

Analisis Laju Filtrasi dan Morfometrik Kerang Darah (*Anadara granosa*) pada Budidaya Sistem Kokultur dengan Berbagai Kombinasi Biota

Arnold Kabangnga^{1*}, Heriansah², Nur Fajriani Nursida³

¹Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perairan, Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa

²Program Studi Budidaya Perairan, Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa

Jl. Perintis Kemerdekaan VIII No. 8 Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90245 Indonesia

³Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene dan Kepulauan

Jl. Poros Makassar - Parepare Km. 83, Pangkajene Dan Kepulauan, Sulawesi Selatan 90761 Indonesia

Corresponding author, e-mail: arnoldkabangnga@gmail.com

ABSTRAK: Keberadaan kerang dengan karakteristik filter feeder diperlukan untuk memanfaatkan limbah akuakultur yang tersuspensi di kolom air sehingga dapat direduksi. Penelitian ini, kerang darah dari empat sistem akuakultur dievaluasi untuk menentukan laju filtrasi, yaitu sistem monokultur, polikultur, kokultur IMTA non-padi, dan kokultur IMTA padi. Kerang darah, ikan nila, dan udang windu masing-masing ditebar sebanyak 20 ekor pada 90 L air payau, sedangkan kepadatan teripang adalah 10 ekor. Untuk padi, dipelihara dengan metode terapung menggunakan nampan. Selama 4 minggu, pakan diberikan 4 kali sehari sebanyak 10% dari biomassa. biota sangat menentukan keberhasilan budidaya multibiota pada sistem ko-kultur. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa kombinasi biota berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap konsentrasi amoniak, nitrat, dan fosfat. Konsentrasi ketiga bahan organik di akhir penelitian pada sistem polikultur dan sistem IMTA secara signifikan lebih rendah dibandingkan pada sistem monokultur. Sementara itu, pengaruh kombinasi biota terhadap karakteristik morfometrik tidak menunjukkan pengaruh nyata ($P > 0,05$). Laju filtrasi dan morfometrik akan efektif jika dikultur dengan spesies trofik level yang lengkap melalui sistem IMTA.

Kata kunci: *Anadara granosa*; Filtrasi; Kokultur; IMTA

*Analysis of Filtration Rate and Morphometrics of Blood Clams (*Anadara granosa*) in Co-culture Systems with Various Combinations of Biota*

ABSTRACT: The existence of mussels with filter feeder characteristics is needed to utilize aquaculture waste suspended in the water column so that it can be reduced. In this study, blood cockles from four aquaculture systems were evaluated to determine the filtration rate, namely monoculture, polyculture, non-rice IMTA coculture, and rice IMTA coculture. Blood clams, tilapia and tiger prawns were each stocked with 20 individuals in 90 L of brackish water, while the density of sea cucumbers was 10 individuals. For rice, it is maintained by the floating method using trays. For 4 weeks, the feed was given 4 times a day as much as 10% of the biomass. biota greatly determines the success of multibiota cultivation in co-culture systems. The results of the analysis of variance showed that the combination of biota had a significant effect ($P < 0.05$) on the concentrations of ammonia, nitrate and phosphate. The concentrations of the three organic matter at the end of the study in the polyculture system and the IMTA system were significantly lower than in the monoculture system. Meanwhile, the effect of the combination of biota on the morphometric characteristics did not show a significant effect ($P > 0.05$). Filtration rate and morphometrics will be effective if cultured with complete trophic level species through the IMTA system

Keywords: *Anadara granosa*; Coculture; IMTA; Filtration

PENDAHULUAN

Degradasi kualitas lahan di wilayah pesisir telah menjadi isu global akibat praktek budidaya tidak ramah lingkungan yang berdampak negatif terhadap lingkungan (Ottinger *et al.*, 2018).

Kegiatan budidaya telah dikembangkan melalui beberapa sistem, antara lain monokultur dan ko-kultur. Pada sistem monokultur khususnya pada budidaya intensif dan semi intensif, ikan atau udang hanya mengasimilasi 23-31% nitrogen dan 10-13% fosfat dari pakan yang diberikan, sedangkan sisanya 14-53% nitrogen dan 39-67% fosfat menjadi sisa pakan dan feses (Al Azad *et al.*, 2017). Limbah dari sistem akuakultur tersebut telah mengancam prinsip akuakultur berkelanjutan (Thomas *et al.*, 2021).

Pengembangan akuakultur melalui sistem *Integrated Multi Trophic Aquaculture* (IMTA) dipandang sebagai strategi dan solusi untuk meminimalisir limbah budidaya (Henares *et al.*, 2018; Melendres & Largo, 2021). Prinsip pengembangan IMTA yaitu mengintegrasikan beberapa spesies budidaya dengan tingkat trofik berbeda. Integrasi tersebut antara lain spesies yang diberi pakan (ikan atau udang), spesies ekstraktif partikel organik (kerang, teripang, landak laut). Selanjutnya penambahan spesies ekstraktif partikel anorganik (rumput laut dan tanaman lainnya) sehingga disebut sebagai ko-kultur (Chopin *et al.*, 2012; Knowler *et al.*, 2020). Ko-kultur berbagai spesies ini dapat mengurangi limbah karena dapat dimanfaatkan oleh spesies lainnya berdasarkan tingkatan trofiknya (Zhang *et al.*, 2019).

