

SISTEM DAN TEKNOLOGI AKUAKULTUR

**Muh. Azril
Bambang Suprakto
Nasuki
Dimas Rizky Hariyadi
Mochammad Heri Edy
Atika Marisa Halim
Muhammad Nur
Nur Indah Sari Arbit**



GET PRESS INDONESIA

SISTEM DAN TEKNOLOGI AKUAKULTUR

Penulis : Muh. Azril

Bambang Suprakto

Nasuki

Dimas Rizky Hariyadi

Mochammad Heri Edy

Atika Marisa Halim

Muhammad Nur

Nur Indah Sari Arbit

ISBN :

Editor : Mila Sari, M.Si.

Penyunting: Yuliatrini Novita, M.Hum.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

Penerbit: GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi:

Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah

Kecamatan Koto Tengah, Padang, Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Juni 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan Judul Sistem dan Teknologi Akuakultur dapat diselesaikan dengan baik atas kerjasama tim penulis. Buku ini membahas ruang lingkup sistem teknologi akuakultur, level teknologi pada sistem akuakultur, sistem teknologi akuakultur berbasis badan air, sistem teknologi untuk land-based akuakultur (tertutup), sistem filtrasi akuakultur, sistem disinfeksi dan biosekuritas akuakultur, sistem silvofishery, sistem multitrofik.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur bagi Perguruan Tinggi yang mudah dipahami.

Padang, Mei 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vii
BAB 1 RUANG LINGKUP SISTEM TEKNOLOGI AKUAKULTUR.....	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Ruang Lingkup Sistem Teknologi Akuakultur	3
1.3 Perkembangan Teknologi dalam Akuakultur.....	9
DAFTAR PUSTAKA	12
BAB 2 LEVEL TEKNOLOGI PADA SISTEM AKUAKULTUR.....	15
2.1 Pendahuluan.....	15
2.1.1 Akuakultur dan Pentingnya Teknologi	15
2.1.2 Level Teknologi dalam Akuakultur.....	18
2.2 Sistem Akuakultur.....	22
2.2.1 Level Teknologi Ekstensif.....	22
2.2.2. Level Teknologi Semi Intensif.....	30
2.2.3 Level Teknologi Intensif.....	37
2.3 Kesimpulan dan Rekomendasi.....	49
2.3.1 Kesimpulan.....	49
2.3.2 Rekomendasi	50
DAFTAR PUSTAKA	52
BAB 3 SISTEM TEKNOLOGI AKUAKULTUR BERBASIS BADAN AIR/WATER BASED (SEMI TERTUTUP DAN TERBUKA).....	59
3.1 Pengertian	59
3.2 Konsep Dasar Sistem Akuakultur Berbasis Badan Air	59
3.3 Tujuan dan Manfaat Sistem Akuakultur Berbasis Badan Air ...	61
3.4 Ekosistem badan air	63
3.5 Peran air dalam pertumbuhan dan kelangsungan hidup organisme akuatik	65
3.6 Komponen Utama Sistem Akuakultur Berbasis Badan Air	67
3.7 Sistem Akuakultur Berbasis Badan Air Terpadu.....	77
3.8 Tantangan dan Solusi dalam Sistem Akuakultur Berbasis Badan Air	83
3.9 Potensi Sistem Akuakultur Berbasis Badan Air	87
3.10 Tantangan dan Peluang di Masa Depan.....	89
DAFTAR PUSTAKA	92

BAB 4 SISTEM TEKNOLOGI UNTUK <i>LAND-BASED</i>	
AKUAKULTUR (TERTUTUP)	97
4.1 Pendahuluan	97
4.2 Manfaat Sistem Teknologi <i>Land-Based</i> Akuakultur	98
4.3 Aplikasi Sistem Teknologi <i>Land-Based</i> Akuakultur	99
4.4 Hambatan dan Tantangan Sistem Teknologi <i>Land-Based</i> Akuakultur	108
DAFTAR PUSTAKA	110
BAB 5 SISTEM FILTRASI AKUAKULTUR	113
5.1 Pengantar Sistem Filtrasi Akuakultur	113
5.2 Mekanisme Filtrasi	115
5.3 Komponen Sistem Filtrasi:	120
5.4 Bak filter: Berbagai jenis bak filter dan fungsinya dalam sistem filtrasi.	122
5.5 Jenis-jenis Media Filter	123
5.6 Air sumur bor untuk mengairi kolam atau Tambak	128
5.7 Jenis Budidaya Hatchery Udang	130
5.8 Pemanfaatan Air Laut Untuk Tambak Udang vaname	134
BAB 6 SISTEM DISINFEKSI DAN BIOSEKURITAS	
AKUAKULTUR	143
6.1 Pinsip Umum Disinfeksi pada Kegiatan Budidaya	143
6.2 Desinfeksi Telur dan Larva	146
6.3 Pemanfaatan dan Aplikasi Biosekuriti pada Akuakultur	156
DAFTAR PUSTAKA	163
BAB 7 SISTEM SILVOFISHERY	165
7.1 Pendahuluan	165
7.2 Sejarah Singkat Sistem Silvofishery	167
7.3 Desain dan Manajemen	169
7.3 Vegetasi bakau	176
7.4 Spesies akuatik utama untuk akuakultur	178
7.5 Lingkungan	179
7.6 Produktivitas silvofishery	180
7.7 Biaya dan Pendapatan	181
7.8 Permasalahan	181
7.9 Penutup	183
DAFTAR PUSTAKA	184
BAB 8 SISTEM MULTITROFIK	187
8.1 Pendahuluan	187
8.2 Pengertian Sistem Multitrofik	188

8.3 Komponen Sistem Multitrofik.....	192
8.4 Manfaat dan Tantangan	196
8.5 Pengembangan Terkini dan Prospek Masa Depan	198
8.6 Penutup	200
DAFTAR PUSTAKA	202
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. <i>World Capture Fisheries and Aquaculture Production, 1950-2020</i>	2
Gambar 1. 2. Pembagian Akuakultur Berdasarkan Sumber Airnya ..	4
Gambar 1. 3. <i>The Most Recent Technologies Developed in Aquaculture</i>	10
Gambar 4. 1. Konsep <i>Recirculating Aquaculture Systems</i> (RAS).....	102
Gambar 4. 2. Konsep <i>Flow-Through Systems</i>	104
Gambar 4. 3. Konsep <i>Flow-Through Systems</i> Pada Proses Inkubasi Telur	104
Gambar 4. 4. <i>Integrated Multi-Trophic Aquaculture</i> (IMTA).....	106
Gambar 4. 5. Konsep Sistem <i>Aquaponics</i>	108
Gambar 6. 1. Sistem Ozonasi pada Akuakultur sebagai Disinfeksi	147
Gambar 6. 2. Disinfektan kimia yang biasa digunakan dalam budidaya perikanan.....	152
Gambar 6. 3. Patogen pada Ikan dan Disinfektan.....	154
Gambar 6. 4. Konstruksi Tambak Udang Sistem Biosekuriti.....	159
Gambar 6. 5. Tata Letak Wadah Pembenihan Udang Sistem Biosekuriti	159
Gambar 6. 6. Tempat Cuci Tangan dan <i>Footbath</i> pada Unit Pembenihan	162
Gambar 7. 1. Pola empang parit.....	169
Gambar 7. 2. Pola empang parit yang disempurnakan	171
Gambar 7. 3. Pola komplangan.....	172
Gambar 7. 4. Model Silvofishery di Desa Lubuk Kertang. A. Silvofishery dengan dominasi anakan, B. Silvofishery dengan dominasi anakan. A. Pintu air tambak (pintu silvofishery untuk air payau), b. Tempat tidur, c. Anakan <i>Rhizophora</i> , d. Membatasi jaring, e. Bibit <i>Rhizophora</i> , f. Anakan <i>Avicennia</i> , g. Bibit <i>Avicennia</i>	175
Gambar 7. 5. Spesies mangrove yang ditemukan di lokasi silvofishery. Keterangan: a. <i>A. marina</i> , B. <i>R. apiculata</i> , dan C. <i>R. mucronata</i>	176
Gambar 7. 6. Beberapa komoditas yang umum dibudidayakan.	178
Gambar 8. 1. Diagram konseptual sistem akuakultur multitrofik terpadu).....	190

Gambar 8. 2. Kerangka kerja konseptual percobaan Sistem Multitrofik di kolam air tawar	191
Gambar 8. 3. Percobaan budidaya Sistem Multitrofik menggunakan <i>Meretrix lusoria</i> (<i>Bivalvia</i>) dan <i>Gracillaria</i> sp. (ganggang merah) untuk memanfaatkan limbah organik dan anorganik pada budidaya ikan bandeng (<i>Chanos chanos</i>) atau udang vannamei (<i>Litopenaeus vannamei</i>) dengan sistem tradisional	192
Gambar 8. 4. Posisi akuaponik sebagai TIS yang sedang berkembang di antara TIS yang dikembangkan dari produksi sayuran dan akuakultur.....	199

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. Potensi Lahan Budidaya dan Tingkat Pemanfaatannya di Indonesia, 2020	3
Tabel 1. 2. Karakteristik Sistem Budidaya	8
Tabel 7. 1. Kualitas air kolam silvofisheries	179
Tabel 7. 2. Total produksi udang liar di tambak payau dengan dan tanpa tutupan mangrove (Proyek Karawang)	180
Tabel 7. 3. Biaya dan keuntungan sivofishery (Rupiah/ha/tahun) ...	181
Tabel 8. 1. Bagian dari spesies ikan yang ditargetkan secara representatif dan spesies ekstraktif nutrisi anorganik dan organik dalam Sistem Multitrofik	194

BAB 1

RUANG LINGKUP SISTEM TEKNOLOGI AKUAKULTUR

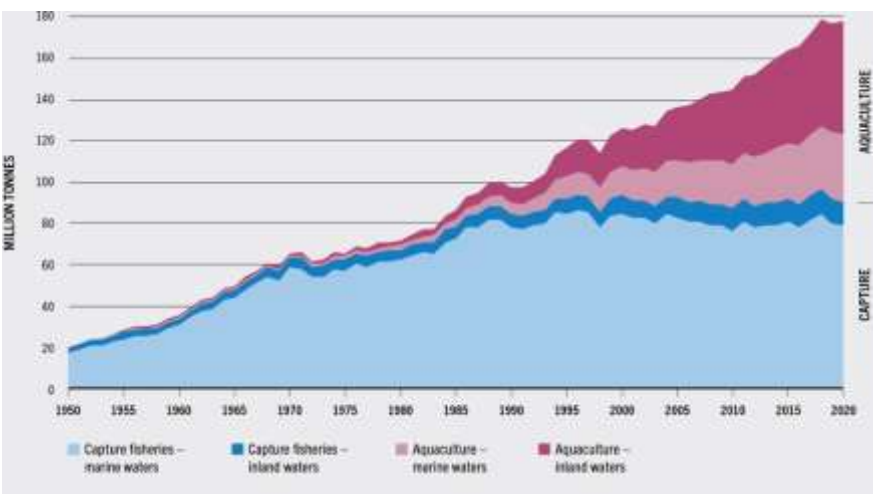
Oleh Muh. Azril

1.1 Pendahuluan

Budidaya perairan atau dikenal dengan istilah 'akuakultur' diartikan oleh *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)* sebagai "*usaha budidaya organisme air termasuk ikan, moluska, krustasea, dan tanaman air secara terkontrol yang bertujuan untuk meningkatkan produksi, dimiliki, dan diusahakan oleh individu atau badan usaha*". Sedangkan dalam Undang - Undang Perikanan No. 45 Tahun 2009, *pembudidayaan ikan adalah kegiatan untuk memelihara, membesarkan, dan/atau membiakkan ikan serta memanen hasilnya dalam lingkungan yang terkontrol, termasuk kegiatan yang menggunakan kapal untuk memuat, mengangkut, menyimpan, mendinginkan, menangani, mengolah, dan/atau mengawetkannya*.

Sektor perikanan budidaya sendiri merupakan salah satu sektor yang pertumbuhannya begitu cepat sejalan dengan peranannya dalam memenuhi kebutuhan protein hewani manusia. Kebutuhan akan protein hewani terus meningkat, seiring bertambahnya populasi manusia secara global (Azril et al., 2023). Berdasarkan data FAO, (2022), sektor perikanan budidaya berkontribusi positif terhadap peningkatan produksi hasil perikanan secara global, dimana periode 2000an hasil produksi perikanan budidaya hanya sebesar 21,8 juta ton dan

meningkat secara signifikan diatas 85 juta ton di tahun 2020 (Gambar 1.1). Produksi perikanan budidaya diprediksi akan semakin meningkat beriringan dengan kecenderungan penurunan produksi hasil perikanan tangkap (Azril et al., 2023).



Gambar 1. 1. *World Capture Fisheries and Aquaculture Production, 1950-2020*

(Sumber: FAO, 2022)

Hal ini memperlihatkan bahwa tren budidaya perikanan akan terus meningkat di kemudian hari dalam memenuhi kebutuhan manusia terhadap protein hewani. Potensi perikanan budidaya di Indonesia didukung ketersediaan potensi lahan budidaya (Tabel 1.1) seluas 17.91 juta hektar yang terdiri dari 2.8 juta hektar (15.8%) untuk budidaya air tawar), 2.96 juta hektar (16.5%) untuk budidaya air payau, dan 12.12 juta hektar (67.7%) untuk budidaya air laut. Saat ini pemanfaatan lahan budidaya masih sangat kecil yakni hanya berkisar 5.97% dari total lahan yang tersedia (Pusdatin KKP, 2022; Azril et al., 2023).

Tabel 1. 1. Potensi Lahan Budidaya dan Tingkat Pemanfaatannya di Indonesia, 2020

No	Jenis Budidaya	Potensi Lahan (ha)	Tingkat Pemanfaatan (ha)
1	Tawar	2.830.540	287.521 (10.16%)
2	Payau	2.964.331	679.448 (22.92%)
3	Laut	12.123.382	102.254 (0.84%)
Total		17.918.253	1.069.223 (5.97%)

Sumber: (Pusdatin KKP, 2022)

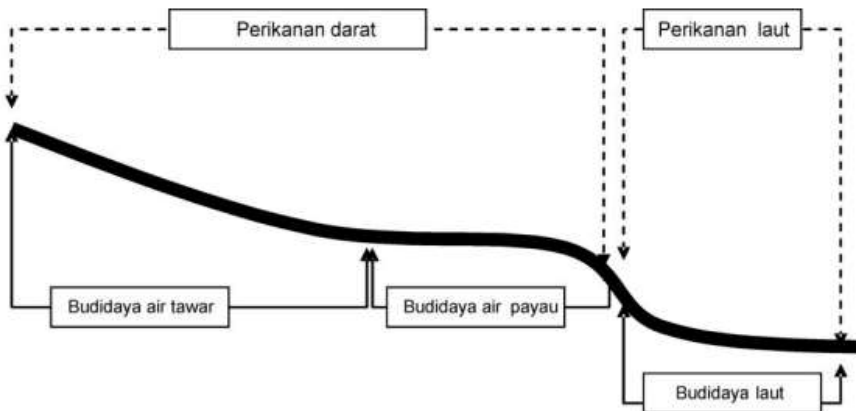
1.2 Ruang Lingkup Sistem Teknologi Akuakultur

Ruang lingkup sistem teknologi akuakultur dapat dilihat melalui berbagai perspektif berdasarkan beberapa kategori yaitu karakteristik lingkungan/ekologi, geospasial/ zonasi darat-laut, penempatan wadah produksi, dan sistem produksi & tingkat teknologi.

1.2.1 Berdasarkan Karakteristik Lingkungan/Ekologi

Badan air di permukaan bumi ini dikategorikan menurut tingkat salinitasnya, khususnya konsentrasi garam NaCl, yang menghasilkan perbedaan antara air tawar, payau, dan laut. Berbagai jenis perairan ini berfungsi sebagai sumber yang layak untuk kegiatan akuakultur. Oleh karena itu, klasifikasi kegiatan akuakultur didasarkan pada jenis air yang digunakan, yang secara umum dilakukan di tiga ekosistem yaitu budidaya perikanan air tawar (*freshwater aquaculture*), budidaya perikanan air payau (*brackishwater aquaculture*); dan budidaya perikanan air laut (*marine aquaculture/ mariculture*) seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1.2. Budidaya air tawar melibatkan pemanfaatan sumber air tawar, sedangkan budidaya air payau dan marikultur memanfaatkan air payau dan air laut sebagai sumber air dalam kegiatan akuakulturnya (Hadie et al., 2008).

Komoditas yang diproduksi dari kegiatan akuakultur baik di air tawar, payau, dan marikultur tentunya berasal dari lingkungan sesuai dengan kebiasaan hidupnya. Namun, beberapa komoditas tertentu memiliki kemampuan adaptasi (penyesuaian) terhadap lingkungannya untuk berkembang biak di kondisi air tawar, payau, atau laut. Misalnya, bandeng dan udang windu, yang keduanya merupakan spesies air payau, juga dapat dibudidayakan di lingkungan air tawar. Hal ini dikarenakan komoditas dari air payau biasanya bersifat *euryhaline* atau memiliki toleransi yang luas terhadap berbagai tingkat salinitas (Hadie et al., 2008).



Gambar 1. 2. Pembagian Akuakultur Berdasarkan Sumber Airnya (Sumber: Hadie et al., 2008)

1.2.2 Berdasarkan Zonasi Darat-Laut

Menurut Nirmala, (2008) kategori budidaya perikanan juga dapat dilihat berdasarkan zona geospasial dimana kegiatan budidaya tersebut dilakukan yang meliputi:

a. *Inland aquaculture*

- Budidaya perikanan dataran tinggi
- Budidaya perikanan dataran rendah

- Budidaya perikanan pedalaman
- Budidaya perikanan muara
- Budidaya perikanan pesisir

b. *Marine aquaculture (mariculture)*

- Budidaya perikanan laut

Inland aquaculture mengacu pada kegiatan akuakultur yang dilakukan di darat menggunakan sumber air tawar seperti mata air, sungai, danau, waduk, saluran irigasi, air hujan, air sumur, dan genangan air lainnya, maupun sumber air payau. Di sisi lain, *mariculture*, kegiatan akuakultur yang dilakukan di laut terbuka (Hadie et al., 2008).

1.2.3 Berdasarkan Posisi Wadah Produksi

Berbeda dengan klasifikasi berdasarkan zonasi darat dan laut, kategorisasi akuakultur juga dapat dibedakan berdasarkan posisi wadah produksi dalam kaitannya dengan sumber air. Terdapat dua kategori utama yakni akuakultur berbasis darat (*land-base aquaculture*) dan akuakultur berbasis perairan (*water-base aquaculture*). Dalam *land-base aquaculture*, unit akuakultur terletak di darat dan memanfaatkan air dari sumber terdekat seperti kolam air tenang, kolam, sawah, dan sungai. Sistem budidaya ini juga biasanya menerapkan budidaya sistem tertutup (*closed system*), dimana ada batas yang jelas antara unit akuakultur dan sumber air. Hal ini memungkinkan pengendalian faktor lingkungan eksternal seperti limbah melalui langkah-langkah seperti pengolahan air limbah dan pengaturan aliran air (Hadie et al., 2008).

Sebaliknya, unit akuakultur berbasis perairan (*water-base aquaculture*), terletak di dalam badan air seperti sungai, danau, waduk, dan laut, beroperasi dengan sistem terbuka (*open system*), dimana ikan berinteraksi dengan lingkungan akuatik lebih bebas. Contoh sistem akuakultur berbasis air termasuk jaring apung, rakit apung, jaring tancap, karamba, kombongan,

kandang (*pen culture*), sekat (*enclosure*), rakit dan tambang (*longline*). Unit-unit ini diletakkan di badan air umum dan rentan terhadap polusi/limbah, berpotensi berkontribusi terhadap kontaminasi lingkungan. Budidaya berbasis perairan memiliki tantangan dan konflik yang lebih kompleks terkait dengan masalah lingkungan dibandingkan dengan akuakultur berbasis darat (Hadie et al., 2008).

