

**Prosiding Seminar Nasional dalam Rangka Dies Natalis Ke-35  
Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan.  
“Smart Agriculture In Providing Food To Prevent Stunting”  
Pangkep, 11 Oktober 2023**

---

**Variabilitas Nitrogen (N) Pada Sistem Kokultur Hewan Akuatik Dan Tanaman Padi ;  
Sebuah Eksperimen Laboratorium Untuk Akuakultur Berkelanjutan**

**Nitrogen (N) Variability In Co-Culture Systems Of Aquatic Animals And Rice Plants ;  
A Laboratory Experiment For Sustainable Aquaculture**

**Heriansah<sup>1\*</sup>, Nursidi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Program Studi Sumber Daya Akuatik, Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa

<sup>2</sup> Program Studi Teknologi Budidaya Perairan, Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan

\*Korespondensi: heriansah.itbm.bd@gmail.com

**Abstrak**

Akuakultur sistem monokultur berbasis pakan dikritik dari perspektif ekologis dan ekonomis karena dampak negatif dari limbah yang dihasilkan terhadap kualitas air. Sebuah eksperimen laboratorium telah dilakukan untuk menyelidiki variabilitas senyawa nitrogen (N) pada sistem ko-kultur di air payau. Empat hewan akuatik komersil, antara lain ikan nila (*Oreochromis niloticus*), udang windu (*Penaeus monodon*), kerang darah (*Tegillarca granosa*), dan teripang pasir (*Holothuria scabra*), serta satu tanaman padi (*Oryza sativa*) melalui sistem apung dikombinasikan pada beberapa sistem akuakultur. Penelitian menggunakan desain eksperimen acak lengkap yang terdiri dari enam perlakuan dan tiga ulangan. Empat kelompok perlakuan dengan kombinasi biota berbeda, masing-masing dua perlakuan untuk sistem kokultur (polikultur dan *Integrated Multi Trophic Aquaculture-IMTA*). Selain itu, terdapat dua perlakuan sistem monokultur sebagai kontrol. Pakan diaplikasikan 4 kali sehari sebanyak 10% dari biomassa ikan nila selama 4 minggu eksperimen. Hasil eksperimen berdasarkan analisis ragam menunjukkan bahwa konsentrasi senyawa amoniak (NH<sub>3</sub>), amonium (NH<sub>4</sub>), nitrit (NO<sub>2</sub>), dan nitrat (NO<sub>3</sub>) dipengaruhi secara signifikan (P<0,05) oleh sistem akuakultur. Konsentrasi NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, dan NO<sub>3</sub> pada sistem monokultur cenderung meningkat sampai akhir eksperimen. Variasi berbeda ditemukan pada sistem polikultur dan IMTA, konsentrasi keempat senyawa N yang diamati cenderung tereduksi sehingga menurun di akhir eksperimen. Temuan ini mengarah pada potensi diversifikasi spesies melalui sistem kokultur untuk akuakultur berkelanjutan di air payau.

**Kata Kunci:** akuakultur berkelanjutan, hewan akuatik, kokultur, senyawa nitrogen (N), padi

**Abstract**

Feed-based monoculture system aquaculture has been criticized from ecological and economic perspectives because of the negative impact of the waste produced on water quality. A laboratory experiment was conducted to investigate the variability of nitrogen (N) compounds in a co-culture system in brackish water. Four commercial aquatic animals, including tilapia (*Oreochromis niloticus*), tiger prawns (*Penaeus monodon*), blood clams (*Tegillarca granosa*), sand sea cucumbers (*Holothuria scabra*), and one rice plant (*Oryza sativa*) were reared through a floating system combined with several aquaculture systems. This study used a completely randomized experimental design consisting of six treatments and three replicates. Four treatment groups with different biota combinations, two treatments each for the coculture system (polyculture and *Integrated Multi Trophic Aquaculture-IMTA*). In addition, two monoculture system treatments were used as controls. Feed was applied four times a day at 10% of the tilapia biomass for 4 weeks. The results based on analysis of variance showed that the concentrations of ammonia (NH<sub>3</sub>), ammonium (NH<sub>4</sub>), nitrite (NO<sub>2</sub>), and nitrate (NO<sub>3</sub>) were significantly influenced (P<0.05) by the aquaculture system. The concentrations of NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, and NO<sub>3</sub> in the monoculture system tended to increase until the end of the experiment. Different variations were found in the polyculture and IMTA systems; the concentrations of the four N compounds observed tended to decrease so that they decreased at the end of the experiment. These findings point to the potential for species diversification through coculture systems for sustainable aquaculture in brackish water.

