



Jurnal Sains Akuakultur Tropis
Departemen Akuakultur
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan – Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang 50275
Telp. (024) 7474698, Fax.: (024) 7474698
Email: sainsakuakulturtropis@gmail.com, sainsakuakulturtropis@undip.ac.id

AMONIA-NITROGEN ($\text{NH}_3\text{-N}$) PADA SISTEM KOKULTUR HEWAN AKUATIK DAN TANAMAN PADI DI AIR PAYAU

*Ammonia-Nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) in the Coculture System of Aquatic Animals
and Rice Plants in Brackish Water*

Nur Fajriani Nursida¹, Heriansah^{2*}, Arnold Kabangnga², Nursidi¹
Andi Sulmiati³, Asti Astuti Putri³

1 Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene dan Kepulauan, Pangkep, Sulawesi Selatan-90655, Indonesia

2 Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa, Makassar, Sulawesi Selatan-90245, Indonesia

3 Mahasiswa peserta MBKM Riset Keilmuan, Program Studi Budidaya Perairan, Institut Teknologi dan
Bisnis Maritim Balik Diwa, Makassar, Sulawesi Selatan-90245, Indonesia

*Corresponding author: heriansah.itbm.bd@gmail.com

ABSTRAK

Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) adalah nitrogen terlarut yang paling berbahaya dari limbah akuakultur. Sebuah eksperimen telah dilakukan untuk mengevaluasi sistem kokultur yang efisien dalam mereduksi $\text{NH}_3\text{-N}$. Sebanyak 4 spesies hewan akuatik, yaitu ikan nila (*Oreochromis niloticus*), udang windu (*Penaeus monodon*), kerang darah (*Tegillarca granosa*), dan teripang pasir (*Holothuria scabra*), serta tanaman padi (*Oryza sativa*) dikombinasikan pada beberapa sistem akuakultur. Enam perlakuan dan masing-masing dengan tiga ulangan dirancang menggunakan rancangan acak lengkap (RAL). Benih hewan akuatik diaklimatisasi secara bertahap selama 30 hari. Benih padi disemai di air payau, selanjutnya ditebar menggunakan metode apung. Selama 28 hari eksperimen, ikan nila dan udang windu diberi pakan 4 kali sehari dengan *feeding rate* sebesar 10% bobot biomas, sedangkan kerang darah dan teripang pasar tidak diberikan pakan. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi reduksi nutrien (ERN) $\text{NH}_3\text{-N}$ di dua sistem monokultur bernilai negatif, sementara empat sistem kokultur bernilai positif. Nilai ERN dua perlakuan sistem polikultur tidak berbeda ($P>0,05$). Sementara itu, nilai ERN pada sistem IMTA lebih tinggi dari sistem monokultur maupun polikultur ($P<0,05$). Temuan ini mengarah pada pemanfaatan keanekaragaman spesies untuk akuakultur berkelanjutan di air payau. Hal ini dapat disimpulkan bahwa sistem akuakultur yang paling efisien dalam mereduksi $\text{NH}_3\text{-N}$ adalah sistem IMTA-padi dengan nilai ERN sebesar $43,3\pm 1,7\%$. Nilai ini lebih tinggi ($P<0,05$) dari semua sistem akuakultur lainnya.

Kata kunci: air payau, amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), hewan akuatik, padi, monokultur, polikultur, IMTA

ABSTRACT

Ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) is the most dangerous dissolved nitrogen in aquaculture waste. An experiment was conducted to evaluate the efficient coculture system in reducing $\text{NH}_3\text{-N}$. A total four species of aquatic animals, namely tilapia (*Oreochromis niloticus*), tiger prawns (*Penaeus monodon*), blood clams (*Tegillarca granosa*), sand sea cucumbers (*Holothuria scabra*), and rice plants (*Oryza sativa*) were combined in several aquaculture systems. Six treatments, with three replications were designed using a completely randomized design (CRD). Aquatic animal seeds were gradually acclimatized for 30 days. Rice plant seeds sown in brackish water were stocked using a floating method. During the 28 days of the experiment, tilapia and tiger prawns were fed four times a day at a feeding rate of 10% of biomass weight, while blood clams and sea cucumbers were not fed. The results showed that the nutrient reduction efficiency (NRE) of $\text{NH}_3\text{-N}$ in the two monoculture systems was negative, whereas the four coculture system were positive value. The NRE value in the two polyculture systems

not different ($P>0.05$). Meanwhile, the NRE of the IMTA system was higher than those of the monoculture and polyculture systems ($P<0.05$). These findings lead to utilization of species diversity for sustainable aquaculture in brackish water. It can be concluded that the most efficient aquaculture system for reducing $\text{NH}_3\text{-N}$ is the IMTA-rice plants system, with an ERN value of $43.3\% \pm 1.7\%$. This value was higher ($P<0.05$) than all other aquaculture systems.

Keywords: ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), aquatic animals, brackish water, IMTA, monoculture, rice plants, polyculture

PENDAHULUAN

Limbah nutrisi yang merupakan sebuah keniscayaan dari proses akuakultur (Heriansah *et al.*, 2022a) perlu direayasa secara bijaksana karena berdampak negatif terhadap organisme dan ekosistem perairan. Limbah tersebut dapat berupa bentuk padatan, seperti sisa pakan dan feses (organik) dan bentuk terlarut dari hasil metabolisme serta sisa pakan dan feses yang terurai (anorganik) di perairan (Dauda *et al.*, 2019). Kuantifikasi beban limbah akuakultur, terutama dari pakan buatan telah banyak dipublikasikan. Nederlof *et al.* (2021) mengkuantifikasi sekitar 39-63% nitrogen (N) dan 18-30% posfat (P) terlepas sebagai limbah pada sistem monokultur intensif. Pada akuakultur udang super intensif, limbah N dan P yang terbuang diperkirakan masing-masing sebesar 10,3 dan 0,8 kg/hari (Paena *et al.*, 2020). Sementara itu, Azad *et al.* (2017) melaporkan bahwa ikan atau udang hanya meretensi antara 23-31% N dan 10-13% P dari pakan pada akuakultur intensif dan semi-intensif, selebihnya terbuang sebagai limbah di perairan.

