



---

*Research Articles*

## **Potensi Budidaya Laut dengan Menggunakan Konsep *Integrated Multi-Trophic Aquaculture* (IMTA)**

### ***Potential of Mariculture Using Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA)***

**Thoy Batun Citra Rahmadani\*, Nuri Muahiddah**

Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, UNRAM, Nusa Tenggara Barat, INDONESIA.  
Tel. +62-0370 621435, Fax. +62-0370 640189,

\*corresponding author email: [citra@unram.ac.id](mailto:citra@unram.ac.id)

Manuscript received: 29-06-2024. Accepted: 20-09-2024

Budidaya merupakan salah satu kegiatan yang menghasilkan limbah dalam produksinya. Limbah dalam lingkungan perairan sangat berbahaya karena dapat menyebabkan pencemaran. Sumber limbah budidaya berasal dari sisa pakan, feses dan hasil ekskresi. Pencegahan limbah ini bisa dilakukan dengan menerapkan sistem budidaya ramah lingkungan yang sesuai dengan prinsip *blue economy* agar lingkungan terjaga dan budidaya bisa berkelanjutan. Salah satu sistem yang bisa digunakan yaitu menerapkan *Integrated Multi-Trophic Aquaculture* (IMTA). IMTA merupakan suatu kegiatan budidaya yang menerapkan sistem integrasi antar beberapa spesies yang dipelihara secara bersama-sama. Prinsip IMTA yaitu pemanfaatan nutrisi dalam satu sistem pemeliharaan sehingga tidak menyebabkan terjadinya persaingan makanan antar spesies. Keuntungan dari IMTA dapat meminimalisir limbah dan mampu meningkatkan pendapat karena bisa melakukan pemanenan lebih dari satu spesies.

**Kata kunci:** Berkelanjutan; IMTA; Limbah; Nutrien

#### **ABSTRACT**

Aquaculture is an activity that produces waste in its production. Waste in the aquatic environment is dangerous because it can cause pollution. Source of aquaculture waste come from unetaen feed, feces and excretion products. Preventing this waste can be done by implementing an environmentally friendly aquaculture sistem that is in accordance with blue economy principles in order that aquaculture can be sustainable. One sistem that can be used is implementing Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA). IMTA is a aquaculture activity that appllies an integartion sistem between several species that are reared together. The IMTA principle is the use of nutrients in one rearing with the result that does not competition between spesies. The advantages of IMTA can minimize waste and increase profits because it can harvest more than one species.

**Key words:** IMTA; Nutrient; Sustainable ;Waste

## PENDAHULUAN

Budidaya laut di Indonesia terus mengalami perkembangan selama beberapa tahun belakangan ini. Menurut FAO (2014), budidaya laut mengalami peningkatan 34,41% dari tahun 2005-2009. Hal ini disebabkan kebutuhan makanan bagi manusia terus bertambah. Produksi pangan diperkirakan akan meningkat sebesar 15% pada tahun 2030, sehingga kebutuhan akan pangan dari hewan akuatik juga akan terus berkembang. Pertumbuhan ini harus diiringi dengan kondisi ekosistem perairan yang sehat, terhindar dari polusi, melindungi keanekaragaman hayati dan kesetaraan social. Oleh sebab itu perlu adanya *Blue Transformasi* atau transformasi biru yang bertujuan untuk meningkatkan pengembangan dan penerapan perikanan berkelanjutan, memperbanyak produksi akuakultur agar dapat memenuhi kebutuhan pangan dan mengembangkan teknologi inovatif untuk industry akuakultur yang efisien (FAO, 2022).

Indonesia sendiri menggunakan istilah konsep *Blue Economy* yang mewakili pemanfaatan sumber daya laut secara berkelanjutan untuk pertumbuhan ekonomi, peningkatan penghidupan dan lapangan kerja serta menjaga kesehatan ekosistem laut. Keanekaragaman hayati Indonesia di laut merupakan salah satu keuntungan, yang mampu menjadikannya sebagai produsen makanan laut terbesar kedua setelah Cina (Sambodo, *et al.*, 2023). Menurut KKP (2020), produksi ikan tangkap Indonesia mencapai 7,22 juta ton dan produksi perikanan budidaya sebesar 14,65 juta ton di tahun 2021, sehingga Indonesia menjadi sumber penyedia pangan baik itu secara nasional maupun global. Indonesia perlu melakukan pengelolaan keanekaragaman ekosistem pesisir dan laut sebagai bentuk dukungan ekonomi biru, sebab masih banyak produksi perikanan budidaya yang belum memenuhi standar keberlanjutan. Sistem di beberapa area budidaya juga perlu untuk ditingkatkan agar lebih ramah lingkungan dan menerapkan budidaya yang efisien dan bersih (Sambodo, *et al.*, 2023).

Limbah merupakan salah satu produk dari budidaya yang tidak diinginkan sebab dapat merusak ekosistem perairan. Menurut Dauda *et al.*, (2019), kegiatan budidaya memerlukan masukan untuk menghasilkan suatu produk dan selalu ada limbah di sistem tersebut, baik itu berupa input atau produk sampingan yang tidak terpakai atau tidak memiliki nilai ekonomi dan sering menjadi gangguan bagi lingkungan. Limbah yang tidak diolah dengan baik dapat memberikan dampak negative bagi lingkungan seperti terjadinya sedimentasi di sekitar kawasan suatu perairan dan penurunan kualitas air yang disebabkan cemaran limbah dari sisa pakan dan feses ikan (Aonullah *et al.*, 2024).