**Keywords:** aquatic animals, co-culture, nitrogen (N) compounds, rice plants, sustainable aquaculture

## PENDAHULUAN

Pakan buatan memiliki peran multidimensi, meliputi dimensi biologi, ekonomi, dan ekologi sehingga sangat menentukan keberhasilan akuakultur. Pada dimensi biologi, pertumbuhan organisme kultivan ditentukan oleh nutrisi yang disediakan melalui pakan buatan (Barani *et al.*, 2019) yang menjadi kemandirian jika produksi akuakultur akan ditingkatkan (Heriansah *et al.*, 2022a; Heriansah *et al.*, 2022b). Sementara itu, biaya pakan buatan umumnya teralokasi lebih dari 50% dari total biaya produksi sehingga pada dimensi ekonomi dapat mempengaruhi profitabilitas akuakultur (Sanchez-Muros *et al.*, 2020). Pada dimensi ekologi, pakan buatan merupakan sumber utama limbah pada kegiatan akuakultur komersial yang dapat berefek negatif terhadap kesehatan organisme kultivan dan lingkungan (Boyd & McNevin, 2015).

Dimensi ekologi pakan buatan saat ini menjadi sorotan dalam berbagai diskusi akuakultur berkelanjutan. Khusus pada sistem monokultur intensif, produksi yang semakin menurun dari tahun ke tahun diakibatkan oleh akumulasi limbah pakan yang berdampak negatif terhadap ekosistem perairan (Thomas *et al.*, 2021). Sistem monokultur berbasis pakan buatan dapat mengakumulasi limbah padat dan limbah terlarut yang berbahaya bagi organisme. Limbah padat (organik) dapat berupa sisa pakan dan feses yang ditemukan di kolom dan dasar perairan serta limbah terlarut (anorganik) berupa sisa pakan yang terurai dan hasil metabolisme organisme (Dauda *et al.*, 2019). Limbah-limbah ini menjadi penyebab tambak yang awalnya produktif tetapi akhirnya menjadi tidak produktif (Pantjara *et al.*, 2015).

Salah satu unsur limbah akuakultur yang menjadi perhatian adalah nitrogen (N) (Chatvijitkul *et al.*, 2018). Unsur N merupakan komponen protein yang jumlahnya cukup besar dalam pakan (Neto & Ostrensky, 2015), namun sebagian terbuang dalam bentuk sisa pakan, feses, dan produk ekskresi (Zhang *et al.*, 2020). Beberapa studi telah mendokumentasikan beban limbah dari pakan, khususnya pada sistem monokultur. Bouwman *et al.* (2013) melaporkan limbah N padat (organik) dan terlarut (anorganik) pada akuakultur moluska masing-masing 40% dan 27%, akuakultur ikan 10% dan 54%, dan akuakultur udang 20% dan 45%. Nederlof *et al.* (2021) mencatat 18% N pakan terlepas sebagai limbah organik pada akuakultur ikan. Neto & Ostrensky (2015) menyebutkan 65% N dilepaskan sebagai feses, ekskresi, dan sisa pakan pada akuakultur ikan nila.

Limbah N dari praktik akuakultur mengancam akuakultur berkelanjutan (Thomas *et al.*, 2021), terutama N terlarut berbahaya, seperti  $\text{NH}_3$  yang beracun bagi organisme kultivan (Dauda *et al.*, 2019). Untuk itu, rekayasa sistem akuakultur yang dapat meminimalisir limbah sangat dibutuhkan. Sistem kokultur saat ini dinilai sebagai solusi terbaik menggantikan sistem monokultur, baik dalam dimensi biologi, ekonomi, maupun lingkungan (Melendres & Largo, 2021). Prinsip sistem kokultur adalah mengintegrasikan beberapa spesies dengan tingkat trofik berbeda, seperti spesies yang diberi pakan (udang atau ikan), spesies ekstraktif organik (teripang, kerang, landak laut), dan spesies ekstraktif anorganik (tanaman) (Chary *et al.*, 2020).

Lima spesies bernilai ekonomis penting dengan trofik berbeda, antara lain ikan nila (*Oreochromis niloticus*), udang windu (*Penaeus monodon*), kerang darah (*Tegillarca granosa*), teripang pasir (*Holothuria scabra*), dan padi (*Oryza sativa*) digunakan pada riset ini. Sejauh ini belum ada informasi ilmiah yang mengkombinasikan kelima spesies ini pada beberapa sistem akuakultur. Selain itu, padi pada riset ini dipelihara di air payau dengan metode apung yang masih sangat terbatas informasi ilmiahnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi variabilitas senyawa nitrogen (N) pada sistem kokultur. Hasil riset dapat memberikan wawasan tentang potensi kokultur kelima spesies tersebut di air payau untuk keberlanjutan akuakultur.