1.2.4 Berdasarkan Sistem Produksi dan Tingkat Teknologi

Rejeki et al., (2019) menjelaskan bahwa jika ditinjau dari sistem produksi dan tingkatan teknologinya, maka kegiatan budidaya perikanan khususnya untuk komoditas udang dibagi menjadi tiga yaitu:

a. Sistem budidaya tradisional/ ekstensif / sederhana

Secara umum, kategori budidaya tradisional/ sederhana/ ekstensif merupakan teknik budidaya yang dilakukan dengan cara paling sederhana. Metode ini hanya bergantung pada sumber daya alam untuk produksi, tanpa penambahan pakan tambahan. Budidaya sepenuhnya bergantung pada pakan alami di dalam kolam, dengan atau tanpa penggunaan pupuk. Selain itu, sirkulasi air semata-mata diatur berdasarkan pasang surut alami. Perkembangan biota budidaya sangat optimal pada periode dua bulan pertama, karena kolam berlimpah dengan pakan alami. Namun, pertumbuhan akan menurun karena ketersediaan pakan alami juga menurun. Ukuran petak kolam budidaya sistem tradisional khususnya untuk komoditas udang, disarankan berbentuk persegi panjang dengan luas 0,5 hektar. Rasio panjang dan lebar kolam persegi panjang idealnya adalah 2:1 atau 3:1. Bentuk persegi panjang menguntungkan karena mengoptimalkan pemanfaatan lahan dan hemat biaya untuk pembuatan pematang. Penetrasi sinar matahari yang memadai ke dasar kolam sangat penting dalam metode akuakultur sederhana ini, karena pertumbuhan udang secara

langsung terkait dengan keberadaan pakan alami. Oleh karena itu, kedalaman air antara 70 - 80 cm harus dipertahankan untuk mengoptimalkan penetrasi sinar matahari dan pertumbuhan pakan alami. Sistem ini juga biasanya dilengkapi dengan caren sedalam 0,3-0,5 m untuk perlindungan udang dan mempermudah dalam proses panen dan pengeringan.

b. Sistem semi intensif / madya

Teknologi budidaya dengan sistem semi intensif dilakukan dengan adanya penambahan input produksi, namun dengan jumlah yang minim. Teknologi budidaya dengan teknologi semi intensif / madya merupakan modifikasi dari sistem budidaya tradisional. Dalam sistem ini, pertumbuhan udang tidak lagi hanya bergantung pada pakan alami, tetapi dilakukan pemberian pakan buatan seperti pelet, kerang, dan ikan rucah namun dalam jumlah yang terbatas. Penggantian air dikelola melalui pasang surut, namun penggunaan pompa juga diperlukan untuk penambahan air dan proses pergantian air. Perbedaan utama antara sistem semi intensif dan tradisional adalah pada proses pemeliharaan dan manajemen kualitas air. Desain kolam udang dalam budidaya teknologi semi intensif mirip dengan teknologi sederhana, dengan saluran diagonal dan keliling yang mengalir ke arah *outlet* (pintu pembuangan). Saluran ini memiliki lebar 3 - 5 meter dengan kedalaman 50 - 80 cm, yang bertujuan untuk membantu proses pengeringan tambak dan menyediakan tempat berlindung bagi udang pada siang hari. Selain itu, saluran ini juga berfungsi sebagai tempat berkumpulnya udang dalam pemanenan, dengan kemiringan 0,5 - 1 meter ke arah pintu keluar.

c. Sistem intensif / maju

Budidaya sistem intensif dilakukan pemberian input secara eksklusif. Pertumbuhan udang dalam sistem ini dibedakan oleh kepadatan yang tinggi dan sangat bergantung

pada pakan buatan protein tinggi (pelet), serta sirkulasi air di kolam sangat bergantung pada pompa daripada pengaruh pasang surut. Penggunaan kincir sangat penting untuk menyuplai oksigen. Ukuran area budidaya relatif kecil, biasanya sekitar 0,25 hektar dalam bentuk persegi panjang tanpa saluran keliling (caren), dengan kedalaman air berkisar antara 1,2 hingga 1,5 meter. Tata letak kolam harus dipastikan kedap air, agar memungkinkan pergantian air dan limbah yang efisien untuk mencegah penurunan kualitas air yang disebabkan oleh dekomposisi bahan organik. Kemiringan harus miring pada tingkat 0,5 hingga 1 meter ke arah pintu *outlet* untuk memudahkan proses pembuangan air dan sisa pakan dan kotoran hasil budidaya.

Secara umum perbedaan karakteristik budidaya dengan sistem tradisional, semi-intensif dan intensif dapat dilihat Pada Tabel 1.2.

Tabel 1. 2. Karakteristik Sistem Budidaya

Karakteristik	Tradisional	Semi-Intensif	Intensif
Luasan Lahan	Luas, Tidak Teratur	Sedang, Persegi	Kecil, Persegi, Bulat
Konstruksi	Sederhana, Alamiah	Tambahan material dan peralatan	Lengkap dan terkontrol
Sarana Budidaya	Tidak tersedia	Sederhana	Lengkap/ Otomatisasi
Padat Tebar	Rendah	Sedang	Tinggi
Pakan	Alami/rucah	Kombinasi Alami dan komersial	Komersial
Aerasi	Alami	Tersedia, minimal	Lengkap dengan variasi
Instalasi Pengolahan Air Limbah	Tidak tersedia	Sederhana, Kolam endapan	Kolam endapan, oksigenasi, sterilisasi, bahan

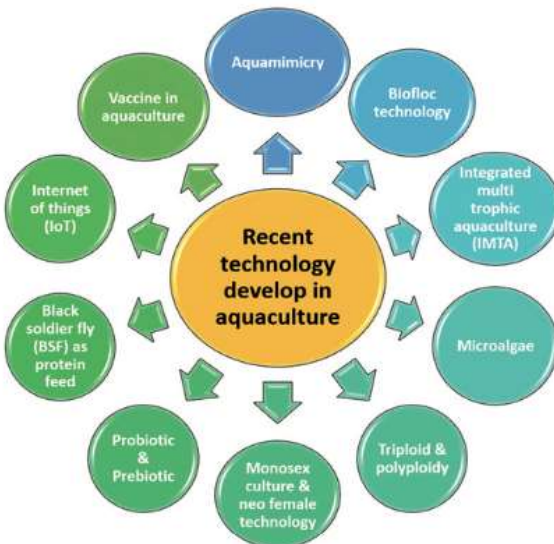
Karakteristik	Tradisional	Semi-Intensif	Intensif
(IPAL)			aktif
Sumber dan Kualitas Air	Alami/pasif	Terkontrol/pasif	Terkontrol/aktif
Keamanan Biologi	Tidak ada	Ada	Lengkap
Penanganan Penyakit	Tidak dilakukan	Kontrol minimal	Kontrol lengkap
Panen	Sesuai musim budidaya	Sepanjang tahun	Sepanjang tahun

Sumber: (Kadarusman et al., 2019)

1.3 Perkembangan Teknologi dalam Akuakultur

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi telah mempercepat kemajuan sektor akuakultur, sehingga menjadikan sektor ini sangat menonjol jika dibandingkan dengan sektor produksi pangan lainnya. Inovasi dan perkembangan teknologi yang terus berubah secara dinamis mampu meningkatkan efektifitas berbagai aspek kegiatan budidaya khususnya pada peningkatan keberlanjutan dan profitabilitas.

Manan et al., (2023) mengkaji berbagai kemajuan terbaru dalam teknologi di sektor akuakultur. Pemanfaatan teknologi inovatif dan modern ini bertujuan untuk meningkatkan produksi dan profitabilitas akuakultur. Selain itu, teknologi ini juga berkontribusi pada peningkatan pengelolaan industri akuakultur dan memfasilitasi produksi akuakultur berkelanjutan di masa akan datang. Kemajuan teknologi ini juga berperan dalam mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan, terutama yang terkait dengan pemberantasan kemiskinan dan mengatasi kelaparan. Secara umum, teknologi terbaru yang dikembangkan dalam sektor akuakultur dirangkum dalam Gambar 1.3 berikut.



Gambar 1. 3. *The Most Recent Technologies Developed in Aquaculture*

(Sumber: Manan et al., 2023)

Ruby et al., (2023) menjelaskan bahwa pemanfaatan prinsip-prinsip ilmiah dan integrasi teknologi baru dalam kemajuan akuakultur telah memfasilitasi perkembangan pesat akuakultur. Berbagai teknologi meliputi robotika, drone, sensor, kecerdasan buatan/ *Artificial Intelligence* (AI), *Augmented Reality* (AR), *Virtual Reality* (VR), *3D Print*, *Block-chain*, *Offshore Farming*, *Recirculation Aquaculture System* (RAS), *Alternative Proteins and Fish Oil*. Inovasi teknologi ini juga terintegrasi melalui satelit, Internet of Things (IoT), dan perangkat seluler. Sanusi & Pratiwi, (2022) juga menjelaskan bahwa pemanfaatan digital dalam sektor akuakultur meliputi penggunaan *Global Positioning System* (GPS) dalam pemilihan lokasi budidaya, pengaplikasian teknologi *Automatic Feeder* dalam pemberian pakan, pemanfaatan *Automatic Water Quality Testing* dalam pengelolaan kualitas air, dan pemanfaatan *Digital Marketing* dalam pemasaran produk hasil akuakultur.

Perkembangan teknologi dan digitalisasi sektor akuakultur tidak terlepas dari kehadiran *startup* atau usaha rintisan dalam menghadapi revolusi industri 4.0. Tercatat beberapa startup yang bergerak dibidang akuakultur di Indonesia meliputi: (a) eFishery, yang menghasilkan teknologi berupa *smart autofeeder* yaitu mesin pemberi pakan ikan otomatis cerdas yang diatur menggunakan *smartphone*; (b) Jala, menghasilkan teknologi yang bernama *bruno* yakni alat ukur kualitas air pintar yang dilengkapi oleh empat sensor parameter berupa pH, salinitas, suhu, dan oksigen terlarut; (c) Crustea, menghasilkan teknologi berupa *eco-aerator* (aerator ramah lingkungan), *smart energy* (tools hemat energi), dan *EBII Monitoring & Controlling System* (pengelolaan kualitas air); (d) Pictafish, menghasilkan anti fraud camera dilengkapi dengan AI untuk memantau sebuah area dari aktivitas manusia yang berpotensi terjadi tindak kecurangan; (e) FisTx, menghasilkan *Oase Pond Barracuda* yakni kolam bundar yang dapat dibongkar-pasang sehingga memudahkan dalam pemasangannya; (f) *nanobubble*, menghasilkan *nanobubble generator* yang menerapkan kombinasi metode pemecah gas dengan air bertekanan tinggi sehingga menghasilkan gelembung nano; (g) *minapoli*, menyediakan seluruh kebutuhan budidaya ikan dan udang, baik dalam bentuk produk maupun informasi seputar akuakultur; dan (h) *Aquatec*, yang memiliki produk berupa keramba jaring Apung (KJA), jaring, dermaga apung, rumah apung, dan serangkaian produk perahu anti tenggelam.

Teknologi lainnya yang banyak dikembangkan dalam kegiatan budidaya perikanan yang ramah lingkungan seperti sistem filtrasi, teknologi transportasi akuakultur, sistem desinfektan dan biosekuritas akuakultur, sistem teknologi akuaponik, sistem *silvofishery*, sistem minapadi, dan sistem multitrofik akan dibahas secara mendalam pada bab-bab berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Azril, M., Arbit, N. I. S., Zulfiani, Z., Sahabuddin, S., Samsi, A. N., Ahmad, J., & Nurhanida, P. (2023). *BUDIDAYA PERAIRAN LAUT*. Get Press Indonesia.
- Azril, M., Waluyo, Purnamasari, T., Ridhowati, S., Mursawal, A., Mukti Cahya, R., Amruddin, M., Wahyuni, S., & Silmi Qori Tartila, S. (2023). *Pengantar Ilmu Perikanan dan Kelautan*. Yayasan Kita Menulis.
- Ditjen Perikanan Budidaya. (2020). *Rencana Strategis Tahun 2020-2024 Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya Kementerian Kelautan dan Perikanan*. Ditjen Perikanan Budidaya KKP.
- FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Hadie, W., Hadie, L. E., & Supangat, A. (2008). *Keteknikan Budidaya Ikan*. Universitas Terbuka.
- Kadariusman, Rachmawati, R., Nur Azmi Ratna, N., Pagi Sektiana, S., F. Tapilatu, R., Albasri, H., Nurdin, E., Surya Hadi Saputra, R., Noviendri, D., & Nursid, M. (2019). *Sumber Daya Hayati Maritim*. AMAFRD PRESS.
- Manan, H., Jalilah, M., Fauzan, F., Ikhwanuddin, M., Amin-Safwan, A., Abdullah, N. S., Nur-Syahirah, M., & Kasan, N. A. (2023). Recent developments in aquaculture – A review. *Annals of Animal Science*, 23(3), 663–680. <https://doi.org/10.2478/aoas-2023-0044>
- Nirmala, K. (2008). Akuakultur: Prinsip dan Ruang lingkup. In *Budidaya Perikanan* (p. 71). Universitas Terbuka.
- Pusdatin KKP. (2022). *Kelautan dan Perikanan dalam Angka Tahun 2022* (Vol. 1). Pusdatin KKP.
- Rejeki, S., Aryati, R. R., & Widowati, L. L. (2019). *Pengantar Akuakultur*. Undip Press.

- Ruby, P., Ahilan, B., Dr. M.G.R. Fisheries college and Research Institute, Ponneri - 601204, Tamil Nadu, India., Antony, C., Dr. M.G.R. Fisheries college and Research Institute, Ponneri - 601204, Tamil Nadu, India., Selvaraj, S., & Dr. M.G.R. Fisheries college and Research Institute, Ponneri - 601204, Tamil Nadu, India. (2023). Recent Trends in Aquaculture Technologies. *Journal of Aquaculture In The Tropics*, 37(1-4), 27-34. <https://doi.org/10.32381/JAT.2022.37.1-4.2>
- Sanusi, W., & Pratiwi, V. (2022). EVALUASI KOEFISIEN MANNING PADA BERBAGAI TIPE DASAR SALURAN. *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, 3(1), 1-4. <https://doi.org/10.34010/crane.v3i1.7131>

BAB 2

LEVEL TEKNOLOGI PADA SISTEM AKUAKULTUR

Oleh Bambang Suprakto

2.1 Pendahuluan

2.1.1 Akuakultur dan Pentingnya Teknologi

Akuakultur merujuk pada kegiatan budidaya organisme air seperti ikan, udang, kerang, rumput laut, dan tumbuhan air lainnya dalam lingkungan yang dikendalikan. Proses ini mencakup pemeliharaan, pembenihan/pembiakan, dan pengelolaan suatu populasi organisme air dengan tujuan memperoleh produksi untuk kebutuhan konsumsi manusia atau pasar. Budidaya dilakukan dalam sistem akuakultur seperti dalam wadah berupa kolam, tambak, karamba, atau sistem tertutup dan terbuka lainnya (FAO, 2022). Akuakultur memberikan kontribusi yang signifikan terhadap ketahanan pangan, terutama dalam hal penyediaan protein hewani yang berkualitas tinggi. Dengan meningkatnya permintaan protein di seluruh dunia, akuakultur memberikan solusi untuk memenuhi kebutuhan pangan tanpa menambah tekanan pada stok ikan di alam yang sudah terbatas. Produksi akuakultur yang efisien dapat memastikan ketersediaan pangan, terutama di daerah-daerah yang sulit mencapai sumber protein hewani dari sumber lain (Bank Dunia, 2023).

Akuakultur memainkan peran penting dalam ketahanan pangan global, dengan menyediakan sumber protein yang berharga dan terjangkau bagi masyarakat di seluruh dunia. Berikut beberapa kontribusi akuakultur:

- **Sumber protein:** Akuakultur merupakan sumber protein penting, terutama bagi negara-negara berkembang. Pada tahun 2020, akuakultur menghasilkan 52% dari total produksi ikan global, yang setara dengan 88 juta ton protein (FAO, 2022).
- **Ketahanan pangan:** Akuakultur membantu meningkatkan ketahanan pangan dengan menyediakan akses protein yang stabil dan terjangkau bagi masyarakat, terutama di daerah pedesaan dan pesisir.
- **Peningkatan mata pencaharian:** Akuakultur menciptakan lapangan kerja dan meningkatkan pendapatan bagi jutaan orang di seluruh dunia. Sekitar 20,5 juta orang bekerja di sektor akuakultur secara langsung, dan banyak lagi yang terlibat dalam industri terkait (FAO, 2022).
- **Diversifikasi sumber makanan:** Akuakultur menawarkan berbagai macam produk makanan, yang membantu diversifikasi diet dan meningkatkan gizi masyarakat.
- **Penggunaan sumber daya yang efisien:** Dibandingkan dengan peternakan darat, akuakultur umumnya menggunakan lebih sedikit sumber daya alam seperti air dan tanah.

Menurut Tidwell & Allan (2001), teknologi berperan penting dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan akuakultur. Teknologi pemantauan otomatis, seperti sensor suhu, kualitas air, dan kamera, memungkinkan pemantauan yang akurat terhadap kondisi lingkungan akuakultur. Data yang diperoleh dari sistem ini dapat membantu pembudidaya perikanan mengoptimalkan parameter seperti suhu, pH, dan ketersediaan oksigen, sehingga menciptakan lingkungan yang ideal untuk pertumbuhan komoditas yang dibudidayakan. Penggunaan teknologi pakan canggih dapat meningkatkan

efisiensi pakan dan pertumbuhan komoditas yang dibudidayakan. Sistem pengelolaan nutrisi yang tepat, termasuk formulasi pakan yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik organisme, dapat memaksimalkan hasil produksi akuakultur. Ini membantu mengurangi limbah pakan dan meningkatkan konversi pakan menjadi daging ikan. Menurut Cao *et. al.* (2019) teknologi pemantauan kesehatan seperti deteksi dini penyakit menggunakan sensor atau teknik khusus dapat membantu mencegah penyebaran penyakit di fasilitas akuakultur. Sistem pengendalian penyakit yang cerdas dapat meningkatkan keberlanjutan produksi dengan mengurangi risiko kematian massal dan gagal panen. Menurut Ekasari dan Azis (2021) beberapa contoh penerapan teknologi pada akuakultur:

- **Pakan** :Teknologi pemberian pakan otomatis, formulasi pakan yang dioptimalkan, dan sistem biofloc yang ada dapat membantu meningkatkan efisiensi pakan dan mengurangi limbah.
- **Pembenihan** :Teknologi seperti pemijahan buatan, stripping, dan kultur larva dapat membantu meningkatkan produksi benih berkualitas tinggi dan meningkatkan tingkat kelangsungan hidup.
- **Kesehatan Ikan** :Teknologi seperti vaksin, probiotik, dan sistem biosecurity dapat membantu mencegah dan mengendalikan penyakit ikan, sehingga meningkatkan tingkat kelangsungan hidup dan panen.
- **Pemanenan** :Teknologi seperti alat panen mekanis dan sistem grading dapat membantu meningkatkan efisiensi panen dan mencegah kerusakan produk hasil panen.

Menurut Cao (2015), salah satu tantangan utama dalam pengembangan teknologi akuakultur adalah pengelolaan limbah. Peningkatan produksi seringkali diikuti oleh peningkatan limbah organik dan anorganik. Limbah ini dapat menciptakan dampak negatif pada kualitas air dan ekosistem sekitar. Oleh karena itu, pengembangan teknologi yang efektif dalam mengelola limbah

akuakultur menjadi penting untuk menjaga keberlanjutan produksi. Menurut Rico, *at al.* (2017), tantangan lainnya adalah tidak semua pelaku industri akuakultur memiliki akses yang sama terhadap teknologi. Terutama di daerah-daerah terpencil atau di negara berkembang, kesenjangan akses teknologi dapat menjadi hambatan dalam meningkatkan produksi akuakultur. Pentingnya penyediaan akses yang merata terhadap inovasi teknologi menjadi fokus utama untuk menjaga keberlanjutan sektor akuakultur. Pentingnya penyediaan akses yang merata terhadap inovasi teknologi menjadi fokus utama untuk menjaga keberlanjutan sektor akuakultur.

Menurut Ekasari dan Azis (2021), beberapa contoh penerapan peningkatan keberlanjutan akuakultur:

- **Sistem akuakultur berkelanjutan;** teknologi seperti sistem resirkulasi air (RAS), aquaponik, dan sistem multi-trophic aquaculture (IMTA) dapat membantu mengurangi penggunaan air, limbah, dan emisi gas rumah kaca.
- **Pemantauan lingkungan;** teknologi seperti sensor dan perangkat lunak dapat membantu memantau kualitas air dan kondisi lingkungan, sehingga memungkinkan pembudidaya untuk melakukan tindakan pencegahan dan adaptasi.
- **Traceability;** teknologi seperti *blockchain* dan *Internet of Things* (IoT) dapat membantu meningkatkan traceability produk akuakultur, sehingga meningkatkan transparansi dan akuntabilitas dalam rantai pasokan.

2.1.2 Level Teknologi dalam Akuakultur

Level teknologi dalam akuakultur mengacu pada tingkat intensitas dan kecanggihan teknologi yang digunakan dalam proses budidaya. Menurut Boyd & Tucker (1998) dan Tidwell (2011) ada tiga level teknologi utama dalam akuakultur, yaitu teknologi ekstensif/tradisional, teknologi semi intensif dan

teknologi intensif. Level teknologi akuakultur tersebut didefinisikan dan memiliki karakteristik sebagai berikut:

a. Teknologi ekstensif/tradisional

Akuakultur ekstensif melibatkan praktik budidaya yang minim menggunakan teknologi dan intervensi manusia. Komoditas yang dibudidayakan dibiarkan tumbuh secara alami dalam lingkungan terbuka, seperti tambak tradisional, kolam tradisional, keramba di waduk atau danau, tanpa pengelolaan intensif. Karakteristik teknologi ekstensif dapat dicirikan sebagai berikut:

- Populasi organisme yang rendah dibandingkan dengan luas kolam atau tambak.
- Ketergantungan pada alam untuk pertumbuhan komoditas yang dibudidayakan.
- Input pakan minimal, dan nutrisi diperoleh dari lingkungan alami.

b. Teknologi Semi-intensif

Akuakultur semi-intensif melibatkan penggunaan beberapa teknologi dan pengelolaan lingkungan yang lebih terkontrol dari pada ekstensif. Pembudidaya lebih aktif dalam pemantauan dan pemberian perawatan kepada komoditas yang dibudidayakan. Karakteristik teknologi semi intensif dicirikan:

- Populasi organisme lebih tinggi dibandingkan dengan teknologi ekstensif.
- Penggunaan pakan tambahan untuk meningkatkan pertumbuhan.
- Pemantauan kualitas air dan pengelolaan lingkungan yang lebih baik.

c. Teknologi Intensif

Akuakultur intensif melibatkan penggunaan teknologi tinggi dan pengelolaan yang sangat terkontrol. Semua aspek produksi, dari lingkungan hingga pakan, dikendalikan secara ketat untuk mencapai hasil yang optimal. Berikut karakteristik level teknologi intensif:

- Populasi organisme dengan kepadatan yang lebih tinggi.
- Pengelolaan pakan yang cermat dan terukur.
- Pengelolaan lingkungan (*biosecurity*) dan pemantauan kualitas air lebih detail dan cermat.
- Penggunaan sistem pemantauan otomatis untuk kontrol lingkungan.

