

Kelulushidupan Biota pada Sistem *Integrated Multi Trophic Aquaculture (IMTA)-Padi*

The Survival Rate of Biota in Integrated Multi Trophic Aquaculture (IMTA)-Paddy System

Hamsiah¹, Indra Cahyono^{1*}, Heriansah^{1*}, Wayan Kantun¹,
Arnold Kabangnga²

¹Program Studi Sumber Daya Akuatik, Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa, Makassar, 90245, Indonesia

²Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perairan, Institut Teknologi dan Bisnis Maritim Balik Diwa, Makassar, 90245, Indonesia

*Korespondensi: indracahyono@stitek-balikdiwa.ac.id, heriansah@stitek-balikdiwa.ac.id

ABSTRAK

Kelulushidupan merupakan faktor determinan keberhasilan pada budidaya multibiota. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelulushidupan biota yang dipelihara pada berbagai kombinasi pada sistem *Integrated Multi Trophic Aquaculture (IMTA)-Padi*. Tiga kombinasi (K) biota dan tiga ulangan, yaitu ikan bandeng dan padi (K-2), ikan bandeng, udang windu, dan padi (K-3), dan ikan bandeng, udang windu, dan kerang kijing (K-4) diinvestigasi secara eksperimental lapangan dengan model tambak terpal. Biota dipelihara selama 80 hari dengan kepadatan masing-masing 30 individu yang diintegrasikan dengan 30 rumpun padi metode apung. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan persentase kelulushidupan ikan bandeng pada K-2 ($97,8 \pm 1.91\%$), K-3 ($94,4 \pm 1.96\%$), dan K-4 ($98,9 \pm 1.90\%$) berada pada kisaran 1,1-3,6% yang secara statistik tidak berbeda nyata ($P > 0,05$). Kelulushidupan udang windu pada K-4 ($88,9 \pm 1.91\%$) secara deskriptif lebih tinggi 2,2% daripada K-3 ($86,7 \pm 1.90\%$). Kelulushidupan kerang pada K-4 biota sebesar $85,6 \pm 1.90\%$. Kualitas air selama pemeliharaan berada pada kisaran yang dapat ditolerir oleh masing-masing biota. Lebih banyak penelitian yang lebih mendalam perlu dilakukan untuk mengoptimalkan potensi budidaya sistem IMTA-Padi di perairan payau.

Kata kunci: IMTA-Padi, kelulushidupan, ikan bandeng, udang windu, kerang

ABSTRACT

Survival rate is a determinant factor of success in multibiota cultivation. This study aims to determine the survival rate of biota cultivated in various combinations in the *Integrated Multi Trophic Aquaculture (IMTA)-Paddy* system. Three combinations (K) of biota and three replications, namely milkfish and paddy (K-2), milkfish, tiger prawns, and paddy (K-3), and milkfish, tiger prawns, and shellfish (K-4) were investigated experimentally in the field using a tarpaulin pond model. Biota was reared for 80 days with a density of 30 individuals each integrated with 30 clumps of rice by floating method. The results showed that the difference in the survival rate of milkfish at K-2 ($97.8 \pm 1.91\%$), K-3 ($94.4 \pm 1.96\%$), and K-4 ($98.9 \pm 1.90\%$) was in the range of 1.1- 3.6% which was not statistically significant ($P > 0.05$). The survival rate of tiger prawns in K-4 ($88.9 \pm 1.91\%$) was descriptively 2.2% higher than K-3 ($86.7 \pm 1.90\%$). The survival rate of shellfish on K-4 biota is $85.6 \pm 1.90\%$. Water quality during experimental is in the range that can be tolerated by each biota. More research is needed which in-depth to optimize the IMTA-Paddy system in brackishwater.

Keywords: IMTA-paddy, survival rate, milkfish, shrimp tiger, shellfish

PENDAHULUAN

Studi budidaya sistem minapadi dan Integrated Multi Trophic Aquaculture (IMTA) sudah banyak dilakukan tetapi masih terpisah dan terfokus pada masing-masing sistem. Budidaya sistem minapadi yang telah diaplikasikan, antara lain minapadi ikan nila (Anam et al., 2017), minapadi ikan tawes dan ikan mas, dan ikan nila (Rozen et al., 2019), minapadi ikan mas, ikan lele, ikan gurame, dan udang air tawar (Li et al., 2019), minapadi udang galah dan ikan mas (Tahir & Pasaribu, 2003), dan beberapa penelitian minapadi lainnya.