**BAHAN DAN METODE**

Riset dilaksanakan pada Juli sampai September 2022 di Laboratorium Institut Akuakultur Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan. Pengukuran senyawa nitrogen (N), meliputi amoniak (NH<sub>3</sub>), amonium (NH<sub>4</sub>), nitrit (NO<sub>2</sub>), dan nitrat (NO<sub>3</sub>) dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene dan Kepulauan. Peralatan riset yang digunakan meliputi bak plastik ukuran 50x50x55 cm, nampan (*tray*) ukuran 25x25 cm, netpot diameter 8 cm, blower Resun LP60, peralatan aerasi, *water quality meter 5 in 1* AZ 86031, dan botol sampel PP 100 mL. Sementara itu, bahan meliputi organisme kultivan (ikan nila, udang windu, kerang darah, teripang pasir, dan padi), pakan, serabut kelapa, pasir laut, dan air payau.

Riset didesain pada skala laboratorium dengan 6 kelompok perlakuan sistem akuakultur dan 3 ulangan. Sistem akuakultur, meliputi sistem monokultur sebagai kontrol dan sistem kokultur yang terdiri dari sistem polikultur dan sistem *Integrated Multi Trophic Aquaculture* (IMTA) (Tabel 1).

Tabel 1. Perlakuan riset

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

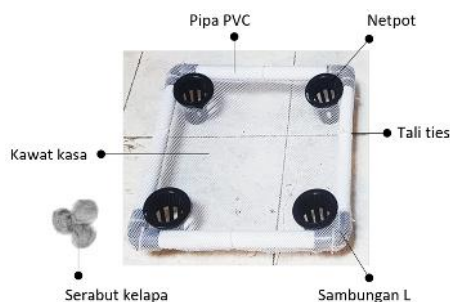
Keterangan : A, B = monokultur; C, D, E dan F = kokultur

Hewan akuatik yang digunakan dalam riset diperoleh secara lokal. Benih ikan nila (berat 2,1±0,1 g) dan benih udang windu (berat 2,5±0,2 g) diperoleh masing-masing dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Takalar dan unit penggelondongan di Kabupaten Pangkep. Kerang darah (berat 22,6±0,3 g) dan teripang pasir (berat 12,3±0,3 g) dikumpulkan dari nelayan di Kabupaten Takalar. Keempat hewan akuatik ini terlebih dahulu diaklimatisasi secara bertahap selama 30 hari untuk dapat hidup pada salinitas air payau (20 ppt.) Sementara itu, bibit padi yang diperoleh secara komersil disemai sampai mencapai ketinggian 15,1±0,2 cm.

Wadah pemeliharaan sebelum diisi air payau 90 liter, terlebih dahulu ditambahkan pasir didasar bak untuk substrat kerang darah dan teripang pasir. Hewan akuatik ditebar dengan kepadatan masing-masing 20 ekor ikan nila, udang windu, dan kerang darah, sedangkan teripang pasir hanya 10 individu. Semaian padi dimasukkan ke dalam 4 netpot yang berisi serabut kelapa dan diapungkan menggunakan nampan setelah 7 hari penebaran hewan akuatik. Ilustrasi desain wadah pemeliharaan dan nampan ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Ilustrasi wadah penelitian