Oleh karena pada kandungan limbah pakan masih memiliki sejumlah nutrisi, maka berkembang sistem kokultur yang melibatkan organisme lain untuk memanfaatkan limbah tersebut. Sistem ini tidak hanya bermanfaat secara ekologis, tetapi juga secara ekonomis sehingga dinilai sebagai alternatif terbaik menggantikan sistem monokultur yang telah mengancam keberlanjutan akuakultur karena dampak limbahnya (Thomas *et al.*, 2021). Banyak hasil studi berkesimpulan bahwa sistem kokultur melalui teknologi *Integrated Multi Trophic Aquaculture* (IMTA) dapat meminimalisir limbah secara efektif, sekaligus meningkatkan produksi (Nederlof *et al.*, 2021; Campanati *et al.*, 2022). Teknologi ini mengintegrasikan beberapa spesies dengan tingkat trofik berbeda dalam jejaring makanan (Knowler *et al.*, 2020). Spesies yang umum diintegrasikan adalah ikan atau udang sebagai spesies yang diberi pakan (*fed species*), kerang sebagai penyerap nutrisi tersuspensi (*filter feeder*), landak laut dan teripang sebagai penyerap nutrisi terdeposit (*deposit feeder*), dan rumput laut sebagai penyerap nutrisi terlarut (Neori *et al.*, 2004; Chopin *et al.*, 2012).

Pada penelitian ini, empat spesies hewan akuatik ekonomis, yaitu ikan nila (*Oreochromis niloticus*), udang windu (*Penaeus monodon*), kerang darah (*Tegillarca granosa*), dan teripang pasir (*Holothuria scabra*) diintegrasikan dengan tanaman padi (*Oryza sativa*) di air payau. Kelima spesies ini masing-masing sudah dibudidayakan, baik melalui sistem monokultur, polikultur, maupun sistem IMTA, namun masih parsial. Belum ada informasi ilmiah tentang kombinasi kelima spesies tersebut dalam sebuah studi yang membandingkan sistem monokultur dan kokultur (polikultur dan IMTA) secara simultan. Selain itu, padi yang dipelihara di air payau dengan metode apung (*floating bed*) juga masih sangat langka informasinya. Untuk ekspansi budidaya padi ke air payau, saat ini didukung oleh tersedianya varietas padi salin (Jamil *et al.*, 2016). Ketersediaan air tawar yang saat ini semakin terbatas (Nugroho *et al.*, 2022) dan potensi lahan air payau yang baru dimanfaatkan sekitar 23% (KKP, 2023) semakin membuka kemungkinan padi untuk diekspansi dan diintegrasikan dengan hewan akuatik di air payau.

Eksistensi limbah akuakultur mengandung sejumlah besar nitrogen, terutama senyawa amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) dari produk respirasi organisme dan dekomposisi bahan organik (sisa pakan dan feses) (Mook *et al.*, 2012). $\text{NH}_3\text{-N}$ merupakan bentuk nitrogen terlarut yang paling berbahaya karena beracun bagi organisme kulturan (Dauda *et al.*, 2019; Effendi *et al.*, 2020). Selain itu, penguapan $\text{NH}_3\text{-N}$ merupakan polutan atmosfer utama yang menyebabkan kualitas udara buruk, bahkan emisi $\text{NH}_3\text{-N}$ dapat kembali ke tanah dan air permukaan yang dapat mengakibatkan eutrofikasi, pengasaman tanah dan air, dan hilangnya keanekaragaman hayati (Wang *et al.*, 2018). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi reduksi $\text{NH}_3\text{-N}$ dari beberapa sistem kokultur (polikultur dan IMTA) dengan sistem monokultur sebagai pembandingan. Temuan pada studi ini berguna untuk pemilihan sistem kokultur yang efisien dalam mereduksi $\text{NH}_3\text{-N}$ dengan memanfaatkan keanekaragaman spesies untuk bergerak menuju akuakultur berkelanjutan (Thomas *et al.*, 2021).

MATERI DAN METODE

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Institut Akuakultur, Moncongloe Maros, Sulawesi Selatan pada bulan Juli sampai September 2022. Pengukuran konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene dan Kepulauan, Sulawesi Selatan. Sementara itu, pengukuran

parameter kualitas air lainnya, meliputi suhu, oksigen terlarut, salinitas, dan pH diukur secara insitu di lokasi penelitian.

Alat dan Bahan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian antara lain bak plastik dimensi (50×50×55) cm³ untuk wadah hewan akuatik, nampan (*tray*) (25×25) cm² untuk wadah padi, peralatan aerasi, blower Resun LP60, botol sampel volume 100 mL, dan instrumen *water quality meter 5 in 1 AZ 86031*. Wadah untuk tanaman padi menggunakan wadah khusus yang diperuntukkan untuk metode apung tanaman. Wadah ini dikonstruksi dari pipa 1 inci dan kasa plastik dan dilengkapi dengan netpot diameter 8 cm (Heriansah *et al.*, 2023). Bahan penelitian yang digunakan antara lain ikan nila, udang windu, kerang darah, teripang pasir, padi, pakan komersil, pasir laut, dan air payau.

Desain Eksperimen

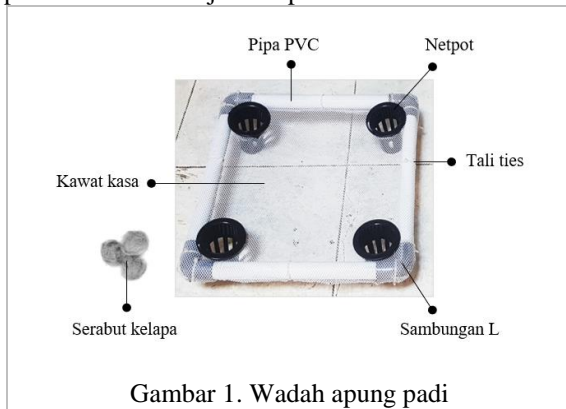
Penelitian eksperimen skala laboratorium ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) yang didesain menggunakan 6 perlakuan dan 3 ulangan. Perlakuan yang dievaluasi adalah sistem akuakultur yang dikelompokkan menjadi sistem monokultur dan sistem kokultur. Sistem kokultur terdiri atas sistem polikultur dan sistem IMTA. Setiap sistem akuakultur tersebut masing-masing terdiri atas 2 variasi perlakuan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perlakuan Penelitian

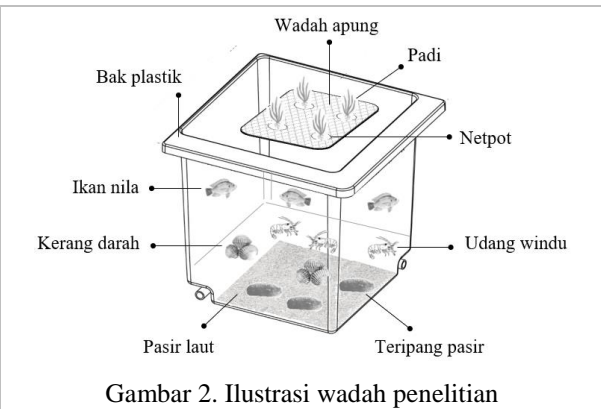
Perlakuan (Sistem Akuakultur)	Sistem Budidaya (Spesies)
A (Monokultur 1)	Ikan nila
B (Monokultur 2)	Udang windu
C (Polikultur 1)	Ikan nila dan padi
D (Polikultur 2)	Udang windu dan padi
E (IMTA-non padi)	Ikan nila, udang windu, kerang darah, dan teripang pasir
F (IMTA-padi)	Ikan nila, udang windu, kerang darah, teripang pasir, dan padi