Sebagaimana diketahui bahwa limbah dari pakan umumnya dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu limbah padat (organik) dan limbah terlarut (anorganik). Limbah padat adalah pakan yang tidak dimakan (sisa pakan) dan feses dari biota budidaya yang diklasifikasikan lagi menjadi padatan yang tersuspensi dikolom air dan padatan yang mengendap didasar perairan (Dauda *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2012). Oleh karena itu, pada sistem ko-kultur harus memasukkan organisme *filter feeder* untuk mendapatkan manfaat dari efek peningkatan material tersuspensi dalam media budidaya (Lander *et al.*, 2013).

Kerang merupakan organisme utama yang digunakan pada sistem ko-kultur untuk menyerap limbah organik yang tersuspensi di perairan (Cranford *et al.*, 2013). Kerang yang bersifat *filter feeder* secara efektif menghilangkan limbah nutrien yang tersuspensi melalui proses filtrasi secara terus menerus dan tidak selektif (Tantanasarit & Babel, 2014). Kerang menyaring makanan dengan memompa air melalui rongga mantel untuk mendapatkan partikel-partikel di dalam air berupa mikroalga, zooplankton, dan zat organik terlarut (Sagita *et al.*, 2017).

Beberapa studi menunjukkan bahwa kerang dapat menurunkan limbah nutrien yang tersuspensi di perairan. Srisunont & Babel (2015) menemukan bahwa serapan nitrogen kerang sebesar 62,1%. Widowati *et al.* (2021) mendapatkan hasil tentang penurunan total amonia nitrogen oleh kerang hijau dari 0,20 mg/L menjadi 0,09 mg/L. Sementara itu, Evania *et al.* (2018) mengevaluasi NH₃ pada polikultur udang dan kerang di mana konsentrasinya 0,531 mg/L, hasil ini lebih rendah dari monokultur udang yang mencapai 0,901 mg/L. Selain itu, studi Kabangnga *et al.* (2020) menemukan bahwa kerang secara signifikan mampu menurunkan kandungan hidrogen sulfida (H₂S) yang merupakan limbah metabolit dari proses dekomposisi bahan organik dan sisa pakan.

Salah satu jenis kerang yang memiliki nilai ekonomis penting adalah kerang darah (*Anadara granosa*). Jenis kerang ini dikenal sebagai organisme *filter feeder* (*ciliary feeder*) yang mengambil makanan melalui proses filtrasi atau penyaringan zat-zat tersuspensi yang terdapat dalam perairan (Sulistiyarningsih & Arbi, 2020). Amalia *et al.* (2022) melaporkan bahwa total bahan organik pada sistem ko-kultur yang melibatkan kerang darah (*A. granosa*) secara signifikan lebih rendah dari pada sistem monokultur tanpa kerang. Sisa pakan dan sisa metabolisme (feses) dari udang dan bandeng juga dapat dimanfaatkan sebagai pakan bagi kerang darah (*A. granosa*) (Sulistiyarningsih & Arbi, 2020). Oleh karena itu, kerang darah (*A. granosa*) merupakan kandidat yang baik untuk budidaya sistem ko-kultur.

Lima spesies fungsional yang bernilai ekonomis penting digunakan pada penelitian ko-kultur ini, antara lain kerang darah (*A. granosa*) sebagai *suspension feeder*, ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dan udang windu (*Penaeus monodon*) sebagai spesies yang diberi pakan, teripang pasir (*Holothuria scabra*) sebagai *deposit feeder*, dan padi (*Oryza sativa*) sebagai penyerap nutrien anorganik. Khusus untuk padi, pemeliharannya di air payau dan menggunakan metode apung masih langka diterapkan pada budidaya sistem kokultur.

Kombinasi spesies pada sistem kokultur dapat menentukan keberhasilan budidaya karena terdiri dari banyak biota yang memiliki karakteristik tersendiri (Wahab *et al.*, 2011). Selain itu, kombinasi biota yang tepat dapat mengoptimalkan sinergitas antar biota yang berimplikasi terhadap produksi setiap spesies (Hamsiah *et al.*, 2021). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi laju filtrasi kerang darah (*A. granosa*) dari berbagai sistem akuakultur melibatkan berbagai spesies yang dipelihara secara ko-kultur.

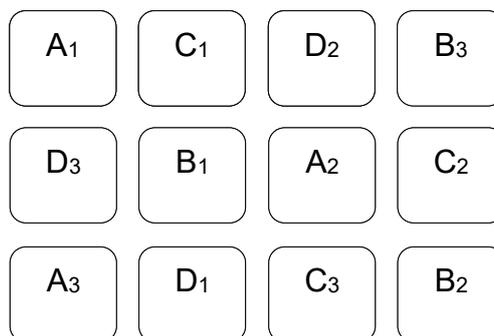
MATERI DAN METODE

Materi penelitian yang terdiri dari kerang darah (*Anadara granosa*) dan teripang pasir (*Holothuria scabra*) berbobot awal masing-masing $22,6 \pm 0,2$ g dan $12,3 \pm 0,3$ g diperoleh dari tangkapan alami nelayan di Desa Laikang Kabupaten Takalar. Ikan nila salin (*Oreochromis niloticus*) berukuran $2,1 \pm 0,1$ g diperoleh dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Takalar. Udang windu (*Penaeus monodon*) diperoleh dari unit penggelondongan di Ma'rang Kabupaten Pangkep dengan bobot awal $2,5 \pm 0,2$ g. Keempat hewan akuatik ini diaklimatisasi secara bertahap dengan kondisi percobaan selama 20 hari untuk dapat hidup pada salinitas 20 ppt. Sementara itu, padi salin (*Oryza sativa*) yang diperoleh secara komersil terlebih dahulu disemai sampai ketinggian $15,1 \pm 0,2$ cm.