Budidaya sistem IMTA juga telah banyak dilaporkan, antara lain penerapan di perairan laut dengan menggunakan kombinasi organisme yang berbeda, antara lain ikan bawal, abalon, rumput laut (Radiarta & Erlania, 2015), udang windu, tiram, rumput laut (Astriana, 2015), ikan tuna, teripang, dan rumput laut (Zhang et al., 2019), udang vaname, ikan baronang, rumput laut (Verdian et al., 2020), dan beberapa penelitian lainnya. Sistem IMTA di perairan payau juga telah banyak dilaporkan, antara lain udang windu, ikan bandeng, dan rumput laut (Murachman et al., 2010), ikan bandeng, nila, udang vaname, kerang hijau, dan rumput laut (Rejeki et al., 2016), udang vaname, nila, kerang, rumput laut (Sahrijanna & Septiningsih, 2017), ikan belanak, udang windu, tiram, dan rumput laut (Biswas et al., 2019), dan beberapa penelitian lainnya. Penerapan IMTA di air tawar dilaporkan dari beberapa peneliti, antara lain udang air tawar, ikan tambakan, kangkung (Setijaningsih & Gunadi, 2016), ikan mas, siput, nila, dan bayam (Uddin et al., 2018), ikan mas, lele, siput, dan kangkung (Kibria & Haque, 2018), dan beberapa penelitian lainnya.

Studi integrasi antara IMTA dan minapadi (IMTA-Padi) sejauh ini belum ada, baik di perairan payau, tawar, maupun laut. Sistem budidaya minapadi dan IMTA secara prinsip merupakan sistem budidaya yang sudah terpadu.

Studi ini merupakan upaya rekayasa sistem budidaya dengan mengintegrasikan sistem terpadu IMTA dan minapadi berbasis biota multitrofik di perairan payau.

Rekayasa teknologi budidaya multibiota (IMTA-Mina Padi) pada penelitian ini terdiri dari empat biota budidaya, yaitu ikan bandeng (*Chanos chanos*) dan udang windu (*Penaeus monodon*) sebagai *fed species*, kerang kijing (*Glauconome virens*) sebagai spesies ekstraktif organik, dan padi (*Oryza sativa*) sebagai spesies ekstraktif anorganik. Penelitian yang mengintegrasikan antara komoditas perikanan multitrofik dengan komoditas pertanian sangat strategis dilakukan sebagai upaya menunjang ketahanan pangan. Realisasi budidaya padi dengan menggunakan air payau saat ini telah didukung oleh tersedianya varietas padi yang toleran salinitas (Jamil et al., 2016).

Kombinasi biota merupakan faktor penentu keberhasilan pada budidaya multibiota (Wahab et al., 2011) karena terdiri dari banyak biota yang masing-masing memiliki karakteristik tersendiri. Kombinasi yang tepat dapat mengoptimalkan sinergitas antar biota yang berimplikasi terhadap kelulushidupannya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelulushidupan ikan bandeng, udang windu, dan kerang kijing yang dibudidayakan dengan berbagai kombinasi melalui sistem IMTA-Mina Padi. Kelulushidupan biota yang optimal dapat meningkatkan produksi dan pendapatan pembudidaya melalui sistem budidaya yang berkelanjutan.

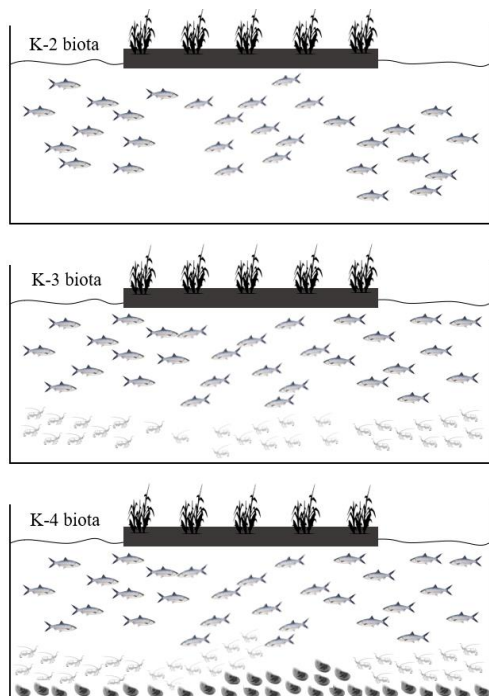
METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara eksperimental lapangan pada bulan Mei sampai dengan Agustus 2020 dengan model terpal di tambak masyarakat Desa Lerang, Kecamatan Lanrisang, Kabupaten Pinrang, Provinsi Sulawesi Selatan. Tiga kombinasi (K) biota yang masing-masing terdiri atas tiga ulangan merupakan perlakuan pada penelitian ini (Tabel 1).