Benih ikan nila Sultana (bobot awal 2,1±0,1 g) diperoleh dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Takalar yang dipelihara pada salinitas 5 ppt. Benih udang windu (bobot awal 2,5±0,2 g) didapatkan dari unit penggelondongan di Kabupaten Pangkep. Kerang darah (bobot awal 22,6±0,3 g) dan teripang pasir (bobot awal 12,3±0,3 g) dikumpulkan dari tangkapan alami nelayan di Kabupaten Takalar. Keempat benih hewan akuatik ini diaklimatisasi secara bertahap selama 30 hari untuk dapat hidup pada salinitas 20 ppt. Bibit padi diperoleh secara komersil dan berdasarkan label kemasan sangat mudah beradaptasi dalam berbagai kondisi. Bibit padi ini terlebih dahulu direndam di air payau dan selanjutnya disemai sampai mencapai ketinggian 15,1±0,2 cm.

Bak plastik sebelum diisi 90 L air payau, terlebih dahulu ditebari pasir laut didasar wadah sebagai substrat teripang pasir dan kerang darah. Setelah diisi air, udang windu, ikan nila, dan kerang darah ditebar dengan kepadatan masing-masing 20 ekor dan teripang pasir 10 individu per wadah. Khusus untuk tanaman padi, penebaran dilakukan setelah 7 hari hewan akuatik ditebar dengan pertimbangan ketersediaan nutrisi anorganik. Penebaran padi yang telah disemai dilakukan dengan memasukkan bibit ke dalam netpot yang berisi serabut kelapa dan selanjutnya diapungkan ke bak plastik. Foto nampan dan ilustrasi desain wadah pemeliharaan ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Wadah apung padi



Gambar 2. Ilustrasi wadah penelitian

Selama 28 hari eksperimen dilakukan pemberian pakan ke ikan nila dan udang windu dengan *feeding rate* 10% dari biomassa sebanyak 4 kali sehari (pukul 07.00, 11.00, 15.00 dan 19.00). Pakan buatan yang diberikan adalah pakan krabel yang mengandung kadar protein 40%. Aerasi dijalankan secara terus menerus, kecuali pada saat pemberian pakan. Pergantian air tidak dilakukan selama eksperimen, namun volume air secara konsisten pertahankan dan kualitas air dipantau setiap hari (pagi dan sore).

Pengumpulan Data

Data utama yang dikumpulkan pada eksperimen ini adalah data konsentrasi NH₃-N dan data parameter umum kualitas air (suhu, oksigen terlarut, salinitas, dan pH) sebagai data pendukung. Konsentrasi NH₃-N diukur pada hari ke-1 (awal eksperimen), hari ke-7 (sebelum padi tebar), dan hari ke-28 (akhir eksperimen). Sampel air diambil pada siang hari di setiap unit percobaan dengan menggunakan botol sampel volume 100 mL. Pengambilan sampel, pengawetan, transportasi, dan pengukuran sampel air mengikuti metode yang direkomendasikan oleh *American Public Health Association* (APHA, 2017). Pengukuran parameter umum kualitas air dilakukan setiap hari (pukul 09.00 dan 15.00) menggunakan *water quality meter 5 in 1 AZ 86031*. Efisiensi reduksi nutrisi (ERN) NH₃-N selanjutnya dihitung mengikuti persamaan Pham dan Bui (2020) sebagai berikut :

$$ERN (\%) = (C_0 - C_f) / C_0 \times 100$$

Keterangan: ERN adalah efisiensi reduksi nutrisi NH₃-N (%), C₀ adalah konsentrasi awal NH₃-N (mg/L), dan C_f adalah konsentrasi akhir NH₃-N (mg/L)

Analisis Data

Data reduksi NH₃-N dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap nilai reduksi NH₃-N. Untuk memenuhi asumsi statistik parametrik, data telah diuji distribusi normal dan variansnya yang mengindikasikan data berdistribusi normal dan homogen (P>0,05). Pengaruh yang signifikan kemudian dibandingkan melalui HSD Tukey untuk mengetahui signifikansi perbedaan konsentrasi antar perlakuan. Seluruh uji statistik ini menggunakan IBM SPSS Statistics Version 25. Untuk data kualitas air dianalisis secara deksriptif dengan membandingkan kisaran toleransi semua hewan akuatik dan tanaman padi berdasarkan referensi yang valid.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Rekapitulasi hasil pengukuran konsentrasi NH₃-N di hari ke-1 (awal eksperimen), hari ke-7 (sebelum padi tebar), dan hari ke-28 (akhir eksperimen) ditunjukkan pada Tabel 2. Konsentrasi NH₃-N di awal eksperimen relatif rendah dan tidak berbeda secara signifikan (P>0,05) antar sistem akuakultur. Namun, pengukuran di hari ke-7 menunjukkan peningkatan yang drastis pada semua sistem dengan nilai yang berbeda signifikan (P<0,05) diantara sistem akuakultur, kecuali antara sistem monokultur dan polikultur. Pada akhir eksperimen, konsentrasi NH₃-N di sistem monokultur tetap meningkat, tetapi pada sistem polikultur dan IMTA cenderung menurun. dengan nilai yang berbeda signifikan antar sistem. Secara umum, konsentrasi NH₃-N terendah tercatat di sistem IMTA, baik pada hari ke-7 maupun hari ke-28.