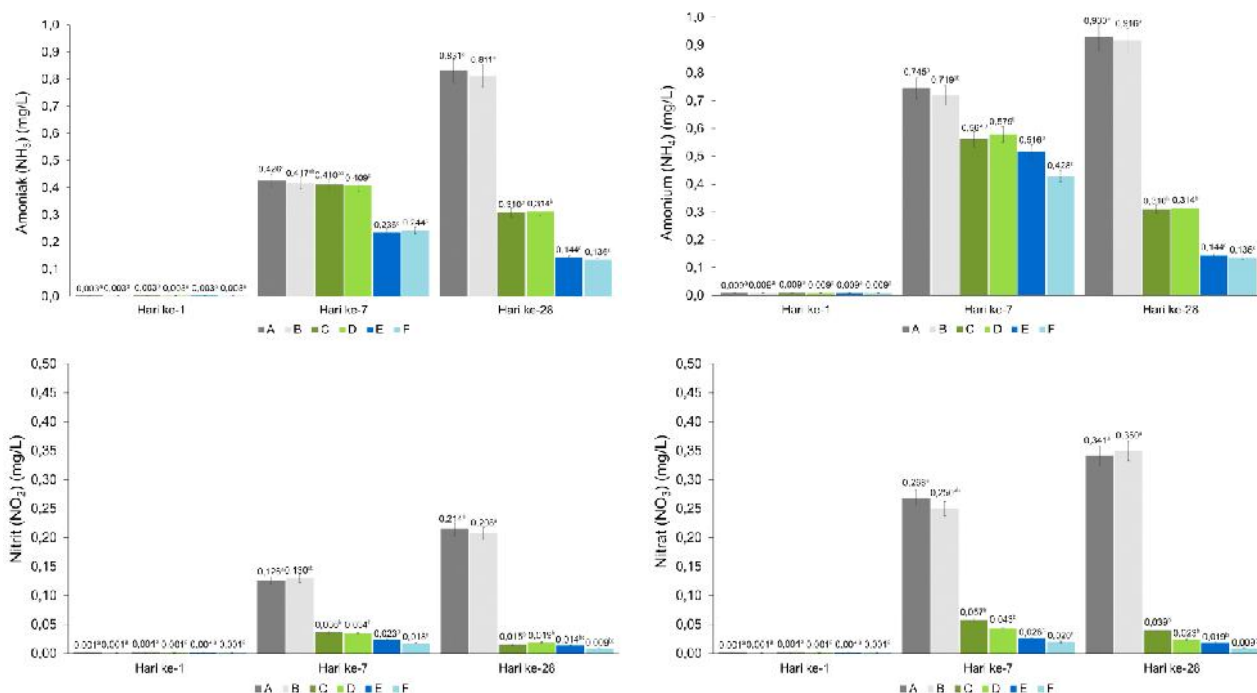


Gambar 2. Wadah apung padi (nampan)

Selama 28 hari eksperimen dilakukan pemberian pakan komersil (protein 40%) ke ikan nila dan udang windu 4 kali sehari (pukul 07.00, 11.00, 15.00 dan 19.00) dengan *feeding rate* 10%. Penyiponan dan pergantian air tidak dilakukan, namun volume air secara konsisten dipertahankan selama pemeliharaan. Pengumpulan data konsentrasi N, meliputi NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, dan NO<sub>3</sub> diukur pada hari ke-1 (awal eksperimen), hari ke-7 (sebelum padi tebar), dan hari ke-28 (akhir eksperimen). Sampel air diambil di setiap unit percobaan dengan menggunakan botol sampel volume 100 mL dan selanjutnya dianalisis di laboratorium. Selain itu, parameter umum kualitas air, meliputi suhu, oksigen terlarut, salinitas, dan pH juga dikumpulkan secara insitu. Data selanjutnya dianalisis secara statistik menggunakan analisis ragam untuk mengetahui pengaruh sistem akuakultur terhadap variabilitas NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, dan NO<sub>3</sub>. Uji statistik ini menggunakan IBM SPSS Statistik Versi 25.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Akumulasi nitrogen dalam praktik akuakultur umumnya dalam beberapa bentuk senyawa, antara lain amoniak (NH<sub>3</sub>), amonium (NH<sub>4</sub>), nitrit (NO<sub>2</sub>), dan nitrat (NO<sub>3</sub>) (Abakari *et al.*, 2021). Variabilitas nitrogen (N) pada riset ini dipresentasikan oleh keempat senyawa tersebut untuk setiap sistem akuakultur di hari ke-1, ke-7, dan ke-28 (Gambar 3).



Keterangan: Perlakuan A = Monokultur (1), B = Monokultur (2), C = Polikultur (1), D = Polikultur (2), E = IMTA (1), F = IMTA (2); Angka pada grafik yang diikuti huruf superskrip yang berbeda mengindikasikan perbedaan yang signifikan berdasarkan hasil uji Anova ( $\alpha = 0,05$ ); Data adalah nilai rata-rata dari  $n = 3$ .

Gambar 3. Hasil pengukuran konsentrasi senyawa NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, dan NO<sub>3</sub>

Gambar 3 menunjukkan bahwa konsentrasi NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, dan NO<sub>3</sub> relatif rendah pada hari ke-1 dan tidak ada perbedaan signifikan ( $P > 0,05$ ) antar sistem akuakultur. Namun, konsentrasi keempat senyawa N ini meningkat drastis pada hari ke-7. Peningkatan yang lebih tinggi tercatat pada sistem monokultur dibandingkan sistem polikultur dan IMTA. Data menunjukkan bahwa konsentrasi NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, dan NO<sub>3</sub> di hari ke-7 secara signifikan lebih rendah di sistem kokultur IMTA dibandingkan sistem monokultur dan polikultur ( $P < 0,05$ ). Variasi senyawa N diamati sangat

kelas pada hari ke-28, konsentrasi  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ , dan  $\text{NO}_3$  tetap meningkat pada sistem monokultur, tetapi pada sistem polikultur dan IMTA cenderung menurun dan menunjukkan perbedaan yang signifikan antara sistem monokultur dan kokultur. Secara umum, konsentrasi senyawa N terendah tercatat di sistem IMTA, baik pada hari ke-7 maupun hari ke-28.