Berikut karakteristik, kelebihan dan kekurangan masing-masing level teknologi dalam akuakultur (Tabel 2.1).

Tabel 2. 1. Karakteristik, Kelebihan dan Kekurangan dari Setiap Level Teknologi

Level Teknologi	Karakteristik	Kelebihan	Kekurangan
Ekstensif	- Padat tebar rendah - Input teknologi dan modal rendah - Ketergantungan pada sumber daya alam dan musim - Produktivitas rendah	- Biaya produksi rendah - Ramah lingkungan - Mudah diakses	- Produktivitas rendah - Rentan terhadap penyakit dan perubahan lingkungan - Kualitas produk tidak terkontrol
Semi Intensif	- Padat tebar moderat - Kontrol terhadap lingkungan dan kualitas air - Pemberian	- Kontrol kualitas produk lebih baik - Produktivitas lebih tinggi - Efisiensi	- Biaya produksi lebih tinggi dibandingkan teknologi ekstensif - Membutuhkan

Level Teknologi	Karakteristik	Kelebihan	Kekurangan
	pakan terkontrol - Produktivitas lebih tinggi dibandingkan teknologi ekstensif	sumber daya lebih baik	keterampilan teknis - Risiko penyakit dan hama
Intensif	- Padat tebar tinggi - Kontrol penuh terhadap lingkungan dan kualitas air - Penggunaan teknologi modern - Produktivitas tinggi dan stabil	- Produktivitas tinggi dan stabil - Efisiensi sumber daya tinggi - Kualitas produk terkontrol - Panen berkelanjutan	- Biaya produksi tinggi - Kompleksitas teknologi - Risiko biosecurity - Dampak terhadap lingkungan

Sumber: Tidwell (2011)

Menurut Boyd & Tucker (1998) pemilihan level teknologi yang tepat dan penerapan praktik budidaya yang baik adalah kunci untuk mencapai produksi yang optimal, efisiensi yang tinggi, dan keberlanjutan dalam akuakultur. Level teknologi dalam akuakultur perlu difahami dengan baik, karena dapat membantu beberapa hal, yaitu:

- Level teknologi yang tepat untuk budidaya tergantung pada berbagai faktor, seperti spesies yang dibudidayakan, skala usaha, ketersediaan sumber daya, dan kondisi lingkungan.
- Level teknologi yang lebih tinggi umumnya menghasilkan produktivitas yang lebih tinggi dan efisiensi penggunaan sumber daya yang lebih baik.

- Level teknologi yang tepat dapat membantu meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan meningkatkan keberlanjutan budidaya.
- Memahami level teknologi membantu pembudidaya membuat keputusan yang tepat tentang investasi, pengelolaan, dan pengembangan usaha budidaya.

Menurut Tidwell (2011) dalam penentuan level teknologi untuk budidaya dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- **Spesies yang dibudidayakan:** Setiap spesies memiliki kebutuhan lingkungan dan teknologi yang berbeda.
- **Skala usaha:** Usaha budidaya skala besar umumnya membutuhkan teknologi yang lebih canggih.
- **Ketersediaan sumber daya:** Ketersediaan air, energi, dan modal menjadi faktor penting dalam pemilihan teknologi.
- **Kondisi lingkungan:** Faktor seperti suhu, pH air, dan salinitas harus dipertimbangkan dalam memilih teknologi.
- **Keterampilan dan pengetahuan:** Pembudidaya harus memiliki keterampilan dan pengetahuan yang memadai untuk mengoperasikan teknologi yang dipilih.

2.2 Sistem Akuakultur

2.2.1 Level Teknologi Ekstensif

1) Karakteristik

a. Penggunaan sumberdaya alam yang minim

Sistem akuakultur ekstensif ditandai oleh penggunaan sumber daya alam yang minimal, yang mengutamakan pemanfaatan sumber daya alam secara bijaksana dan berkelanjutan. Menurut Boyd (2018), beberapa aspek yang mencerminkan penggunaan sumber daya alam yang minimal dalam sistem akuakultur level teknologi ekstensif adalah:

- Mengandalkan pakan alami; dalam sistem akuakultur ekstensif, spesies yang dibudidayakan umumnya mengandalkan pakan alami yang tersedia di lingkungan

budidaya. Hal ini termasuk pakan alami seperti fitoplankton, zooplankton, dan organisme detritus yang ada di dalam air atau di sekitar kolam budidaya. Pakan buatan atau pakan tambahan hanya diberikan dalam jumlah yang minimal untuk melengkapi kebutuhan nutrisi spesies yang dibudidayakan.

- Pemanfaatan sumber air lokal; sistem akuakultur ekstensif cenderung menggunakan sumber air lokal yang tersedia, seperti sungai, danau, atau tambak air tawar. Dengan memanfaatkan sumber air yang sudah ada, sistem ini mengurangi kebutuhan akan penggunaan air bersih dari sumber lain. Selain itu, penggunaan air hujan atau pasang laut yang tersedia di sekitar kolam budidaya juga menjadi pilihan dalam sistem ini.
- Minimnya penggunaan energi dan teknologi; sistem akuakultur ekstensif biasanya tidak bergantung pada teknologi tinggi atau penggunaan energi yang besar. Misalnya, tidak menggunakan sistem pemantauan otomatis atau sistem aerasi yang membutuhkan energi tambahan. Teknologi yang digunakan cenderung sederhana dan mudah dioperasikan tanpa memerlukan konsumsi energi yang signifikan.

b. Kepadatan tebar rendah

Kepadatan tebar rendah merupakan salah satu karakteristik utama dari sistem akuakultur ekstensif. Dalam konteks ini, kepadatan tebar merujuk pada jumlah individu ikan atau organisme akuatik lainnya yang ditempatkan dalam satu unit budidaya, seperti tambak atau kolam tradisional. Menurut Fitzsimmons & Fusco (2019), beberapa poin yang menjelaskan tentang kepadatan tebar rendah:

- Perlakuan yang lebih alami; individu ikan atau organisme akuatik memiliki lebih banyak ruang untuk bergerak dan tumbuh secara alami. Hal ini memungkinkan komoditi yang dibudidayakan untuk mendapatkan akses yang lebih baik terhadap sumber daya makanan alami yang tersedia di lingkungan budidaya, seperti fitoplankton dan zooplankton.

- Mengurangi risiko penyakit; dengan ruang yang lebih luas dan lebih sedikit individu dalam satu unit budidaya, kemungkinan penularan penyakit antar individu akan berkurang secara signifikan.
- Meminimalkan persaingan; antarindividu dalam mendapatkan sumber daya makanan dan ruang hidup. Hal ini memungkinkan pertumbuhan dan perkembangan yang lebih seimbang bagi setiap individu dalam populasi, serta mengurangi stres yang dapat berdampak negatif pada kesehatan dan kinerja pertumbuhan.

c. Pertumbuhan dan panen secara alami

Pertumbuhan dan panen alami adalah salah satu karakteristik utama dari sistem akuakultur level teknologi ekstensif. Dalam konteks ini, pertumbuhan dan panen alami merujuk pada proses pertumbuhan dan pengumpulan hasil yang terjadi secara alami dalam lingkungan budidaya. Menurut Hishamunda, dkk (2019), beberapa poin yang menjelaskan tentang pertumbuhan dan panen alami dalam sistem akuakultur ekstensif:

- Pertumbuhan berdasarkan lingkungan; dalam sistem akuakultur ekstensif, pertumbuhan ikan atau organisme akuatik lainnya terjadi secara alami berdasarkan ketersediaan sumber daya makanan dan kondisi lingkungan. Individu-individu ini tumbuh dan berkembang dengan memanfaatkan pakan alami yang tersedia di lingkungan budidaya, seperti fitoplankton dan zooplankton.
- Proses panen yang tidak terjadwal; panen dalam sistem akuakultur ekstensif biasanya dilakukan secara tidak terjadwal dan bergantung pada ukuran komoditas yang dibudidayakan untuk dipanen. Pembudidaya akan memonitor kondisi populasi dan kesehatan ikan, serta ketersediaan sumber daya alami, untuk menentukan waktu yang tepat untuk panen.
- Meminimalkan penggunaan input eksternal; dengan memanfaatkan pertumbuhan alami dan panen yang tidak terjadwal, sistem akuakultur ekstensif cenderung

meminimalkan penggunaan input eksternal seperti pakan buatan atau obat-obatan kimia. Hal ini membantu menjaga keberlanjutan lingkungan dan meminimalkan dampak negatif terhadap ekosistem.

Proses panen dapat memanfaatkan perilaku alami komoditas yang dibudidayakan, seperti panen ikan bandeng memanfaatkan air pasang naik untuk menarik ikan berkumpul dekat pintu air masuk. Atau panen parsial udang dengan menggunakan alat tangkap bubu yang dipasang lampu, sehingga udang tertarik sinar dan masuk dalam perangkap bubu.

2) Teknologi yang digunakan

a. Pemilihan Lokasi dan Desain Kolam

Pemilihan lokasi dan desain kolam adalah langkah penting dalam membangun sistem akuakultur level teknologi ekstensif. Faktor-faktor seperti ketersediaan sumber air, kondisi lingkungan, dan topografi lokasi harus dipertimbangkan dengan cermat untuk memastikan keberhasilan budidaya. Menurut Subagio (2018), Suwiry & Arfah (2020), dan Ridha & Anshary (2019) pemilihan lokasi dan desain kolam dalam konteks sistem akuakultur ekstensif, dijelaskan sebagai berikut:

- Pemilihan lokasi; lokasi yang ideal adalah yang memiliki akses mudah terhadap sumber air bersih, baik itu dari sungai, danau, atau sumur. Selain itu, faktor-faktor seperti ketersediaan lahan yang cukup luas, topografi yang datar atau cenderung miring, dan jauh dari polusi atau gangguan eksternal juga harus dipertimbangkan.
- Desain kolam; kolam dalam sistem akuakultur ekstensif biasanya memiliki desain sederhana dan fleksibel. Wadah dapat dibuat dari material yang tersedia secara lokal, seperti tanah liat, beton, atau plastik. Bentuk kolam dapat bervariasi, mulai dari persegi panjang hingga lingkaran, tergantung pada preferensi budidaya dan kondisi topografi lokasi.

b. Manajemen pakan alami

Menurut Boyd (2018) beberapa poin penting dalam manajemen pakan alami:

- Identifikasi sumberdaya pakan alami; langkah pertama dalam manajemen pakan alami adalah mengidentifikasi sumber daya pakan alami yang tersedia di lingkungan budidaya. Ini dapat mencakup fitoplankton, zooplankton, detritus, atau organisme kecil lainnya yang berfungsi sebagai pakan alami bagi ikan. Dengan memahami sumber daya pakan alami yang tersedia, pembudidaya dapat membuat strategi pemberian pakan yang efektif.
- Pemantauan ketersediaan pakan alami; penting untuk terus memantau ketersediaan pakan alami di kolam atau tambak. Perubahan musiman, fluktuasi suhu air, dan faktor lingkungan lainnya dapat mempengaruhi ketersediaan pakan alami. Dengan memantau secara teratur, pembudidaya dapat mengidentifikasi periode ketika pakan alami melimpah atau kurang, sehingga dapat mengatur pemberian pakan tambahan jika diperlukan.
- Pemberian pakan tambahan; meskipun pakan alami menjadi sumber utama nutrisi, kadang-kadang diperlukan pemberian pakan tambahan untuk memastikan pertumbuhan yang optimal. Namun, pemberian pakan tambahan harus dilakukan dalam jumlah yang tepat, agar tidak mengganggu keseimbangan lingkungan di dalam kolam atau tambak. Hal ini dapat dilakukan dengan memilih pakan tambahan yang sesuai dengan kebutuhan ikan dan menghindari *overfeeding*.

c. Pengendalian hama dan penyakit.

Menurut Bondad-Reantaso, *at al.* (2005) pengendalian hama dan penyakit pada sistem akuakultur ekstensif lebih bersifat preventif dan mengandalkan pendekatan alami. Beberapa strategi yang dapat diterapkan adalah:

- Menjaga kebersihan kolam dan lingkungan sekitar dapat mengurangi risiko pertumbuhan hama dan patogen.

Menghindari penumpukan bahan organik yang dapat menjadi sumber penyakit.

- Memanfaatkan predator alami seperti ikan pemangsa kecil atau udang/crustacea yang dapat memakan larva hama. Pengenalan predator alami dapat membantu mengendalikan populasi hama secara alami.
- Melakukan monitoring dan pengamatan rutin terhadap kesehatan komoditas yang dibudidayakan. Memperhatikan gejala awal penyakit atau adanya serangan hama untuk dapat mengambil tindakan secepat mungkin.
- Memilih spesies yang memiliki ketahanan alami terhadap penyakit tertentu. Mengkombinasikan spesies yang saling menguntungkan dan dapat membantu mencegah penyebaran penyakit.

d. Panen

Menurut FAO (2011), panen merupakan tahap akhir dan kritis dalam siklus budidaya akuakultur. Langkah-langkah panen meliputi:

- Menentukan waktu panen yang tepat berdasarkan ukuran dan berat komoditas yang dibudidayakan sesuai untuk pasar atau konsumsi.
- Memilih metode pemanenan yang sesuai dengan jenis komoditas yang dibudidayakan yang dibudidayakan, seperti penggunaan jaring, perangkap, atau alat pemanenan lainnya.
- Memisahkan komoditas yang dibudidayakan dari kolam atau tambak dengan hati-hati untuk menghindari kerusakan atau stres yang dapat mempengaruhi kualitas produk.
- Melakukan penanganan pasca-pemanenan dengan baik untuk mempertahankan kualitas komoditas yang dibudidayakan. Dapat melibatkan pemisahan organisme air yang dibudidayakan yang sudah mati, pendinginan, atau proses penanganan lainnya.

3) Keunggulan dan kelemahan

a. Biaya produksi

Sistem akuakultur ekstensif memiliki beberapa karakteristik yang menyebabkan biaya produksi yang lebih rendah (FAO, 2018):

- Sistem ekstensif cenderung mengandalkan sumber daya alam yang ada di lingkungan budidaya, seperti pakan alami dan sirkulasi air secara alami. Tidak memerlukan jumlah input buatan yang signifikan, seperti pakan tambahan atau teknologi tinggi.
- Desain kolam atau tambak yang sederhana mengurangi biaya pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur. Penggunaan teknologi canggih yang memerlukan investasi besar juga dapat dihindari.
- Tergantung pada kondisi alam yang ada, seperti sinar matahari, siklus alami pertumbuhan komoditas yang dibudidayakan, dan ketersediaan pakan alami.

Keunggulan akuakultur teknologi ekstensif, dapat mengurangi kebutuhan akan input energi atau bahan kimia tambahan.

b. Risiko lingkungan

Sistem akuakultur ekstensif memiliki beberapa faktor yang mengurangi risiko terhadap lingkungan:

- Sistem ekstensif umumnya mengurangi atau bahkan menghindari penggunaan bahan kimia tambahan seperti antibiotik atau pestisida. Penggunaan pakan alami dan praktik budidaya yang berfokus pada keberlanjutan membantu menjaga keseimbangan ekosistem.
- Desain kolam atau tambak yang memungkinkan pertukaran air alami membantu mengurangi risiko akumulasi bahan pencemar. Mengurangi kepadatan stok komoditas yang

dibudidayakan dan meningkatkan sirkulasi air dapat memberikan dampak positif terhadap kualitas air.

- Limbah dari komoditas yang dibudidayakan, seperti kotoran ikan, dapat menjadi sumber nutrisi bagi fitoplankton dan zooplankton alami, mengurangi dampak negatifnya. Praktik pengelolaan limbah yang lebih alami membantu mencegah pencemaran air.

c. Produktivitas

Meskipun sistem akuakultur ekstensif memiliki keunggulan biaya produksi rendah dan risiko lingkungan rendah, ada beberapa faktor yang dapat memengaruhi produktivitas:

- Kepadatan tebar rendah dapat membatasi jumlah komoditas yang dapat dibudidayakan dalam suatu area.
- Pertumbuhan bergantung pada ketersediaan pakan alami seperti fitoplankton dan zooplankton. Proses ini mungkin memerlukan waktu lebih lama dibandingkan dengan sistem semi intensif atau intensif yang menggunakan pakan buatan.
- Pemanenan yang tidak terprogram atau tergantung pada siklus alami pertumbuhan komoditas yang dibudidayakan.

d. Bergantung pada kondisi alam

Sistem akuakultur ekstensif memiliki karakteristik bergantung pada kondisi alam yang dapat memengaruhi keberhasilan produksi. Beberapa aspek terkait hal dimaksud adalah:

- Sistem ini mengandalkan pergantian air alami untuk memenuhi kebutuhan oksigen dan nutrisi komoditas yang dibudidayakan. Kualitas air, termasuk suhu dan kejernihan, sangat dipengaruhi oleh kondisi alam seperti musim dan cuaca.
- Produktivitas sistem ekstensif terkait erat dengan ketersediaan pakan alami yang dipengaruhi oleh dinamika

alam seperti musim pertumbuhan plankton. Faktor cuaca, seperti intensitas sinar matahari dan suhu air, dapat memengaruhi tingkat pertumbuhan plankton.

- Proses pertumbuhan organisme air, termasuk waktu pemanenan, seringkali mengikuti siklus alami dan musim. Pemanenan mungkin tidak dapat dilakukan secara fleksibel dan dapat bergantung pada ketersediaan sumber daya alam.

2.2.2. Level Teknologi Semi Intensif

1) Karakteristik

a. Penggunaan sumber daya alam lebih terkontrol.

Sistem akuakultur level teknologi semi-intensif menggabungkan penggunaan sumber daya alam dengan kontrol untuk meningkatkan produktivitas. Menurut Avnimelech (2015), beberapa aspek utama yang perlu diperhatikan pada level teknologi semi intensif adalah:

- Menggunakan sebagian teknologi untuk mengontrol kualitas air seperti oksigen terlarut, pH, dan ammonia. Pemanfaatan alat pengukur dan sistem monitoring otomatis untuk memastikan kondisi kualitas air optimal.
- Pemberian pakan dengan kontrol untuk memenuhi kebutuhan nutrisi komoditas yang dibudidayakan. Penggunaan pakan buatan yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik ikan atau udang.
- Menggunakan teknologi pengendalian suhu air dan lingkungan untuk menciptakan kondisi yang sesuai untuk pertumbuhan komoditas yang dibudidayakan. Pemanfaatan shelter atau struktur bangunan tertentu untuk melindungi komoditas yang dibudidayakan dari kondisi lingkungan yang ekstrem.

b. Kepadatan tebar

Sistem akuakultur semi-intensif ditandai dengan kepadatan tebar komoditas yang dibudidayakan lebih tinggi dibandingkan dengan sistem ekstensif, tetapi masih dalam kisaran moderat untuk mengoptimalkan pertumbuhan. Menurut Boyd & Tucker (2012) beberapa aspek utama terkait kepadatan tebar moderat adalah:

- Melakukan pemantauan terus-menerus terhadap kepadatan populasi komoditas yang dibudidayakan. Menggunakan alat pengukur dan teknologi pemantauan untuk mengoptimalkan kepadatan tebar sesuai dengan kondisi lingkungan.
- Memperhitungkan ukuran dan komoditas yang dibudidayakan. Menyesuaikan kepadatan tebar berdasarkan kebutuhan nutrisi dan ruang gerak organisme air.
- Menentukan kepadatan tebar yang tidak melebihi kapasitas penanganan limbah lingkungan. Menggunakan sistem filtrasi dan manajemen atau pengolahan limbah yang efisien.

c. Kombinasi pakan alami dan buatan

Sistem akuakultur semi-intensif memanfaatkan pendekatan kombinasi pakan alami dan buatan untuk memenuhi kebutuhan nutrisi komoditas yang dibudidayakan. Beberapa poin kunci terkait kombinasi pakan alami dan buatan adalah (Avnimelech, Y, 2015):

- Menyediakan pakan alami seperti fitoplankton dan zooplankton sebagai suplemen nutrisi. Mendorong pertumbuhan pakan alami dengan optimalisasi kondisi lingkungan.
- Menggunakan pakan buatan yang dirancang khusus dengan formulasi nutrisi yang sesuai dengan kebutuhan komoditas yang dibudidayakan. Menyesuaikan komposisi pakan buatan berdasarkan fase pertumbuhan dan spesies yang dibudidayakan.

- Memantau dengan cermat konsumsi pakan alami dan buatan oleh komoditas yang dibudidayakan. Menyesuaikan rasio pemberian pakan alami dan buatan berdasarkan kebutuhan nutrisi dan kondisi pertumbuhan.

d. Contoh - sistem akuakultur semi-intensif

Akuakultur semi-intensif antara lain adalah budidaya *system biofloc* dan sistem resirkulasi air.

