahan 3.000 *bioball* pada limbah budidaya udang vaname memberikan hasil terbaik apabila dilihat pada kadar nitrit yang paling rendah yaitu 0.020 mg/L dibandingkan dengan kadar nitrit pada perlakuan

P1 dan P3, yaitu 0.030 mg/L dan 0.065 mg/L. Menurut Anna (2010) dalam Putra et al. (2023), kisaran nitrit optimum adalah 0.05 mg/L dapat bersifat racun bagi organisme perairan. Kadar nitrit yang berlebihan dapat mengakibatkan terganggunya proses pengikatan oksigen oleh hemoglobin darah. Apabila dibandingkan dengan hasil penelitian ini maka penggunaan *bioball* sebanyak 3.000 buah (P2) dan *bioball* sebanyak 2.000 buah (P1) menghasilkan kadar nitrit yang aman bagi organisme perairan.

Menurut Mutiah et al. (2022), tolok ukur yang digunakan untuk menentukan telah terjadi pencemaran air adalah baku mutu kualitas air sesuai kelas berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Kadar nitrit pada perlakuan P1 (0.03 mg/L) dan P2 (0.02 mg/L) masih memenuhi kriteria mutu air (Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, Kelas II) karena tidak melebihi batas maksimum, yaitu 0.06 mg/L.

Kualitas air merupakan faktor penunjang yang sangat penting untuk dijaga nilainya terutama bagi organisme budidaya karena air merupakan media hidup bagi organisme budidaya. Kualitas air yang diukur dalam penelitian ini meliputi kadar nitrat, fosfat, suhu, pH, salinitas, dan intensitas cahaya. Hasil pengukuran kualitas air tersebut tersaji pada Tabel 1.

Amonia dapat menyebabkan kondisi toksik bagi kehidupan perairan. Konsentrasi tersebut

tergantung dari pH dan temperatur yang mempengaruhi air. Kadar amonia bebas dalam air meningkat sejalan dengan meningkatnya pH dan temperatur. Pada perlakuan P1 dan P2 nilai suhu melebihi baku mutu yang diprasyarkan untuk kelangsungan hidup biota air laut. Kecepatan pertumbuhan bakteri nitrifikasi dipengaruhi oleh temperatur antara 8 – 30°C, sedangkan temperatur optimumnya sekitar 30°C (Hitdlebaugh dan Miler, 1981 dalam Marsidi dan Herlambang, 2002).

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kualitas Air Selama Penelitian  
Table 1. Results of Water Quality During Research

Parameter	P1	P2	P3	Literatur
Suhu (°C)	28.50 – 33.33	27.67 – 34.33	28.33 – 31.67	28 – 32 <sup>a</sup>
pH	7.17 – 8.42	7.43 – 8.59	7.30 – 8.25	7 – 8.5 <sup>a</sup>
Salinitas (ppt)	29.00 – 35.67	30.00 – 35.33	30.00 – 35.33	33 – 34 <sup>a</sup>
Intensitas Cahaya ( <i>lux</i> )	34,187 – 25,3567	13,788 – 199,907	12,450 – 328,090	10,000 <sup>b</sup>
Nitrat (mg/L)	0.400 – 3.300	1.000 – 9.300	0.600 – 4.500	10 <sup>c</sup>
Fosfat (mg/L)	1.190 – 2.120	0.230 – 1.620	0.670 – 2.070	0.2 <sup>c</sup>

Sumber : a. Kep.Men LH 51 2004; b. De Godos et al., 2009 dalam Wang et al., 2023; c. PP 82 2001, Kelas II

Pada proses biologi, nitrifikasi dipengaruhi oleh pH. pH optimum untuk pertumbuhan bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* adalah 7.5 – 8.5 (U.S. EPA, 1975 dalam Marsidi dan Herlambang, 2002). Proses nitrifikasi akan berhenti pada pH di bawah 6.0 (Painter, 1970; Painter dan Loveless, 1983 dalam Marsidi dan Herlambang, 2002). Pada ketiga perlakuan (P1, P2, dan P3), kisaran nilai pH masih berada pada baku mutu yang diprasyarkan untuk kehidupan biota laut.