Salah satu langkah yang bisa digunakan untuk mengatasi masalah limbah agar *blue economy* dapat tercapai adalah dengan melakukan budidaya sistem *Integrated Multi-Trophic Aquaculture* (IMTA). IMTA merupakan suatu konsep budidaya yang produk sampingan berupa limbah dari satu spesies dapat digunakan/dimanfaatkan oleh spesies lain menjadi pupuk atau pakan. Tujuan dari sistem ini adalah menciptakan sistem yang seimbang untuk kelestarian lingkungan dan stabilitas ekonomi.

## BAHAN DAN METODE

Artikel review ini ditulis menggunakan metode studi literatur. Sumber-sumber dari artikel ini didapatkan melalui jurnal internasional, nasional dan buku. Menurut Hanney, *et al* (2003) studi literatur digunakan dengan cara menggabungkan tema spesifik sehingga dapat mengeluarkan suatu rancangan berpikir kritis sehingga menjadi satu tema tertentu. Studi

literatur dapat disebut juga dengan studi kepustakaan, yaitu melakukan suatu penelitian melalui pengumpulan data dan informasi dari beberapa bahan referensi seperti buku, hasil penelitian, serta artikel yang masih berkaitan dengan judul suatu penulisan (Sari dan Asmendri, 2020). Tahapan dari penulisan ini yaitu mengumpulkan berbagai data, mengolah dan menyimpulkan sesuai dengan judul yang telah dipilih.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Limbah Akuakultur

Limbah merupakan salah satu output dari sistem budidaya. Beban limbah yang sangat tinggi perlu mendapatkan perhatian yang serius, sebab dapat menyebabkan tercemarnya perairan. Salah satu masalah yang disebabkan oleh limbah yaitu pengkayaan nutrient. Menurut Bannister *et al.*, (2016) hanya sekitar 30% dari N yang dimanfaatkan dalam budidaya, sisanya akan terbuang sebagai limbah ke dalam perairan. Selanjutnya, hasil penelitian Junaidi (2016) menunjukkan bahwa beban limbah berupa N dalam budidaya udang di KJA adalah 1.256,38 kgN per ton udang. Hal ini menyebabkan nutrisi di air akan semakin meningkat dan menyebabkan terjadinya *blooming* alga akibat perairan yang terlalu subur oleh N. Efek dari *blooming* alga dapat menyebabkan kematian atau subletal pada beberapa spesies ikan dan kerang yang penting secara komersial. Terdapat beberapa jenis alga yang cukup beracun ketika terjadi *blooming* yaitu *Alexandrium*, *Gymnodinium*, *Karenia*, *Dinophysis*, *Pseudo-nitzschia*, dan *Heterosigma* (Vignier *et al.*, 2022).

Limbah di lingkungan akuakultur didapatkan dari berbagai sumber, seperti pakan, bahan kimia dan pathogen (Dauda *et al.*, 2019). Pakan merupakan salah satu komponen yang paling utama dan paling besar dalam kegiatan budidaya, biaya pakan bisa mencapai 60% dari total biaya produksi. Pengelolaan pakan yang optimal dapat memenuhi kebutuhan nutrisi dan lebih hemat dari aspek biaya, namun jika pemberian pakan kurang baik dapat menyebabkan rasio konversi pakan meningkat serta mencemari lingkungan perairan. Pakan kaya akan sumber N, sehingga ketika terakumulasi cukup banyak di perairan laut maka akan menyebabkan kelebihan nutrisi. Kelebihan nutrient dalam perairan dilepaskan dalam dua bentuk yaitu nutrient terlarut dan nutrient partikulat. Nutrient terlarut dari hewan budidaya berasal dari pakan, feses dan hasil metabolisme. Dalam kolam budidaya ikan atau krustase sebagian besar nutrient dapat dimanfaatkan oleh ikan, namun sebagiannya bisa terakumulasi di dasar kolam menjadi sedimen. Hal ini dapat menyebabkan pelepasan unsur hara ke dalam perairan dan menyebabkan FCR yang tinggi (White, 2013). Hasil penelitian Boyd *et al* (2008) menunjukkan bahwa total muatan P yaitu 27,7% dan N sebesar 35,8% dari tambak udang. Selain itu terjadi juga peningkatan FCR dari yang sebelumnya 1,6 menjadi 2 (terjadi kenaikan 25%).