- **Biofloc;** *biofloc* merupakan sistem di mana komoditas yang dibudidayakan, seperti bakteri, membentuk aglomerat atau flok untuk mengatasi limbah organisme air. Sistem *biofloc* mengurangi kebutuhan akan pergantian air, meningkatkan kualitas air, dan menyediakan sumber protein tambahan melalui konsumsi *biofloc* (Avnimelech,, 2015).
- **Sistem resirkulasi air;** sistem ini mendaur ulang air secara terus-menerus melalui filter dan teknologi pemurnian air. Penggunaan teknologi seperti biofilter, drum filter, dan UV *sterilizer* membantu menjaga kualitas air dengan meminimalkan limbah organisme air (Timmons, *at al.*, 2002).

2) Teknologi yang digunakan

a. Pemberian pakan buatan

Menurut Tacon & Metian (2008), pemberian pakan buatan merupakan aspek kunci dalam sistem akuakultur semi-intensif untuk memastikan pertumbuhan optimal bagi komoditas yang dibudidayakan. Beberapa poin penting terkait pemberian pakan buatan adalah:

- pakan buatan dengan formulasi nutrisi yang sesuai dengan kebutuhan spesifik komoditas yang dibudidayakan dan fase pertumbuhannya. Menyesuaikan kandungan protein, lemak, karbohidrat, dan vitamin dalam pakan untuk mendukung kesehatan dan pertumbuhan.
- Melakukan pemantauan konsumsi pakan oleh komoditas yang dibudidayakan secara rutin. Menggunakan teknologi

canggih seperti sistem pengukuran otomatis untuk memantau dan mengoptimalkan jumlah pakan yang diberikan.

- Menyesuaikan jenis pakan (terapung atau tenggelam) berdasarkan preferensi makanan dan kebiasaan makan komoditas yang dibudidayakan. Memastikan pakan dapat dicerna dengan baik oleh komoditas yang dibudidayakan untuk mengoptimalkan efisiensi pakan.

b. Manajemen kualitas air

Menurut Boyd & Tucker (2012), manajemen kualitas air adalah kunci dalam sistem akuakultur untuk memastikan lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan dan kesehatan komoditas yang dibudidayakan. Beberapa aspek penting terkait manajemen kualitas air adalah:

- Rutin memantau parameter kualitas air seperti oksigen terlarut, pH, suhu, amonia, nitrat, dan nitrit.
- Menggunakan sistem aerasi untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air. Memastikan distribusi oksigen merata di seluruh kolam atau tambak.
- Memastikan sistem filtrasi yang efisien untuk menghilangkan limbah organisme air. Menerapkan sistem resirkulasi air untuk meminimalkan pergantian air dan mempertahankan kualitas air yang stabil.

c. Pengendalian hama dan penyakit

Menurut Bondad *at, al.* (2005), pengendalian hama dan penyakit merupakan aspek penting dalam sistem akuakultur semi-intensif untuk menjaga kesehatan komoditas yang dibudidayakan. Metode terintegrasi mencakup pendekatan yang holistik dan berkelanjutan. Beberapa strategi yang dapat diterapkan:

- Melakukan pemantauan rutin terhadap kondisi kesehatan komoditas yang dibudidayakan. Mengidentifikasi secara dini tanda-tanda penyakit atau infestasi hama.

- Menerapkan praktik biosekuriti untuk mencegah masuknya patogen dan hama dari luar. Melakukan manajemen stok yang tepat untuk menghindari kepadatan populasi yang tinggi, yang dapat meningkatkan risiko penyakit.
- Menggunakan agensia hayati seperti bakteri penghancur patogen atau predator alami untuk mengendalikan populasi patogen. Penggunaan obat-obatan yang sesuai dan aman dengan dosis yang tepat jika diperlukan.

d. Panen terjadwal

Menurut Engle & Krishna (2017), panen adalah proses akhir produksi dan kritis dalam manajemen sistem akuakultur untuk memastikan hasil panen yang optimal dan menjaga keseimbangan lingkungan. Beberapa langkah penting terkait pemanenan terjadwal adalah:

- Melakukan pemantauan rutin terhadap pertumbuhan dan kondisi komoditas yang dibudidayakan. Menentukan waktu yang optimal untuk pemanenan berdasarkan ukuran yang diinginkan atau kebutuhan pasar.
- Mengatur jadwal panen yang teratur untuk menghindari *overstocking* atau kepadatan populasi yang tinggi. Memperhitungkan faktor-faktor seperti kondisi cuaca dan permintaan pasar.
- Menggunakan teknik pemanenan yang tepat untuk jenis sistem dan spesies yang dibudidayakan. Meminimalkan stres pada komoditas yang dibudidayakan selama proses pemanenan.

3) Keuntungan dan kelemahan

a. Produktivitas lebih tinggi

Menurut Bostock, *at al.* (2010), sistem akuakultur semi-intensif memiliki beberapa kelebihan terkait produktivitas yang lebih tinggi:

- Pengelolaan lingkungan yang kontrol; dengan adanya kontrol yang lebih baik terhadap parameter lingkungan seperti suhu,

kualitas air, dan nutrisi, kondisi lingkungan dapat dioptimalkan untuk mendukung pertumbuhan komoditas yang dibudidayakan.

- Penggunaan teknologi seperti sistem aerasi, pemantauan otomatis, dan teknik manajemen membantu meningkatkan efisiensi produksi dan pertumbuhan komoditas yang dibudidayakan.
- Pengaturan pemberian pakan yang terkontrol secara tepat menghasilkan pertumbuhan yang lebih cepat dan seragam pada komoditas yang dibudidayakan.
- Jadwal panen yang tepat waktu; dengan pemantauan yang cermat, pemanenan dapat dijadwalkan pada saat yang optimal, menghasilkan hasil panen yang lebih tinggi.

b. Efisiensi pakan

Menurut Engle & Webster (2002) dan Tacon (1987), kelebihan dan kekurangan sistem akuakultur teknologi semi intensif terkait dengan efisiensi pakan:

- Penggunaan pakan buatan dengan formulasi nutrisi yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik komoditas yang dibudidayakan. Memastikan bahwa pakan yang diberikan mengandung nutrisi yang optimal untuk pertumbuhan dan kesehatan.
- Pemantauan konsumsi pakan secara cermat untuk mencegah pemborosan dan memastikan bahwa komoditas yang dibudidayakan mendapatkan asupan pakan yang cukup. Penggunaan teknologi otomatis dapat membantu dalam pemantauan yang akurat.
- Menyesuaikan jenis pakan (terapung atau tenggelam) berdasarkan preferensi makanan dan kebiasaan makan komoditas yang dibudidayakan. Memastikan pakan dapat dicerna dengan baik untuk mengoptimalkan efisiensi pakan.
- Penggunaan pakan buatan berkualitas tinggi dan formula nutrisi yang optimal dapat meningkatkan biaya produksi. Menuntut perencanaan keuangan yang matang untuk mengatasi biaya ini.

- Bergantung pada pasokan bahan baku pakan buatan, yang dapat mengalami fluktuasi harga dan ketersediaan. Memerlukan manajemen rantai pasokan yang efisien.
- Tantangan untuk secara konstan menyesuaikan formula pakan dengan perubahan kebutuhan komoditas yang dibudidayakan. Memerlukan pemahaman mendalam tentang nutrisi dan kebutuhan makanan.

c. Biaya Produksi

Menurut Engle & Webster (2002) dan Tacon (1985), kelebihan dan kekurangan ditinjau dari biaya produksi:

- Penerapan teknologi seperti sensor otomatis, sistem monitoring, dan teknologi pengolahan air yang canggih. Meningkatkan efisiensi operasional tetapi dapat meningkatkan biaya investasi awal.
- Penerapan manajemen kesehatan dengan pemantauan rutin dan pengendalian penyakit. Memerlukan sumber daya dan tenaga kerja tambahan yang dapat meningkatkan biaya operasional.
- Penggunaan pakan berkualitas tinggi dengan formula nutrisi yang optimal. Meskipun dapat meningkatkan produktivitas, pakan berkualitas tinggi cenderung memiliki biaya yang lebih tinggi.
- Membangun dan menjalankan sistem semi-intensif memerlukan investasi awal yang signifikan. Tantangan dalam mengelola keuangan untuk menutupi biaya investasi.
- Pemeliharaan dengan memanfaatkan teknologi, manajemen kesehatan, dan penggunaan pakan buatan dapat meningkatkan biaya operasional.
- Ketergantungan pada teknologi dan input eksternal seperti obat-obatan dan bahan baku pakan. Dapat rentan terhadap fluktuasi harga dan ketersediaan sumber daya.

d. Membutuhkan pengetahuan teknis

Menurut FAO (2018) dan Boyd & Tucker (2012) kelebihan dan kelemahan system akuakultur level semi intensif membutuhkan pengetahuan teknis:

- Diperlukannya pengetahuan teknis memungkinkan pengelolaan yang lebih presisi terhadap parameter-parameter sistem seperti kualitas air, suhu, dan kondisi lingkungan lainnya.
- Kebutuhan akan pengetahuan teknis memacu inovasi dan pembaruan dalam praktik akuakultur. Mendorong penggunaan teknologi terbaru untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas.
- Memerlukan keterampilan manajemen yang tinggi dalam mengelola aspek-aspek teknis seperti monitoring sistem, interpretasi data, dan penanganan permasalahan teknis. Meningkatkan profesionalisme dalam pengelolaan akuakultur.
- Diperlukannya pelatihan dan pendidikan khusus untuk memahami dan mengelola aspek-aspek teknis. Menuntut komitmen waktu dan sumber daya untuk memperoleh pengetahuan yang cukup.
- Kesalahan dalam pengelolaan teknis dapat memiliki dampak yang signifikan pada keberhasilan sistem semi-intensif. Memerlukan tingkat kehati-hatian dan kecermatan yang tinggi.
- Diperlukannya tenaga ahli yang memiliki pengetahuan teknis untuk menjalankan operasional dengan efektif. Ketergantungan pada tenaga ahli dapat menjadi kendala.

2.2.3 Level Teknologi Intensif

1) Karakteristik

a. Pengendalian terhadap faktor-faktor produksi

Menurut Avnimelech (2015), sistem budidaya teknologi intensif diperlukan pengendalian secara menyeluruh terhadap faktor-faktor produksi, meliputi:

- **Pengendalian kualitas air;** pemantauan konstan terhadap parameter kualitas air seperti suhu, pH, oksigen terlarut, dan amonia. Penggunaan sensor dan teknologi otomatis untuk

memastikan kondisi lingkungan yang optimal. Disamping itu, dilakukan penerapan sistem filtrasi yang canggih untuk membersihkan air dari zat-zat berbahaya dan partikel-partikel yang dapat merugikan komoditas yang dibudidayakan.

- **Pengendalian pakan dan nutrisi;** penggunaan pakan buatan dengan formulasi nutrisi yang tepat sesuai dengan kebutuhan spesifik komoditas yang dibudidayakan. Menerapkan teknologi pembuatan pakan yang canggih untuk meningkatkan keberagaman dan kualitas pakan. Disamping itu, dilakukan monitoring kebutuhan pakan secara cermat untuk mencegah pemborosan dan memastikan bahwa komoditas yang dibudidayakan mendapatkan nutrisi yang cukup. Sistem pemberian pakan otomatis untuk mengontrol jumlah pakan yang diberikan.
- **Pengendalian kesehatan;** implementasi sistem karantina untuk mencegah masuknya penyakit ke dalam sistem. Pengujian rutin terhadap komoditas yang dibudidayakan untuk mendeteksi dini kemungkinan penyakit. Disamping itu, diberikan perawatan medis yang tepat waktu berdasarkan pemantauan kesehatan yang ketat. Penggunaan obat-obatan yang terukur dan sesuai dengan pedoman akuakultur.

b. Kepadatan tebar tinggi

Menurut Taw (2002), sistem intensif ditandai dengan kepadatan tebar yang tinggi, di mana jumlah komoditas yang dibudidayakan per satuan luas lebih besar dibandingkan dengan sistem semi-intensif. Terkait dengan kepadatan tinggi tersebut, diperlukan:

- Meningkatkan produksi per satuan luas untuk memaksimalkan pemanfaatan ruang budidaya. Memungkinkan pengoptimalan efisiensi pakan dan pertumbuhan komoditas yang dibudidayakan.
- Kepadatan tinggi menuntut pengendalian kualitas air yang ketat untuk mencegah penumpukan limbah terhadap komoditas yang dibudidayakan. Sehingga memerlukan sistem

filtrasi dan manajemen air yang lebih ketat untuk menjaga kondisi lingkungan yang optimal.

- Monitoring kesehatan komoditas yang dibudidayakan secara teratur untuk mencegah penyebaran penyakit yang dapat berkembang dengan cepat dalam kepadatan tinggi.
- Pendekatan holistik dalam pengelolaan untuk menjaga keseimbangan lingkungan, termasuk pengelolaan limbah dari komoditas yang dibudidayakan dan sumber daya air.

c. Pakan buatan sebagai sumber utama:

Menurut Hardy (2002), sistem intensif cenderung menggunakan pakan buatan sebagai sumber utama nutrisi bagi komoditas yang dibudidayakan. Memastikan asupan nutrisi yang optimal untuk mendukung pertumbuhan cepat dan hasil produksi yang tinggi. Kebutuhan pakan buatan untuk komoditas yang dibudidayakan pada level teknologi intensif:

- Pakan buatan dirancang dengan komposisi yang tepat, mencakup protein, lemak, karbohidrat, vitamin, dan mineral. Memenuhi kebutuhan nutrisi spesifik komoditas yang dibudidayakan dalam kondisi kepadatan tebar tinggi.
- Manajemen pemberian pakan yang cermat dan terkontrol untuk mengoptimalkan konversi pakan menjadi massa tubuh. Sistem otomatis atau semi-otomatis sering digunakan untuk memastikan pemberian pakan yang tepat waktu.
- Pemantauan kesehatan organisme air secara teratur untuk menilai efektivitas pakan dan mendeteksi potensi masalah kesehatan. Menyesuaikan formulasi pakan jika diperlukan berdasarkan evaluasi kinerja.

d. Beberapa system budidaya level teknologi intensif

- **Budidaya Udang di Tambak Secara Intensif;** menurut Browdy & Jory (2001) metode intensif dalam budidaya udang di tambak mencakup penggunaan sistem kontrol yang ketat terhadap faktor-faktor produksi. Kepadatan tebar tinggi digunakan untuk memaksimalkan produksi udang. Sistem

pemberian pakan buatan dan manajemen kualitas air yang canggih diterapkan.

- **Sistem Akuaponik;** menurut Rakocy, *at al*, (2004) sistem yang menggabungkan budidaya ikan dan tanaman secara bersamaan, di mana limbah ikan menjadi sumber nutrisi bagi tanaman. Pengendalian ketat terhadap kualitas air dan manajemen sumber daya terintegrasi.
- **Recirculating Aquaculture System (RAS);** menurut Timmons *at. al*. (2002) sistem yang mendaur ulang air secara terus menerus, mengontrol kualitas air dengan sistem filtrasi. Kepadatan tebar tinggi dicapai dengan penggunaan teknologi pemantauan dan kontrol yang canggih. Keunggulan system ini adalah penggunaan air yang efisien dan pengendalian kualitas air yang presisi.

2) Teknologi yang digunakan

a. Otomatisasi pemberian pakan:

Menurut Boyd (2018) otomatisasi pemberian pakan, merupakan teknologi yang menggunakan sistem otomatis untuk memberikan pakan kepada species yang dibudidayakan dalam jumlah dan waktu yang terprogram. Keunggulan otomatisasi pemberian pakan adalah:

- Memastikan pakan diberikan dalam jumlah yang tepat, menghindari *overfeeding* atau *underfeeding*.
- Mendukung efisiensi konversi pakan menjadi masa tubuh komoditas yang dibudidayakan.
- Pemberian pakan dapat diatur sesuai dengan jadwal yang optimal.

Disamping itu komponen utama sistem otomatisasi pemberian pakan, meliputi:

- Mekanisme yang dapat diatur untuk mengeluarkan pakan secara terprogram.
- Mendeteksi keberadaan komoditas yang dibudidayakan dan kondisi lingkungan.
- Mengatur frekuensi dan jumlah pakan yang diberikan.

b. Otomatisasi kontrol kualitas air:

Menurut Tidwell *at al.*, (2018), penggunaan sistem otomatis untuk memantau dan mengendalikan parameter kualitas air utama dalam lingkungan akuakultur, meliputi:

- Suhu: suhu optimal yang dijaga untuk mendukung pertumbuhan dan metabolisme, serta kesehatan komoditas yang dibudidayakan.
- DO (*Dissolved Oxygen*): memastikan tingkat oksigen terlarut yang cukup untuk kehidupan komoditas yang dibudidayakan.
- pH: menjaga keseimbangan pH agar sesuai dengan kebutuhan komoditas yang dibudidayakan.
- Ammonia dan Nitrat: pemantauan senyawa nitrogen yang dapat mempengaruhi kesehatan ikan atau komoditas yang dibudidayakan.

Teknologi yang digunakan untuk mendeteksi perubahan parameter kualitas air secara *real-time*, antara lain sensor otomatis. Sedangkan sistem kontrol pintar untuk mengambil keputusan otomatis atau memberikan peringatan berdasarkan data yang diperoleh. Memperhatikan hal tersebut, manfaat otomatisasi kontrol kualitas air, antara lain:

- Preventif: mencegah potensi masalah kualitas air sebelum memengaruhi organisme air.
- Responsif: tanggapan cepat terhadap perubahan yang dapat mempengaruhi lingkungan akuakultur.

c. Oksigenasi

Menurut Timmons *at. al.*, (2002) sistem oksigenasi pada sistem akuakultur level teknologi intensif memiliki peran yang sangat penting untuk memastikan keberhasilan budidaya komoditas yang dibudidayakan dalam kepadatan tebar yang tinggi. Berikut adalah beberapa elemen dan konsep utama dari sistem oksigenasi pada sistem ini:

- **Aerasi mekanis;** Penggunaan perangkat mekanis seperti aerator, impeller seperti kincir air, atau diffuser untuk

meningkatkan oksigen terlarut dalam air. Aerasi mekanis menciptakan pergerakan air yang memadai, membantu pertukaran gas di antara air dan udara.

- **Pentingnya oksigen terlarut;** Kepadatan tebar yang tinggi dan intensitas budidaya membutuhkan jumlah oksigen yang lebih besar. Oksigen terlarut esensial untuk proses metabolisme organisme air, dan kekurangan oksigen dapat mengakibatkan stres atau bahkan kematian komoditas yang dibudidayakan.
- **Pemantauan dan kontrol;** Sistem oksigenasi dilengkapi dengan sensor dan monitor oksigen terlarut. Pemantauan secara terus-menerus memungkinkan respons cepat terhadap fluktuasi kondisi lingkungan, seperti perubahan suhu atau tingkat kepadatan stok.
- **Integrasi dengan sistem biofilter;** Sistem oksigenasi sering kali terintegrasi dengan sistem biofilter untuk menjaga kualitas air. Biofilter membantu menguraikan limbah organisme air, sementara oksigenasi memastikan tingkat oksigen yang cukup untuk proses tersebut.
- **Penerapan teknologi tinggi;** Pada level teknologi intensif, seringkali digunakan teknologi tinggi dalam sistem oksigenasi, termasuk penggunaan kontrol otomatis untuk menyesuaikan tingkat oksigen sesuai kebutuhan.

Sistem oksigenasi yang efektif pada sistem akuakultur intensif menjadi kunci untuk menciptakan lingkungan yang optimal, meningkatkan pertumbuhan, dan mengurangi risiko stres atau penyakit pada organisme air yang dibudidayakan.

d. Sistem biofilter

Menurut Boyd, C. E. (2018), sistem biofilter pada sistem akuakultur level teknologi intensif adalah suatu komponen penting yang bertujuan untuk mengurangi beban polutan dalam air melalui proses biologis. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai sistem biofilter dalam konteks intensif:

- Meningkatkan kualitas air dengan menguraikan limbah organisme air, terutama amonia dan nitrit, menjadi senyawa yang lebih aman seperti nitrat. Proses ini disebut nitrifikasi dan melibatkan aktivitas mikroorganisme tertentu.
- Biofilter menggunakan media tertentu (misalnya batu apung, koral sintetis, atau bahan lainnya) yang menyediakan permukaan yang besar untuk kolonisasi mikroorganisme. Mikroorganisme ini membantu mengonversi senyawa-senyawa berbahaya menjadi bentuk yang tidak berbahaya.
- Sistem biofilter sering diintegrasikan dengan sistem oksigenasi untuk menciptakan kondisi lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan mikroorganisme yang mendukung nitrifikasi.
- Pemasangan sensor dan monitor kualitas air untuk memantau parameter seperti amonia, nitrit, dan nitrat. Pemantauan ini memungkinkan pengelolaan yang tepat terhadap kinerja biofilter.

Sistem biofilter pada sistem akuakultur intensif memiliki peran penting dalam menjaga kualitas air yang sesuai untuk mendukung pertumbuhan dan kesehatan komoditas yang dibudidayakan.

e. Sistem pengelolaan limbah

Sistem pengelolaan limbah dalam budidaya akuakultur intensif merupakan aspek kritis untuk meminimalkan dampak negatif pada lingkungan. Beberapa teknologi yang digunakan dalam pengelolaan limbah pada sistem ini antara lain:

- **Teknologi pengolahan limbah:** Dalam sistem intensif, limbah organik seperti sisa pakan dan ekskresi ikan atau udang dapat menciptakan beban limbah yang tinggi. Penggunaan teknologi biofilter, sedimentasi, dan proses penguraian bakteri dapat membantu mengolah limbah organik (Timmons, *at. al.*, 2002).
- **Sistem pemisahan padat-cair:** Teknologi ini memungkinkan pemisahan antara padatan dan air limbah. Unit sedimentasi atau filter mekanis digunakan untuk mengendalikan padatan,

sementara air yang sudah dipisahkan dapat diproses lebih lanjut (Colt, 2011).