Tabel 1. Perlakuan penelitian

Perlakuan	Kombinasi Biota
K-2 biota	Ikan bandeng dan padi
K-3 biota	Ikan bandeng, udang windu, dan padi
K-4 biota	Ikan bandeng, udang windu, kerang, dan padi

Wadah pemeliharaan kolam terpal ukuran 200x200x100 cm diletakkan dipermukaan tambak dengan volume 280 L. Kepadatan ikan bandeng, udang windu, dan kerang masing-masing 30 ekor per wadah. Sebanyak 30 rumpun benih padi yang telah disemai ditanam dengan menggunakan substrat ijuk dan tanah pada wadah jaring hapa berukuran 100x100 cm dari kerangka bambu. Wadah tanam padi diapungkan diatas wadah pemeliharaan ikan, udang, dan kerang (Gambar 1). Metode apung sudah banyak diaplikasikan pada pemeliharaan monokultur padi (Irianto et al., 2018; (Srivastava et al., 2017).



Gambar 1. Unit Penelitian

Bobot awal benih ikan bandeng $12,27 \pm 0,11$ g, udang windu $0,37 \pm 0,04$ g, dan kerang $30,98 \pm 0,19$ g. Benih ikan

bandeng dan udang windu diperoleh dari unit pendederan di sekitar lokasi penelitian. Kerang dikumpulkan dari muara sungai Lanrisang. Biota akuatik ini diadaptasikan terlebih dahulu dengan media pemeliharaan dan pakan komersil selama 3 hari. Benih padi Inpari 42 Agritan GSR sebelum ditanam terlebih dahulu disemai di lokasi tambak sampai ketinggian $17,8 \pm 0,10$ cm. Benih padi diperoleh dari Balai Penelitian Tanaman Sereal Maros.

Ikan bandeng dan udang windu selama 80 hari pemeliharaan diberikan pakan 3 kali sehari (06.00, 12.00, dan 18.00 WITA) sebanyak 5% dari biomassa. Ikan bandeng dan udang windu diukur dengan timbangan digital Camry EHA401 ketelitian 0,01 g setiap 10 hari untuk menentukan jumlah pakan mingguan. Pakan komersil yang digunakan berdasar-kan label kemasan mengandung protein (min) 21%, lemak (min) 8%, dan serat (max) 9%. Aerasi menggunakan blower yang dihubungkan melalui pipa ke setiap unit penelitian.

Kualitas air selama pemeliharaan dimonitor dan dipertahankan pada kisaran yang optimal. Suhu, salinitas, oksigen terlarut (DO), dan pH diukur setiap hari (insitu) dengan menggunakan termometer digital CE, refraktometer ATC, DO meter Lutron DO-5509, Lutron PH-201 digital masing-masing dengan ketelitian $0,1^{\circ}\text{C}$, 1 mg/L, 1 mg/L, dan 0,1. Amoniak (NH_3) diukur pada awal, tengah, dan akhir penelitian di Laboratorium Kualitas Air Politeknik Pertanian Negeri Pangkep dengan menggunakan spektrofotometer ketelitian 0,0001 mg/L.

Variabel yang diukur pada penelitian ini adalah kelulushidupan setiap biota dengan menggunakan rumus (Biswas et al., 2012) sebagai berikut :

$$SR = \frac{Nt}{No} \times 100\%$$

Keterangan:

SR = Kelulushidupan (%)

Nt = Jumlah biota akhir penelitian (ekor)

No = Jumlah biota awal penelitian (ekor)

Kelulushidupan ikan bandeng dianalisis dengan menggunakan analisis ragam (ANOVA) pada tingkat signifikan 95% ($P < 0,05$). Data kelulushidupan telah diuji homogenitas varians yang menunjukkan bahwa data berasal dari populasi yang homogen. Analisis ragam menggunakan software IBM SPSS V25. Oleh karena udang windu hanya terdapat pada 2 perlakuan dan kerang kijing 1 perlakuan, maka kelulushidupan kedua biota ini dianalisis secara deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kelulushidupan ikan bandeng, udang windu, dan kerang kijing dengan berbagai kombinasi biota relatif bervariasi. Tabel 2 menunjukkan bahwa kelulushidupan ikan bandeng tertinggi diperoleh pada K-4 biota, disusul K-2 biota, dan terendah pada K-3 biota. Perbedaan persentase kelulushidupan ikan bandeng pada setiap kombinasi biota berada pada kisaran 1,1-3,6%. Namun demikian, secara statistik analisis ragam menunjukkan bahwa perbedaan kelulushidupan tersebut tidak berbeda nyata (nilai Sig. 0,067) ($P > 0,05$). Secara deskriptif, kelulushidupan udang windu pada K-4 biota lebih tinggi 2,2% dibandingkan K-3 biota.