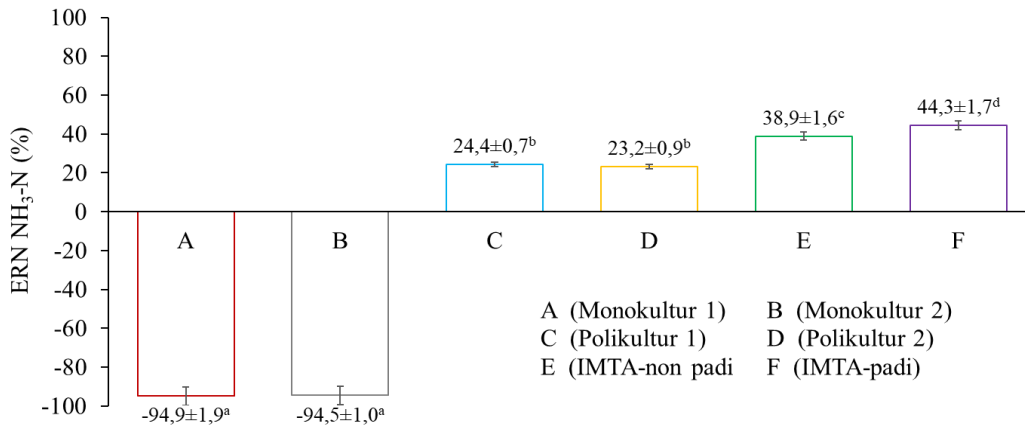
Tabel 2. Hasil Pengukuran Konsentrasi NH₃-N

Perlakuan (Sistem Akuakultur)	Konsentrasi NH ₃ -N (mg/L)		
	Hari ke-1	Hari ke-7	Hari ke-28
A (Monokultur 1)	0,003±0,001 ^a	0,426±0,011 ^a	0,831±0,013 ^a
B (Monokultur 2)	0,003±0,000 ^a	0,417±0,006 ^{ab}	0,811±0,014 ^a
C (Polikultur 1)	0,003±0,001 ^a	0,410±0,009 ^{ab}	0,310±0,005 ^b
D (Polikultur 2)	0,003±0,001 ^a	0,408±0,002 ^b	0,314±0,004 ^b
E (IMTA-non padi)	0,003±0,000 ^a	0,236±0,003 ^c	0,144±0,004 ^c
F (IMTA-padi)	0,003±0,000 ^a	0,244±0,002 ^c	0,136±0,005 ^c

Keterangan: Data disajikan sebagai nilai rata-rata (n=3) ± standar deviasi (SD). Perbedaan signifikan antara perlakuan ditunjukkan dengan huruf superskrip yang berbeda dikolom yang sama.

Efisiensi reduksi NH₃-N relatif bervariasi pada setiap perlakuan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Persentase ERN pada perlakuan A dan B (dua sistem monokultur) bernilai negatif dan pada kedua perlakuan tersebut tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan (P>0,05). Sementara itu, ERN pada perlakuan C, D, E,

dan F bernilai positif dan keempat perlakuan ini memiliki variasi perbedaan. ERN pada perlakuan C dan D (dua sistem polikultur) tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Namun, untuk perlakuan E (sistem IMTA-non padi), ERN NH₃-N lebih tinggi dibandingkan perlakuan A dan B (sistem monokultur) serta perlakuan C dan D (sistem polikultur), tetapi lebih rendah dibandingkan perlakuan F (IMTA-padi) dengan perbedaan yang signifikan (P<0,05). Secara keseluruhan, persentase ERN NH₃-N pada perlakuan F (IMTA-padi) secara signifikan lebih tinggi dibandingkan semua perlakuan yang diamati.



Keterangan: Data disajikan sebagai nilai rata-rata (n=3) ± standar deviasi (SD). Perbedaan signifikan antara perlakuan ditunjukkan dengan huruf superskrip yang berbeda

Gambar 3. Efisiensi Reduksi Nutrien (ERN) NH₃-N setiap perlakuan

Rekapitulasi hasil pengukuran empat parameter umum kualitas air yang diukur ditunjukkan pada Tabel 3. Parameter suhu dan salinitas relatif stabil diantara perlakuan, namun oksigen terlarut nampaknya bervariasi pada perlakuan tertentu. Oksigen terlarut tercatat lebih rendah pada perlakuan E (IMTA-non padi) dan perlakuan F (IMTA-padi) dibandingkan empat perlakuan lainnya (monokultur dan polikultur). Meskipun demikian, oksigen terlarut tidak pernah dibawah 4 mg/L selama penelitian pada semua perlakuan. Demikian pula dengan parameter pH, terdapat variasi nilai pada perlakuan tertentu. Nilai pH lebih rendah diamati pada perlakuan A dan B (dua sistem monokultur) dibandingkan pada perlakuan lainnya.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kualitas Air

Perlakuan	Suhu (°C)	Oksigen terlarut (mg/L)	Salinitas (ppt)	pH
A (Monokultur 1)	27,8±0,30	6,38±0,12	20,2±0,38	7,80±0,08
B (Monokultur 2)	27,8±0,31	6,43±0,11	20,3±0,34	7,75±0,12
C (Polikultur 1)	27,8±0,29	6,29±0,19	20,3±0,34	7,61±0,11
D (Polikultur 2)	27,8±0,31	6,36±0,20	20,2±0,39	7,62±0,09
E (IMTA-non padi)	27,8±0,30	4,63±0,15	20,2±0,35	7,31±0,11
F (IMTA-padi)	27,8±0,27	5,32±0,18	20,3±0,36	7,25±0,13

Keterangan: Data disajikan sebagai nilai rata-rata (n=3) ± standar deviasi (SD).

Pembahasan

Pakan pada kegiatan akuakultur, khususnya pada sistem intensif sangat menentukan pertumbuhan kultivan melalui pemanfaatan nutrisi yang terkandung didalam pakan (Craig *et al.*, 2017; Heriansah, *et al.*, 2022b), namun input pakan dapat meningkatkan akumulasi bahan organik dalam bentuk sisa pakan, feses, dan ekskresi (urine) (Evania *et al.*, 2018). Sri-uam *et al.* (2016) melaporkan bahwa limbah sisa pakan dan feses yang pada budidaya ikan nila sebesar 61,9% N. Sementara itu pada budidaya udang windu, 69,7% N terbuang di sedimen dan kolom air tambak (Sahu *et al.*, 2013). Feses dan sisa pakan berprotein tinggi ini dapat terakumulasi dengan cepat (Xu *et al.*, 2020), namun terurai perlahan di dasar kolam yang dapat menghasilkan sejumlah besar nitrogen anorganik (Lin *et al.*, 2023). Senyawa nitrogen anorganik yang paling umum sebagai limbah akuakultur adalah amonia (NH₃-N) (Abakari *et al.*, 2021; Lin *et al.*, 2023). Pakan yang digunakan pada penelitian memiliki kandungan protein 40% yang berpotensi meningkatkan konsentrasi NH₃-N.