Pakan buatan yang digunakan pada riset ini memiliki kandungan protein 40% berdasarkan label kemasan yang diaplikasikan 4 kali sehari sebanyak 10% dari biomassa. Telah disebutkan sebelumnya bahwa unsur N merupakan komponen protein yang jumlahnya cukup besar dalam pakan. Sebagai diketahui bahwa tidak semua pakan yang diberikan dapat dicerna oleh ikan, sebagian menjadi sisa pakan, feses, dan ekskresi. Khusus untuk ikan nila, Sri-uam *et al.* (2016) melaporkan limbah berupa sisa pakan dan feses yang dihasilkan sebesar 61,9% N. Neto & Ostrensky (2015) menyebutkan 65% N dilepaskan sebagai feses, ekskresi, dan sisa pakan pada akuakultur ikan nila. Untuk akuakultur udang windu, sekitar 69,8% N pakan terbuang di sedimen dan kolom air tambak (Sahu *et al.*, 2013). Selain itu, kerang dan teripang juga mengeluarkan feses dan urine yang mengandung senyawa N (Grosso *et al.*, 2021; Srisunont & Babel, 2015).

Uraian diatas relevan untuk menjelaskan konsentrasi senyawa  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ , dan  $\text{NO}_3$  yang meningkat di hari ke-7 pada semua sistem akuakultur. Konsentrasi yang meningkat merupakan reaksi air terhadap akumulasi N dari sisa pakan serta feses dan hasil ekskresi metabolik dari setiap hewan akuatik (Melendres & Largo, 2021). Meskipun kerang darah dan teripang pasir mengeluarkan feses dan produk metabolisme yang berpotensi meningkatkan konsentrasi N di air, tetapi spesies kerang bersifat *suspension feeder* yang mampu menyerap partikel organik dan anorganik yang di tersuspensi kolom. Sementara itu, spesies teripang bersifat *deposit feeder* yang mampu menyerap partikel organik yang terdeposit dasar perairan (Nicholaus *et al.*, 2019). Spesies teripang pasir yang menyerap partikel organik (padat) sekaligus mengurangi potensi terbentuknya senyawa anorganik (terlarut) perairan (Grosso *et al.*, 2021). Kekhasan kedua spesies ini dapat dikaitkan dengan konsentrasi  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ , dan  $\text{NO}_3$  di hari ke-7 yang lebih rendah pada sistem IMTA dibandingkan sistem polikultur dan monokultur.

Konsentrasi senyawa  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ , dan  $\text{NO}_3$  yang diamati pada hari ke-28 (akhir riset) tetap meningkat pada sistem monokultur, tetapi pada sistem kokultur (polikultur dan IMTA) cenderung menurun. Ketidakhadiran spesies penyerap bahan organik dan anorganik (kerang darah, teripang pasir, dan padi) pada sistem monokultur dapat menjelaskan hasil ini. Beberapa tinjauan terdahulu menjelaskan bahwa sistem monokultur mengakumulasi limbah N di wadah pemeliharaan (Thomas *et al.*, 2021; Amoussou *et al.*, 2022). Sementara itu, kehadiran spesies penyerap bahan anorganik (padi) pada sistem polikultur dan kehadiran spesies penyerap bahan organik (kerang darah dan teripang pasir) yang dikombinasikan dengan spesies penyerap bahan anorganik (padi) pada sistem IMTA nampaknya berperan penting dalam variasi penurunan konsentrasi senyawa N di akhir riset.

Padi diketahui memiliki kemampuan menyerap N anorganik sebagai nutrisi dan asam organik pada akhirnya dapat menghambat produksi amonia yang tidak terionisasi dalam air (Li *et al.*, 2019). Padi pada riset ini dipelihara dengan sistem apung dan sistem ini memposisikan akar padi di permukaan air sehingga dapat mengasimilasi N terlarut secara efektif (Srivastava *et al.*, 2017). Senyawa  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ , dan  $\text{NO}_3$  yang terbentuk dari dekomposisi sisa pakan dan feses serta produk respirasi hewan akuatik nampaknya diserap oleh akar padi pada sistem kokultur, baik polikultur maupun IMTA. Selain itu, kehadiran kerang darah dan teripang pasir juga dapat dikaitkan dengan variasi N yang ditemukan pada riset ini. Beberapa studi IMTA yang melibatkan kedua spesies ini dilaporkan dapat menurunkan konsentrasi N dalam air (Amalia *et al.*, 2022; Chary *et al.*, 2020). Kehadiran dan ketidakhadiran spesies tertentu berkontribusi dalam menciptakan variasi

konsentrasi N. Secara umum, hasil riset menunjukkan kehadiran spesies yang lengkap berdasarkan level trofiknya menghasilkan limbah N yang lebih rendah.