Prinsip ko-kultur dalam penelitian ini yaitu kerang darah (*A. granosa*) sebagai hewan uji (*filter feeder*), ikan nila (*O. niloticus*) sebagai organisme *feed species*, udang Windu (*P. monodon*) sebagai organisme *feed species*, teripang pasir (*Holothuria scabra*) sebagai organisme *deposit feeder*, padi (*Oryza sativa*) sebagai *absorber* anorganik, pakan komersil untuk ikan dan udang, dan air payau sebagai media pemeliharaan. Alat yang digunakan dalam penelitian terdiri dari bak plastik persegi ukuran $50 \times 50 \times 50$ cm³ (*Gator plastic*) sebagai wadah pemeliharaan, *Tray* sebagai rangka padi apung, *netpot* sebagai wadah tanam padi, serabut kelapa sebagai media tanam padi, *blower*, selang dan batu aerasi sebagai penyuplai oksigen media air, *Sigmat Digital Caliper* 150 mm sebagai pengukur morfometrik, dan *Water Quality Meter 5 in 1 AZ 86031* sebagai pengukur kualitas air.

Penelitian dilakukan pada skala laboratorium yang didesain dengan menggunakan 4 perlakuan dan 3 replikasi. Perlakuan (jenis kultur) yang dievaluasi adalah sistem akuakultur dengan tata letak ditunjukkan pada Gambar 1.

Wadah pemeliharaan ditambahkan pasir didasar wadah sebagai substrat serta diisi air payau salinitas 20 ppt sebanyak 90 liter dengan parameter yang sesuai dengan media aklimatisasi. Padat tebar kerang darah, ikan nila, dan udang windu masing-masing 20 ekor per wadah, sedangkan teripang ditebar dengan kepadatan 10 individu per wadah. Khusus untuk tanaman padi, pemeliharaan



Gambar 1. Tata letak wadah penelitian dengan masing-masing perlakuan, A: *Anadara granosa* (monokultur); B: *Anadara granosa* + *Oryza sativa*; C: *Anadara granosa* + *Oreochromis niloticus* + *Penaeus monodon* + *Holothuria scabra* (IMTA tanpa padi); D: *Penaeus monodon*, D: *Anadara granosa* + *Oreochromis niloticus* + *Penaeus monodon* + *Holothuria scabra* + *Oryza sativa* (IMTA padi).

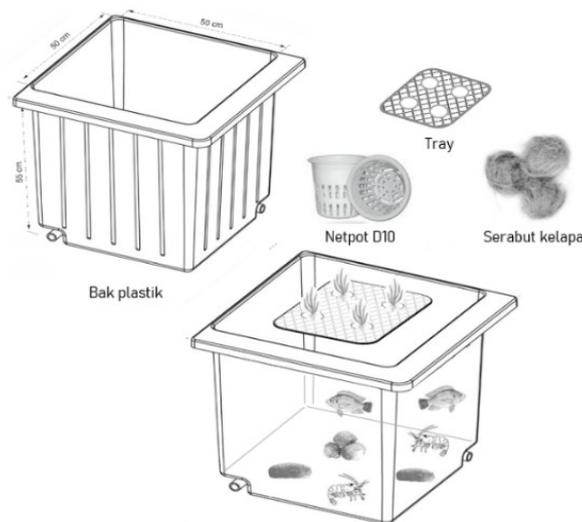
dilakukan dengan sistem apung menggunakan nampan (*tray*) yang terdiri atas 4 lubang untuk netpot. Media tanam berupa serabut kelapa diletakkan didalam netpot. Penebaran padi dilakukan 7 hari setelah penebaran hewan akuatik. Ilustrasi desain wadah pemeliharaan dan tata letak unit percobaan ditunjukkan pada Gambar 2.

Tahap Pengumpulan Data

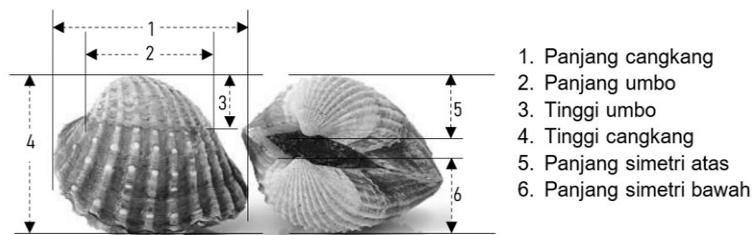
Data yang dikumpulkan pada penelitian ini adalah data filtrasi bahan organik. Data filtrasi nutrisi diperoleh melalui pengukuran konsentrasi bahan organik awal dan akhir pemeliharaan. Data karakteristik morfometrik (Gambar 3) diperoleh melalui pengukuran di awal dan akhir pemeliharaan. Pengontrolan kualitas air juga dilakukan selama pemeliharaan.

Analisis Data

Data setelah diuji Shapiro-Wilk test dan Levene test memenuhi asumsi statistik parametrik ($p > 0,05$). Analisis ragam selanjutnya digunakan untuk mengetahui pengaruh sistem akuakultur terhadap data konsentrasi nutrisi dan morfometrik kerang darah. Pengaruh yang signifikan dibandingkan dengan uji HSD Tukey. Sementara itu, data kualitas air dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan kisaran optimal untuk kerang darah dari berbagai referensi. Semua uji statistik ini dikonfirmasi pada tingkat signifikansi 95% ($p < 0,05$) menggunakan perangkat lunak IBM SPSS Statistik 25.