Uraian diatas dapat menjelaskan konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ yang meningkat di hari ke-7 (sebelum padi ditebar) pada semua perlakuan (Tabel 2) merupakan respon air terhadap akumulasi sisa pakan serta feses dan hasil ekskresi metabolik dari setiap hewan akuatik. Namun, konsentrasi amonia selama penelitian <1 mg/L yang dapat ditolerir oleh ikan nila dan udang windu (Lawson, 1995). Meskipun kerang dan teripang mengeluarkan feses dan produk metabolisme yang berpotensi meningkatkan konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ dalam air, tetapi spesies kerang adalah *filter feeder* dan spesies teripang adalah *deposit feeder* masing-masing diketahui dapat menyerap berbagai partikel organik dan anorganik yang tersuspensi di kolom air dan terdeposit di dasar perairan (Grosso *et al.*, 2021; Nicholaus *et al.*, 2019). Oleh karena itu, kehadiran kedua hewan akuatik ini menjadi faktor penyebab konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ pada sistem IMTA di hari ke-7 lebih rendah secara signifikan dibandingkan konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ pada sistem monokultur dan polikultur.

Akumulasi nitrogen dalam akuakultur biasanya terjadi dalam beberapa bentuk, yaitu amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), amonium ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$), dan nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$), tetapi dari semua bentuk nitrogen ini yang memerlukan kontrol yang ketat adalah $\text{NH}_3\text{-N}$ (Abakari *et al.*, 2021). Senyawa ini bersifat toksik terutama disebabkan oleh bentuk tidak terionisasi sehingga dapat berdifusi melintasi membran insang dan mengakibatkan penurunan kapasitas pembawa oksigen sel darah dan merusak struktur dan fungsi organ (Effendi *et al.*, 2020; Lin *et al.*, 2023). Oleh karena itu, berbagai sistem akuakultur telah dikembangkan untuk mengatasi akumulasi $\text{NH}_3\text{-N}$, termasuk sistem kokultur. Sistem ini diketahui dapat menurunkan konsentrasi limbah $\text{NH}_3\text{-N}$ melalui pelibatan berbagai organisme yang dapat memanfaatkan limbah tersebut (Nederlof *et al.*, 2021; Thomas *et al.*, 2021; Campanati *et al.*, 2022). Terbukti dalam penelitian ini, konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ pada sistem polikultur dan IMTA di akhir penelitian cenderung menurun, sementara pada sistem monokultur tetap meningkat, namun masih <1 mg/L (Tabel 2).

Kehadiran padi sebagai penyerap nutrisi anorganik dapat menjelaskan temuan ini. Padi dapat langsung menyerap N anorganik di dalam air sehingga mengurangi substrat N untuk produksi $\text{NH}_3\text{-N}$, selain itu asam organik dalam akar padi dapat menghambat produksi amonia yang tidak terionisasi dalam air (Li *et al.*, 2019). Pada metode apung seperti pada penelitian ini, akar padi di permukaan air dapat mengasimilasi nutrisi terlarut secara efektif (Kang *et al.*, 2016; Srivastava *et al.*, 2017). Kehadiran kerang dan teripang juga sebagai penyebab konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ yang lebih rendah pada sistem IMTA. Beberapa studi IMTA sebelumnya yang melibatkan kedua spesies ini dapat menurunkan konsentrasi N, termasuk senyawa $\text{NH}_3\text{-N}$ (Amalia *et al.*, 2022; Chary *et al.*, 2020). Dengan demikian, kehadiran spesies dengan level trofik berbeda (kerang, teripang, dan padi) pada sistem polikultur dan IMTA mengindikasikan adanya reduksi nutrisi.

Serapan spesies ekstraktif bahan organik dan anorganik merupakan salah satu mekanisme reduksi nutrisi yang efisien dalam sistem akuakultur (Irhayyim *et al.*, 2020). Perlu disebutkan kembali bahwa pada penelitian ini, ikan nila dan udang windu adalah spesies yang diberi pakan, kerang darah sebagai penyerap bahan organik tersuspensi, teripang pasir sebagai penyerap bahan organik terdeposit, dan padi sebagai penyerap bahan anorganik (terlarut). Persentase efisiensi reduksi nutrisi (ERN) $\text{NH}_3\text{-N}$ pada dua sistem monokultur bernilai negatif ($-94,9 \pm 1,9\%$ dan $-94,5 \pm 1,0\%$) yang mengindikasikan tidak adanya reduksi nutrisi pada sistem tersebut (Gambar 3). Ketidakhadiran spesies penyerap bahan organik dan anorganik (kerang, teripang, dan padi) dapat menjelaskan tidak adanya reduksi pada sistem monokultur ini, bahkan terjadi akumulasi yang diindikasikan oleh meningkatnya konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ di akhir penelitian. Banyak hasil tinjauan dari beberapa penelitian terdahulu telah menyimpulkan bahwa sistem monokultur mengakumulasi limbah $\text{NH}_3\text{-N}$ di wadah pemeliharaan (Boyd *et al.*, 2020; Thomas *et al.*, 2021; Amoussou *et al.*, 2022).

Persentase ERN $\text{NH}_3\text{-N}$ pada sistem polikultur ikan nila dan padi ($24,4 \pm 0,7\%$) serta polikultur udang windu dan padi ($23,2 \pm 0,9\%$) menunjukkan nilai positif yang mengindikasikan adanya reduksi nutrisi pada sistem ini. Reduksi dibuktikan dengan menurunnya konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ di akhir penelitian pada kedua sistem polikultur ini. Hasil ini sejalan dengan penelitian Li *et al.* (2019) yang mendapatkan reduksi $\text{NH}_3\text{-N}$ oleh padi di tambak lele dan tambak udang air tawar masing-masing 26,0% dan 22,6%. Telah diuraikan sebelumnya bahwa akar padi pada metode apung dapat menyerap bahan organik terlarut secara efektif, mengurangi substrat N, dan menghambat produksi $\text{NH}_3\text{-N}$ (Kang *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2019; Srivastava *et al.*, 2017). $\text{NH}_3\text{-N}$ dari dekomposisi sisa pakan dan feses serta produk respirasi dari ikan nila dan udang windu nampaknya diserap oleh padi pada sistem polikultur ini.

Persentase ERN $\text{NH}_3\text{-N}$ yang positif juga ditemukan pada sistem IMTA-non padi ($38,9 \pm 1,6\%$) yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem polikultur. Pada sistem kokultur ini, kehadiran kerang hijau dan teripang pasir dapat menyerap partikel organik (sisa pakan dan feses) yang tersuspensi dan terdeposit (Grosso *et al.*, 2021; Nicholaus *et al.*, 2019) sehingga berperan dalam mengurangi sejumlah bahan organik yang berpotensi terurai menjadi senyawa $\text{NH}_3\text{-N}$. Studi Nicholaus *et al.* (2019) menemukan kandungan total bahan organik berkurang pada eksperimen yang melibatkan kerang darah dengan nilai reduksi nitrogen sebesar 33,0% lebih tinggi dibandingkan tanpa kerang darah. Untuk teripang pasir, Jiang *et al.* (2017) melaporkan tingkat asimilasi bahan organik teripang pasir dalam sedimen sebesar 40,2%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa

keberadaan kerang darah dan teripang pasir berkontribusi dalam mengurangi nutrisi anorganik ($\text{NH}_3\text{-N}$), baik secara langsung maupun tidak langsung.