- **Teknologi RAS (Recirculating Aquaculture System):** Sistem RAS memungkinkan penggunaan air secara berulang melalui unit pengolahan limbah. Proses filtrasi mekanis dan biologis membantu menghilangkan padatan dan zat organik dari air, mengurangi kebutuhan air bersih (Rakocy, *at. al.*, 2006).
- **Inovasi teknologi berkelanjutan:** Pengembangan teknologi seperti sistem akuaponik, dimana limbah ikan digunakan sebagai sumber nutrisi untuk tanaman, dapat membawa manfaat ganda dalam mengelola limbah (Rakocy, *at. al.*, 2006).

Penting untuk selalu memonitor dan menyesuaikan sistem pengelolaan limbah sesuai dengan kondisi spesifik dan skala operasional budidaya. Penggunaan teknologi yang efektif dapat membantu mencapai keberlanjutan dan mengurangi dampak lingkungan dari budidaya akuakultur intensif.

f. Panen yang terkontrol

Menurut Lovshin & Libey (2007), untuk memastikan proses panen berlangsung dengan efisien dan mengoptimalkan hasil, beberapa teknologi dan strategi dapat diterapkan:

- Penentuan waktu panen yang tepat sangat penting untuk memaksimalkan ukuran dan bobot ikan atau udang yang dihasilkan. Sistem otomatisasi dan pengendalian parameter lingkungan, seperti suhu air dan cahaya, dapat membantu menentukan waktu panen yang optimal.
- Alat bantu panen yang dirancang khusus dapat digunakan untuk memudahkan proses pengambilan ikan atau udang dari kolam/tambak atau sistem budidaya. Alat-alat ini dapat mencakup jaring penangkap ikan, alat hisap udang, atau sistem konveyor otomatis.
- Teknologi yang memungkinkan pemisahan individu ikan atau udang, seperti menggunakan sistem kandang atau tangki terpisah, dapat memudahkan proses panen. Ini

memungkinkan selektivitas dalam panen berdasarkan ukuran atau kriteria lainnya.

- Sistem pemantauan otomatis dapat digunakan untuk memantau dan mengevaluasi kondisi ikan atau udang selama proses panen. Hal ini membantu dalam memastikan kualitas hasil panen.

Penting untuk merencanakan panen dengan cermat dan memanfaatkan teknologi yang tepat guna untuk memastikan bahwa seluruh proses berjalan secara efisien dan menghasilkan produk yang berkualitas.

3). Keuntungan dan kelemahan

a. Produktivitas Tinggi

Sistem akuakultur level teknologi intensif didesain untuk mencapai tingkat produktivitas yang maksimal melalui pengelolaan yang ketat dan penerapan teknologi canggih. Menurut Avnimelech (2015) dan Timmons *at. al.*, (2002), beberapa faktor yang mendukung produktivitas tinggi antara lain:

- Sistem intensif memungkinkan dengan tingkat kepadatan populasi ikan atau udang yang tinggi dalam unit produksi terbatas. Hal ini meningkatkan jumlah komoditas yang dibudidayakan dapat diproduksi per satuan luas.
- Sistem ini menggunakan pakan buatan sebagai sumber utama, yang dirancang khusus untuk memenuhi kebutuhan nutrisi dan pertumbuhan maksimal. Penggunaan pakan berkualitas tinggi membantu meningkatkan pertumbuhan dan konversi pakan.
- Kualitas air seperti suhu, oksigen terlarut, pH, dan parameter lingkungan lainnya dikontrol dengan cermat untuk menciptakan kondisi yang optimal bagi pertumbuhan dan reproduksi. Teknologi seperti sistem pengelolaan air terkontrol (RAS) memastikan kualitas air tetap optimal.

- Penggunaan teknologi canggih dalam pemantauan dan manajemen sistem memungkinkan deteksi dini masalah, pengambilan keputusan yang cepat, dan penyesuaian kondisi untuk menjaga produktivitas tinggi.

Produktivitas tinggi pada sistem akuakultur intensif menciptakan peluang untuk meningkatkan hasil panen secara signifikan, tetapi juga menuntut manajemen yang hati-hati dan pemahaman teknologi yang mendalam.

b. Efisiensi sumber daya tinggi

Efisiensi sumber daya tinggi merupakan salah satu keunggulan utama dalam sistem akuakultur intensif. Hal ini dapat dicapai melalui berbagai teknologi dan praktik manajemen yang meningkatkan pemanfaatan sumber daya. Berikut adalah beberapa aspek yang menjelaskan efisiensi sumber daya tinggi pada system akuakultur teknologi intensif:

- Sistem intensif memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap kepadatan populasi ikan atau udang. Dengan mengatur kepadatan secara cermat, sumber daya seperti air, pakan, dan oksigen terlarut dapat dimanfaatkan secara optimal (Tacon & Metian, 2008).
- Sistem otomatisasi pemberian pakan pada sistem intensif memastikan bahwa jumlah pakan yang diberikan tepat sesuai kebutuhan komoditas yang dibudidayakan. Ini membantu menghindari pemborosan pakan dan mencapai pertumbuhan optimal (Davis & Arnold, 1997).
- Implementasi teknologi energi yang efisien, seperti sistem penghemat energi pada pompa air, pengudaraan/oksigenisasi atau sistem pemanasan, membantu mengurangi konsumsi energi. Ini berdampak pada efisiensi penggunaan sumber daya secara keseluruhan (Timmons, *at. al.*, 2002).
- Penerapan sistem pemantauan otomatis memungkinkan pengelola untuk mengidentifikasi dan menangani perubahan

lingkungan atau kondisi kolam /tambak dengan cepat. Hal ini membantu mencegah kerugian dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya (Colt, 2011).

Efisiensi sumber daya yang tinggi merupakan faktor kunci dalam meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan sistem akuakultur intensif. Implementasi teknologi yang tepat dan manajemen yang cermat dapat mendukung pencapaian efisiensi.

c. Biaya produksi tinggi

Menurut Rakocy, *at. al.* (2006) meskipun sistem akuakultur teknologi intensif memiliki keunggulan tertentu, salah satu tantangan utamanya adalah biaya produksi yang tinggi. Beberapa faktor yang menyebabkan biaya produksi tinggi dalam sistem ini dapat diuraikan sebagai berikut:

- Penerapan teknologi canggih seperti otomatisasi pemberian pakan, kontrol kualitas air, dan sistem biofilter memerlukan investasi awal yang signifikan. Infrastruktur yang kompleks juga dapat menyebabkan biaya tinggi.
- Sistem intensif menggunakan pakan buatan sebagai sumber utama. Harga pakan buatan yang tinggi, terutama jika menggunakan bahan baku yang mahal seperti tepung ikan, dapat meningkatkan biaya produksi secara keseluruhan (Naylor, *at. al.*, 2000).
- Sistem intensif memerlukan konsumsi energi yang signifikan, terutama untuk menjaga kondisi lingkungan yang optimal. Biaya operasional harian, seperti listrik dan pemeliharaan, dapat menjadi faktor kontributor terhadap biaya produksi yang tinggi.
- Praktik biosecurity yang ketat, yang diperlukan untuk mencegah penyebaran penyakit, dapat memerlukan biaya tambahan untuk pengujian, vaksinasi, dan tindakan pencegahan lainnya.

Meskipun biaya produksi tinggi menjadi tantangan, pengelolaan yang cermat dan terus-menerus dapat membantu mengoptimalkan efisiensi dan mengurangi beberapa beban biaya yang tidak perlu.

d. Membutuhkan teknologi canggih dan keahlian tinggi

Keberhasilan implementasi sistem akuakultur teknologi intensif tidak lepas dari penggunaan teknologi canggih dan tingginya tingkat keahlian dalam manajemen. Berikut penjelasan mengenai aspek ini:

- Sistem intensif memanfaatkan teknologi canggih seperti otomatisasi pemberian pakan, pemantauan kualitas air secara *real-time*, dan kontrol lingkungan kolam secara otomatis. Penggunaan teknologi ini memerlukan investasi awal yang signifikan (Adey & Loveland, 1991).
- Operasional sistem intensif membutuhkan tingkat keahlian yang tinggi dari pembudidaya atau pengelola. Pengetahuan yang mendalam dalam manajemen akuakultur, biologi akuatik, dan teknologi sistem *recirculating* sangat diperlukan (Timmons, *at. al.*, 2002).
- Para pembudidaya atau pengelola dalam sistem intensif perlu mengikuti pelatihan dan pendidikan khusus untuk memahami teknologi yang digunakan. Ini melibatkan pemahaman mendalam terhadap sistem biofilter, manajemen pakan, dan pemantauan kualitas air (Rakocy, *at. al.*, 2006).
- Implementasi teknologi intensif juga berpotensi meningkatkan dampak lingkungan dan konsumsi energi. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian dan inovasi untuk mengatasi tantangan keberlanjutannya (Blancheton, *at. al.*, 2013).

Meskipun membutuhkan investasi awal yang tinggi dan keahlian yang mumpuni, penerapan teknologi canggih pada sistem intensif dapat meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan usaha akuakultur.

2.3 Kesimpulan dan Rekomendasi

2.3.1 Kesimpulan

Menurut Setiadi & Hadi (2019), Sumodiningrat & Hasan (2018), dan Wibowo (2020), bahwa sistem akuakultur pada level teknologi tertentu yang akan diterapkan perlu mempertimbangkan faktor-faktor sebagai berikut:

1) Skala usaha

Skala usaha merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan level teknologi yang tepat. Hal ini berkaitan dengan ukuran dan ruang lingkup operasi usaha, yang dapat bervariasi dari skala kecil hingga besar. Skala usaha mempengaruhi efisiensi teknologi yang digunakan, serta ketersediaan sumber daya yang diperlukan. Misalnya, usaha kecil mungkin lebih cocok dengan teknologi yang sederhana dan mudah dioperasikan, sementara usaha besar membutuhkan teknologi yang lebih canggih dan berkapasitas besar.

2) Modal

Modal merupakan faktor penting dalam memilih level teknologi yang tepat. Kemampuan untuk mengakses dan mengalokasikan modal akan memengaruhi pilihan teknologi yang dapat diadopsi. Usaha dengan modal terbatas mungkin harus memilih teknologi yang lebih terjangkau dan membutuhkan investasi awal yang rendah. Sementara itu, usaha yang lebih besar dan memiliki akses ke modal yang lebih besar mungkin dapat mengadopsi teknologi yang lebih mahal namun lebih efisien dalam jangka panjang.

3) Sumber Daya

Sumber daya, baik manusia maupun alam, merupakan faktor penting dalam menentukan level teknologi yang tepat. Ketersediaan tenaga kerja terampil, infrastruktur yang mendukung, dan akses terhadap bahan baku akan mempengaruhi pilihan teknologi yang dapat digunakan. Selain itu, keberlanjutan sumber daya alam juga harus dipertimbangkan, dengan memilih teknologi yang ramah lingkungan dan tidak merusak lingkungan.

4) Spesies

Jenis spesies yang dibudidayakan juga memiliki dampak pada pemilihan level teknologi. Perbedaan dalam kebutuhan spesies terhadap lingkungan, nutrisi, dan manajemen akan memengaruhi teknologi yang paling sesuai untuk digunakan. Misalnya, teknologi yang cocok untuk budidaya ikan air tawar mungkin berbeda dengan teknologi yang digunakan untuk budidaya tanaman sayuran.

2.3.2 Rekomendasi

Keberlanjutan dan ramah lingkungan adalah faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam memilih level teknologi yang tepat. Dalam konteks perikanan budidaya atau industri perikanan lainnya, penggunaan teknologi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan dapat memberikan manfaat jangka panjang baik bagi lingkungan maupun bagi keberlanjutan bisnis itu sendiri.

Menurut Hadi (2019), Santosa (2021), dan Soemarno & Soemarno (2020), bahwa memilih level teknologi harus mempertimbangkan:

1) Keberlanjutan

Keberlanjutan merupakan konsep yang menekankan pada penggunaan sumber daya secara bijaksana dan mempertahankan keseimbangan antara kebutuhan manusia saat

ini dengan kebutuhan generasi mendatang. Dalam konteks pemilihan level teknologi, penting untuk memilih teknologi yang dapat meningkatkan produktivitas tanpa merusak atau menguras sumber daya alam secara berlebihan. Dengan memilih teknologi yang berkelanjutan, usaha dapat menjaga ketersediaan sumberdaya jangka panjang dan memastikan kelangsungan operasionalnya di masa mendatang.

2) Ramah Lingkungan

Pemilihan teknologi yang ramah lingkungan adalah langkah penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan mencegah kerusakan lingkungan. Teknologi perikanan budidaya yang ramah lingkungan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran air, tanah, dan udara serta penggunaan bahan-bahan kimia berbahaya. Dengan memilih teknologi yang ramah lingkungan, usaha dapat mengurangi jejak lingkungan dan berkontribusi pada pelestarian alam serta keberlanjutan planet bumi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adey, W. H., & Loveland, R. E. (1991). "Dynamic Aquaria: Building Living Ecosystems." Academic Press.
- Avnimelech, Y. (2015). "Biofloc Technology: A Practical Guide Book." World Aquaculture Society.
- Bank Dunia. (2023). *Akuakultur dan masa depan pangan*. Washington, DC: Bank Dunia.
- Blancheton, J. P., Attramadal, K. J. K., Michaud, L., & d'Orbcastel, E. R. (2013). "Recirculating Aquaculture Systems: Performance, Design, Management and Future Prospects." *Aquacultural Engineering*, 53, 2-13.
- Blancheton, J. P., & Verreth, J. A. J. (2010). "New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability." *Aquacultural Engineering*, 43(3), 83-93.
- Bondad-Reantaso, M. G., Subasinghe, R. P., Arthur, J. R., Ogawa, K., Chinabut, S., Adlard, R., & Shariff, M. (2005). Disease and health management in Asian aquaculture. *Veterinary Parasitology*, 132(3-4), 249-272.
- Bostock, J., McAndrew, B., Richards, R., Jauncey, K., Telfer, T., Lorenzen, K., & Gatward, I. (2010). *Aquaculture: Global Status and Trends*. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 365(1554), 2897-2912.
- Boyd, C. E. (2018). *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. University of Georgia Press.
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1998). *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Springer.
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (2012). *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Springer Science & Business Media.

- Browdy, C. L., & Jory, D. E. (2001). The need for improved effluent management in shrimp farming. *Aquaculture*, 198(1-2), 3-11.
- Colt, J. (2011). "Optimizing recirculating aquaculture system management with continuous water quality monitoring." *Aquacultural Engineering*, 45(3), 135-143.
- Cao, L. (2015). Environmental challenges to the integrities of aquatic animal farming: A review. *Environmental Research*, 143(Pt A), 44-55. [DOI:10.1016/j.envres.2015.09.002]
- Cao, L., Diana, J., & Holdich, D. M. (2019). *AquaFeed: Advances in Processing and Ingredient Quality*.
- Davis, D. A., & Arnold, C. R. (1997). "Feeding and nutritional strategies in recirculating systems." *Aquacultural Engineering*, 17(3), 229-238.
- Ekasari, J., & Azis, A. A. (2021). Penerapan Teknologi dalam Meningkatkan Efisiensi dan Keberlanjutan Budidaya Ikan. *Jurnal Ilmiah Akuakultur*, 12(2), 141-152.
- Elliott, D. G., & Pascho, R. J. (2014). "Bacterial kidney disease of salmonid fish: new insights." *FEMS microbiology letters*, 34(3), 131-156.
- Engle, C. R., & Krishna, C. R. (2017). *Aquaculture Economics and Financing: Management and Analysis*. Springer
- Engle, C. R., & Webster, C. D. (2002). *Feeding and Nutrition of Fish*. *Aquaculture Series (Vol. 1)*. Springer.
- Erickson, H. S., Goodwin, A. E., & Pascho, R. J. (2012). *Biosecurity in Aquaculture Production Systems: Exclusion of Pathogens and Other Undesirables*. John Wiley & Sons.
- FAO (2018). *Guidelines for aquaculture certification*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- FAO (2018). Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO (2011). Aquaculture Operations in Floating HDPE Cages: A Field Handbook. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO (2022). Keadaan Perikanan dan Budidaya Dunia 2022. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fitzsimmons, K., & Fusco, A. J. (2019). Manajemen Akuakultur Intensif Terpadu. Penebar Swadaya.
- Hadi, S. (2019). Lingkungan Hidup dan Pembangunan Berkelanjutan. Jakarta: Kencana.
- Hardy, R. W. (Ed.). (2002). Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture. CABI Publishing.
- Hishamunda, N., Subasinghe, R. P., & Bueno, P. (Eds.). (2019). Sistem Pertanian Akuakultur: Panduan untuk Perencanaan dan Manajemen. Pustaka Pelajar.
- Kim, R., et al. (2015). "Virulence markers of infectious hematopoietic necrosis virus in aquaculture." *Diseases of aquatic organisms*, 117(2), 137-148.
- Lee, C. T., et al. (2015). "Emerging pathogen of EHP in cultured shrimp revealed by metagenomic and metatranscriptomic." *The ISME Journal*, 9(11), 2535-2546.
- Lotz, J. M., & Soto, M. A. (2009). "Modeling vertical transmission of white spot syndrome virus in shrimp." *Journal of invertebrate pathology*, 102(2), 204-208.

- Lotz, J. M., & Soto, M. A. (2011). "Modeling to optimize treatment strategies for managing early mortality syndrome on shrimp farms in Thailand." *Journal of invertebrate pathology*, 107(2), 219-226.
- Lovshin, L. L., & Libey, G. S. (2007). "Engineering and Operating Guide for Recirculating Aquaculture Systems."
- Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Primavera, J. H., Kautsky, N., Beveridge, M. C., Clay, J., & Troell, M. (2000). "Effect of aquaculture on world fish supplies." *Nature*, 405(6790), 1017-1024.
- Rakocy, J. E., Bailey, D. S., Shultz, R. C., & Thoman, E. S. (2004). Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. *Proceedings of the Fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, 551-558.
- Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2006). "Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture." SRAC Publication, 454.
- Rico, A., Van den Brink, P. J., & Gylstra, R. (2017). Emerging risks of chemicals associated with aquaculture. *Environment International*, 104, 73–90. [DOI:10.1016/j.envint.2017.04.004]
- Ridha, M. T., & Anshary, H. (2019). *Panduan Praktis Budidaya Ikan: Mulai dari Persiapan Kolam Hingga Panen*. Deepublish.
- Santosa, S. (2021). *Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan*. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.
- Setiadi, D., & Hadi, S. (2019). *Pengantar Bisnis*. Jakarta: Kencana.

- Soemarno, H., & Soemarno, S. (2020). *Teknologi Ramah Lingkungan: Konsep dan Aplikasi*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Subagio, H. (2018). *Pedoman Budidaya Ikan di Kolam Beton dan Tanah*. Penebar Swadaya.
- Sumodiningrat, G., & Hasan, R. (2018). *Ekonomi Sumber Daya Alam dan Lingkungan*. Bogor: IPB Press.
- Suwirya, K., & Arfah, A. (2020). *Panduan Budidaya Ikan dalam Kolam Tanah*. Rajawali Pers.
- Tacon, A. G. J. (1985). The management of feeding systems in semi-intensive pond fish culture. ICLARM Conference Proceedings (Vol. 13). International Center for Living Aquatic Resources Management.
- Tacon, A. G. J. (1987). The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp: a training manual. FAO Corporate Document Repository.
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2008). "Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects." *Aquaculture*, 285(1-4), 146-158.
- Taw, N. (2002). The use of probiotics in aquaculture. *Journal of Applied Microbiology*, 94(S1), 92S-96S.
- Tidwell, J. H. (2011). *Aquaculture Production Systems*. John Wiley & Sons.
- Tidwell, J. H., & Allan, G. L. (2001). *Fish as food: aquaculture's contribution. Ecological and Economic Impacts and Interactions of Aquaculture in Various Water and Socio-Economic Settings*.
- Tidwell, J. H., Allan, G. L., & Lutz, C. G. (2018). *Aquaculture Production Systems*. Wiley.

- Timmons, M. B., Ebeling, J. M., Wheaton, F. W., Summerfelt, S. T., & Vinci, B. J. (2002). "Recirculating Aquaculture Systems, 2nd Edition." Cayuga Aqua Ventures.
- Wibowo, S. (2020). Pembangunan Pertanian Berkelanjutan: Konsep, Prinsip, dan Aplikasi. Jakarta: Penebar Swadaya.

BAB 3

SISTEM TEKNOLOGI AKUAKULTUR BERBASIS BADAN AIR/WATER BASED (SEMI TERTUTUP DAN TERBUKA)

Oleh N a s u k i

3.1 Pengertian

Sistem akuakultur berbasis badan air adalah pendekatan dalam budidaya dan pemeliharaan organisme akuatik, seperti ikan, udang, atau tanaman air lainnya, yang menggunakan badan air sebagai elemen utama untuk menyediakan lingkungan hidup yang sesuai (Lembang and Kuing, 2021). Dalam sistem ini, badan air seperti tambak, kolam, atau waduk digunakan sebagai wadah utama di mana organisme akuatik ditempatkan dan dipelihara.