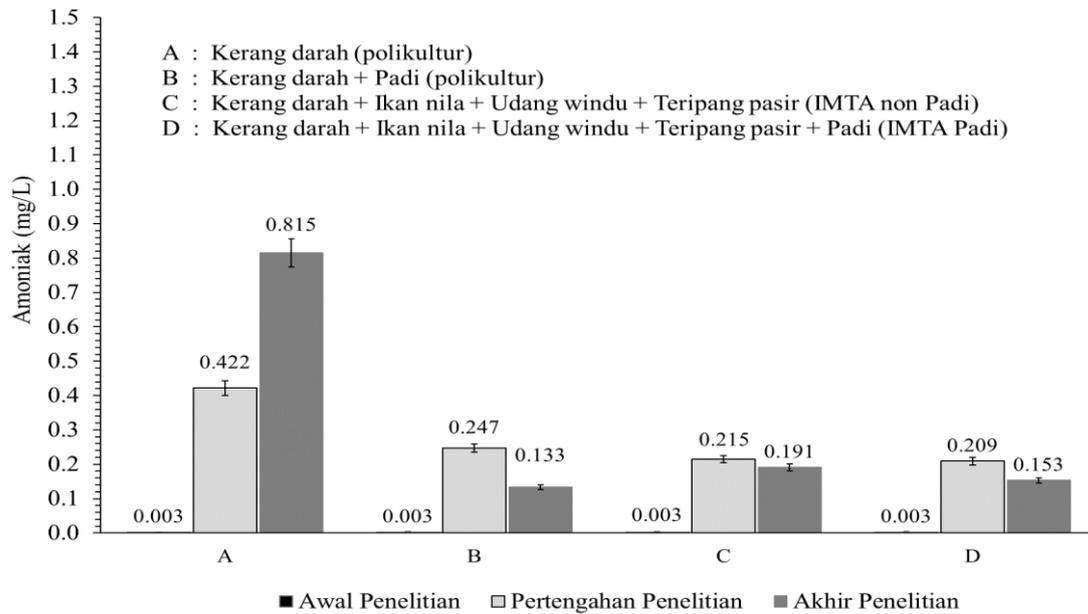
Gambar 2. Wadah dan *setting* penelitian.



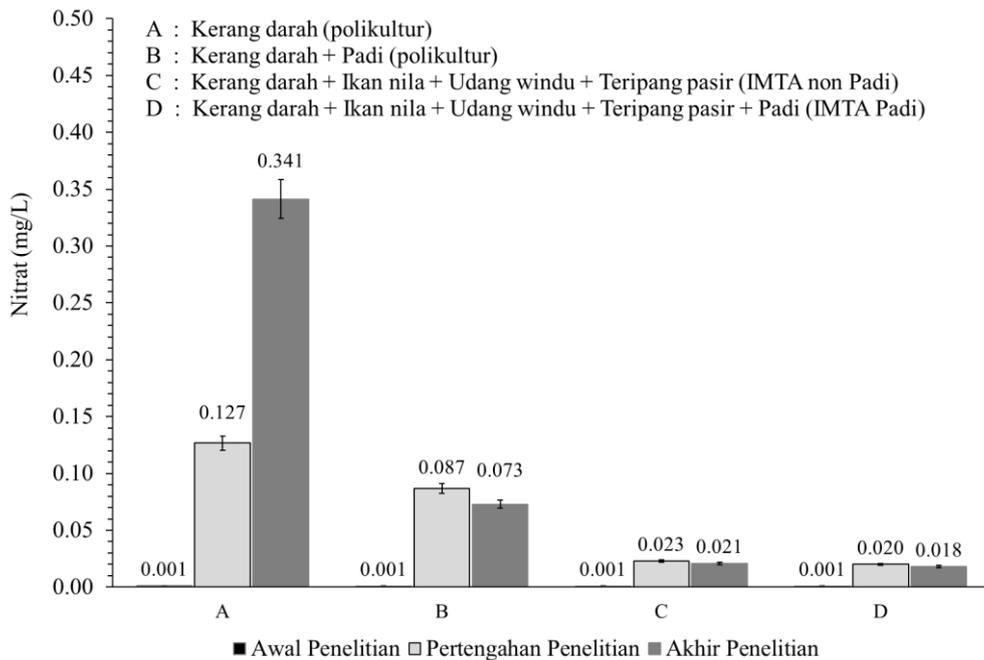
Gambar 3. Pengukuran morfometrik kerang darah (Heriansah *et al.*, 2022)