Dibandingkan dengan beberapa penelitian terdahulu, tingkat kelulushidupan ikan bandeng sebesar 94,4-98,9% pada penelitian IMTA-Padi ini lebih tinggi. Kelulushidupan ikan bandeng yang dikokultur dengan kepiting bakau hanya 68,0% (Mondal et al., 2020) dan 76,9% (Anand et al., 2018), ikan

bandeng dipolikultur bersama dengan udang windu sebesar 48,6% (Biswas et al., 2012). IMTA ikan bandeng bersama ikan belanak, udang kelong, dan tiram sebesar 71,0% (Balasubramanian et al., 2018). *Silvofishery* ikan bandeng dan ikan nila pada ekosistem mangrove *Avicennia* sebesar 41% dan pada ekosistem *Rhizophora* sebesar 47% (Budihastuti et al., 2012).

Kelulushidupan udang windu sebesar 86,7-88,9% pada penelitian IMTA-Padi ini juga lebih tinggi dibandingkan beberapa penelitian terdahulu. Polikultur udang bersama ikan bandeng hanya memiliki kelulushidupan sebesar 48,0% (Biswas et al., 2012). Kelulushidupan udang windu yang dipelihara bersama rumput laut *Gracillaria* sp. berada pada kisaran 56,67-78,75% (Azizah et al., 2018). Udang windu yang diintegrasikan dengan rumput laut *Sargassum polycistum* dan *G. verrucosa* menghasilkan kelulushidupan masing-masing 84,7% dan 88,7% (Izzati, 2011). Kelulushidupan udang windu berada pada kisaran 86,7-98,3% yang dikokultur dengan *G. tenuistipitata* (Anh et al., 2018).

Keberadaan padi sebagai spesies ekstraktif pada setiap kombinasi biota diduga menjadi penyebab kelulushidupan yang tidak berbeda nyata. Hal ini pula yang memungkinkan kelulushidupan pada penelitian ini cukup tinggi karena kontribusi padi terhadap pemulihan kualitas air.

Tabel 2. Kelulushidupan biota pada sistem IMTA-Padi selama 80 hari pemeliharaan

Perlakuan	Kelulushidupan (%) (rata-rata ± SD)			
	Ikan bandeng	Udang windu	Kerang kijing	Padi
K-2 biota	97,8 ± 1.91 ^a	-	-	-
K-3 biota	94,4 ± 1.96 ^a	86,7 ± 1.90	-	-
K-4 biota	98,9 ± 1.90 ^a	88,9 ± 1.91	85,6 ± 1.90	-

Keterangan: Angka yang diikuti huruf superscript yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata ($P > 0,05$)

Sisa pakan dan feses ikan bandeng dan udang windu sebagai sumber NH_3 yang berbahaya bagi ke-hidupan organisme akuatik dimanfaatkan oleh padi yang memiliki kemampuan menyerap N anorganik melalui batang dan akarnya sebagai nutrisi (Li et al., 2019). Akar padi juga melepaskan senyawa organik yang dapat merangsang nitrifikasi bakteri (Bi et al., 2019) dan mendegradasi polutan organik (Rehman et al., 2017).

Budidaya padi metode apung dapat mengasimilasi nutrisi dan menurunkan total nitrogen terlarut secara efektif melalui akarnya (Srivastava et al., 2017). Li & Li (2009) melaporkan 30,6% penghilangan total nitrogen pada polikultur ikan dengan kangkung metode apung. Feng et al., (2016) mendapatkan NH_3 pada budidaya ikan bersama padi lebih rendah 60,27% daripada monokultur ikan. Padi secara signifikan mengurangi 25,4% NH_3 pada tambak udang (Li et al., 2019). Sistem aerasi pada penelitian ini memungkinkan N organik berada dipermukaan perairan sehingga dapat diserap oleh akar padi. Kemampuan padi dalam menyerap N terindikasi pada kadar $\text{NH}_3 < 0.3 \text{ mg/L}$ (Tabel 3) yang aman untuk organisme akuatik (Pantjara et al., 2015).