Salinitas merupakan salah satu parameter kualitas air yang berperan penting dalam kehidupan organisme, khususnya organisme laut. Pada ketiga perlakuan terlihat bahwa kisaran nilai salinitas melebihi nilai baku mutu untuk kehidupan organisme laut. Hal tersebut akan berpengaruh terhadap aktivitas organisme, baik mikroorganisme maupun makroorganisme. Kadar salinitas yang tinggi menyebabkan aktivitas bakteri menurun, bakteri harus mengeluarkan banyak energi untuk memompa air asin yang masuk ke dalam tubuh bakteri sehingga energi yang dikeluarkan menjadi lebih besar. Semakin lama bakteri akan berhenti beraktivitas bahkan dapat menyebabkan kematian bakteri apabila tidak mampu beradaptasi dengan lingkungan tersebut (Harsitoningrum et al., 2012).

Intensitas cahaya yang terukur selama penelitian menunjukkan kisaran nilai yang sangat tinggi

dibandingkan dengan nilai intensitas cahaya yang telah digunakan dalam penelitian Wang et al. (2023) yaitu sebesar 10.000 *lux*. Tingginya nilai intensitas cahaya tersebut dapat mengganggu aktivitas mikroalga yang berperan dalam proses asimilasi bahan organik. Intensitas cahaya yang tinggi dapat merusak klorofil yang terdapat pada mikroalga sehingga proses fotosintesis untuk menghasilkan oksigen menjadi terhambat.

Nitrat dan fosfat merupakan dua senyawa yang dapat menyebabkan pengayaan perairan yang umumnya disebut dengan eutrofikasi. Pada ketiga perlakuan (P1, P2, dan P3) menunjukkan dengan penggunaan *bioball* dapat mengurangi kadar nitrat pada limbah budidaya udang vaname dan berada pada baku mutu air yang diperuntukkan bagi kegiatan Perikanan. Namun, kadar fosfat pada ketiga perlakuan berada pada nilai yang sangat tinggi, terutama pada perlakuan P1 dan P3. Hal ini disebabkan karena tidak adanya organisme yang memanfaatkan fosfat yang telah diuraikan oleh bakteri nitrifikasi sehingga kadar fosfat berada pada nilai yang tinggi.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa Perlakuan P2 (penggunaan *bioball*