Pada sistem IMTA-padi, selain kerang hijau dan teripang pasir, kehadiran padi yang secara spesifik menyerap nutrisi anorganik semakin menambah efisiensi reduksi nutrisi. Terbukti bahwa persentase ERN $\text{NH}_3\text{-N}$ pada sistem IMTA-padi ($44,3\pm 1,7\%$) lebih tinggi secara signifikan dari sistem monokultur, polikultur, dan IMTA-non padi. Tidak ada publikasi ilmiah terdahulu yang menggunakan spesies dan metode yang sama dengan penelitian ini, sehingga sulit untuk membandingkannya. Namun, sebuah studi IMTA yang mengintegrasikan udang windu, kerang darah, dan rumput laut menghasilkan reduksi total bahan organik ($19,2\%$) yang lebih tinggi daripada sistem monokultur dan polikultur (Amalia *et al.*, 2022). Kehadiran organisme dengan berbagai level trofik yang berbeda (ikan nila, udang windu, kerang darah, teripang pasir, dan padi) sebagaimana sistem IMTA-padi pada penelitian ini masing-masing berkontribusi menyerap tipe nutrisi berdasarkan level trofiknya sehingga menghasilkan ERN $\text{NH}_3\text{-N}$ yang paling tinggi.

Hasil penelitian ini semakin menguatkan beberapa konsep akuakultur terintegrasi, antara lain kokultur antara hewan akuatik dengan tanaman padi bermanfaat secara ekologis (Bashir *et al.*, 2020), setiap spesies pada sistem kokultur harus memiliki level trofik berbeda untuk mendapatkan manfaat dari peningkatan berbagai limbah nutrisi dalam wadah akuakultur (Nederlof *et al.*, 2021), dan diversifikasi sistem dan produk adalah salah satu strategi utama untuk keberlanjutan akuakultur di air payau (Lalramchhiani *et al.*, 2020). Selain itu, sistem kokultur IMTA dapat meningkatkan produktivitas karena pada luasan dan waktu yang sama dihasilkan produksi yang lebih banyak sehingga mengarah pada manfaat ekonomis. Pengetahuan yang diperoleh dari hasil pada penelitian ini mungkin dapat menjadi informasi berharga untuk mengembangkan budidaya ikan nila, udang windu, kerang darah, teripang pasir, dan padi metode apung sebagai usaha yang menguntungkan untuk budidaya air payau berkelanjutan di wilayah pesisir. Untuk itu, studi lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi secara mendalam kemampuan masing-masing spesies untuk mengasimilasi limbah melalui serapan di tingkat jaringan.

Pertumbuhan dan kelangsungan hidup organisme, termasuk kinerja penyerapan nutrisi dipengaruhi oleh parameter kualitas air dalam sistem akuakultur (Irhayyim *et al.*, 2020). Mengacu pada berbagai referensi, ikan nila direkomendasikan dipelihara pada rentang suhu $26\text{--}30^\circ\text{C}$, oksigen terlarut $>3\text{ mg/L}$, dan pH $6\text{--}9$ (Setiadi *et al.*, 2018). Ikan nila sebagai spesies euryhaline dapat hidup pada kisaran salinitas $0\text{--}35\%$ (Nassar *et al.*, 2021). Sementara itu, rentang suhu $27\text{--}32^\circ\text{C}$, oksigen terlarut $>3\text{ mg/L}$, salinitas $17\text{--}35\text{ ppt}$, dan pH $7,2\text{--}8,6$ direkomendasikan untuk udang windu (Amalia *et al.*, 2022). Untuk kerang darah, moluska benthik ini termasuk organisme yang toleran terhadap salinitas yang tinggi dan rendah, tetapi kisaran suhu dan pH yang dapat ditoleransi $25\text{--}32^\circ\text{C}$ dan $6\text{--}8$ (Wulandari *et al.*, 2019) dan oksigen terlarut minimal 4 mg/L (Atmaja *et al.*, 2017). Hastuti *et al.* (2022) melaporkan suhu yang baik untuk teripang pasir pada kisaran $27\text{--}32^\circ\text{C}$, oksigen terlarut $>5\text{ mg/L}$, dan pH $7\text{--}8$. Walaupun teripang pasir mampu bertahan hidup pada salinitas $20\text{--}45\text{ ppt}$, namun kisaran yang optimal pada rentang $30\text{--}34\text{ ppt}$ (Sugama *et al.*, 2019).

Secara umum, empat parameter kualitas air selama penelitian tetap dalam kisaran toleransi untuk semua hewan akuatik (Tabel 3). Oksigen terlarut tidak pernah dibawah 4 mg/L karena pasokan aerasi secara terus menerus, selain itu padi diketahui mampu menyediakan oksigen di air melalui aktivitas fotosintesis (Srivastava *et al.*, 2017). Suhu yang kondusif selama penelitian nampaknya dikontrol oleh wadah apung yang dapat mengurangi paparan panas di kolom air. pH yang bervariasi pada penelitian ini dapat dikaitkan dengan pemanfaatan limbah organik oleh kerang darah, teripang pasir, dan padi. Khusus untuk padi, salinitas yang digunakan cukup tinggi meskipun masih bertahan untuk hidup. Varietas padi yang mudah beradaptasi dalam berbagai kondisi, energi dari nutrisi yang cukup untuk penyesuaian tekanan osmotik, serta adaptasi salinitas secara bertahap selama 30 hari mungkin berpengaruh terhadap kemampuan padi untuk bertahan hidup (Pandolfi *et al.*, 2012). Keempat parameter kualitas air ini relatif stabil dan tidak menunjukkan perbedaan yang ekstrim diantara perlakuan. Dengan demikian, kinerja ERN $\text{NH}_3\text{-N}$ yang diperoleh pada penelitian ini sangat mungkin karena faktor sistem akuakultur yang berbeda (perlakuan).