Oksigen terlarut merupakan elemen kritis kelulushidupan organisme akuatik. Tanaman padi berkontribusi dalam menghasilkan oksigen terlarut pada penelitian ini, selain dari proses aerasi. Padi meningkatkan difusi oksigen

dari atmosfer ke dalam air melalui daun ke akar (Li et al., 2019) yang dapat dimanfaatkan untuk kehidupan organisme akuatik serta dekomposisi bahan organik. Selain itu, daun padi yang mengibas oleh angin mendorong difusi oksigen di permukaan air (Foster-Martinez & Variano, 2016). Indikasi kontribusi padi terlihat pada kandungan oksigen terlarut $> 5 \text{ mg/L}$ (Tabel 3) selama penelitian. Kadar oksigen terlarut ini berada pada kisaran yang optimal untuk kehidupan organisme di perairan payau (Pantjara et al., 2015).

Tanaman padi juga berkontribusi terhadap suhu $27,6-28,9^\circ\text{C}$ selama penelitian (Tabel 3). Suhu ini berada pada kisaran terbaik untuk organisme akuatik $26-29^\circ\text{C}$ (Anh et al., 2018). Naungan daun padi dapat mencegah suhu yang tinggi (Li et al., 2019) sehingga dampak suhu tinggi bagi organisme akuatik, terutama kompetisi dan kebutuhan oksigen yang tinggi dapat diminimalisir. Metode apung pada penelitian ini semakin menciptakan kondisi suhu yang kondusif karena menjadi tepat berlindung dari radiasi sinar matahari. Hal ini yang memungkinkan pH selama pemeliharaan $6,6-7,1$ (Tabel 3) yang berada pada kisaran yang optimal bagi biota perairan $7,5-8,5$ (Anh et al., 2018). Padi juga dapat menurunkan pH karena adanya asam organik pada akar padi (Bacilio-Jiménez et al., 2003) yang dapat menghambat produksi amonia yang tidak terikat dalam air tambak (Li et al., 2019).

Tabel 3. Kualitas air sistem IMTA-Padi selama 80 hari pemeliharaan

Parameter	Kisaran setiap Perlakuan		
	K-2 biota	K-3 biota	K-4 biota
Suhu ($^\circ\text{C}$)	27,6-28,9	27,6-28,7	27,7-28,7
Salinitas (ppt)	9-15	9-15	9-15
Oksigen terlarut (mg/L)	5,5-6,9	5,6-6,8	5,5-7,0
pH	6,7-7,0	6,6-7,0	6,7-7,1
Amoniak (mg/L)	0,0013-0,0429	0,0015-0,0598	0,0014-0,0320

Keterangan : Huruf superscript yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf kepercayaan 95%

Simbiosis mutualisme antara ikan bandeng, udang windu, kerang, dan padi nampaknya berkontribusi dalam menghasilkan kelulushidupan yang tinggi pada penelitian ini. Kombinasi biota, baik K-2, K-3, maupun K-3 memiliki sinergitas tinggi dan antagonis rendah yang merupakan faktor kritis pada budidaya multibiota (Wahab et al., 2011). Pada penelitian ini, ikan bandeng dan udang windu yang diberi pakan buatan menghasilkan limbah berupa sisa pakan dan feses. Limbah dalam bentuk organik dimanfaatkan oleh kerang (Zhang et al., 2019) dan padi memanfaatkan limbah anorganik (Li et al., 2019) sebagai sumber energinya.

Ikan bandeng secara spasial menempati kolom perairan dan udang windu menempati dasar perairan (Aubin et al., 2015). Meskipun kerang juga menempati dasar perairan, tetapi kerang bersifat menetap sehingga persaingan ruang kedua biota ini dapat diabaikan. Perbedaan ruang ini dapat meminimalkan persaingan untuk mendapatkan makanan. Lebih dari itu, budidaya sistem IMTA-Padi ini dapat meningkatkan produktivitas budidaya (Zhang et al., 2019).

Sisa pakan, feses, dan hasil ekskresi dari ketiga hewan akuatik pada penelitian ini dapat memicu pertumbuhan makanan alami berupa plankton dan klekap (Pantjara & Hendradjat, 2011). Klekap tumbuh dengan baik pada penelitian ini dan ikan bandeng nampaknya mendominasi makanan alami tersebut, selain plankton dan pakan buatan. Udang windu memakan detritus dan organisme kecil lainnya (Aubin et al., 2015) serta pakan yang tenggelam di dasar perairan. Ketersediaan makanan yang cukup bagi biota pada penelitian ini juga diduga berkontribusi pada kelangsungan hidup.