Beberapa konsep dan prinsip sistem kokultur ditemukan pada beberapa referensi, 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 produk melalui sistem kokultur merupakan salah satu strategi untuk keberlanjutan akuakultur di air payau (Lalramchhani *et al.*, 2020). Temuan pada riset ini semakin menguatkan konsep dan prinsip sistem kokultur yang telah disebutkan. Selain itu, hasil riset ini mungkin dapat menjadi informasi penting untuk mengembangkan akuakultur ikan nila, udang windu, kerang darah, teripang pasir, dan padi metode apung sebagai sistem yang menguntungkan untuk akuakultur berkelanjutan di air payau yang saat ini Indonesia baru memanfaatkan sekitar 22,8% dari 2,96 juta hektar potensi lahan air payau (KKP, 2022).

Selain oleh faktor sistem akuakultur, kondisi lingkungan, terutama parameter kualitas juga perlu dikaitkan dengan variabilitas senyawa N dalam air. Empat parameter umum kualitas air dirangkum dengan nilai kisaran selama 28 hari seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran kualitas air

Perlakuan	Sistem Akuakultur	Oksigen terlarut (mg/L)	Salinitas (ppt)	Suhu (°C)	pH
A	Monokultur (1)	6,1–6,6	19,6–20,9	27,3–28,8	7,1–7,5
B	Monokultur (2)	6,2–6,6	19,7–20,9	27,2–28,8	7,1–7,5
C	Polikultur (1)	5,9–6,6	19,7–20,9	27,2–28,6	7,1–7,8
D	Polikultur (2)	6,0–6,7	19,6–20,9	27,2–28,7	7,1–7,8
E	IMTA (1)	4,4–4,9	19,7–20,9	27,3–28,6	7,1–7,8
F	IMTA (2)	5,0–5,6	19,6–20,9	27,3–28,7	7,1–7,8

Keterangan : A, B = monokultur; C, D, E dan F = kokultur

Ikan nila direkomendasikan pada kadar oksigen terlarut >3 mg/L, salinitas 0-35‰, suhu 26–30°C, dan pH 6–9 (Setiadi *et al.*, 2018). Untuk udang windu, oksigen terlarut > 3 mg/L, salinitas 17–35 ppt, suhu 27–32°C, dan pH 7,2–8,6 (Amalia *et al.*, 2022). Sementara itu, oksigen terlarut minimal 4 mg/L (Atmaja *et al.*, 2017), suhu 25–32°C dan pH 6–8 direkomendasikan untuk kerang darah (Wulandari *et al.*, 2019). Teripang pasir direkomendasikan dipelihara pada kadar oksigen terlarut > 4 mg/L, suhu 27-32°C, dan pH 7–8 (Hastuti *et al.*, 2022), dan mampu bertahan hidup pada salinitas 20–45 ppt (Sugama *et al.*, 2019). Mengacu pada referensi ini, kualitas air selama riset relatif kondusif untuk hewan akuatik pada setiap sistem akuakultur.

Aerasi terus menerus selama riset nampaknya berkontribusi terhadap oksigen terlarut yang selalu di atas 4 mg/L. Khusus untuk padi, salinitas 19,6–20,9 ppt nampaknya tidak kondusif bagi padi meskipun masih dapat hidup. Aklimatisasi yang bertahap selama 30 hari, ketersediaan nutrisi yang cukup, dan sistem apung mungkin menciptakan mekanisme tersendiri bagi padi untuk tetap hidup pada salinitas tinggi. Berdasarkan nilai empat parameter umum kualitas yang relatif sama pada setiap sistem akuakultur, maka dapat disebutkan bahwa variabilitas N yang diperoleh pada riset ini adalah karena kinerja berbeda dari setiap sistem akuakultur.