Selanjutnya, kegiatan budidaya saat ini sangat membatasi penggunaan dari bahan kimia, namun beberapa bahan tersebut masih digunakan sebagai obat, desinfektan dan antifoulant. Obat-obatan ini berfungsi sebagai antibiotik, pengobatan, pengendalian parasite serta pencegahan infeksi mikroba. Salah satu contoh bahan kimia yang masih digunakan yaitu kapur untuk mengolah kolam agar menjadi asam saat persiapan. Walaupun bahan kimia ini penting untuk budidaya, tetapi ketika sisa air dikeluarkan dari kolam maka sisa-sisa bahan kimia tersebut bisa ikut dan mencemari lingkungan. Kelompok limbah berikutnya yaitu yang termasuk dalam pathogen namun sangat jarang diperhatikan. Pembuangan pathogen bersamaan

dengan air limbah dapat memberikan dampak negative bagi perairan dan juga hewan akuatik. Secara umum, perairan alami telah memiliki pathogen, namun ketika mendapatkan tambahan dari sistem budidaya ikan maka jumlahnya akan meningkat dan dapat menyebabkan stres hingga kematian organisme akuatik. Penggunaan pupuk organik seperti kotoran sapi, babi dan unggas merupakan sumber pembawa pathogen jenis streptokokus (Dauda *et al.*, 2019).

## Sejarah IMTA

IMTA merupakan sebuah sistem yang berasal dari budidaya. Perkembangan budidaya sendiri telah dimulai sejak tahun 2200-2100 sebelum masehi. Berdasarkan catatan You Hou Bin, integrasi dalam sistem budidaya dimulai dengan budidaya ikan dan tanaman akuatik di Cina. Pada tahun 1639, terdapat buku yang dipublikasikan oleh Xu Guangqi yang membahas tentang topik integrasi ikan dengan ternak dan pengaruh pupuk kandang terhadap produksi kolam. Di tahun 1970-an kemudian John Ryther mengeluarkan sebuah karya yang disebut dengan sistem polikultur kelautan daur ulang limbah secara terpadu. Kegiatan ini merupakan awal mulainya konsep IMTA dan dilaksanakan pertama kali di Woods Hole Oceanographic Institution, Massachusetts, USA. Tiga decade berikutnya sistem polikultur, budidaya laut terintegrasi, rekayasa akuakultur dan ekologis akuakultur terus berkembang. Oleh sebab itu untuk menggabungkan konsep-konsep yang memiliki tujuan yang sama, Thierry Chopin dan Jack Taylor membentuk yang namanya *Integrated Multi-trophic Aquaculture* (IMTA) di tahun 2004 (Chopin, 2013).

## IMTA

IMTA adalah sebuah kegiatan budidaya yang produk sampingannya berupa limbah dari satu spesies dimanfaatkan atau didaur ulang menjadi input berupa pupuk, pangan dan energi untuk spesies lainnya. Istilah *Multi-Trophic* yang digunakan dalam sistem ini mengacu pada penggabungan spesies dari tingkat trofik atau nutrisi yang berbeda dalam sistem yang sama. Hal ini yang membedakannya dengan polikultur yang telah lama ada. Polikultur merupakan kegiatan budidaya yang dalam satu kawasan membudidayakan berbagai spesies ikan dari tingkat trofik yang sama. Dalam hal ini, organisme-organisme tersebut memiliki proses biologi dan kimia yang sama sehingga berpotensi menyebabkan perubahan pada lingkungan. IMTA kemudian menjadi berkembang yang didasari dari polikultur. Proses kimia dan biologi dalam IMTA harus diperhatikan keseimbangannya. Praktik IMTA ini dapat membantu mengurangi dampak lingkungan sekaligus menghasilkan produk-produk lain yang bernilai ekonomis (Barrington *et al.*, 2009). IMTA juga memiliki tujuan untuk meningkatkan keuntungan, dimana seluruh organisme-organisme budidaya yang digunakan harus memiliki nilai ekonomi.

Sistem IMTA merupakan suatu praktek yang menggabungkan budidaya spesies akuakultur seperti ikan bersirip dengan spesies akuakultur yang bisa memanfaatkan bahan anorganik (rumput laut) dan spesies yang menggunakan bahan organik (hewan avertebrata pemakan suspense dan deposit) untuk mencapai pendekatan pengelolaan ekosistem yang seimbang. Manfaatnya yaitu meningkatkan keberlanjutan dan profitabilitas jangka panjang dalam satu sistem budidaya, sebab limbah dari organisme-organisme budidaya dapat digunakan. Pada IMTA, hanya memberi pakan kepada salah satu komoditas, dalam hal ini yaitu dari komoditas utama (ikan bersirip), sedangkan rumput laut dan hewan avertebrata lainnya

mendapatkan makanan dari limbah-limbah komoditas utama tersebut. Pakan merupakan salah satu komponen yang memiliki biaya operasional tertinggi, sehingga dengan IMTA biaya ini dapat dikurangi karena sebagian makanan, nutrisi dan energi dapat dimanfaatkan oleh spesies lain (Chopin, 2010).