Kelulushidupan kerang kijing pada penelitian ini tidak dapat dibandingkan antar kombinasi biota karena kerang hanya diintegrasikan pada satu perlakuan saja. Namun demikian, kelulushidupannya cukup tinggi di atas 85%. Hal ini memungkinkan karena

tersedianya nutrisi dari sisa pakan dan feses ikan bandeng dan udang windu serta nutrisi alami dari media pemeliharaan. Sebagian besar kerang merupakan filter feeder serta deposit feeder dan suspension feeder (Hastuti et al., 2012; Zhang et al., 2019). Kerang pada sistem IMTA berperan sebagai penyerap nutrisi organik yang tersuspensi dan terdeposit (Radiarta & Erlania, 2015).

Sejauh ini belum diperoleh informasi kemampuan kerang kijing menyerap nutrisi organik. Sebagai gambaran, Li et al. (2010) melaporkan efisiensi penghilangan total N pada budidaya integrasi kerang Asia pada tanaman sistem rakit apung sebesar 45,1%. Srisunont & Babel (2016) melaporkan efisiensi penyerapan nutrisi kerang hijau sebesar 62,1% N dan mampu menghilangkan partikel N 13,5 mg per hari per individu. Nampaknya kerang kijing juga menyerap nutrisi organik dari sisa pakan dan feses. Indikasi dugaan ini dapat dilihat dari kandungan NH_3 yang relatif pada kombinasi biota yang dilengkapi kerang (K-4) (Tabel 3) yang berimplikasi pada kelangsungan hidup yang lebih tinggi (Tabel 2). Namun temuan ini masih perlu dibuktikan lebih lanjut untuk memastikan kemampuan serap nutrisi kerang kijing.

Diskusi di atas semakin menguatkan konsep IMTA yang tidak hanya mempertimbangkan jumlah biota, tetapi biota harus memiliki fungsi yang berbeda berdasarkan level trofiknya (Zhang et al., 2019). Ikan bandeng, udang windu, dan kerang kijing memungkinkan dibudidayakan bersama padi yang dipelihara dengan metode apung. Ini merupakan temuan penting dalam mengembangkan budidaya sistem IMTA-Padi apung di perairan payau. Untuk itu diperlukan lebih banyak penelitian yang lebih mendalam untuk mengembangkan sistem budidaya terintegrasi ini.

KESIMPULAN

Budidaya ikan bandeng, udang windu, dan kerang kijing bersama padi dalam sistem IMTA-Padi menghasilkan kelulushidupan yang tinggi pada masing-masing biota. Kombinasi yang terdapat biota kerang menghasilkan kandungan NH_3 yang lebih rendah dan kelulushidupan yang lebih tinggi. Penelitian lebih lanjut harus dilakukan untuk menginvestigasi lepasan dan serapan nutrisi pada setiap biota.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset dan Teknologi/BRIN atas dana Hibah Penelitian Tesis Magister Tahun Anggaran 2020 serta pihak lain yang telah berkontribusi pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anam, M. K., Basuki, F., & Widowati, L. L. (2017). Performa pertumbuhan, kelulushidupan, dan produksi biomassa ikan nila dengan debit air yang berbeda pada sistem budidaya minapadi di Dusun Kandhangan, Sleman, Yogyakarta. *Jurnal Sains Akuakultur Tropis*, 1(1), 52–61.
- Anand, S. P. S., Balasubramanian, C. P., Lalramchhani, C., Panigrahi, A., Gopal, C., Ghoshal, T. K., & Vijayan, K. K. (2018). Comparison of mudcrab-based brackishwater polyculture systems with different finfish species combinations in Sundarban, India. *Aquaculture Research*, 49(9), 2965–2976. <https://doi.org/10.1111/are.13755>
- Anh, N. N. T., Hong Ngan, L. T., Vinh, N. H., & Hai, T. N. (2018). Co-culture of red seaweed (*Gracilaria tenuistipitata*) and black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) with different feeding rations. *IJSRP*, 8(9), 269–277. <https://doi.org/10.29322/ijsrp.8.9.2018.p8138>
- Astriana, B. H. (2015). Konseptual modul dinamika nitrogen dalam sistem Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) menggunakan *Penaeus monodon*, *Crassostrea* sp. dan *Gracilaria* sp. *BioWallacea*, 1(3), 159–165.
- Aubin, J., Baruthio, A., Mungkung, R., & Lazard, J. (2015). Environmental performance of brackish water polyculture system from a life cycle perspective: A Filipino case study. *Aquaculture*, 435, 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.019>
- Azizah, I., Rejeki, S., & Ariyati, R. W. (2018). Performa pertumbuhan udang yang dibudidayakan bersama rumput laut dengan padat tebar yang berbeda menerapkan sistem Integrated Multi Trophic Aquaculture (IMTA). *Jurnal Sains Akuakultur Tropis*, 2(2), 1–11.
- Bacilio-Jiménez, M., Aguilar-Flores, S., Ventura-Zapata, E., Pérez-Campos, E., Bouquelet, S., & Zenteno, E. (2003). Chemical characterization of root exudates from rice (*Oryza sativa*) and their effects on the chemotactic response of endophytic bacteria. *Plant and Soil*, 249(2), 271–277. <https://doi.org/10.1023/A:1022888900465>
- Balasubramanian, C. P., Mhaskar, S. S., Sukumaran, K., Panigrahi, A., Vasagam, K., Kumararaja, P., Thigale, D., Sawant, R., Vijayan, K. K., & Vasudevan, N. (2018). Development of Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) for tropical brackishwater species in Sindhudurg district, Maharashtra, west coast of India. *Indian Journal of Fisheries*, 65(1), 59–64. <https://doi.org/10.21077/ijf.2018.65.1.70128-10>
- Bi, R., Zhou, C., Jia, Y., Wang, S., Li, P., Reichwaldt, E. S., & Liu, W. (2019). Giving waterbodies the treatment they need: A critical review of the application of constructed floating wetlands.