HASIL DAN PEMBAHASAN

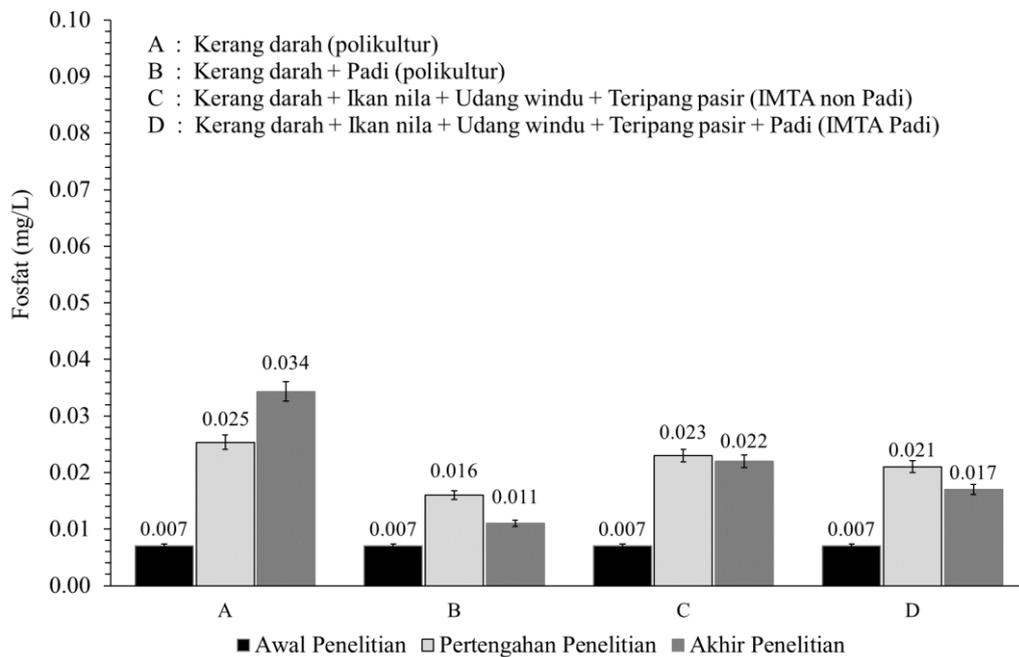
Konsentrasi bahan organik pada perairan sangat penting bagi kerang sebagai organisme yang bersifat *filter feeder*. Konsentrasi bahan organik yang diukur pada penelitian ini adalah amoniak (NH_3), nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$), tofosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) di awal, pertengahan dan akhir penelitian yang masing-masing disajikan pada Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6.



Gambar 4. Konsentrasi amoniak (NH_3) selama pemeliharaan



Gambar 5. Konsentrasi nitrat (NO_3) selama pemeliharaan



Gambar 6. Konsentrasi fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) selama pemeliharaan

Gambar 4 menunjukkan bahwa konsentrasi NH_3 pada setiap perlakuan menunjukkan dinamika berdasarkan waktu pengukuran. Konsentrasi awal NH_3 di hari ke-0 yaitu 0,003 mg/L di semua kombinasi biota. Konsentrasi yang sama ini disebabkan oleh sumber air yang sama untuk semua perlakuan. Selanjutnya, konsentrasi NH_3 di pertengahan penelitian pada semua perlakuan meningkat signifikan sampai kisaran 0,209-0,127 mg/L. Namun, dinamika konsentrasi NH_3 di akhir penelitian relatif bervariasi. Pada perlakuan A (sistem monokultur), konsentrasi NH_3 tetap meningkat, sedangkan pada perlakuan B (sistem polikultur) serta perlakuan C (IMTA non padi) dan perlakuan D (IMTA padi) menurun.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa kombinasi biota berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap konsentrasi NH_3 pada pertengahan dan akhir pemeliharaan. Selanjutnya, hasil uji Tukey HSD mengindikasikan bahwa konsentrasi NH_3 pada awal pemeliharaan tidak berbeda signifikan ($P > 0,05$) pada setiap kombinasi biota. Namun pada pertengahan penelitian, konsentrasi NH_3 berbeda signifikan pada beberapa kombinasi biota. Sementara itu, diakhir penelitian konsentrasi NH_3 berbeda signifikan ($P < 0,05$) pada setiap perlakuan. Secara umum, konsentrasi NH_3 dipertengahan dan diakhir penelitian pada sistem polikultur dan sistem IMTA secara signifikan lebih rendah dibandingkan pada sistem monokultur. Sementara itu, konsentrasi NH_3 dipertengahan dan akhir penelitian pada sistem IMTA non padi dan IMTA padi tidak berbeda nyata ($P > 0,05$), tetapi terdapat kecenderungan yang lebih rendah pada sistem IMTA padi.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa kombinasi biota berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap konsentrasi NO_3 pada pertengahan dan akhir pemeliharaan. Hasil uji Tukey HSD mengindikasikan bahwa konsentrasi NO_3 pada awal pemeliharaan tidak berbeda signifikan ($P > 0,05$) pada setiap kombinasi biota. Namun pada pertengahan dan akhir penelitian, konsentrasi NO_3 berbeda signifikan pada beberapa kombinasi biota. Secara umum, konsentrasi NO_3 di pertengahan dan di akhir penelitian pada sistem polikultur dan IMTA secara signifikan lebih rendah dibandingkan pada sistem monokultur. Konsentrasi NO_3 di akhir penelitian cenderung lebih rendah pada perlakuan yang banyak kombinasi biota. Dinamika konsentrasi NH_3 di setiap kombinasi pada penelitian ini dapat dikaitkan dengan kuantifikasi pemanfaatan nitrogen (N) pada pakan. Sumber utama NH_3 pada media budidaya adalah pakan melalui proses metabolisme yang menghasilkan feses dan urine serta sisa pakan yang tidak dikonsumsi (Supono, 2018). Akumulasi sisa pakan, feses, dan hasil ekskresi urine dari input pakan harian sebanyak 4 kali sehari ke ikan nila dan udang windu sebanyak 10%

dari biomassa nampaknya berkontribusi terhadap meningkatnya konsentrasi NH_3 . Konsentrasi optimal untuk kelayakan hidup kerang darah berkisar 0,058-0,237 mg/l pada pertengahan penelitian (hari ke-14). Kuantifikasi pemanfaatan pakan pada kegiatan budidaya telah banyak dikaji dengan informasi bahwa lebih dari 50% nutrisi pakan terbuang menjadi feses dan sisa pakan (Frid dan Dobson, 2002; Mansur, 2013). Al Azad *et al.* (2017) mengevaluasi bahwa pada budidaya sistem intensif dan/atau semi-intensif, ikan atau udang hanya meretensi 23-31% nitrogen, sisanya 69-77% terlepas di perairan dalam bentuk sisa pakan, feses, dan urine.