Konsep IMTA yang digunakan sangatlah fleksibel. IMTA tidak hanya sebuah budidaya yang menggunakan salmon, rumput laut, kerang biru dan beberapa jenis avertebrata tetapi dapat digunakan pada konsep yang lebih luas. Terdapat beberapa syarat untuk pemilihan spesies dalam IMTA diantaranya yaitu, fungsi dalam ekosistem, nilai atau potensi ekonomi dan penerimaan konsumen. Selain itu, perlu juga diperhatikan pemilihan lokasi, sebab setiap perairan mempunyai karakteristik oseanografi dan biologis yang unik. Faktor-faktor ini akan mempengaruhi kinerja antar spesies yang dibudidayakan. Oleh sebab itu ketika menetapkan suatu lokasi harus diperhatikan tingkat nutrien, oksigen, suhu, salinitas dan beberapa faktor lainnya. Salah satu cara yang bisa digunakan untuk melakukan pemilihan lokasi dengan menggunakan bantuan alat GIS (Barrington *et al.*, 2009)

### **Organisme Budidaya dalam Sistem IMTA**

Kegiatan IMTA harus memperhatikan beberapa aspek dalam menggunakan organisme-organisme. Pemeliharaan tidak hanya menggunakan ikan bersirip tetapi harus menambahkan beberapa organisme dari tingkat trofik yang berbeda dan lebih rendah. Tujuannya yaitu untuk meniru fungsi ekosistem secara alami.

### **Ikan Bersirip**

Ikan merupakan satu dari beberapa komoditas yang digunakan dalam sistem IMTA. Terdapat beberapa ikan yang bisa digunakan dalam sistem ini seperti kerapu, bawal bintang, baronang dan beberapa ikan bernilai ekonomis tinggi. Ikan kerapu merupakan salah satu jenis ikan bersirip yang memiliki harga jual cukup tinggi. Menurut Ismi *et al.*, (2013) Indonesia merupakan produsen utama dari benih kerapu, dengan area pembenihan berada di Bali yang bisa mencapai produksi 200.000-1.000.000 perbulan.

Ikan kerapu memiliki nilai jual yang tinggi, berdasarkan hasil penelitian Sutina *et al.*, (2016), harga kerapu untuk diekspor bisa mencapai Rp. 300.000-500.000 per kg. Indonesia melakukan ekspor kerapu ke beberapa negara seperti Hongkong, Thailand, Amerika dan Malaysia. Menurut KKP (2020), volume ekspor kerapu pada tahun 2016 sebanyak 7.667.694 kg dengan nilai mencapai 41.452.793 USD. Ekspor ini terdiri atas kerapu beku, kerapu segar/dingin dan kerapu hidup, namun permintaan paling tertinggi adalah kerapu hidup.

Permintaan yang tinggi menyebabkan produksi ikan kerapu juga semakin meningkat. Hal ini didukung dengan kegiatan budidaya, namun aktivitas budidaya ikan kerapu tidak lepas dari masalah limbah yang berasal dari feses dan sisa pakan yang tidak termakan. Hasil penelitian Bramana *et al.*, (2014) menunjukkan bahwa jumlah limbah didalam perairan yang berasal dari budidaya kerapu yaitu 187,48 kg N/6 bulan/unit dan apabila dilakukan konversi per hari maka jumlahnya adalah 1,04 kg/hari.

### **Kekerangan**

Industry kerang telah lama ada dan menjadi pendukung dalam perlindungan dan pemulihan kualitas air (Dewey *et al.*, 2011). Kerang berperan dalam mengatasi pengkayaan

nutrien, meningkatkan kejernihan air dan mengurangi konsentrasi fitoplankton melalui perannya sebagai penyaring. Amonia dan bahan organik yang ada di perairan dapat dimanfaatkan oleh kerang karena bersifat *filter feeder*. Kerang dapat mengasimilasi *Particulate Organic Matter* dan secara tidak langsung juga memanfaatkan *Dissolve Inorganic Nitrogen* melalui proses asimilasi fitoplankton (Hold dan Edwards, 2014). Hasil penelitian Renitasari *et al.*, (2023), menunjukkan penambahan kerang darah (*Anadara granosa*) mampu menghasilkan jumlah amonia yang lebih rendah. Selanjutnya, menurut Kabangnga *et al.*, (2023) kerang darah yang dipelihara pada sistem IMTA memiliki pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan yang dipelihara pada sistem monokultur dan polikultur.

### Teripang

Teripang dianggap sebagai spesies yang dibutuhkan dalam melakukan budidaya dengan sistem IMTA, sebab kemampuannya untuk memakan limbah partikulat yang dihasilkan dari hewan lain (Zamora *et al.*, 2016). Teripang disebut juga sebagai pemakan sedimen (*deposit feeder*). Sisa-sisa dari bahan organik, bakteri maupun mikroalga yang terdapat disedimen/substrat menjadi makanan utama. Oleh sebab itu, teripang dari jenis Holothurian merupakan kelompok dalam rantai makanan rendah yang membantu proses daur ulang detritus. Beberapa spesies terdapat didalam sedimen dan diyakini membantu proses mengoksidasi lapisan sedimen atas serta berperan dalam bioturbasi (Purcell *et al.*, 2010). Hal ini menyebabkan penumpukan zat-zat tersebut yang berpotensi untuk mencemari lingkungan dapat dicegah.

Sumber limbah baik dari feses ikan ataupun kerang yang dibudidayakan dalam sistem IMTA dapat dimanfaatkan oleh teripang sebagai sumber makanan. Menurut Burkholder dan Shumway (2011) kerang diperkirakan mencerna dan menyerap sekitar 50% partikulat N yang disaring dari kolom air, sebagian N akan digunakan untuk pertumbuhan jaringan namun sebagiannya lagi bisa dieksresikan dalam bentuk ammonium. Hasil buangan ini yang nantinya akan digunakan teripang, sebab teripang berfungsi untuk memakan sisa pakan, feses, sisa pembusukan dan bahan organik lain (Firdaus *et al.*, 2016).