- Journal of Environmental Management*, 238(October 2018), 484–498. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.064>.
- Biswas, G., Ananda Raja, R., De, D., Sundaray, J. K., Ghoshal, T. K., Anand, S., Kumar, S., Panigrahi, A., Thirunavukkarasu, A. R., & Ponniah, A. G. (2012). Evaluation of productions and economic returns from two brackishwater polyculture systems in tide-fed ponds. *Journal of Applied Ichthyology*, 28(1), 116–122. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01909.x>.
- Biswas, Gouranga, Kumar, P., Kailasam, M., Ghoshal, T. K., Bera, A., & Vijayan, K. K. (2019). Application of Integrated Multi Trophic Aquaculture (IMTA) Concept in Brackishwater Ecosystem: The First Exploratory Trial in the Sundarban, India. *Journal of Coastal Research*, 86(sp1), 49–55. <https://doi.org/10.2112/SI86-007.1>
- Budihastuti, R., Anggoro, S., & Saputra, S. W. (2012). The Application of Silvofishery on Tilapia and milkfish fattening within mangrove ecosystem of the Northern coastal area of Semarang City. *J. of Coastal Development*, 16(1), 1410–5217.
- Feng, J., Li, F., Zhou, X., Xu, C., & Fang, F. (2016). Nutrient removal ability and economical benefit of a rice-fish co-culture system in aquaculture pond. *Ecological Engineering*, 94(359), 315–319. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.002>.
- Foster-Martinez, M. R., & Variano, E. A. (2016). Air-water gas exchange by waving vegetation stems. *J. of Geo. Research: Biogeosciences*, 121(7), 1916–1923. <https://doi.org/10.1002/2016JG003366>.
- Hastuti, Y. P., Nirmala, K., & Setioaji, T. (2012). Kemampuan penyerapan nitrogen dan fosfor dalam lingkungan budidaya oleh kijing Taiwan. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 11(1), 86–95.
- Irianto, H., Mujiyo, Riptanti, E. W., & Qonita, A. (2018). The land use potential of flood-prone rice fields using floating rice system in Bojonegoro regency in East Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 142(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/142/1/012072>.
- Izzati, M. (2011). The role of seaweeds *Sargassum polycystum* and *Gracilaria verrucosa* on growth performance and biomass production of tiger shrimp. *Journal of Coastal Development*, 14(3), 235–241.
- Jamil, A., Mejaya, M., Praptana, R., Subekti, N., Aqil, M., Musaddad, A., & Putri, F. (2016). Deskripsi Varietas Unggul Tanaman Pangan 2010-2016. In <http://pangan.litbang.pertanian.go.id> (p. 142).
- Kibria, A. S. M., & Haque, M. M. (2018). Potentials of Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) in freshwater ponds in Bangladesh. *Aquaculture Reports*, 11(April), 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.05.004>.
- 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 N₂O emission and NH₃ volatilization in intensive aquaculture ponds. *Science of the Total Environment*, 655, 284–291. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.440>.
- Li, W., & Li, Z. (2009). In situ nutrient removal from aquaculture wastewater by aquatic vegetable *Ipomoea aquatica* on floating beds. *Water Science and Technology*, 59(10), 1937–1943. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.191>.
- Li, X. N., Song, H. L., Li, W., Lu, X. W., & Nishimura, O. (2010). An integrated ecological floating-bed employing plant, freshwater clam and biofilm carrier for purification