## KESIMPULAN

Terlepas dari riset yang dilakukan pada skala laboratorium, hasilnya memberikan indikasi potensi meminimalisasi limbah nitrogen (N) melalui sistem kokultur, terutama pada sistem IMTA. Hasil ini mengarah pada sistem multi-spesies untuk akuakultur berkelanjutan di air payau. Penelitian lebih lanjut dari potensi ini dibutuhkan untuk memastikan bahwa sistem kokultur untuk ikan nila, udang windu, kerang darah, teripang pasir, dan padi dapat diaplikasikan pada skala lapangan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Riset 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 kedua lembaga pemerintah ini atas dukungan dananya. Penulis mengapresiasi LP2M Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa dan Institut Akuakultur (mitra riset) atas kerjasamanya selama penelitian. Penulis juga mengapresiasi seluruh pihak yang telah berkontribusi pada penyusunan dan publikasi artikel ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abakari, G., Luo, G., & Kombat, E. O. (2021). Dynamics of nitrogenous compounds and their control in biofloc technology (BFT) systems: A review. *Aquaculture and Fisheries*, 6(5), 441–447. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.05.005>.
- Amalia, R., Rejeki, S., Widowati, L. L., & Ariyati, R. W. (2022). The growth of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and its dynamics of water quality in integrated culture. *Biodiversitas*, 23(1), 593–600. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230164>.
- Amoussou, N., Thomas, M., Pasquet, A., & Lecocq, T. (2022). Finding the best match: A ranking procedure of fish species combinations for polyculture development. *Life*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/life12091315>.
- Atmaja, B. S., Rejeki, S., & Wisnu, R. (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. *J. of Aquaculture Management and Technology*, 4(4), 95–100.
- Barani, H. K., Dahmardeh, H., Miri, M., & Rigi, M. (2019). The effects of feeding rates on growth performance, feed conversion efficiency and body composition of juvenile snow. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 18(3), 507–516. <https://doi.org/10.22092/ijfs.2019.118285>.
- Bashir, M. A., Liu, J., Geng, Y., Wang, H., Pan, J., Zhang, D., Rehim, A., Aon, M., & Liu, H. (2020). Co-culture of rice and aquatic animals: An integrated system to achieve production and environmental sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 249(November), 119310. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119310>.
- Bouwman, L., Beusen, A., Glibert, P. M., Overbeek, C., Pawlowski, M., Herrera, J., Mulsow, S., Yu, R., & Zhou, M. (2013). Mariculture: Significant and expanding cause of coastal nutrient enrichment. *Env. Res. Let.*, 8(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/4/044026>.
- Boyd, C. E., & McNevin, A. A. (2015). *Aquaculture, Resource Use, and the Environment*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Chary, K., Aubin, J., Sadoul, B., Fiandrino, A., Covès, D., & Callier, M. D. (2020). Integrated multi-trophic aquaculture of red drum (*Sciaenops ocellatus*) and sea cucumber (*Holothuria scabra*): Assessing bioremediation and life-cycle impacts. *Aquaculture*, 516(October 2019), 734621. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734621>.
- Chatvijitkul, S., Boyd, C. E., & Davis, D. A. (2018). Nitrogen, phosphorus, and carbon concentrations