3.2 Konsep Dasar Sistem Akuakultur Berbasis Badan Air

1. **Pemanfaatan Lingkungan Alami:** Sistem ini memanfaatkan air dari lingkungan alami sebagai media utama untuk budidaya organisme akuatik. Dengan memanfaatkan badan air yang sudah ada, sistem ini dapat mengurangi dampak lingkungan dan biaya yang terkait dengan pembuatan lingkungan budidaya yang buatan (Utina, 2015).

2. **Sirkulasi dan Kualitas Air:** Meskipun sistem ini menggunakan air alami, tetapi biasanya dilengkapi dengan sistem sirkulasi yang mengatur aliran air dalam badan air. Sistem sirkulasi ini membantu menjaga kualitas air dengan memastikan distribusi oksigen yang cukup, penghilangan limbah organisme, dan pemeliharaan parameter air yang sesuai seperti suhu dan pH (Fadhil *et al.*, 2010).
3. **Pengendalian Kualitas Air:** Pengendalian kualitas air menjadi kunci dalam sistem ini. Hal ini termasuk pemantauan rutin terhadap parameter-parameter seperti kadar oksigen terlarut, amonia, nitrat, dan pH, serta tindakan perbaikan yang diperlukan untuk menjaga keseimbangan lingkungan yang optimal bagi organisme akuatik (Fatma *et al.*, 2023).
4. **Fleksibilitas Desain:** Sistem akuakultur berbasis badan air dapat dirancang dalam berbagai skala dan bentuk, mulai dari tambak tradisional hingga sistem semi tertutup yang dilengkapi dengan teknologi canggih seperti sistem pengolahan air terintegrasi dan kontrol otomatis (Adi *et al.*, 2023).
5. **Keberlanjutan:** Dengan memanfaatkan lingkungan alami dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya air, sistem akuakultur berbasis badan air dapat menjadi pilihan yang lebih berkelanjutan dibandingkan dengan sistem tertutup yang memerlukan penggunaan air yang sangat intensif dan pengeluaran energi yang tinggi (Rani and Cahyasari, 2015).
6. **Manfaat Lingkungan:** Selain menjadi sumber produksi pangan yang penting, sistem ini juga dapat memberikan manfaat lingkungan seperti peningkatan kualitas air, habitat untuk keanekaragaman hayati akuatik, dan pengelolaan lahan yang berkelanjutan (Siregar, 2023).

3.3 Tujuan dan Manfaat Sistem Akuakultur Berbasis Badan Air

Tujuan:

1. **Meningkatkan Produksi Akuakultur:** Salah satu tujuan utama dari sistem akuakultur berbasis badan air adalah untuk meningkatkan produksi organisme akuatik secara efisien dan berkelanjutan (Razi and Patekkai, 2020). Dengan menggunakan badan air alami, sistem ini dapat menyediakan lingkungan yang cocok untuk pertumbuhan dan kesehatan organisme akuatik.
2. **Mengoptimalkan Penggunaan Sumber Daya:** Sistem ini bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya alami seperti air, tanah, dan energi. Dengan memanfaatkan badan air yang sudah ada, penggunaan air dapat dikelola secara efisien dan dapat meminimalkan dampak lingkungan negative (Suryani, 2020).
3. **Meningkatkan Kesejahteraan Organisme Akuatik:** Salah satu tujuan utama dari teknologi akuakultur adalah untuk memastikan kesejahteraan dan kesehatan organisme akuatik yang dibudidayakan. Dengan memperhatikan parameter lingkungan yang penting seperti kualitas air dan suhu, sistem akuakultur berbasis badan air bertujuan untuk menciptakan lingkungan yang optimal bagi organisme akuatik. (Lestari, Nurliah and Larasati, 2018)
4. **Menyediakan Pangan Berkualitas:** Sistem ini juga bertujuan untuk menyediakan sumber daya pangan yang berkualitas tinggi bagi konsumen. Dengan memproduksi organisme akuatik yang sehat dan aman, sistem akuakultur berbasis badan air dapat membantu memenuhi kebutuhan pangan yang meningkat secara global (Putra *et al.*, no date).

Manfaat:

1. **Konservasi Sumber Daya:** Salah satu manfaat utama dari sistem akuakultur berbasis badan air adalah konservasi sumber daya alam. Dengan memanfaatkan badan air yang sudah ada, sistem ini dapat membantu mengurangi tekanan terhadap lingkungan alam dan dapat membantu menjaga keberlanjutan lingkungan (Christanto, 2014).
2. **Peningkatan Ekonomi Lokal:** Sistem ini juga dapat memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat lokal. Budidaya organisme akuatik dapat menjadi sumber penghasilan bagi petani lokal dan dapat membantu meningkatkan kesejahteraan ekonomi di daerah tersebut (Fadzila, 2022).
3. **Diversifikasi Produksi Pangan:** Dengan meningkatkan produksi organisme akuatik, sistem ini dapat membantu dalam diversifikasi produksi pangan. Organisme akuatik seperti ikan, udang, dan kerang dapat menjadi alternatif yang penting dalam memenuhi kebutuhan pangan global (PRASADI, no date).
4. **Pengurangan Risiko Penyakit:** Sistem akuakultur berbasis badan air dapat membantu mengurangi risiko penyebaran penyakit. Dengan memperhatikan kualitas air dan kondisi lingkungan, sistem ini dapat membantu mengurangi kemungkinan penyakit yang dapat mempengaruhi organisme akuatik yang dibudidayakan (Ariadi, 2020).
5. **Inovasi dan Pengembangan Teknologi:** Pengembangan sistem akuakultur berbasis badan air juga dapat mendorong inovasi dan pengembangan teknologi baru dalam industri akuakultur (Rani and Cahyasari, 2015). Hal ini dapat membantu meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi

dampak lingkungan dari industri ini secara keseluruhan.

3.4 Ekosistem badan air

Ekosistem badan air merupakan lingkungan alami yang kompleks dan dinamis yang terdiri dari air, organisme hidup (biota), dan faktor lingkungan lainnya yang saling berinteraksi (Kariada and Irsadi, 2014). Dalam konteks teknologi akuakultur, memahami ekosistem badan air sangat penting karena sistem ini menjadi habitat bagi organisme akuatik yang dibudidayakan. Berikut adalah penjelasan tentang ekosistem badan air dalam sistem teknologi akuakultur:

1. Komponen Utama Ekosistem Badan Air

- **Air:** Air adalah komponen utama dari ekosistem badan air. Kualitas air, termasuk suhu, pH, kekeruhan, oksigen terlarut, amonia, nitrat, fosfat, dan bahan organik lainnya, sangat mempengaruhi kesehatan dan pertumbuhan organisme akuatik (Hamuna, Tanjung and MAury, 2018).
- **Organisme Hidup (Biota):** Biota dalam ekosistem badan air mencakup berbagai jenis organisme hidup, seperti ikan, udang, moluska, plankton, dan makroalga. Interaksi antara organisme ini dengan lingkungan dan satu sama lain memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem (Jayawardana, 2023).
- **Substrat:** Substrat atau dasar badan air adalah tempat penempatan bagi organisme akuatik seperti tanaman air, bakteri, dan invertebrata. Substrat dapat mempengaruhi kualitas air, menyediakan habitat, dan memengaruhi reproduksi dan pertumbuhan organisme (Istaufa, 2022).
- **Nutrien:** Nutrien seperti nitrogen, fosfor, dan karbon merupakan komponen penting dalam ekosistem badan air karena digunakan oleh tanaman air dan organisme akuatik untuk pertumbuhan dan metabolisme (Laimeheriwa, 2017).

- **Faktor Abiotik:** Faktor abiotik lainnya seperti cahaya matahari, suhu udara, arus air, dan pola cuaca juga mempengaruhi ekosistem badan air. Perubahan dalam faktor-faktor ini dapat mempengaruhi dinamika ekosistem secara keseluruhan (Fitriyah, 2018).
- **Fungsi dan Peran Ekosistem Badan Air dalam Sistem Akuakultur:**
 - **Habitat:** Ekosistem badan air menyediakan habitat alami bagi organisme akuatik yang dibudidayakan. Ketersediaan tempat berlindung, makanan alami, dan ruang untuk pertumbuhan sangat penting bagi kesejahteraan organisme (Burhanuddin, 2018).
 - **Kualitas Air:** Kualitas air dalam ekosistem badan air secara langsung mempengaruhi kesehatan dan pertumbuhan organisme akuatik. Ekosistem yang seimbang akan mendukung parameter air yang optimal, seperti tingkat oksigen terlarut yang cukup dan rendahnya konsentrasi amonia dan nitrat (Maftuch and Suprastyani, 2022).
 - **Biologi dan Ekologi:** Interaksi antara organisme hidup, baik antar spesies maupun dengan lingkungan fisiknya, merupakan aspek penting dalam ekosistem badan air. Hubungan predator-mangsa, persaingan, dan siklus nutrisi memainkan peran dalam menjaga keseimbangan ekosistem (Sumarto and Koneri, 2016).
 - **Pengolahan Limbah:** Ekosistem badan air memiliki kemampuan alami untuk memproses limbah organik yang dihasilkan oleh organisme akuatik. Bakteri dan mikroorganisme lainnya membantu dalam dekomposisi limbah organik menjadi bahan nutrisi yang dapat digunakan kembali oleh organisme lainnya (Lestari, 2021).
 - **Resiliensi:** Ekosistem badan air yang sehat cenderung lebih tahan terhadap perubahan lingkungan dan serangan penyakit. Keberagaman biologis dan interaksi

yang kompleks dapat memberikan ketahanan terhadap gangguan eksternal (Lasaiba, 2023).

3.5 Peran air dalam pertumbuhan dan kelangsungan hidup organisme akuatik

Peran air dalam pertumbuhan dan kelangsungan hidup organisme akuatik dalam sistem teknologi akuakultur sangatlah signifikan. Air merupakan media utama di mana organisme hidup dan berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya (Kurniawan, 2018) . Berikut adalah penjelasan tentang peran air dalam pertumbuhan dan kelangsungan hidup organisme akuatik:

1. Oksigenasi

- **Pertukaran Gas:** Air adalah medium di mana oksigen terlarut (DO) dapat diserap oleh organisme akuatik melalui insang atau membran pernapasan mereka. Oksigen penting untuk proses respirasi, yang merupakan bagian kunci dari metabolisme organisme (Syafei, 2017).
- **Keselamatan Organisme:** Ketersediaan oksigen yang cukup di dalam air sangat penting untuk mencegah kondisi hipoksia atau anoksia yang dapat menyebabkan kematian organisme akuatik (Syafei, 2017).

2. Penyediaan Nutrisi:

- **Transportasi Nutrisi:** Air memungkinkan transportasi nutrisi seperti mineral, karbon dioksida, dan nutrisi lainnya ke organisme akuatik. Nutrisi ini diperlukan untuk pertumbuhan, metabolisme, dan fungsi fisiologis lainnya (Pane, Arfiati and Apriliyanti, 2023).
- **Keseimbangan Kualitas Air:** Ketersediaan nutrisi dalam air harus diatur dengan baik agar tidak menyebabkan eutrofikasi atau masalah kualitas air lainnya yang dapat memengaruhi organisme akuatik.

3. Suhu

- **Stabilitas Suhu:** Air memiliki kapasitas termal yang tinggi, sehingga lebih lambat bereaksi terhadap perubahan suhu lingkungan dibandingkan dengan udara. Ini membantu menjaga suhu air tetap relatif stabil, yang penting untuk kesehatan dan kenyamanan organisme akuatik (Hamid, Dayana and Si, no date).
- **Toleransi Suhu:** Organisme akuatik memiliki rentang suhu yang lebih sempit yang dapat mereka toleransi. Air yang terlalu panas atau terlalu dingin dapat menyebabkan stres termal dan bahkan kematian bagi organisme yang tidak dapat beradaptasi (Zahroh, no date).

4. Pengaturan pH dan Kehidupan

- **pH Air:** Air memiliki kemampuan untuk mengatur pH melalui reaksi kimia dengan ion-ion terlarut. pH yang sesuai dalam air penting untuk fungsi enzimatik, pertumbuhan, dan kesehatan organisme akuatik (Setyaningsih, 2019).
- **Ketersediaan Ion:** Ion-ion dalam air, seperti kalsium, magnesium, dan fosfat, penting untuk struktur tulang, pertumbuhan jaringan, dan fungsi fisiologis lainnya pada organisme akuatik (Putri, 2023).

5. Keselamatan dan Perlindungan

- **Pelembutan Tubuh:** Air menyediakan dukungan dan pelembutan bagi organisme akuatik. Ini mengurangi tekanan dan potensi cedera fisik pada organisme yang mungkin terjadi di lingkungan darat.
- **Proteksi Terhadap Predator:** Air juga dapat memberikan perlindungan terhadap predator bagi organisme akuatik, karena banyak predator darat tidak mampu bergerak dengan leluasa di dalam air.

3.6 Komponen Utama Sistem Akuakultur Berbasis Badan Air

1. Badan Air (Tambak, Kolam, Waduk)

Badan air, termasuk tambak, kolam, dan waduk, adalah komponen utama dalam sistem akuakultur berbasis badan air. Mereka menyediakan lingkungan tempat organisme akuatik dibudidayakan dan berkembang (Kartini and Permana, 2016). Berikut adalah penjelasan rinci tentang peran dan karakteristik masing-masing badan air dalam konteks teknologi akuakultur:

a. Tambak:

Tambak adalah saluran air yang dibangun di daratan atau di dekat pantai dan digunakan untuk budidaya organisme akuatik seperti ikan, udang, dan moluska (Ahmad, Sasmito and Ah, 2016).

Mereka memberikan ruang yang luas untuk pertumbuhan organisme akuatik dengan memanfaatkan air laut atau air tawar yang tersedia di daerah pesisir.

Karakteristik:

- **Air:** Biasanya menggunakan air laut atau air tawar yang diperoleh dari aliran sungai atau mata air.
- **Pembatas:** Dapat memiliki tanggul atau terusan air untuk mengontrol volume air dan mengelola pasang-surut air laut.
- **Pengaturan Sirkulasi:** Bisa memiliki pintu air untuk mengatur aliran air dan memperbarui pasokan oksigen ke dalam tambak.
- **Substrat:** Dasar tambak biasanya berupa tanah liat, pasir, atau kerikil, yang memberikan tempat

bagi organisme akuatik untuk mencari makan dan mencari tempat berlindung.

- **Pengelolaan Lingkungan:** Tambak membutuhkan manajemen yang cermat terhadap kualitas air, suhu, dan salinitas untuk mendukung pertumbuhan dan kelangsungan hidup organisme akuatik.

b. Kolam:

Kolam adalah struktur air buatan yang digunakan untuk budidaya ikan, udang, dan tanaman air lainnya di daratan (Ahmad, Sasmito and Ah, 2016). Mereka dapat dibangun dengan berbagai ukuran dan bentuk, dari kolam kecil hingga kolam besar, tergantung pada skala operasi dan jenis organisme yang dibudidayakan.

Karakteristik

- **Fleksibilitas Desain:** Kolam dapat dirancang dengan berbagai ukuran, bentuk, dan kedalaman tergantung pada kebutuhan budidaya dan kondisi lingkungan.
- **Air:** Biasanya menggunakan air tawar yang diperoleh dari sumber seperti sumur, sungai, atau mata air.
- **Pengelolaan Suhu:** Kolam terbuka lebih rentan terhadap fluktuasi suhu, tetapi penggunaan penutup atau sistem pemanas dapat membantu menjaga suhu air tetap stabil.
- **Pemeliharaan Lingkungan:** Pembersihan dan pemeliharaan rutin kolam penting untuk mencegah pertumbuhan alga berlebihan dan penumpukan limbah organisme.

c. Waduk

Waduk adalah badan air buatan yang besar yang biasanya digunakan untuk budidaya ikan air tawar dalam skala besar (Kartini and Permana, 2016). Mereka memberikan ruang yang luas untuk pertumbuhan dan berkembang biaknya ikan, serta dapat memiliki berbagai jenis habitat termasuk perairan dangkal, dalam, dan tepi.

Karakteristik

- **Ukuran dan Kedalaman:** Waduk biasanya memiliki ukuran yang besar dan kedalaman yang bervariasi, menciptakan habitat yang luas untuk ikan.
- **Sumber Air:** Air untuk waduk biasanya berasal dari sungai, aliran air, atau air hujan yang terkumpul dalam waduk.
- **Kontrol Lingkungan:** Waduk sering dilengkapi dengan sistem kontrol lingkungan seperti aerasi dan sistem filtrasi untuk menjaga kualitas air dan oksigenasi yang optimal.
- **Manajemen Hidrologi:** Pengelolaan air di waduk termasuk manajemen pasokan air, pengaturan aliran, dan kontrol pasang-surut air.

2. Sistem Sirkulasi Air

Sistem sirkulasi air merupakan komponen kritis dalam sistem akuakultur yang bertujuan untuk memastikan distribusi oksigen yang cukup, penghilangan limbah organisme, dan pemeliharaan parameter lingkungan air yang optimal untuk pertumbuhan dan kesehatan organisme akuatik (Handayani and 2018, 2018). Berikut adalah penjelasan rinci tentang sistem sirkulasi air dalam konteks akuakultur:

a. Pompa Air

- **Peran:** Pompa air digunakan untuk mengalirkan air dari sumbernya (misalnya, tambak, kolam, atau waduk) ke berbagai komponen sistem seperti tangki pembesaran ikan atau filter.
- **Jenis:** Ada berbagai jenis pompa air, termasuk pompa sentrifugal, pompa submersible, dan pompa udara, yang dipilih berdasarkan kebutuhan spesifik sistem.

b. Filter dan Penyaringan

- **Peran:** Filter digunakan untuk menghilangkan partikel-partikel padat dan materi organik dari air yang dapat mengganggu kualitas air dan kesehatan organisme akuatik (Fauzzia, Izza and Nyoman, 2013).
- **Jenis:** Filter mekanis, biologis, dan kimia sering digunakan dalam sistem akuakultur untuk membersihkan air dari limbah organisme dan bahan pencemar lainnya.

c. Aerasi dan Oksigenasi

- **Peran:** Proses aerasi dan oksigenasi penting untuk memastikan ketersediaan oksigen yang cukup di dalam air. Ini dilakukan dengan menginfuskan udara ke dalam air menggunakan aerator atau melalui gelembung udara (Novia and Febrina, 2018).
- **Teknik:** Beberapa teknik aerasi termasuk aerasi permukaan, aerasi gelembung, dan aerasi menggunakan pengaduk air untuk meningkatkan kontak antara udara dan air.

d. Pemisahan Gas

- **Peran:** Beberapa sistem akuakultur menggunakan teknologi pemisahan gas untuk menghilangkan gas-gas berbahaya seperti amonia dan karbon dioksida dari air.

- **Metode:** Teknik pemisahan gas dapat melibatkan kolom stripping, biofilter, atau penggunaan zat penyerap seperti zeolit atau karbon aktif.

e. Pengaturan Aliran Air

- **Peran:** Pengaturan aliran air penting untuk memastikan distribusi yang merata dari air di seluruh sistem, memastikan ketersediaan oksigen yang cukup, dan mencegah stagnasi air.
- **Teknik:** Pengaturan aliran air dapat dicapai melalui penggunaan saluran air, pipa, dan katup kontrol yang dipasang di berbagai titik dalam sistem.

f. Sistem Pemompaan Kembali

- **Peran:** Sistem pemompaan kembali digunakan untuk mengembalikan air yang sudah disaring dan disirkulasikan kembali ke badan air utama atau tangki pembesaran ikan setelah melalui proses pemurnian dan oksigenasi.
- **Keberlanjutan:** Sistem pemompaan kembali membantu dalam mengurangi konsumsi air dan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya.

g. Pemantauan dan Pengendalian Otomatis

- **Peran:** Sistem sirkulasi air sering dilengkapi dengan sensor dan kontrol otomatis untuk memantau parameter lingkungan seperti suhu, pH, oksigen terlarut, dan kualitas air lainnya.
- **Keuntungan:** Pemantauan otomatis memungkinkan pengguna untuk menanggapi perubahan kondisi air dengan cepat dan secara efisien.