sebanyak 3.000 buah) menunjukkan kadar nitrit yang lebih rendah dibandingkan perlakuan P1 dan P3 sehingga jumlah *bioball* sebanyak 3.000 buah menunjukkan jumlah yang efektif untuk menurunkan kadar nitrit pada limbah budidaya udang vaname, yaitu 0.020 mg/L. Parameter kualitas air yang berpengaruh terhadap penguraian limbah tambak udang vaname dengan menggunakan *bioball* adalah suhu, pH, salinitas, intensitas cahaya, nitrat, dan fosfat. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan penambahan naungan atau *shelter* pada tandon penampungan limbah sehingga suhu dan intensitas cahaya tidak terlalu tinggi dan dapat memaksimalkan kinerja filter biologis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alfia, A.R., E. Arini, dan T. Elfitasari. (2013). Pengaruh kepadatan yang berbeda terhadap kelulushidupan dan pertumbuhan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) pada sistem resirkulasi dengan filter bioball. *Journal of Aquaculture Management Technology*, 2 (3), 86-93.
- Anna, S. (2010). *Udang Vannamei*. Yogyakarta: Kanisius.
- Azubuik CC, Chikere CB, Okpokwasii GC. 2016. Bioremediation techniques– classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects. *World J Microbiol Biotechnol*. 32:180.
- Badjoeri, M., dan Widiyanto, T. (2008). Penggunaan bakteri nitrifikasi untuk bioremediasi dan pengaruhnya terhadap konsentrasi amonia dan nitrit di tambak udang. *Jurnal Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 34 (2), 261-278.
- De Godos, I., Gonzales, C., Becares, E., Garcia-Encina, P.A., Munoz, R. (2009). Simultaneous nutrients and carbon removal during pretreated swine slurry degradation in a tubular biofilm photobioreactor. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 82, 187-194.
- Eprillia, S.W. (2023). *Identifikasi dan analisis kelimpahan bakteri nitrifikasi pada unit RBC di IPAL Komunal Tirto Mili, Sleman*. Tugas Akhir. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan : Universitas Islam Indonesia.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2018). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018*. Diakses 05 Mei 2025, dari <http://www.fao.org/3/i9540en/I9540EN.pdf>
- Harsitoningrum, M., Sudarno, dan Istirokhatun, T. (2012). *Pengaruh fluktuasi salinitas terhadap nitrifikasi oleh bakteri yang diambil pada Estuari Sungai Banjir Kanal Barat, Semarang*. Fakultas Teknik : Universitas Diponegoro.
- Hittlebaugh, J.A., and Miller, R.D. (1981). Operation all problems with rotating biological contactor. *Journal Water Pollution Control Fed*, 53, 1283-1293.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut. Jakarta.
- Marsidi, R. dan A. Herlambang. (2002). Proses nitrifikasi dengan sistem biofilter untuk pengolahan air limbah yang mengandung amoniak konsentrasi tinggi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3 (3), 195-204.
- Munawar, M. and Zaidan, Z. (2013) 'Bioremediasi Limbah Minyak Bumi dengan Teknik Biopile di Lapangan Klamono Papua', *Jurnal Sains & Matematika*, pp. 41–46
- Muslim. (2013). Pengurangan racun amonia, bahan organik dan padatan tersuspensi di media budidaya udang galah dengan biofilter dari bahan genteng plastik bergelombang. *Jurnal Bumi Lestari*, 13 (1), 79–90.
- Mutiah, S., Sumardiyono, dan Pujiastuti, P. (2022). Analisis Parameter Nitrit, Nitrat, Amonia, Fosfat Pada Air Limbah Pertanian Dusun Bendungan, Genuk Harjo, Wuryantoro, Wonogiri. *Jurnal Kimia dan Rekayasa*, 3 (1), 33-45.
- Painter, H.A. (1970) and Loveless, J.E. (1983). Effect of temperature and pH value on the growth rate constants of nitrifying bacteria in the activated sludge process. *Water Research*, 17, 237-248.

- Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 82 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Jakarta.
- pendegradasi Total Ammonia Nitrogen (TAN). *Jurnal Kelautan*, 14 (1), 20-29.
- Putra, A., Yumna, A.S., Alfiaz, A.T., Nugraha, B.A., Sartika, D., Ramadiansyah, F., Novela, M., Chairani, N.J.D., Samsuardi, Ramadhan, S., Wake, Y.D., Ilham, dan Suharyadi. (2023). Analisis Kualitas Air Pada Budidaya Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) Sistem Intensif. *Jurnal Perikanan*, 13 (3), 871-878.
- Serihollo, L. G. G., Hariyadi, D. R., & Fanggidae, Y. Q. (2022). Studi Pemeliharaan Larva Udang Vanname (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Megaptera*, 1(1), 23-32.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (1991). SNI 06-2480-1991. Metode Analisis Nitrat. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2005). SNI 06-6983.31-2005. Metode Analisis Fosfat. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2004). SNI 06-6989.9-2004. Metode Analisis Nitrit. Jakarta.
- Supono. (2019). Studi perbandingan keragaan udang windu (*Penaeus monodon*) dan udang putih (*Litopenaeus vannamei*) pada tambak semi plastik. *Pena Akuatika*, 3 (1), 1-8.
- Suwoyo, H.S. dan Markus M. (2010). *Aplikasi probiotik dengan konsentrasi berbeda pada pemeliharaan udang vaname (Litopenaeus vannamei)*. Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur: 239–247.
- Wahbi, Amir, S., dan Setyo, B.D.H. (2022). Pengaruh penggunaan filter yang berbeda pada budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) dengan sistem resirkulasi. *Jurnal Perikanan*, 12 (4), 513-523.
- Wang, S., Guo, Z., Ding, X., Li, L., Jin, Z., Zhang, C., Liu, S., Zhou, Y., dan Fan, G. (2023). Review: The effect of light on nitrogen removal by microalgae-bacteria symbiosis system (MBS). *Water*, 15, 1-13.
- Yuka, R.A., A. Setyawan, dan Supono. (2021). Identifikasi bakteri bioremediasi