Kesimpulan

Penelitian ini memberikan indikasi positif bahwa sistem kokultur mampu mereduksi limbah $\text{NH}_3\text{-N}$ di air payau. Sistem kokultur yang paling efisien dalam mereduksi limbah $\text{NH}_3\text{-N}$ adalah sistem yang melibatkan spesies dengan level trofik yang lengkap (IMTA-padi) dengan nilai ERN ($43,3\pm 1,7\%$), lebih tinggi secara signifikan dari sistem monokultur, polikultur, dan IMTA-non padi. Hasil ini mengarah pada potensi akuakultur multi-spesies untuk akuakultur berkelanjutan di air payau.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan bekerjasama dengan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia melalui

Program Riset Keilmuan (Nomor Kontrak 230/E4.1/AK.04.RA/2021). Oleh karena itu, penulis berterima kasih kepada ke dua lembaga pemerintah ini atas dukungan dana. Penulis mengapresiasi LP2M Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa dan Institut Akuakultur (mitra riset) atas kerjasamanya selama penelitian. Penelitian ini melibatkan beberapa mahasiswa melalui program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM). Oleh karena itu, penulis juga berterima kasih kepada seluruh mahasiswa yang terlibat pada Riset Keilmuan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abakari, G., G. Luo, E.O. Kombat. 2021. Dynamics of nitrogenous compounds and their control in biofloc technology (BFT) systems: A review. *Aquaculture and Fisheries*, 6(5): 441-447.
- Amalia, R., S. Rejeki, L.L. Widowati, R.W. Ariyati. 2022. The growth of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and its dynamics of water quality in integrated culture. *Biodiversitas*, 23(1): 593-600.
- Amoussou, N., M. Thomas, A. Pasquet, T. Lecocq. 2022. Finding the best match: A ranking procedure of fish species combinations for polyculture development. *Life*, 12(9): 1315.
- APHA [American Public Health Association]. 2017. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, US.
- Atmaja, B.S., S. Rejeki, R. Wisnu. 2017. The effects of different stocking densities of the growth and survival rate of blood cockles (*Anadara granosa*) cultured in the eroded beachish waters at Kaliwlingi Brebes. *Journal of Aquaculture Management and Technology*, 4(4): 95-100.
- Azad, A.S., A. Estim, S. Mustafa, M.V. Sumbing. 2017. Assessment of nutrients in seaweed tank from land based integrated multitrophic aquaculture module. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 05(08): 137147.
- Bashir, M.A., J. Liu, Y. Geng, H. Wang, J. Pan, D. Zhang, A. Rehim, M. Aon, H. Liu. 2020. Co-culture of rice and aquatic animals: An integrated system to achieve production and environmental sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 249: 119310.
- Boyd, C.E., L.R. D'Abramo, B.D. Glencross, D.C. Huyben, L.M. Juarez, G. S. Lockwood, A.A. McNevin, A.G.J. Tacon, F. Teletchea, J.R. Tomasso, C.S. Tucker, W.C. Valenti. 2020. Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3): 578633.
- Campanati, C., D. Willer, J. Schubert, D.C. Aldridge. 2022. Sustainable intensification of aquaculture through nutrient recycling and circular economies: More fish, less waste, blue growth. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, 30(2): 143-169.
- Chary, K., J. Aubin, B. Sadoul, A. Fiandrino, D. Covès, M.D. Callier. 2020. Integrated multi-trophic aquaculture of red drum (*Sciaenops ocellatus*) and sea cucumber (*Holothuria scabra*): Assessing bioremediation and life-cycle impacts. *Aquaculture*, 516: 734621.
- Chopin, T., J.A. Cooper, G. Reid, S. Cross, C. Moore. 2012. Open-water integrated multi-trophic aquaculture: Environmental biomitigation and economic diversification of fed aquaculture by extractive aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 4(4): 209-220.
- Craig, S., D. Kuhn, M. Schwarz. 2017. Understanding fish nutrition, feeds, and feeding steven. Virginia Cooperative Extension, 16.
- Dauda, A.B., A. Ajadi, A.S. Tola-Fabunmi, A.O. Akinwole. 2019. Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. *Aquaculture and Fisheries*, 4(3): 81-88.
- Effendi, H., B.A. Utomo, N.T.M. Pratiwi. 2020. Ammonia and orthophosphate removal of tilapia cultivation wastewater with *Vetiveria zizanioides*. *Journal of King Saud University - Science*, 32(1): 207-212.
- Evania, C., S. Rejeki, R.W. Ariyati (2018). Growth performance of the tiger shrimp (*Penaeus monodon*) cultivated with green mussels (*Perna viridis*) using the IMTA system. *Jurnal Sains Akukultur Tropis*, 2(2), 4452.
- Grosso, L., A. Rakaj, A. Fianchini, L., Morroni, S. Cataudella, M. Scardi. 2021. Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) system combining the sea urchin *Paracentrotus lividus*, as primary species, and the sea cucumber *Holothuria tubulosa* as extractive species. *Aquaculture*, 534: 736268.
- Hastuti, Y.P., M.B. Mahmud, Y.S. Fatma, R. Affandi, K. Nirmala. 2022. Effect of the use of *Gracilaria* sp. on water quality, physiological and growth performance of *Holothuria scabra* in culture tank. *Indonesian Aquaculture Journal*, 17(1): 61-72.
- Heriansah, A. Kabangnga, N.F. Nursida. 2023. Wadah apung tanaman untuk riset riset akuakultur multi-trofik (Hak Cipta No. 000443037). Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia. --> Cek konsistensi penulisan
- Heriansah, R. Syamsuddin, R., Najamuddin, Syafiuddin. 2022a. Growth of *Kappaphycus alvarezii* in vertical method of multi-trophic system based on feeding rate. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and*