Selain dari manfaat ekologis, pemeliharaan teripang dalam sistem IMTA juga dapat berperan dalam meningkatkan pendapatan. Hal ini disebabkan teripang merupakan salah satu hewan laut yang banyak dikonsumsi negara-negara Asia, khususnya Cina. Hewan ini dianggap mampu mengobati beberapa penyakit seperti mengurangi nyeri sendi dan memperkuat sistem kekebalan tubuh (Purcell *et al.*, 2010). Permintaan yang cukup tinggi menyebabkan harganya juga menjadi mahal. Menurut Setyastuti *et al.*, (2019) harga teripang pasir sekitar Rp. 100.000-500.000 per kg untuk pasar domestik dan USD 103-167 per kg di pasar Hongkong (Pattinasarany dan Manuputty, 2018).

### Rumput Laut

Rumput laut adalah alga yang tumbuh di ekosistem perairan. Rumput laut atau disebut juga dengan makroalga dikelompokkan menjadi 3 filum yaitu merah, coklat dan hijau dengan jumlah total spesies diperkirakan antara 8.000-10.500 (Radulovich, *et al.*, 2015). Sekitar 21 juta ton rumput laut telah dimanfaatkan baik dalam bentuk pangan dan non pangan, dengan kurang lebih 800.000 ton dipanen dari alam dan sisanya (94%) didapatkan dari hasil budidaya. Produksi rumput laut didominasi oleh Indonesia, China dan Filipina.

Berdasarkan hasil penelitian Huo *et al.*, (2012), *G. verrucosa* memiliki kemampuan untuk menguraikan unsur hara yang tinggi. *G. verrucosa* yang dipelihara dalam sistem IMTA mampu mengimbangi 28.314 kg nitrogen yang dihasilkan oleh ikan *Pseudosciaena crocea*. Hal yang sama ditemukan oleh Ihsan., *et al* (2019), rumput laut *G. verrucosa* mampu memanfaatkan nitrogen terlarut dan limbah udang hingga 14,62 g, sehingga bobot rumput laut yang dipelihara selama 4 minggu dapat meningkat dua kali lipat. Kandungan nitrogen pada thallus juga meningkat sebesar 1-3,5% dengan laju pertumbuhan 8-9% per hari.

Rumput laut dapat menyerap limbah anorganik (nitrogen atau posfor) sebagai sumber nutrisi. Penyerapan nutrisi ini diawali dengan melewati lapisan difusi dan dinding sel. Setelah itu, nutrisi dibawa ke dalam sel melalui beberapa cara diantaranya transport aktif, transport yang difasilitasi atau difusi pasif. Di dalam sel, nutrisi dapat disimpan di beberapa tempat atau diasimilasi. Nitrat dapat disimpan dalam tempat penyimpanan bahan anorganik atau dapat diubah menjadi ammonium melalui enzim nitrat dan nitrit reductase. Asam amino juga bisa terbentuk melalui glutamin sintetase dan glutamate sintetase (Roleda dan Hurd, 2019).

Faktor lingkungan seperti suhu, cahaya, dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) sangat mempengaruhi proses penyerapan limbah anorganik pada rumput laut. Menurut Nishihara *et al.*, (2005), suhu mempengaruhi aspek-aspek fisiologis rumput laut karena mengatur aktivitas enzim, konstanta laju kimia dan laju difusi saat nutrisi melewati lapisan perbatasan. Suhu sangat berpengaruh saat nutrisi masuk melalui transport aktif, karena mempengaruhi aktivitas transport membrane. Sedangkan jika penyerapan nutrisi melalui difusi pasif cenderung lebih kecil dampak suhu tersebut. Penyerapan  $\text{NO}_3^-$  oleh rumput laut *Laurencia brongniartii* lebih tinggi saat suhu meningkat, namun penyerapan  $\text{NH}_4^+$  tidak berpengaruh pada suhu. Hal ini disebabkan  $\text{NH}_4^+$  diserap dengan cara difusi pasif.

Faktor lingkungan berikutnya yang mempengaruhi penyerapan nutrisi rumput laut adalah cahaya. Intensitas cahaya yang rendah dapat menyebabkan rendahnya laju pertumbuhan. Secara umum, pada siang hari penyerapan nitrogen dibantu oleh sinar matahari melalui proses fotosintesis, sedangkan saat gelap sumber energi yang digunakan adalah karbohidrat (Rolde dan Hurd, 2019). Berdasarkan hasil penelitian Sitorus *et al.*, (2012) intensitas cahaya dengan  $\pm 1000$  lux memberikan pertumbuhan tertinggi pada *Caulerpa racemosa* dengan berat basah mencapai 43,1 gram, sedangkan pada intensitas cahaya  $\pm 300$  lux pertumbuhannya hanya mencapai 29,7 gram.