Konsentrasi NH_3 di akhir penelitian (hari ke-28) yang menurun signifikan pada setiap kombinasi biota terkait dengan penyerapan bahan organik dan anorganik oleh organisme yang terlibat. Proses penyerapan pada penelitian ini terjadi berdasarkan level trofik setiap biota. Aliran limbah nutrisi pada penelitian ini dimulai dari ikan nila dan udang windu yang diberi pakan. Limbah berupa sisa pakan dan feses kedua biota ini yang tersuspensi di kolom perairan diserap oleh kerang sebagai *suspension feeder*, sedangkan limbah yang mengendap di dasar perairan diserap oleh teripang pasir sebagai *deposit feeder* (Chopin *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2015; Namukose *et al.*, 2016). Sementara itu, limbah yang terlarut air dimanfaatkan oleh padi sebagai spesies penyerap limbah anorganik (Srivastava *et al.*, 2017).

Dinamika konsentrasi NH_3 pada penelitian ini nampaknya dipengaruhi oleh keberadaan kerang darah, teripang pasir, dan padi, khususnya dalam mengurangi akumulasi limbah, terutama amoniak hasil perombakan sisa pakan dan feses dari udang windu dan ikan nila. Wulandari *et al.* (2019) mengemukakan bahwa kerang darah dapat memanfaatkan partikel organik yang berasal dari limbah budidaya sebagai pakan untuk meningkatkan pertumbuhannya. Keberadaan kerang sebagai *filter feeder* yang diintegrasikan pada kegiatan budidaya ikan dan udang pada penelitian ini berdampak positif terhadap penurunan NH_3 melalui proses filtrasi dalam menyerap nutrisi organik tersuspensi. Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Lander *et al.* (2013) yang menyatakan bahwa perlunya organisme *filter feeder* untuk mendapatkan manfaat dari efek peningkatan bahan tersuspensi dalam wadah budidaya sistem IMTA. Selain itu kerang merupakan komponen ekstraktif utama yang digunakan pada sistem IMTA untuk menyerap limbah organik partikel (Cranford *et al.*, 2013).

Nitrat merupakan salah satu senyawa nutrisi anorganik yang penting bagi hewan dan tanaman untuk membantu proses sintesis protein sehingga dapat merangsang pertumbuhan dan perkembangan organisme (Farantika *et al.*, 2020). Gambar 5 menunjukkan bahwa konsentrasi nitrat pada setiap menunjukkan dinamika berdasarkan waktu pengukuran. Konsentrasi awal NO_3 di hari ke-0 yaitu 0,001 mg/L di semua kombinasi biota. Konsentrasi yang sama ini juga disebabkan oleh sumber air yang sama untuk semua perlakuan. Selanjutnya, konsentrasi NO_3 di pertengahan penelitian pada semua perlakuan meningkat sampai kisaran 0,020-0,127 mg/L. Namun, dinamika konsentrasi nitrat diakhir penelitian relatif bervariasi. Pada perlakuan A (sistem monokultur), konsentrasi nitrat tetap meningkat, sedangkan pada perlakuan B (sistem polikultur), perlakuan C (IMTA non padi), dan D (sistem IMTA padi) konsentrasi nitrat menurun.

Dinamika konsentrasi nitrat di setiap kombinasi pada penelitian ini juga dapat dikaitkan dengan kuantifikasi pemanfaatan nitrogen (N) pada pakan sebagaimana dinamika konsentrasi amoniak. Sumber utama nitrogen pada media budidaya adalah feses dan urine serta sisa pakan yang tidak dikonsumsi (Supono, 2018). Unsur nitrogen ini sebagian mengalami penguraian di air melalui proses hidrolisis dan peralihan dari amonium (NH_4), selanjutnya dioksidasi menjadi nitrit (NO_2) oleh *Nitrosomonas* sp. dan setelah itu menjadi nitrat (NO_3) oleh bakteri *Nitrobakter* sp. Bakteri ini diduga berada dalam media perairan sehingga memungkinkan terjadi proses nitrifikasi dalam media pemeliharaan. Selain itu, akar padi juga dapat melepaskan senyawa organik yang dapat merangsang nitrifikasi bakteri (Bi *et al.*, 2019).

Proses nitrifikasi pada media diduga berlangsung dengan baik pada penelitian ini karena didukung oleh kandungan oksigen terlarut yang cukup tinggi. Senyawa-senyawa nitrogen sangat dipengaruhi oleh kandungan oksigen dalam air, pada saat kandungan oksigen rendah, maka nitrogen berubah menjadi amoniak, tetapi pada saat kandungan oksigen dalam air tinggi, maka nitrogen berubah menjadi nitrat (Supono, 2018). Nitrogen yang telah ternitrifikasi menjadi nitrat

selanjutnya diserap oleh setiap organisme yang terindikasi dari konsentrasi nitrat di akhir penelitian yang menurun, khususnya pada sistem polikultur dan IMTA.