- in some common aquaculture feeds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 49(3), 477–483. <https://doi.org/10.1111/jwas.12443>.
- Dauda, A. B., Ajadi, A., Tola-Fabunmi, A. S., & Akinwale, A. O. (2019). Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. *Aquaculture and Fisheries*, 4(3), 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.10.002>.
- Grosso, L., Rakaj, A., Fianchini, A., Morroni, L., Cataudella, S., & Scardi, M. (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(December), 736268. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736268>.
- Hastuti, Y. P., Mahmud, M. B., Fatma, Y. S., Affandi, R., & Nirmala, K. (2022). Effect of the use of *Gracilaria* sp. on water quality, physiological and growth performance of *Holothuria scabra* in culture tank. *Indonesian Aquac. J.*, 17(1), 61–72. <https://doi.org/10.15578/iaj.17.1.2022.61-72>.
- Heriansah, Nursyahrani, Fathuddin, Alifia, F., Rifal, M., Anzar, A., & Reza, M. F. (2022). Signifikansi daya cerna dan rasio konversi pakan yang dilapisi tepung kopepoda (*Oithona* sp.) pada udang vaname (*Litopenaeus vannamei*): Suatu aplikasi praktis. Prosiding Semnas Politani Pangkep Tahun 2022, 214-224. <https://doi.org/https://doi.org/10.51978/proppnp.v3i1.269>.
- Heriansah, Syamsuddin, R., Najamuddin, & Syafiuddin. (2022). Growth of *Kappaphcus alvarezii* in vertical method of multi-trophic system based on feeding rate. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 26(5), 1197–1210. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2022.267643>.
- KKP. (2022). Laporan Kinerja Triwulan Kedua. Direktorat Jenderal Kelautan dan Perikanan. Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. Jakarta.
- Lalramchhani, C., Paran, B. C., Shyne Anand, P. S., Ghoshal, T. K., Kumar, P., & Vijayan, K. K. (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. <https://doi.org/10.1111/are.14758>.
- Li, F., Feng, J., Zhou, X., Xu, C., Haissam Jijakli, M., Zhang, W., & Fang, F. (2019). Impact of rice-fish/shrimp co-culture on the N<sub>2</sub>O emission and NH<sub>3</sub> volatilization in intensive aquaculture ponds. *Sci. of the Tot. Env.*, 655, 284–291. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.440>.
- Melendres, A. R., & Largo, D. B. (2021). Integrated culture of *Eucheuma denticulatum*, *Perna viridis*, and *Crassostrea* sp. in Carcar Bay, Cebu, Philippines. *Aquaculture Reports*, 20, 100683. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100683>.
- Nederlof, M. A. J., Verdegem, M. C. J., Smaal, A. C., & Jansen, H. M. (2021). Nutrient retention efficiencies in integrated multi-trophic aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, October, 1–19. <https://doi.org/10.1111/raq.12645>.
- Neto, R. M., & Ostrensky, A. (2015). Nutrient load estimation in the waste of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) reared in cages in tropical climate conditions. *Aquaculture Research*, 46(6), 1309–1322. <https://doi.org/10.1111/are.12280>.
- Nicholaus, R., Lukwambe, B., Zhao, L., Yang, W., Zhu, J., & Zheng, Z. (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. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.05.004>.
- Pantjara, B., Syafaat, M. N., & Kristanto, A. H. (2015). Effect of dynamical water quality on shrimp culture in the Integrated Multitrophic Aquaculture (IMTA). *Indonesian Aquaculture Journal*, 10(1), 81. <https://doi.org/10.15578/iaj.10.1.2015.81-90>.
- Sahu, B. C., Adhikari, S., & Dey, L. (2013). Carbon, nitrogen and phosphorus budget in shrimp (*Penaeus monodon*) culture ponds in eastern India. *Aquaculture International*, 21(2), 453–466.



<https://doi.org/10.1007/s10499-012-9573-x>.

- Sanchez-Muros, M. J., Renteria, P., Vizcaino, A., & Barroso, F. G. (2020). Innovative protein sources in shrimp (*Litopenaeus vannamei*) feeding. *Reviews in Aquaculture*, 12(1), 186–203. <https://doi.org/10.1111/raq.12312>.
- Setiadi, E., Widyastuti, Y. R., & Heru Prihadi, T. (2018). Water quality, survival, and growth of red tilapia, *Oreochromis niloticus* cultured in aquaponics system. *E3S Web of Conferences*, 47. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184702006>.
- Sri-uam, P., Donnuea, S., Powtongsook, S., & Pavasant, P. (2016). Integrated multi-trophic recirculating aquaculture system for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Sustainability*, 8(592), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su8070592>.
- Srisunont, C., & Babel, S. (2015). Uptake, release, and absorption of nutrients into the marine environment by the green mussel (*Perna viridis*). *Marine Pollution Bulletin*, 97, 285–293. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.06.004>.
- Srivastava, A., Chun, S. J., Ko, S. R., Kim, J., Ahn, C. Y., & Oh, H. M. (2017). Floating rice-culture system for nutrient remediation and feed production in a eutrophic lake. *Journal of Environmental Management*, 203, 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.08.006>.
- Sugama, K., Giri, I., Nyoman Adiasmara, & Zairin, M. (2019). Aspek biologi dan budidaya teripang pasir, *Holothuria scabra*. Penerbit AMaFRAD Press, Jakarta.
- Thomas, M., Pasquet, A., Aubin, J., Nahon, S., & Lecocq, T. (2021). When more is more: taking advantage of species diversity to move towards sustainable aquaculture. *Biological Reviews*, 96(2), 767–784. <https://doi.org/10.1111/brv.12677>.
- Wulandari, Cokrowati, N., Astriana, B. H., & Diniarti, N. (2019). Penurunan nilai padatan tersuspensi pada limbah tambak udang intensif menggunakan kerang darah (*Anadara granosa*). *Jurnal Kelautan*, 12(2), 123–130. <http://doi.org/10.21107/jk.v12i2.6346>.
- Zhang, X., Zhang, Y., Zhang, Q., Liu, P., Guo, R., Jin, S., Liu, J., Chen, L., Ma, Z., & Ying, L. (2020). Evaluation and analysis of water quality of marine aquaculture area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041446>.