$\text{CO}_2$  juga sangat berpengaruh pada pertumbuhan rumput laut, hal ini disebabkan  $\text{CO}_2$  dibutuhkan untuk proses fotosintesis (Suarez-Alvarez *et al.*, 2012). Menurut Sa'adah dan Widyaningsih (2018) rumput laut jenis *Caulerpa racemosa* var. *uvifera* memiliki pertumbuhan yang lebih baik dengan pemberian  $\text{CO}_2$  selama 6 jam/hari. Hasil yang ditemukan juga oleh Barat *et al.*, (2011), pada perlakuan dengan pemberian  $\text{CO}_2$  1 kali/hari mampu meningkatkan pertumbuhan *Kappaphycus alvarezii*.

### Potensi IMTA di Indonesia

Indonesia merupakan salah satu produsen dalam sector perikanan budidaya terbesar keempat di dunia. Menurut KKP (2022) lahan yang bisa dimanfaatkan untuk kegiatan budidaya laut sekitar 12.123.383 ha, namun termanfaatkan baru 102.254 ha atau sekitar 0,84%. Luas lahan yang begitu besar menjadi salah satu kesempatan untuk bisa menerapkan IMTA di

perairan Indonesia. Hal ini dilakukan untuk dapat meningkatkan hasil produksi budidaya laut dimasa depan yang berkelanjutan serta memberikan dampak positif baik itu bagi lingkungan dan pasokan ikan. Dibawah ini merupakan beberapa hasil-hasil penelitian yang dirangkum terkait penerapan IMTA di beberapa daerah.

Tabel 1. Hasil Penelitian IMTA di Indonesia

Jenis Organisme yang Dibudidayakan	Fungsi	Hasil	Sumber
- Ikan kerapu macan ( <i>Epinephelus fuscoguttatus</i> )	- Sebagai komoditas utama	Pertumbuhan semua komoditas budidaya sangat baik. Pertumbuhan rumput laut lebih baik dibandingkan dengan control (dipelihara dengan sistem monokultur), dengan pertumbuhan harian di sistem IMTA mencapai 4,22-6,09% sedangkan pada control 3,90-5,53%	Radiarta dan Erlania, 2016
- Ikan bawal bintang ( <i>Trachinotus blochii</i> )	- Sebagai komoditas utama		
- Rumput laut jenis <i>Kappaphycus alvarezii</i>	- Menyerap bahan anorganik		
- Udang windu ( <i>Penaeus monodon</i> )	- Sebagai komoditas utama	Pertumbuhan udang windu meningkat dengan baik saat dibudidayakan dengan rumput laut pada padat tebar 50 gram. Kualitas air juga menjadi seimbang dengan nilai nitrat sebesar 0,017-0,0803 mg/L, nitrit 0,002-0,42 mg/L dan ammonia 0,017-0,591 mg/L	Azizah <i>et al.</i> , 2018
- Rumput laut jenis <i>Gracillaria</i> sp.	- Menyerap bahan anorganik		
- Ikan kerapu cantang	- Sebagai komoditas utama	Biota utama (ikan kerapu cantang dan kakap putih) menunjukkan hasil pertumbuhan yang kurang baik, sedangkan pada komoditas rumput laut, teripang dan bintang laut pertumbuhannya cukup bagus	Triarso dan Putro, 2019
- Ikan kakap putih	- Sebagai komoditas utama		
- Rumput laut	- Menyerap bahan anorganik		
- Teripang	- <i>Deposit feeder</i>		
- Bintang laut	- <i>Deposit feeder</i>		



## IMTA di Masa Depan

IMTA merupakan salah satu kegiatan budidaya yang memiliki banyak manfaat sehingga prospek kedepannya sangat besar. Beberapa keuntungan dari IMTA adalah, pengolahan limbah, pencegahan penyakit, peningkatan nilai ekonomi spesies yang dibudidayakan dan pertumbuhan ekonomi melalui lapangan pekerjaan (Barrington *et al.*, 2009). Beberapa proyek IMTA di hampir seluruh dunia telah mengumpulkan data dan mendukung konsep pada tingkat biologis. Langkah selanjutnya yang perlu dilakukan adalah memperluas sistem dari eksperimental ke skala komersial untuk melihat manfaat ekonomi dan social secara lanjut. Hal ini bertujuan agar IMTA dapat digunakan secara luas, sebab pendekatan budidaya yang bertanggungjawab harus menghasilkan ekonomi bagi masyarakat. Pemilihan spesies harus memperhatikan beberapa aspek seperti sesuai dengan habitat, teknologi budidaya dan tenaga kerja yang tersedia. Faktor lingkungan, iklim dan kondisi oseanografi juga harus menjadi pertimbangan. Faktor-faktor ini penting agar semua spesies yang dibudidayakan mampu tumbuh menjadi biomassa yang signifikan dan saling melengkapi dalam fungsi ekosistem, agar dapat memberikan nilai tambah. Interaksi dan sinergi ekologis dalam sistem IMTA harus dapat diidentifikasi dan dipahami sehingga manfaatnya bisa maksimal (Chopin, 2013).