3. Pengelolaan Kualitas Air

Pengelolaan kualitas air adalah aspek penting dalam sistem teknologi akuakultur yang bertujuan untuk menjaga parameter lingkungan air pada level yang optimal bagi

pertumbuhan dan kesehatan organisme akuatik yang dibudidayakan (ZA., Muchlisin, 2019). Berikut adalah penjelasan tentang pengelolaan kualitas air dalam konteks akuakultur:

a. Pemantauan Parameter Kualitas Air:

- **Parameter Utama:** Beberapa parameter kualitas air yang biasanya dimonitor meliputi suhu, pH, oksigen terlarut (DO), amonia, nitrit, nitrat, fosfat, turbiditas, dan bahan organik terlarut.
- **Frekuensi Pemantauan:** Pemantauan parameter-parameter ini biasanya dilakukan secara teratur menggunakan peralatan pengukur atau tes kimia, dengan frekuensi yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik sistem dan kondisi budidaya.

b. Manajemen Kepadatan Populasi:

- **Kepadatan Optimal:** Kepadatan populasi organisme akuatik harus dipertimbangkan agar tidak terlalu padat sehingga menyebabkan masalah kualitas air seperti penurunan oksigen terlarut dan peningkatan konsentrasi limbah organisme.
- **Monitor dan Kontrol:** Kepadatan populasi harus dimonitor secara teratur dan diatur sesuai kebutuhan dengan cara pengurangan populasi atau penggunaan sistem filtrasi yang tepat.

c. Pengendalian Pemakanan:

- **Pemakanan yang Tepat:** Pemberian pakan harus diatur dengan cermat agar tidak melebihi kapasitas penguraian organisme akuatik atau menyebabkan peningkatan konsentrasi nutrisi dalam air.
- **Teknologi Pemberian Pakan:** Penggunaan teknologi pemberian pakan seperti pakan terapung atau pakan yang larut secara lambat

dapat membantu mengurangi limbah pakan yang tidak dikonsumsi.

d. Sistem Filtrasi dan Pemurnian Air:

- **Filter Mekanis:** Filter mekanis digunakan untuk menghilangkan partikel padat dan materi organik dari air.
- **Filter Biologis:** Filter biologis digunakan untuk menguraikan amonia dan nitrit menjadi senyawa yang kurang beracun.
- **Filter Kimia:** Filter kimia seperti karbon aktif atau zeolit dapat digunakan untuk menghilangkan zat-zat kimia berbahaya dari air.

e. Aerasi dan Oksigenasi:

- **Pentingnya Oksigenasi:** Sistem aerasi dan oksigenasi digunakan untuk memastikan ketersediaan oksigen yang cukup di dalam air, terutama pada kondisi dengan tingkat oksigen terlarut yang rendah.
- **Aerasi Gelembung:** Aerasi gelembung atau penggunaan aerator dapat membantu meningkatkan oksigen terlarut dalam air dengan menyebarkan gelembung udara di seluruh kolom air.

f. Pengelolaan Limbah:

- **Pengendalian Ammonia dan Nitrit:** Pengelolaan limbah organisme, terutama amonia dan nitrit, sangat penting karena dapat menjadi racun bagi organisme akuatik (Indrian et al., 2023).
- **Sistem Nitrifikasi:** Proses nitrifikasi melibatkan konversi amonia menjadi nitrit dan nitrit menjadi nitrat melalui aktivitas bakteri, yang memungkinkan pengelolaan limbah yang lebih baik (Indrian et al., 2023).

g. Pemeliharaan Sistem:

Pemeliharaan rutin dan pembersihan sistem seperti membersihkan filter, mengganti air secara berkala, dan membersihkan tambak atau kolam dari sisa makanan dan limbah organisme penting untuk menjaga kualitas air yang optimal.

h. Pengendalian Suhu dan Pencahayaan

Pengendalian suhu dan pencahayaan merupakan aspek penting dalam sistem teknologi akuakultur yang mempengaruhi pertumbuhan, reproduksi, dan kesehatan organisme akuatik yang dibudidayakan. Berikut adalah penjelasan tentang pengendalian suhu dan pencahayaan dalam konteks akuakultur:

a. Pengendalian Suhu:

- **Peran:** Suhu air merupakan faktor lingkungan yang penting dalam regulasi metabolisme, pertumbuhan, dan aktivitas biologis organisme akuatik.
- **Pengaturan:** Pengaturan suhu air dapat dilakukan dengan menggunakan pemanas atau pendingin air, tergantung pada kondisi lingkungan dan kebutuhan organisme yang dibudidayakan.
- **Rentang Suhu Optimal:** Setiap spesies organisme akuatik memiliki rentang suhu yang optimal untuk pertumbuhan dan kesehatannya. Pemantauan dan pengendalian suhu yang tepat penting untuk memastikan lingkungan yang sesuai.

b. Pencahayaan:

- **Peran:** Pencahayaan berperan penting dalam regulasi siklus hidup, reproduksi, dan perilaku organisme akuatik seperti pola makan dan aktivitas berenang.

- **Pengaturan:** Pencahayaan dalam akuakultur dapat diatur menggunakan pencahayaan alami atau lampu buatan, tergantung pada spesies yang dibudidayakan dan kondisi lingkungan.
 - **Intensitas dan Durasi:** Intensitas dan durasi pencahayaan dapat diatur untuk menirukan siklus alami cahaya dan gelap atau untuk memicu fase reproduksi tertentu pada organisme akuatik.
- i. **Pengaruh Lingkungan:**
- **Pengaruh Cuaca dan Musim:** Perubahan musim dan fluktuasi cuaca dapat memengaruhi suhu air dan intensitas cahaya dalam sistem akuakultur. Pengendalian suhu dan pencahayaan dapat membantu menjaga stabilitas lingkungan.
 - **Pengaruh Geografis:** Lokasi geografis dari fasilitas akuakultur juga memainkan peran dalam suhu air dan pencahayaan yang tersedia. Faktor-faktor ini perlu dipertimbangkan dalam perencanaan dan pengelolaan sistem.
- j. **Pengelolaan Energi:**
- **Efisiensi Energi:** Pengendalian suhu dan pencahayaan dalam akuakultur memerlukan konsumsi energi yang signifikan. Pemilihan teknologi yang efisien energi dan praktik pengelolaan yang tepat dapat membantu mengurangi biaya operasional.
 - **Pemanfaatan Energi Terbarukan:** Penggunaan energi terbarukan seperti panel surya atau sistem pemanas air matahari dapat menjadi alternatif yang ramah lingkungan untuk menyediakan suhu dan pencahayaan yang diperlukan.

k. Pengelolaan Stres:

- **Stres Suhu:** Fluktuasi suhu yang ekstrem atau perubahan suhu yang tiba-tiba dapat menyebabkan stres pada organisme akuatik dan meningkatkan risiko penyakit atau kematian.
- **Stres Cahaya:** Pemaparan terlalu lama atau terlalu intens terhadap cahaya juga dapat menyebabkan stres pada organisme akuatik dan mempengaruhi kesehatan dan perilaku mereka.

3.7 Sistem Akuakultur Berbasis Badan Air Terpadu

1. Integrasi Budidaya Multi-Spesies

Integrasi Budidaya Multi-Spesies merupakan konsep di mana dua atau lebih spesies organisme akuatik yang berbeda dibudidayakan secara bersamaan dalam satu sistem budidaya. Tujuan utamanya adalah menciptakan hubungan simbiotik yang saling menguntungkan antara spesies-spesies yang dibudidayakan tersebut. Integrasi Budidaya Multi-Spesies menggabungkan prinsip-prinsip ekologi untuk menciptakan sistem budidaya yang lebih efisien, berkelanjutan, dan tangguh terhadap gangguan lingkungan. Dengan memanfaatkan hubungan simbiotik antara spesies-spesies yang berbeda, integrasi ini dapat memberikan manfaat yang signifikan bagi petani akuakultur, termasuk peningkatan produktivitas, pengurangan limbah, dan pengendalian hama dan penyakit. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut beserta contoh integrasi budidaya multi-spesies dalam sistem teknologi akuakultur:

a. Pengertian

- **Pemanfaatan Ruang yang Efisien:** Memanfaatkan berbagai tingkat pertumbuhan dan zona air dalam satu sistem untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi ruang budidaya.
- **Pemanfaatan Sumber Daya:** Memanfaatkan sumber daya alam dan limbah organisme satu spesies sebagai input bagi pertumbuhan organisme lainnya, sehingga meminimalkan limbah dan meningkatkan keberlanjutan budidaya.
- **Kontrol Hama dan Penyakit:** Menciptakan sistem yang lebih stabil secara ekologis dengan memanfaatkan interaksi antara spesies-spesies yang berbeda untuk mengendalikan hama dan penyakit.

b. Contoh Integrasi Budidaya Multi-Spesies:

- **Pertanian Ikan dengan Tanaman:** Pada pertanian ikan dan tanaman (aquaponics), ikan dibiakkan bersama tanaman sayuran dalam satu sistem tertutup. Kotoran ikan memberikan nutrisi bagi tanaman, sementara tanaman menyediakan filter alami untuk membersihkan air yang akan kembali ke tangki ikan.
- **Pertanian Ikan dengan Udang:** Dalam sistem ini, ikan yang dibiakkan bersama udang. Kotoran ikan menyediakan sumber makanan untuk udang, sementara udang membersihkan air dengan memakan sisa makanan ikan dan meminimalkan risiko penyakit.
- **Budidaya Ikan dengan Moluska:** Budidaya ikan seperti bandeng atau tilapia dapat diintegrasikan dengan budidaya kerang atau tiram. Kotoran ikan memberikan sumber makanan bagi moluska, sementara moluska membantu membersihkan air dari limbah organik dan sisa pakan ikan.

- **Budidaya Ikan dengan Tanaman Air dan Kepiting:** Budidaya ikan dapat dipadukan dengan budidaya tanaman air seperti eceng gondok dan budidaya kepiting air tawar. Tanaman air dapat menyediakan tempat persembunyian dan sumber makanan bagi kepiting, sementara kepiting membantu membersihkan tambak dengan memakan sisa pakan ikan dan tanaman air yang mati.

2. Pemanfaatan Teknologi Cerdas dalam Sistem

Pemanfaatan Teknologi Cerdas (atau disebut juga dengan teknologi AI, IoT, dan teknologi terkait lainnya) dalam sistem teknologi akuakultur memberikan kemungkinan untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan industri akuakultur. Teknologi cerdas juga memungkinkan adopsi model bisnis baru dan penciptaan nilai tambah dalam industri akuakultur secara keseluruhan. Berikut adalah beberapa cara di mana teknologi cerdas diterapkan dalam sistem teknologi akuakultur:

a. Pemantauan Lingkungan:

- **Sensor:** Pemasangan sensor untuk memantau parameter lingkungan seperti suhu, pH, oksigen terlarut, amonia, nitrit, nitrat, dan kecerahan air secara real-time.
- **Internet of Things (IoT):** Menghubungkan sensor-sensor tersebut ke jaringan IoT untuk mengirimkan data secara otomatis ke pusat kontrol atau ke platform online yang dapat diakses oleh petani.

b. Prediksi dan Analisis:

- **Artificial Intelligence (AI):** Penggunaan teknologi AI untuk menganalisis data sensor dan menghasilkan prediksi terkait kondisi lingkungan

di masa mendatang, potensi risiko penyakit, atau kebutuhan pakan organisme akuatik.

- **Big Data Analytics:** Analisis data besar yang dihasilkan dari sensor dan data historis untuk mengidentifikasi tren, pola, dan korelasi yang dapat memberikan wawasan berharga bagi pengambilan keputusan.

c. Automatisasi dan Kontrol:

- **Sistem Kontrol Otomatis:** Integrasi sistem kontrol otomatis yang dapat mengatur parameter lingkungan seperti suhu, aerasi, dan pemberian pakan berdasarkan pada data sensor dan prediksi AI.
- **Pemantauan Pemeliharaan:** Sistem cerdas juga dapat memantau kesehatan dan kondisi peralatan seperti pompa, aerator, dan filter untuk mendeteksi kerusakan atau kegagalan operasional.

d. Optimalisasi Pakan dan Nutrisi:

- **Sistem Pemberian Pakan Otomatis:** Pemberian pakan yang tepat waktu dan jumlah berdasarkan pada kebutuhan organisme akuatik dan kondisi lingkungan yang diprediksi.
- **Pengelolaan Nutrisi:** Analisis AI untuk merancang formulasi pakan yang optimal, serta pemantauan dan kontrol nutrisi dalam air untuk meningkatkan pertumbuhan dan kesehatan organisme.

e. Pengendalian Hama dan Penyakit:

- **Pemantauan Kesehatan Hewan:** Teknologi AI dapat digunakan untuk mengidentifikasi gejala penyakit atau infestasi hama pada organisme akuatik berdasarkan pada citra atau data sensor.
- **Sistem Diagnostik:** Pengembangan sistem diagnostik berbasis AI yang dapat memberikan

rekomendasi pengobatan atau langkah-langkah pengendalian yang tepat.

f. Integrasi Vertikal dan Horizontal:

- **Integrasi Sistem:** Penggunaan teknologi cerdas untuk mengintegrasikan berbagai aspek budidaya akuakultur, termasuk pemantauan lingkungan, manajemen nutrisi, pemeliharaan kesehatan, dan operasi sistem secara keseluruhan.
- **Kolaborasi Industri:** Integrasi vertikal dan horizontal antara perusahaan akuakultur dengan penyedia teknologi cerdas, institusi riset, dan lembaga pemerintah untuk pertukaran data dan pengembangan solusi inovatif.

3. Penggunaan Energi Terbarukan dan Efisiensi Sumber Daya

Penggunaan energi terbarukan dan efisiensi sumber daya adalah aspek penting dalam pengelolaan sistem teknologi akuakultur yang berkelanjutan. sistem teknologi akuakultur dapat menjadi lebih efisien dalam penggunaan energi dan sumber daya, mengurangi jejak lingkungan, dan menciptakan operasi yang lebih berkelanjutan secara ekonomi. Selain itu, penggunaan energi terbarukan juga dapat membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan mengurangi dampak perubahan iklim. Berikut adalah beberapa cara di mana energi terbarukan dan efisiensi sumber daya dapat diterapkan dalam konteks akuakultur:

a. Energi Terbarukan:

- **Pemanfaatan Tenaga Matahari:** Instalasi panel surya atau sistem pemanas air matahari untuk memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi alternatif untuk operasi sistem akuakultur, termasuk pemanasan air dan penyediaan daya listrik.

- **Tenaga Angin:** Penggunaan turbin angin untuk menghasilkan listrik di lokasi-lokasi yang memiliki potensi angin yang cukup untuk menyediakan energi listrik bagi sistem akuakultur.
 - **Hidroenergi:** Pemanfaatan energi hidrokinetik dari arus air, sungai, atau air pasang-surut untuk menghasilkan listrik atau memompa air dalam sistem akuakultur.
- b. Efisiensi Energi:**
- **Penggunaan Pompa yang Efisien:** Memilih pompa air yang efisien energi dan memastikan bahwa pompa hanya beroperasi ketika diperlukan, dengan memanfaatkan sensor dan kontrol otomatis.
 - **Optimisasi Sistem Pencahayaan:** Menggunakan lampu LED yang hemat energi untuk penerangan dalam sistem akuakultur, serta mengatur durasi dan intensitas pencahayaan sesuai dengan kebutuhan organisme akuatik.
 - **Pengelolaan Suhu:** Menggunakan isolasi yang baik pada tangki atau kolam untuk mempertahankan suhu air secara efisien, serta memanfaatkan teknologi pemanas air yang efisien.
- c. Manajemen Air yang Efisien:**
- **Penggunaan Sistem Rekayasa Ulang:** Penerapan teknik rekayasa ulang air untuk mendaur ulang dan memanfaatkan kembali air yang digunakan dalam sistem akuakultur, mengurangi kebutuhan akan air segar dan energi untuk memompanya.
 - **Pengaturan Aliran Air yang Efisien:** Mengoptimalkan pengaturan aliran air dalam sistem untuk memastikan distribusi yang merata dan efisien, serta meminimalkan kehilangan air melalui evaporasi dan penyaluran berlebih.

d. Pengelolaan Limbah:

- **Pemanfaatan Limbah sebagai Sumber Energi:** Pemanfaatan limbah organisme akuatik dan limbah organik lainnya sebagai bahan bakar untuk produksi biogas atau sebagai bahan baku dalam pembangkit energi biomassa.
- **Pengolahan Limbah yang Efisien:** Penggunaan sistem pengolahan limbah seperti filter biologis dan sistem perlakuan air limbah untuk mengurangi dampak limbah terhadap kualitas air lingkungan.

e. Edukasi dan Kesadaran:

- **Pelatihan dan Pendidikan:** Memberikan pelatihan kepada petani akuakultur tentang teknik dan praktik-praktik yang efisien dalam penggunaan energi dan sumber daya, serta pentingnya keberlanjutan dalam operasi budidaya mereka.
- **Promosi Teknologi Hijau:** Mendorong adopsi teknologi dan praktik budidaya yang ramah lingkungan dan berkelanjutan melalui kampanye informasi dan promosi, serta insentif keuangan untuk investasi dalam teknologi terbarukan.

3.8 Tantangan dan Solusi dalam Sistem Akuakultur Berbasis Badan Air

1. Masalah Umum dan Risiko yang Mungkin Muncul

a. Kualitas Air yang Buruk:

Pencemaran: Pencemaran air oleh limbah organisme, sisa pakan, atau bahan kimia dapat menyebabkan penurunan kualitas air yang dapat mempengaruhi kesehatan dan pertumbuhan organisme akuatik.

Tingkat Oksigen Terlarut Rendah: Kurangnya oksigen terlarut dalam air dapat mengakibatkan stres oksigen bagi organisme, bahkan kematian massal jika tidak segera ditangani (Syafei, 2017).

b. Penyebaran Penyakit:

Penularan Patogen: Kelembaban dan suhu air yang optimal dalam sistem akuakultur dapat menjadi tempat yang ideal untuk pertumbuhan bakteri, virus, atau parasit yang dapat menyebabkan penyakit pada organisme akuatik (Novriadi, 2014).

Ketahanan Genetik Rendah: Organisme akuatik yang dipelihara dalam kepadatan tinggi rentan terhadap infeksi dan penyebaran penyakit.

c. Kepadatan Populasi yang Tinggi:

Kompetisi: Kepadatan populasi yang tinggi dapat menyebabkan persaingan sumber daya, seperti makanan dan ruang hidup, yang dapat menghambat pertumbuhan dan kesehatan organisme akuatik (Wilayah *et al.*, 2021).

Stress: Organisme akuatik yang dipelihara dalam kepadatan tinggi mungkin mengalami stres, yang dapat meningkatkan risiko penyakit dan menurunkan produksi (Novriadi, 2014)

d. Gangguan Lingkungan:

Perubahan Iklim: Fluktuasi suhu, pola cuaca ekstrem, dan perubahan iklim lainnya dapat mengganggu kondisi lingkungan dan mempengaruhi keseimbangan ekosistem akuakultur.

Pencemaran Lingkungan: Limbah dari sistem akuakultur atau kebocoran bahan kimia dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang merugikan organisme akuatik dan ekosistem sekitarnya.

e. Masalah Teknis:

Kerusakan Peralatan: Kerusakan atau kegagalan peralatan seperti pompa air, aerasi, atau filter dapat mengganggu operasi budidaya dan menyebabkan penurunan kualitas air.

Kegagalan Listrik: Gangguan pasokan listrik dapat mengganggu sistem sirkulasi air dan pengendalian lingkungan, mengakibatkan kematian massal atau kerugian produksi.

f. Perubahan Kualitas Air Laut:

Perubahan Salinitas: Fluktuasi salinitas air laut dapat memengaruhi organisme akuatik yang peka terhadap perubahan kadar garam, seperti udang dan kerang.

Pemanasan Global: Pemanasan global dapat menyebabkan peningkatan suhu air laut, perubahan pH, dan perubahan pola aliran laut yang dapat mengganggu ekosistem akuatik.

g. Invasi Spesies Asing:

Spesies Invasif: Masuknya spesies invasif ke dalam sistem akuakultur dapat mengganggu keseimbangan ekosistem dan bersaing dengan spesies lokal, mengancam keberlanjutan budidaya.

2. Strategi Penanggulangan Masalah dan Peningkatan Kinerja

Penanggulangan masalah dalam sistem akuakultur memerlukan pendekatan yang holistik dan terintegrasi untuk mengatasi tantangan yang muncul. Dengan menerapkan strategi secara efektif, petani akuakultur dapat meningkatkan keberhasilan operasi budidaya mereka, mengurangi risiko masalah dan penyakit, serta meningkatkan keberlanjutan sistem secara keseluruhan. Berikut adalah beberapa strategi penanggulangan yang dapat diterapkan dalam sistem akuakultur:

a. Pemantauan Rutin:

- **Pemantauan Parameter Lingkungan:** Melakukan pemantauan rutin terhadap parameter lingkungan seperti suhu, pH, oksigen terlarut, amonia, nitrit, nitrat, dan kecerahan air untuk mendeteksi perubahan yang dapat mengindikasikan masalah potensial.

b. Manajemen Kepadatan Populasi:

- **Kendalikan Kepadatan:** Memantau dan mengendalikan kepadatan populasi organisme akuatik untuk mencegah persaingan sumber daya dan penyebaran penyakit.

c. Biosekuriti:

- **Praktik Kebersihan:** Menerapkan praktik kebersihan yang ketat, seperti disinfeksi peralatan, perlengkapan, dan fasilitas, serta menghindari masuknya spesies asing atau patogen ke dalam sistem akuakultur.

d. Pengendalian Hama dan Penyakit:

- **Vaksinasi:** Jika memungkinkan, memberikan vaksin kepada organisme akuatik untuk meningkatkan ketahanan mereka terhadap penyakit.
- **Pengobatan:** Menggunakan pengobatan yang tepat saat terjadi serangan penyakit, dengan memperhatikan dosis yang tepat dan masa penarikan obat.

e. Penggunaan Teknologi Cerdas:

- **Penerapan Sensor dan Sistem Otomatis:** Menggunakan teknologi cerdas untuk pemantauan dan pengendalian otomatis parameter lingkungan seperti suhu, oksigen terlarut, dan pemberian pakan untuk meminimalkan risiko.

f. Diversifikasi:

- **Integrasi Multi-Spesies:** Menerapkan integrasi budidaya multi-spesies untuk mengurangi risiko kegagalan total produksi dan meningkatkan kestabilan sistem secara keseluruhan.

g. Pemeliharaan Rutin:

- **Perawatan Peralatan:** Melakukan pemeliharaan rutin terhadap peralatan dan infrastruktur, termasuk pembersihan filter, penggantian komponen yang aus, dan pemeriksaan sistem sirkulasi air.

h. Pendidikan dan Pelatihan:

- **Penyuluhan:** Memberikan pendidikan dan pelatihan kepada petani akuakultur tentang praktik budidaya yang baik, termasuk pengelolaan lingkungan, manajemen penyakit, dan penerapan teknologi cerdas.

i. Responsif Terhadap Perubahan:

- **Perencanaan Krisis:** Menyiapkan rencana respons darurat untuk menghadapi situasi darurat seperti kekurangan oksigen, serangan penyakit, atau gangguan listrik.
- **Pengambilan Keputusan Berbasis Data:** Menggunakan data dan informasi yang terkumpul untuk membuat keputusan yang tepat waktu dalam menangani masalah yang muncul.