- of eutrophic water. *Ecological Engineering*, 36(4), 382–390. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.11.004>.
- Mondal, A., Bhattacharya, S., Mitra, A., Sundaray, J. K., & Mohanty, R. K. (2020). Performance evaluation of mud crab co-culture with different fish species in confined brackishwater ponds. *Aquaculture*, 522(January), 735125. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735125>.
- Murachman, Hanani, N., Soemarno, & Muhammad, S. (2010). Model polikultur udang windu, ikan bandeng dan rumput laut secara tradisional. *Jurnal Pembangunan dan Alam Lestari*, 1(1), 1–10.
- Pantjara, B., & Hendradjat, E. A. (2011). Produksi bandeng melalui aplikasi pupuk organik. *J. Riset Akuakultur*, 6(2), 253. <https://doi.org/10.15578/jra.6.2.2011.253-262>.
- Pantjara, B., Syafaat, M. N., & Kristanto, A. H. (2015). Effect of dynamical water quality on shrimp culture in the IMTA. *Indonesian Aquaculture Journal*, 10(1), 81. <https://doi.org/10.15578/iaj.10.1.2015.81-90>.
- Radiarta, I. N., & Erlania, E. (2015). Indeks kualitas air dan sebaran nutrien sekitar budidaya laut terintegrasi di perairan Teluk Ekas, Nusa Tenggara Barat: Aspek penting budidaya rumput laut. *Jurnal Riset Akuakultur*, 10(1), 141. <https://doi.org/10.15578/jra.10.1.2015.141-152>
- Rehman, F., Pervez, A., Khattak, B. N., & Ahmad, R. (2017). Constructed Wetlands: Perspectives of the oxygen released in the rhizosphere of macrophytes. *Clean - Soil, Air, Water*, 45(1). <https://doi.org/10.1002/clen.201600054>
- Rejeki, S., Ariyati, R. W., & Widowati, L. L. (2016). Application of integrated multi tropic aquaculture concept in an abraded brackish water pond. *Jurnal Teknologi*, 78(4–2), 227–232. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.8213>
- Rozen, N., Anwar, A., & Kristina, N. (2019). The effect of fish type and variety on growth and results through the application of Minapadi-SRI. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 327(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/327/1/012023>
- Sahrijanna, A., & Septiningsih, E. (2017). Variasi waktu kualitas air pada tambak budidaya udang dengan teknologi IMTA di Mamuju Sulawesi Barat. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 8(2), 52–57. <https://doi.org/10.20956/jal.v8i16.2991>
- Setijaningsih, L., & Gunadi, B. (2016). Eektivitas substrat dan tumbuhan air untuk penyerapan hara nitrogen dan total fosfat pada budidaya ikan berbasis sistem IMTA. *Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur 2016*, 169–176.
- Srisunont, C., & Babel, S. (2016). Estimating the carrying capacity of green mussel cultivation by using net nutrient removal model. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1–2), 235–243. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.012>
- 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. *J. of Environmental Management*, 203, 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.08.006>
- Tahir, A. T., & Pasaribu, A. M. (2003). Kajian adaptasi udang galah dan ikan masdengan sistem mina padi jajar legowo di lahan sawah irigasi. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 6(2), 167–175.
- Uddin, N., Kibria, A. S., & Haque, M. M. (2018). Assessment of primary productivity of integrated multi-trophic aquaculture ponds.

- International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 6(3), 306–314.
- Verdian, A. H., Effendi, I., Budidardi, T., & Diatin, I. (2020). Production performance improvement of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture with integrated multi trophic aquaculture system in Seribu Islands, Jakarta, Indonesia. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(3), 1415–1427. <https://doi.org/10.22092/ijfs.2019.120676>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.09.020>
- Zhang, J., Zhang, S., Kitazawa, D., Zhou, J., Park, S., Gao, S., & Shen, Y. (2019). Bio-mitigation based on Integrated Multi-Trophic Aquaculture in temperate coastal waters: Practice, assessment, and challenges. In *Latin American Journal of Aquatic Research* (Vol. 47, Issue 2). <https://doi.org/10.3856/vol47-issue2-fulltext-1>