## KESIMPULAN

IMTA merupakan sebuah konsep budidaya yang bertujuan untuk mendukung perikanan berkelanjutan dengan menerapkan sistem budidaya ramah lingkungan. Keunggulan dari IMTA yaitu bisa membudidayakan lebih dari satu jenis organisme yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Peluang pasar yang sangat besar dan sumber daya alam Indonesia yang sangat berlimpah menjadikan Indonesia memiliki potensi besar untuk bisa menerapkan sistem IMTA.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aonullah, A.A., Ritonga, L.B.R., Nisa, A.C., Fahrudin, F., Nazran. 2024. Analisis dampak lingkungan (AMDAL) pada sector budidaya laut dengan sistem keramba jaring apung (KJA) di perairan Teluk Ekas Lombok Timur Nusa Tenggara Barat. Lemuru: Jurnal Ilmu Perikanan dan Kelautan Indonesia. 6(1). 101-114.
- Azizah, I., Rejeki, S., Ariyati, R. W. 2018. Performa pertumbuhan udang windu (*Penaeus monodon*) yang dibudidayakan bersama rumput laut (*Gracilaria* sp.) dengan padat tebar yang berbeda menerapkan sistem Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). Jurnal Sains Akuakultur Terapan. 2: 1-11.
- Bannister, R. J., Johnsen, I. A., Hansen, P. K., Kutti, T., and Asplin, L. Near- and far-field dispersal modelling of organic waste from Atlantic salmon aquaculture in fjord systems. – ICES Journal of Marine Science, 73: 2408–2419.
- Barat., Bengen, W. O. B., Kawaroe, D. G., Mujizat. 2011. Pemanfaatan Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) untuk Optimalisasi Pertumbuhan Rumput Laut *Kappaphycus alvarezii*. [Tesis]. Bogor, IPB University.
- Barrington, K., Chopin, T., Robinson, S. 2009. Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) in marine temperate waters. In D. Soto (Ed.). Integrated mariculture: a global review. FAO Fisheries and Aquaculture Technocal Paper. No. 529. Rome, FAO. Pp. 7-46.
- Boyd, C.E., Lim, C., Queiroz, J., Salie, K., De Wet, L., McNevin, A. 2008. Best management practices for responsible aquaculture, In USAID/Aquaculture Collaborative Research Support Program. Oregon State University, Corvallis, Oregon State University. 47 pp.

- Bramana, A., Damar, A., Kurnia, R. 2014. Estimasi daya dukung lingkungan keramba jaring apung, di perairan Pulau Semak Daun Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*. 5(2). 163-172.
- Burkholder, J. M dan Shumway, S. E. 2011. Bivalvie shellfish aquaculture and eutrophication. In S.E. Shumway. Wiley-Blackwell. UK
- Chopin, T. 2010. Integrated multi-trophic aquaculture. *Advancing The Aquaculture Agenda: Workshop Proceedings*.
- Chopin, T. 2013. Aquaculture, Integrated Multi-Trophic (IMTA). In P. Christou., R. Savin., B. A. Costa-Pierce., I. Misztal., C.B.A. Whitelaw. 184-205. New York. Springer.
- Dauda, A. B., Ajadi, A., Tola-Fabunmi, A.S., Akonwole, A. O. 2019. Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture sistem. *Aquaculture and Fisheries*. 81-88.
- Dewey, W., Davis, J.P., Cheney, D. 2011. Shellfish aquaculture and the environment: an industry perspective. Wiley-Blackwell. UK.
- FAO. 2014. The state of world fisheries and aquaculture opportunities and challenges. Rome
- FAO. 2022. The state of world fisheries and aquaculture towards blue transformation. Rome.
- Firdaus, M., Indriana, L.F., Dwiono, S. A. P., Munandar, H. 2016. Konsep dan proses alih teknologi budidaya terpadu teripang pasir, bandeng dan rumput laut. *Seminar Nasional Technopreneurship dan Alih Teknologi*.
- Hanney, S.R., Gonzalen-Block, M.A., Buxton, M.J., Kogan, M. 2003. The utilisation of health research in policy-making: concepts, examples and methods of assessment. *Health Research Policy and Sistems*. 1(2): 1-28.
- Hold, S.L dan Edwards, M.D. 2014. Cost-effective IMTA: a comparison of the production efficiencies of mussels and seaweed. *J. Appl Phycol*. 26: 933-945.
- Huo, Y., Chai, Z., Wu, H., He, P. 2012. Bioremediation efficiency of *Gracilaria verrucosa* for an intergrated multi-trophic aquaculture sistem with *Pseudosciaena crocea* in Xiangshan Harbour China. *Aquaculture*. 99-105.
- Ihsan, Y. N., Subiyanto, Pribadi, T. D. K., Schulz, C. 2019. Nitrogen assimilation potential of seaweed (*Gracilaria verrucosa*) in polyculture with pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). *AAAL Bioflux*. 12(1). 51-62.
- Ismi S., Sutarmat T., NA Giri, Rimmer MA, Knuckey RMJ, Berding AC dan Sugama K. 2013. Pengelolaan pendederan ikan kerapu: suatu panduan praktik terbaik. Monograf ACIAR No. 150a. Australia Centre for International Agricultural Research: Canberra. 44 hal
- Junaidi, M. 2016. Pendugaan limbah organik budidaya udang karang dalam keramba jaring apung terhadap kualitas perairan teluk ekas Provinsi Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Biologi Tropis*, 16(2): 64-79.
- Kabangnga, A., Heriansah., Nursidi., Kirana, C. 2023. Pertumbuhan kerrang darah (*Tegillarca granosa*) pada berbagai sistem akuakultur. *Jurnal Galung Tropika*. 12(3). 319-328.
- KKP. 2020. Strategi pemanfaatan (*Interim Harvest Startegy*) kerapu (*Grouper*) di wilayah pengelolaan perikanan negara Republik Indonesia (WPPNRI) 713. Direktorat Jenderal Perikanan Tangkap. Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- KKP. 2022. Kelautan dan Perikanan dalam angka tahun 2022. Jakarta: Pusat Data, Statistik dan Informasi. Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Nishihara G.N., Terrada R. & Noro T. 2005. Effect of temperature and irradiance on the uptake of ammonium and nitrate by *Laurencia brongniartii* (Rhodophyta, Ceramiales). *Journal of Applied Phycology* 17: 371–377. DOI: 10.1007/s10811-005-5519-2.