Fosfat merupakan salah satu senyawa nutrisi anorganik yang penting dalam pembelahan dan pembesaran sel untuk pertumbuhan hewan dan tanaman akuatik (Zainuddin dan Nofianti, 2022), tetapi jumlahnya terbatas diperairan (Supono, 2018). Gambar 6 menunjukkan bahwa konsentrasi fosfat pada setiap perlakuan juga menunjukkan dinamika berdasarkan waktu pengukuran. Konsentrasi awal fosfat di hari ke-0 yaitu 0,007 mg/L yang sama di semua kombinasi biota karena sumber air yang sama untuk semua perlakuan. Selanjutnya, konsentrasi fosfat dipertengahan penelitian pada semua perlakuan meningkat sampai kisaran 0,016-0,025 mg/L. Namun, dinamika konsentrasi fosfat diakhir penelitian relatif bervariasi. Pada perlakuan A (monokultur), konsentrasi fosfat tetap meningkat pada kisaran, sedangkan pada perlakuan B (polikultur) serta perlakuan C (IMTA non padi) dan perlakuan D (IMTA padi) konsentrasi fosfat menurun.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa kombinasi biota berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap konsentrasi fosfat pada pertengahan dan akhir pemeliharaan. Hasil uji Tukey HSD (Tabel 4.3) mengindikasikan bahwa konsentrasi fosfat pada awal pemeliharaan tidak berbeda signifikan ($P > 0,05$) pada setiap kombinasi biota. Namun pada pertengahan dan akhir penelitian, berbeda signifikan pada beberapa kombinasi biota.

Dinamika konsentrasi fosfat di setiap kombinasi pada penelitian ini juga dapat dikaitkan dengan kuantifikasi pemanfaatan fosfor (P) yang terkandung pada pakan. Al Azad *et al.* (2017) mengevaluasi bahwa ikan atau udang hanya meretensi fosfor sekitar 10-13% nitrogen, sisanya 87-90% terlepas diperairan dalam bentuk sisa pakan, feses, dan urine. Dinamika konsentrasi fosfat pada penelitian ini dapat dikaitkan dengan proses penyerapan bahan organik dan anorganik oleh organisme yang terlibat berdasarkan level trofiknya, terutama padi. Pada saat perairan mengandung fosfat dalam jumlah cukup, tanaman akan mengakumulasi fosfat di dalam sel melebihi kebutuhannya, dan kelebihan tersebut akan dimanfaatkan pada saat perairan mengalami defisiensi fosfor sehingga masih dapat tumbuh selama beberapa waktu.

Pemanfaatan limbah pada sistem IMTA padi dapat dijelaskan dari aliran nutrisi pada sistem ini. Aliran nutrisi dimulai dari pakan yang diberikan pada ikan nila dan udang windu. Tidak semua pakan tersebut dikonsumsi sehingga menimbulkan limbah nutrisi berupa sisa pakan. Selanjutnya, tidak semua pakan yang dikonsumsi dapat dicerna, tetapi sebagian dikeluarkan dalam bentuk feses. Sisa pakan dan feses dalam bentuk partikel bahan organik tersuspensi dimanfaatkan oleh kerang darah sebagai suspension feeder, sedangkan yang mengendap di dasar perairan dimanfaatkan oleh teripang pasir sebagai deposit feeder (Chopin *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2015). Sementara itu, limbah nutrisi dari hasil ekskresi dan respirasi semua biota selanjutnya dimanfaatkan oleh padi sebagai penyerap bahan anorganik terlarut (Srivastava *et al.*, 2017).