- Fisheries, 26(5): 1197-1210. --> Cek konsistensi penulisan
- Heriansah, Nursyahran, Fathuddin, F. Alifia, F., M. Rifal, A. Anzar, M.F. Reza. 2022b. Signifikansi daya cerna dan rasio konversi pakan yang dilapisi tepung kopepoda (*Oithona* sp.) pada udang vaname (*Litopenaeus vannamei*): Suatu aplikasi praktis. multifunctional agriculture for food, renewable energy, water, and air security 2022. Prosiding Seminar Nasional Politani Pangkep, September 2009
- Irhayyim, T., M. Fehér, J., Lelesz, M., Bercsényi, P. Bársony. 2020. Nutrient removal efficiency and growth of watercress (*Nasturtium officinale*) under different harvesting regimes in integrated recirculating aquaponic systems for rearing common carp (*Cyprinus carpio* L.). Water (Switzerland), 12: 1419.
- Jamil, A., M. Mejaya, R. Praptana, N. Subekti, M. Aqil, A. Musaddad, F. Putri. 2016. Deskripsi varietas unggul tanaman pangan 2010-2016. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Jiang, S., F. Zhou, X. Mo, J. Huang, Q. Yang, L. Yang. 2017. Polyculture of sea cucumber *holothuria scabra* with pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh, IJA_69.2017.1429.
- Kang, Q., R. Li, Q. Du, B. Cheng, Z. Liao, C. Sun, Z. Li. 2016. Studies on the ecological adaptability of growing rice with floating bed on the dilute biogas slurry. BioMed Research International, 3856386.
- KKP [Kementerian Kelautan dan Perikanan]. 2023. Laporan kinerja 2022. Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia.
- Knowler, D., T. Chopin, R. Martínez-Espiñeira, A. Neori, A. Nobre, A. Noce, G. Reid. 2020. The economics of Integrated Multi-Trophic Aquaculture: where are we now and where do we need to go? Reviews in Aquaculture, 12(3): 1579-1594.
- Lalramchhani, C., B.C. Paran, P.S. Anand, T.K. Ghoshal, P. Kumar, K.K. Vijayan. 2020. Integrated rearing system approach in the farming of mud crab, shrimp, fish, oyster and periphyton in brackishwater pond. Aquaculture Research, 51(10): 4165-4172.
- Lawson, T.B. 1995. Fundamentals of aquacultural engineering. Chapman and Hall Publishers. US.
- Li, F., J. Feng, X. Zhou, C. Xu, J.M. Jijakli, W. Zhang, F. Fang. 2019. Impact of rice-fish/shrimp co-culture on the N₂O emission and NH₃ volatilization in intensive aquaculture ponds. Science of the Total Environment, 655: 284-291.
- Lin, W., H. Luo, J. Wu, T.C Hung, B. Cao, X. Liu, J. Yang, P. Yang. 2023. A review of the emerging risks of acute ammonia nitrogen toxicity to aquatic decapod crustaceans. Water (Switzerland), 15(1): 1-13.
- Mook, W.T., M.H. Chakrabarti, M.K. Aroua, G.M.A. Khan, B.S. Ali, M.S. Islam, M.A. Hassan. 2012. Removal of total ammonia nitrogen (TAN), nitrate and total organic carbon (TOC) from aquaculture wastewater using electrochemical technology: A review. Desalination, 285: 1-13.
- Nassar, S.A., A.G.A. Hassan, M.F. Badran, M.M. Abdel-Rahim. 2021. Effects of salinity level on growth performance, feed utilization, and chromatic deformity of the hybrid red Tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*. Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries, 25(2): 49-61.
- Nederlof, M.A.J., M.C.J. Verdegem, A.C. Smaal, H.M. Jansen. 2021. Nutrient retention efficiencies in integrated multi-trophic aquaculture. Reviews in Aquaculture, 14(3): 1194-1212.
- Neori, A., T. Chopin, M. Troell, A.H. Buschmann, G.P. Kraemer, C. Halling, M. Shpigel, C. Yarish. 2004. Integrated aquaculture: Rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. Aquaculture, 231(1-4): 361-391.
- Nicholaus, R., B. Lukwambe, L. Zhao, W. Yang, J. Zhu, Z. Zheng. 2019. Bioturbation of blood clam *Tegillarca granosa* on benthic nutrient fluxes and microbial community in an aquaculture wastewater treatment system. International Biodeterioration and Biodegradation, 142(818): 73-82.
- Nugroho, H.Y.S.H., D.R. Indrawati, N. Wahyuningrum, R.N. Adi, A.B. Supangat, Y. Indrajaya, P.B. Putra, S.A. Cahyono, A.W. Nugroho, T.M. Basuki, E. Savitri, T.W. Yuwati, B.H. Narendra, M.K. Sallata, M.K. Allo, A.R. Bisjoe, N. Muin, W. Isnain, F. Ansari, ... A. Hani. 2022. Toward water, energy, and food security in rural Indonesia: A review. Water (Switzerland), 14(10): 1-25.
- Paena, M., R. Syamsuddin, C. Rani, H. Tandipayuk. 2020. Estimasi beban limbah organik dari tambak udang superintensif yang terbuang di Perairan Teluk Labuange. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, 12(2): 509-518.
- Pandolfi, C., S. Mancuso, S. Shabala. 2012. Physiology of acclimation to salinity stress in pea (*Pisum sativum*). Environmental and Experimental Botany, 84: 44-51.
- Pham, T.L., M.H. Bui. 2020. Removal of nutrients from fertilizer plant wastewater using *Scenedesmus* sp.: formation of bioflocculation and enhancement of removal efficiency. Journal of Chemistry, 8094272.
- Sahu, B.C., S. Adhikari, L. Dey. 2013. Carbon, nitrogen and phosphorus budget in shrimp (*Penaeus monodon*) culture ponds in eastern India. Aquaculture International, 21(2): 453-466.
- Setiadi, E., Y.R. Widyastuti, T.H. Prihadi. 2018. Water quality, survival, and growth of red tilapia, *Oreochromis niloticus* cultured in aquaponics system. E3S Web of Conferences, 47: 20184702006.

- Sri-uam, P., S. Donnuea, S. Powtongsook, P. Pavasant. 2016. Integrated multi-trophic recirculating aquaculture system for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Sustainability, 8(592): 1-15.
- Srivastava, A., S.J. Chun, S.R. Ko, J. Kim, C.Y. Ahn, H.M. Oh. 2017. Floating rice-culture system for nutrient remediation and feed production in a eutrophic lake. Journal of Environmental Management, 203: 342-348.
- Sugama, K., I.N.A. Giri, M. Zairin. 2019. Prospek pengembangan teripang pasir (*Holothuria scabra*) sebagai sumber senyawa bioaktif dan pangan fungsional. AMAFRAD Press, Jakarta.
- Thomas, M., A. Pasquet, J. Aubin, S. Nahon, T. Lecocq. 2021. When more is more: taking advantage of species diversity to move towards sustainable aquaculture. Biological Reviews, 96(2): 767-784.
- Wang, H., D. Zhang, Y. Zhang, L. Zhai, B. Yin, F. Zhou, Y. Geng, J. Pan, J. Luo, B. Gu, H. Liu. 2018. Ammonia emissions from paddy fields are underestimated in China. Environmental Pollution, 235: 482-488.
- Wulandari, N. Cokrowati, B.H. Astriana, N. Diniarti. 2019. Penurunan nilai padatan tersuspensi pada limbah tambak udang intensif menggunakan kerang darah (*Anadara granosa*). Jurnal Kelautan, 12(2): 123-130.
- Xu, W., Y. Xu, H. Su, X. Hu, K. Yang, G. Wen, Y. Cao. 2020. Characteristics of ammonia removal and nitrifying microbial communities in a hybrid biofloc-ras for intensive *Litopenaeus vannamei* culture: A pilot-scale study. Water (Switzerland), 12(11): 1-17.