- Pattinasarany, M.M dan Manuputty, G.D., 2018. Potensi Jenis Teripang Bernilai Ekonomis Penting di Ekosistem Padang Lamun Perairan Desa Suli Maluku Tengah. *Jurnal Papalele*. 2(1), 1-7.
- Purcell, S.W. 2014. *Processing Sea Cucumbers into Beche-de-mer: A Manual for Pacific Island Fishers*. Southern Cross University and The Secretariat of the Pacific Community, Australia.
- Radiarta, I. N dan Erlania. 2016. Performa komoditas budidaya laut pada sistem *integrated multi-trophic aquaculture* (IMTA) di Teluk Gerupuk, Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Riset Akuakultur*. 11(1): 85-97.
- Radulovich, R., Neori, A., Valderrama, D., Reddy, C.R.K., Cronin, H. 2015. Farming of seaweeds. In: B. Tiwari and D. Troy (Eds.). *Seaweed Sustainability-Food and Non Food Applications*. Elsevier, Amsterdam.
- Renitasari, D. P., Ihwan., Syahrir, M. 2023. Minimaliser limbah N dan P tambak udang vaname dengan memanfaatkan biofilter kerrang darah (*Anadara granosa*). *Jurnal Sains Akuakultur Tropis*. 1: 139-145.
- Roleda, M. Y dan Hurd, C.L. 2019. Seaweed nutrient physiology: application of concepts to aquaculture and bioremediation. *Phycologia*. 58(5): 552-562.  
<https://doi.org/10.1080/00318884.2019.1622920>
- Sa'adah, N dan Widyaningsih, S. 2018. Pengaruh pemberian CO<sub>2</sub> terhadap pH air pada pertumbuhan *Caulerpa racemose var. uvifera*. *Jurnal Kelautan Tropis*. 21(1): 17-22.
- Sambodo, L.A.A.T., et al. 2023. *Indonesia Blue Economy Roadmap*. BAPPENAS, Jakarta.
- Sari, M dan Asmendri. 2020. Penelitian kepustakaan (*Library research*) dalam penelitian Pendidikan IPA. *Natural Science: Jurnal Penelitian Bidang IPA dan Pendidikan IPA*. 41-53.
- Setyastuti, A., Wirawati, I., Permadi, S., Vimono, I.B. 2019. Teripang Indonesia: Jenis, Sebaran dan Status Nilai Ekonomi. *Media Sains Nasional*, Jakarta.
- Sitorus, E. R., Santosa, G. W., Pramesti, R. 2020. Pengaruh rendahnya intensitas cahaya terhadap *Caulerpa racemose* (Forsskal) 1873 (Ulvophyceae:Caulerpaceae). *Journal of Marine Research*. 9(1): 13-17.
- Suarez-Alvarez, S., Gomez-Pinchetti, J.L., Garcia-Reina, G. 2012. Effectd of increased CO<sub>2</sub> levels on growth, photosynthesis, ammonium uptake and cell composition in the macroalga *Hypnea spinella* (Gigartinales, Rhodophyta). *J. Appl. Phycol*. 24(4): 815-823.
- Sutina., Rahmatia., Seniwati., Kitta, F. K. 2016. Study of marketing grouper (*Ephinephellus* sp) and contribution to local revenue in South Sulawesi Provonce. *Sci.Int.(Lahore)*. 4501-4506.
- Triarso, I dan Putro, S.P. 2019. Pengembangan budidaya perikanan produktif berkelanjutan sistem IMTA (*Integrated Multi-Trophic Aquaculture*) (Studi kasus di kep. Karimunjawa, Jepara). *Life Science*. 8(2): 192-199.
- Vignier, A.R., Hutson, K.S., Rhodes, L.L., Biessy, L. 2022. Effects of harmful algal blooms on fish and shellfish species: A case study of New Zealand in a changing environment. *Toxins*. 14,341: 1-33.
- White, P. 2013. Environemntal consequences of poor feed quality and feed management. In M.R. Hasan and M.B. New, eds. *On-farm feeding and feed management in aquaculture*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 583. Rome, FAO. Pp. 553-564.
- Zamora, L.N., Yuan, X., Carton, A. G., Slater, M.J. 2016. Role of deposit-feeding sea cucumbers in integrated multitrophic aquaculture: progress, problem, potential and future challenges. *Reviews in Aquaculture*. 1-18. doi: 10.1111/raq.12147.