KESIMPULAN

Terdapat dinamika konsentrasi amoniak, nitrat dan fosfat pada awal penelitian dan mengalami penurunan signifikan di pertengahan dan akhir penelitian. Perlakuan kombinasi biota (perlakuan D) yang melibatkan spesies dengan tingkat trofik level yang berbeda berpengaruh terhadap filtrasi bahan anorganik *Anadara granosa*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi serta Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Republik Indonesia atas program riset keilmuan dan dukungan dananya (Nomor kontrak 230/E4.1/AK.04.RA/2021). Penulis juga berterima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP2M) Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa, Institut Akuakultur sebagai mitra riset, dan mahasiswa peserta program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) yang terlibat pada riset keilmuan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Azad, S., Estim, A., Mustafa, S., & Sumbing, M.V. 2017. Assessment of Nutrients in Seaweed Tank from Land Based Integrated Multitrophic Aquaculture Module. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 05(08):137–147. DOI: 10.4236/gep.2017.58012
- Amalia, Rosa, 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. DOI: 10.13057/biodiv/d230164
- Bi, Z., Zhang, W., Song, G., Huang, Y. 2019. Iron-Dependent Nitrate Reduction by Anammox Consortia in Continuous-Flow Reactors: A Novel Prospective Scheme For Autotrophic Nitrogen Removal. *Science of The Total Environment*, 692(20):582-588. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.078
- Chopin, T., Cooper, J.A., Reid, G., Cross, S., & Moore, C. 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. DOI: 10.1111/j.1753-5131.2012.01074.x
- Cranford, P.J., Reid, G.K., & Robinson, S.M.C. 2013. Open Water Integrated Multi-Trophic Aquaculture: Constraints on The Effectiveness of Mussels As an Organic Extractive Component. *Aquaculture Environment Interactions*, 4(2):163–173. DOI: 10.3354/aei00081
- 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. DOI: 10.1016/j.aaf.2018.10.002
- Evania, C., Rejeki, S., & Ariyati, R. W. 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):44–52
- Farantika, R., Putro, S.P., Hadi, M., & Triarso, I. 2019. Study on water quality physical-chemical parameters aquaculture areas in Menjangan Besar Island, Kepulauan Karimunjawa, Jepara, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1524(1): p.012136. DOI: 10.1088/1742-6596/1524/1/012136
- Frid, C., & Dobson, M. 2002. Ecology of Aquatic Management. Prentice Hall; First Edition.
- Hamsiah, Cahyono, I., Heriansah, Kantun, W., & Kabangnga, A. 2021. Kelulushidupan Biota pada Sistem Integrated Multi Trophic Aquaculture (IMTA) - Padi. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 5(2):127–136. DOI: 10.46252/jsai-fpik-unipa
- Heriansah, Syamsuddin, R., Najamuddin, & Syafiuddin. 2022. 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. DOI: 10.21608/ejabf.2022.267643
- Henares, M.N.P., Medeiros, M.V., & Camargo, A.F.M. 2018. Overview of Strategies That Contribute to The Environmental Sustainability of Pond Aquaculture: Rearing Systems, Residue Treatment , and Environmental Assessment Tools. *Reviews in Aquaculture*, 12(1): 453–470. DOI: 10.1111/raq.12327
- Kabangnga, A., Zulkhairiyah, & Rumambo, C.T.T. 2020. Monitoring dan mitigasi gas H₂S limbah organik tambak intensif dengan menggunakan biomarker sederhana. *Jurnal Airaha*, IX(1), 1–6.
- Knowler, D., Chopin, T., Martínez-Espiñeira, R., Neori, A., Nobre, A., Noce, A., & Reid, G. 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. DOI: 10.1111/raq.12399
- Lander, T.R., Robinson, S.M.C., MacDonald, B.A., & Martin, J.D. 2013. Characterization of The Suspended Organic Particles Released From Salmon Farms and Their Potential As A Food Supply For The Suspension Feeder, *Mytilus Edulis* In Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) systems. *Aquaculture*, 406–407(3):160–171. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2013.05.001
- 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. DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100683
- Mansur, W., Kamal, M.M., & Krisanti, M. 2013. Estimation of organic waste and waters carrying

- capacity in relation to coral reefs management on Semak Daun Island Thousand Islands. *DEPIK Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan*, 2(3):141–153.
- Namukose, M., Msuya, F.E., Ferse, S., Slater, M.J., & Kunzmann, A. 2016. Growth Performance of The Sea Cucumber *Holothuria scabra* and The Seaweed *Euचेuma denticulatum*: Integrated Mariculture and Effects on Sediment Organic Characteristics. *Aquaculture Environment Interactions*, 8:179-189. DOI: 10.3354/aei00172
- Sagita, A., Kurnia, R., & Sulistiono, S. 2017. Budidaya Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) dengan Metode dan Kepadatan Berbeda di Perairan Pesisir Kuala Langsa, Aceh. *Jurnal Riset Akuakultur*, 12(1):57. DOI: 10.15578/jra.12.1.2017.57-68
- 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. DOI: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. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.08.006
- Sulistiyarningsih, E., & Arbi, U.Y. 2020. Aspek Bio-ekologi dan Pemanfaatan Kerang Marga Anadara (Mollusca: Bivalvia: Arcidae). *Oseana*, 45(2):69–85. DOI: 10.14203/oseana.
- Supono. 2018. Manajemen Kualitas Air untuk Budidaya Udang. AURA. Bandar Lampung.
- Tantanasarit, C., & Babel, S. 2014. Simulation of “ Net ” Nutrients Removal by Green Mussel (*Perna viridis*) in Estuarine and Coastal Areas. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 8(1):1–4.
- 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. DOI: 10.1111/brv.12677
- Wahab, M. A., Kadir, A., Milstein, A., & Kunda, M. 2011. Manipulation of Species Combination for Enhancing Fish Production In Polyculture Systems Involving Major Carps and Small Indigenous Fish Species. *Aquaculture*, 321(3–4):289–297. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.09.020
- Wang, X., Olsen, L.M., Reitan, K.I., & Olsen, Y. 2012. Discharge of Nutrient Wastes From Salmon Farms: Environmental Effects, and Potential for Integrated Multi-Trophic Aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 2(3):267–283. DOI: 10.3354/aei00044
- Widowati, Lestari L, Prayitno, S.B., Rejeki, S., El, T., Purnomo, P.W., Ariyati, R.W., & Bosma, R.H. 2021. Organic matter reduction using four densities of seaweed (*Gracilaria verucosa*) and Green Mussel (*Perna viridis*) to Improve Water Quality For Aquaculture in Java, Indonesia. *Aquatic Living Resources*, 34(5):1–11.
- 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. DOI: 10.21107/jk.v12i1.4716
- Zainuddin, F., & Nofianti, T. 2022. Pengaruh Nutrient N dan P Terhadap Pertumbuhan Rumput Laut pada Budidaya Sistem Tertutup. *Journal Perikanan*, 12(1):115-124. DOI: 10.29303/jp.v12i1.279
- Zhang, J., Kitazawa, D., & Yang, C. 2015. A Numerical Modeling Approach to Support Decision-Making on Design of Integrated Multitrophic Aquaculture For Efficiently Mitigating Aquatic Waste. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21(8):1247–1261. DOI: 10.1007/s11027-015-9652-1