3.9 Potensi Sistem Akuakultur Berbasis Badan Air

Sistem akuakultur berbasis badan air memiliki potensi besar untuk berkontribusi pada keberlanjutan pangan, ekonomi, dan lingkungan di masa yang akan datang. Berikut adalah

beberapa potensi yang dapat diharapkan dari perkembangan sistem akuakultur berbasis badan air di masa yang akan datang:

1. Peningkatan Produksi Pangan:

- **Kapasitas Produksi yang Tinggi:** Sistem akuakultur berbasis badan air memiliki kapasitas produksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode budidaya konvensional, karena memanfaatkan lebih efisien ruang air yang tersedia.
- **Diversifikasi Produksi:** Memungkinkan diversifikasi produksi pangan dengan menumbuhkan berbagai jenis organisme akuatik seperti ikan, udang, kerang, dan tanaman air, yang dapat meningkatkan ketahanan pangan lokal.

2. Peningkatan Efisiensi Sumber Daya:

- **Pemanfaatan Ruang yang Efisien:** Dengan memanfaatkan ruang air secara efisien, sistem akuakultur berbasis badan air dapat meningkatkan efisiensi penggunaan lahan dan air.
- **Energi Terbarukan:** Adopsi energi terbarukan seperti panel surya, turbin angin, atau teknologi lainnya dapat mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan meningkatkan keberlanjutan operasi.

3. Peningkatan Teknologi dan Inovasi:

- **Pengembangan Teknologi Cerdas:** Terobosan dalam teknologi cerdas seperti pemantauan otomatis, analisis big data, dan sistem kontrol pintar akan meningkatkan efisiensi operasional dan memperkuat manajemen risiko.
- **Penggunaan Bioreaktor:** Penggunaan bioreaktor dalam akuakultur berbasis badan air dapat meningkatkan produksi organisme akuatik dengan mempertahankan kualitas air yang optimal.

4. Penyelarasan dengan Prinsip Keberlanjutan:

- **Pengelolaan Lingkungan yang Lebih Baik:** Dengan memanfaatkan teknologi biofiltrasi, penggunaan energi

terbarukan, dan praktik budidaya yang ramah lingkungan, sistem akuakultur dapat menyelaraskan produksi dengan prinsip-prinsip keberlanjutan.

- **Peran dalam Ketahanan Iklim:** Sistem akuakultur berbasis badan air dapat berkontribusi pada ketahanan iklim dengan memanfaatkan sumber daya air secara efisien dan meminimalkan dampak terhadap lingkungan.

5. Peningkatan Akses dan Distribusi Pangan:

- **Produksi Lokal:** Akuakultur berbasis badan air dapat memungkinkan produksi pangan lokal yang lebih besar, mengurangi ketergantungan pada impor dan meningkatkan akses masyarakat terhadap pangan segar dan berkualitas.
- **Distribusi yang Efisien:** Sistem akuakultur dapat didirikan di daerah perkotaan atau pedesaan, memungkinkan distribusi yang lebih efisien dan mengurangi biaya logistik.

6. Peluang Ekonomi dan Sosial:

- **Penciptaan Lapangan Kerja:** Pertumbuhan sektor akuakultur dapat menciptakan lapangan kerja baru di bidang budidaya, pemrosesan, penjualan, dan layanan pendukung lainnya.
- **Pemberdayaan Komunitas Lokal:** Pengembangan sistem akuakultur berbasis badan air dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat lokal, terutama di daerah pesisir atau pedesaan yang bergantung pada sumber daya perairan.

3.10 Tantangan dan Peluang di Masa Depan

Tantangan dan peluang di masa depan pada teknologi akuakultur mencakup berbagai aspek yang memengaruhi keberlanjutan, efisiensi, dan pertumbuhan industri ini. Berikut

adalah gambaran yang lebih rinci mengenai tantangan dan peluang tersebut:

Tantangan:

- a. **Perubahan Iklim:** Fluktuasi suhu air, peningkatan suhu laut, dan perubahan pola cuaca dapat mengganggu kondisi lingkungan budidaya dan meningkatkan risiko penyakit dan stres pada organisme akuatik.
- b. **Pencemaran Lingkungan:** Pencemaran air oleh limbah organisme, sisa pakan, bahan kimia, dan plastik dapat menyebabkan penurunan kualitas air dan mengganggu keseimbangan ekosistem akuatik.
- c. **Penyakit dan Patogen:** Penyebaran penyakit yang disebabkan oleh bakteri, virus, dan parasit dapat mengancam kesehatan dan produktivitas organisme akuatik, mengakibatkan kerugian ekonomi yang signifikan.
- d. **Keterbatasan Sumber Daya:** Keterbatasan air bersih, pakan, dan energi menjadi tantangan dalam mempertahankan pertumbuhan industri akuakultur yang berkelanjutan.
- e. **Kepadatan Populasi:** Kepadatan populasi organisme akuatik yang tinggi dalam sistem budidaya dapat meningkatkan risiko persaingan sumber daya, penyebaran penyakit, dan stres pada organisme.
- f. **Kepatuhan Regulasi:** Kepatuhan terhadap regulasi lingkungan, sanitasi, dan kesehatan hewan merupakan tantangan bagi petani akuakultur dalam memastikan operasi mereka berada dalam batas-batas yang diatur.

Peluang:

- a. **Inovasi Teknologi:** Pengembangan teknologi cerdas, bioteknologi, dan sistem otomatisasi dapat meningkatkan efisiensi operasional, manajemen risiko, dan keberlanjutan industri akuakultur.

- b. Pengembangan Strain Unggul:** Peningkatan pemuliaan dan seleksi genetik untuk menghasilkan strain organisme akuatik yang lebih tahan penyakit, cepat tumbuh, dan berkualitas tinggi.
- c. Diversifikasi Produksi:** Diversifikasi jenis organisme yang dibudidayakan, termasuk ikan, udang, kerang, dan tanaman air, dapat meningkatkan ketahanan pangan dan fleksibilitas pasar.
- d. Energi Terbarukan:** Pemanfaatan energi terbarukan seperti panel surya, turbin angin, atau biogas dapat mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan meningkatkan keberlanjutan operasi budidaya.
- e. Kemitraan dan Kolaborasi:** Kolaborasi antara industri, akademisi, pemerintah, dan LSM dapat mempercepat inovasi, transfer pengetahuan, dan pembangunan kapasitas dalam industri akuakultur.
- f. Pasar Global:** Permintaan yang terus meningkat untuk produk-produk akuakultur berkualitas tinggi di pasar global menciptakan peluang ekspansi bisnis dan peningkatan nilai tambah.
- g. Pendidikan dan Pelatihan:** Investasi dalam pendidikan dan pelatihan petani akuakultur tentang praktik budidaya yang baik, manajemen risiko, dan teknologi baru dapat meningkatkan keterampilan dan pengetahuan mereka.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, C.P. *et al.* (2023) *IPTEK untuk masyarakat kelautan dan perikanan*. Penerbit P4I.
- Ahmad, B., Sasmito, B. and Ah, H. (2016) 'Aplikasi Sig Untuk Pemetaan Persebaran Tambak Di Kota Semarang (Studi Kasus: Daerah Tambak Kota Semarang)', *Jurnal Geodesi Undip*, 5(4), pp. 1–7.
- Ariadi, H. (2020) *Oksigen Terlarut dan Siklus Ilmiah Pada Tambak Intensif*. Guepedia.
- Burhanuddin, A.I. (2018) *Pengantar Ilmu Kelautan dan Perikanan*. Deepublish.
- Christanto, J. (2014) 'Ruang Lingkup Konservasi Sumber Daya Alam dan Lingkungan', *Konservasi Sumber Daya ALam*, pp. 1–29.
- Fadhil, R. *et al.* (2010) 'Teknologi sistem akuakultur resirkulasi untuk meningkatkan produksi perikanan darat di Aceh: suatu tinjauan', in *Aceh Development International Conference*, pp. 826–833.
- Fadzila, N. (2022) 'Pengelolaan Tambak Pada Budidaya Udang Dalam Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat Di Kecamatan Malili Kabupaten Luwu Timur'. IAIN Palopo.
- Fatma, Y.S. *et al.* (2023) *Mikrobiologi Lingkungan*. Tohar Media.
- Fauzzia, M., Izza, R. and Nyoman, W. (2013) 'Penyisihan Amoniak Dan Kekeruhan Pada Sistem Resirkulasi Budidaya Kepiting Dengan Teknologi Membran Biofilter', *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2(2), pp. 155–161.
- Fitriyah, H. (2018) 'Konsep Dasar IPA Habitat Hewan Dan Lingkungannya', *Universitas Muhammadiyah Sidoarjo* [Preprint].

- Hamid, M., Dayana, I. and Si, N. (no date) *Pengantar Fisika Lingkungan*. GUEPEDIA.
- Hamuna, B., Tanjung, R.H. and MAury, H. (2018) 'Kajian kualitas air laut dan indeks pencemaran berdasarkan parameter fisika-kimia di perairan Distrik Depapre, Jayapura'.
- Handayani, L. and 2018 (2018) 'Pemanfaatan Lahan Sempit Dengan Sistem Budidaya Aquaponik', *Prosiding Seminar Nasional Hasil Pengabdian 2018*, pp. 118–126.
- Indrian, F. *et al.* (2023) 'Penggunaan Mikroorganisme Akuatik pada Proses Nitrifikasi di Tambak Udang (*Litopenaeus vannamei*)', *Maiyah*, 2(3), p. 233. Available at: <https://doi.org/10.20884/1.maiyah.2023.2.3.9653>.
- Istaufa, A.M. (2022) 'Keanekaragaman Makrozoobentos Di Sumber Maron Desa Karangsono Kecamatan Pagelaran Kabupaten Malang'. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Jayawardana, H.B.A. (2023) 'Pengantar Ilmu Lingkungan', *Ilmu Lingkungan*, p. 1.
- Kariada, N.T.M. and Irsadi, A. (2014) 'Peranan mangrove sebagai biofilter pencemaran air wilayah tambak bandeng Tapak, Semarang (Role of mangrove as water pollution biofilter in milkfish pond, Tapak, Semarang)', *Jurnal manusia dan lingkungan*, 21(2), pp. 188–194.
- Kartini, T. and Permana, S. (2016) 'Analisis Operasional Waduk Ir.H.Djuanda', *Jurnal Konstruksi*, 14(1), pp. 13–24. Available at: <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.14-1.330>.
- Kurniawan, A. (2018) *Ekologi sistem akuatik: fundamen dalam pemanfaatan dan pelestarian lingkungan perairan*. Universitas Brawijaya Press.
- Laimeheriwa, B.M. (2017) 'Mekanisme Fiksasi Karbon, Fiksasi Nitrogen dan Metabolisme Fosfat di Laut', *Academia Edu*, 1(1), pp. 1–24.

- Lasaiba, I. (2023) 'Menggugah Kesadaran Ekologis: Pendekatan Biologi untuk Pendidikan Berkelanjutan', *Jendela Pengetahuan*, 16(2), pp. 143–163.
- Lembang, M.S. and Kuing, L. (2021) 'Efektivitas Pemanfaatan Sistem Resirkulasi Akuakultur (Ras) Terhadap Kualitas Air Dalam Budidaya Ikan Koi (*Cyprinus Rubrofusca*)', *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 12(2), pp. 105–112.
- Lestari, D.P., Nurliah, A.A.D. and Larasati, C.E. (2018) 'Parameter Kualitas Air dalam Mendukung Kegiatan Budidaya di Kawasan Teluk Jor, Kabupaten Lombok Timur', *Prosiding Konferensi Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat dan Corporate Social Responsibility (PKM-CSR)*, 1, pp. 723–730.
- Lestari, I. (2021) 'Dampak Limbah Organik Tambak Udang Vaname Super Intensif Terhadap Tingkat Eutrofikasi Perairan Pantai Desa Palajau Kecamatan Arungkeke Kabupaten Jeneponto'.
- Maftuch, F.F. and Suprastyani, H. (2022) *Dasar-Dasar Akuakultur*. Media Nusa Creative (MNC Publishing).
- Novia, F. and Febrina, L. (2018) 'Dinamika Konsentrasi Oksigen Terlarut di Bagian Hulu Sungai Citarum Menggunakan Model Dinamik', *Laporan Akhir Penelitian Dosen Pemula. Universitas Sahid Jakarta.*, 2, pp. 7–13.
- Novriadi, R. (2014) 'Penyakit Ikan Air Laut di Indonesia', ... *Budidaya, Direk-torat Kesehatan Ikan dan Lingku-ngan ...* [Preprint]. Available at: https://www.academia.edu/download/34193516/Penyakit_Ikan_air_laut_Indonesia.pdf.
- Pane, E.P., Arfiati, D. and Apriliyanti, F.J. (2023) 'Respon Fisiologis Ikan terhadap Lingkungan Hidupnya', *Jurnal Aquatik*, 6(2), pp. 71–83.
- PRASADI, O.T.O. (no date) 'Potensi Perikanan Berdasarkan "Concern Organisme" di Segara Anakan, Cilacap (Perikanan Kepiting)'.

- Putra, A. *et al.* (no date) *Pengembangan Sumber Daya Kelautan dan Perikanan Indonesia*. Penerbit Adab.
- Putri, B. (2023) 'Skripsi Pengaruh Perbedaan Dosis Mineral Fosfor Terhadap Tingkat Ketahanan Stres Dan Sintasan Larva Ikan Kakap Putih (*Lates calcarifer*)'.
- Rani, F. and Cahyasari, W. (2015) 'Motivasi Indonesia dalam menerapkan model kebijakan Blue Economy masa pemerintahan Joko Widodo', *Transnasional*, 7(1), p. 19141928.
- Razi, F. and Patekkai, M. (2020) 'Strategi Pelestarian Keanekaragaman Ikan Endemik dan Lokal di Perairan Umum Kalimantan Selatan', *Jurnal Penyuluhan Perikanan dan Kelautan*, 14(1), pp. 57–71.
- Setyaningsih (2019) 'Seminar Nasional VIII Pendidikan Biologi 197', *Seminar Nasional VIII Pendidikan Biologi 15*, (2011), pp. 16–34. Available at: <http://jurnal.fkip.uns.ac.id/index.php/prosbio/article/download/748/416>.
- Siregar, M.A.R. (2023) 'Peran Pertanian Organik Dalam Mewujudkan Keberlanjutan Lingkungan dan Kesehatan Masyarakat'.
- Sumarto, S. and Koneri, R. (2016) 'Ekologi Hewan'. CV. Patra Media Gravindo.
- Suryani, A.S. (2020) 'Pembangunan Air Bersih dan Sanitasi saat Pandemi Covid-19', *Aspirasi: Jurnal Masalah-Masalah Sosial*, 11(2), pp. 199–214.
- Syafei, L.S. (2017) 'Keanekaragaman hayati dan konservasi ikan air tawar', *Jurnal Penyuluhan Perikanan dan Kelautan*, 11(1), pp. 48–62.
- Utina, R. (2015) 'Ekologi dan lingkungan hidup'.

- Wilayah, P. *et al.* (2021) 'Karakteristik Kualitas Air Dan Keberadaan Bakteri *Vibrio* sp. Pada Wilayah Tambak Udang Tradisional Di Pesisir Wundulako dan Pomalaa Kolaka', *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 5(3), pp. 547-556. Available at: <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2021.005.03.5>.
- ZA., M. (2019) *Pengantar Akuakultur, Pengantar Akuakultur*. Available at: <https://doi.org/10.52574/syiahkualauniversitypress.309>.
- Zahroh, U.A. (no date) 'Uji Pengaruh Perlakuan Kenaikan dan Penurunan Suhu Pada Ikan Koi Terhadap Oksigen Terlarut Dalam Air.'

BAB 4

SISTEM TEKNOLOGI UNTUK *LAND-BASED* AKUAKULTUR (TERTUTUP)

Oleh Dimas Rizky Hariyadi

4.1 Pendahuluan

Budidaya perikanan, atau yang sering disebut juga sebagai akuakultur, adalah praktik manusia dalam membiakkan, mengelola, dan memanen organisme akuatik seperti ikan, moluska, krustasea, dan tanaman air lainnya dalam lingkungan yang dikendalikan. Tujuan dari budidaya perikanan adalah untuk memproduksi sumber daya akuatik secara berkelanjutan untuk kebutuhan konsumsi manusia, baik untuk pasar komersial maupun kepentingan konservasi (FAO, 2020).

Dalam kegiatan budidaya perikanan, salah satu faktor penting yang dapat menentukan tingkat keberhasilan yaitu pemilihan sistem teknologi yang tepat. Sistem teknologi budidaya mencakup berbagai teknologi yang digunakan untuk mendukung produksi organisme akuatik dalam lingkungan yang terkontrol. Ini termasuk penggunaan sensor untuk memantau parameter lingkungan seperti suhu, oksigen terlarut, dan pH, sistem otomatis untuk pemberian pakan dan manajemen lingkungan, dan teknologi pemurnian air untuk menjaga kualitas air yang optimal (Martins et al., 2012).

Selain sistem teknologi akuakultur berbasis badan air/*water-based* (semi tertutup dan terbuka) yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, terdapat juga sistem teknologi

budidaya lainnya, yaitu *land-based* akuakultur (tertutup). Sistem akuakultur darat (*land-based aquaculture*) adalah metode budidaya ikan, moluska, krustasea dan organisme akuatik lainnya di lingkungan yang terkendali di darat, yang berbeda dari sistem akuakultur tradisional yang dilakukan di perairan terbuka seperti sungai, danau atau laut. Sistem ini sering kali disebut juga sebagai sistem tertutup karena lingkungannya sepenuhnya dapat dikendalikan, termasuk suhu air, kualitas air, cahaya dan pakan yang diberikan.

Sistem teknologi untuk akuakultur darat (*land-based aquaculture*) yang tertutup merupakan metode budidaya organisme akuatik di lingkungan yang sepenuhnya terkendali, biasanya di daratan, dengan menggunakan teknologi canggih. Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi dampak lingkungan dan menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih baik.

4.2 Manfaat Sistem Teknologi *Land-Based* Akuakultur

Penerapan Sistem Teknologi Land-Based Akuakultur menawarkan sejumlah manfaat yang signifikan, baik dari segi ekonomi, lingkungan maupun sosial. Berikut adalah penjelasan lengkap mengenai manfaat dari penerapan sistem ini (Martins et al., 2010; Waite et al., 2014):

1. **Peningkatan Efisiensi Produksi:** Sistem teknologi *land-based* akuakultur memungkinkan pengendalian lingkungan budidaya secara ketat, sehingga dapat meningkatkan efisiensi produksi. Dengan mengoptimalkan parameter-parameter lingkungan seperti suhu, oksigen terlarut dan pH, pertumbuhan dan kesehatan organisme akuatik dapat ditingkatkan secara signifikan.
2. **Kualitas Produk yang Lebih Baik:** Lingkungan budidaya yang terkendali dalam sistem ini dapat menciptakan

kondisi yang optimal bagi organisme akuatik, menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih baik. Ikan yang diproduksi dalam sistem ini cenderung memiliki daging yang lebih segar, tekstur yang lebih baik, dan kualitas nutrisi yang lebih tinggi.

3. **Pengurangan Dampak Lingkungan:** Salah satu keunggulan utama dari Sistem teknologi *land-based* akuakultur adalah pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan mendaur ulang air secara terus-menerus dan mengelola limbah secara efisien, sistem ini dapat mengurangi risiko pencemaran air dan degradasi lingkungan sekitar.
4. **Penghematan Sumber Daya:** Sistem ini memungkinkan penggunaan sumber daya seperti air dan pakan secara lebih efisien. Dengan mendaur ulang air dan memberikan pakan secara terukur, konsumsi sumber daya dapat diminimalkan, sehingga menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dalam operasi budidaya.
5. **Penciptaan Lapangan Kerja:** Pengembangan dan operasi *land-based aquaculture* memerlukan tenaga kerja terlatih, sehingga dapat menciptakan lapangan kerja baru dalam industri akuakultur. Hal ini dapat memberikan kontribusi positif terhadap pertumbuhan ekonomi lokal dan peningkatan kesejahteraan masyarakat.
6. **Keamanan Pangan dan Kemandirian:** Dengan meningkatnya permintaan akan produk perikanan, Sistem teknologi *land-based* akuakultur dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap keamanan pangan dan kemandirian pangan suatu negara. Produksi yang stabil dan terkendali dapat membantu mengurangi ketergantungan pada impor produk perikanan.

4.3 Aplikasi Sistem Teknologi Land-Based Akuakultur

Sistem Teknologi *Land-Based* Akuakultur mencakup berbagai jenis sistem yang digunakan untuk budidaya organisme

akuatik di daratan dengan menggunakan teknologi canggih. Berikut adalah beberapa jenis sistem tersebut beserta penjelasannya secara lengkap:

4.3.1 *Recirculating Aquaculture Systems (RAS)*

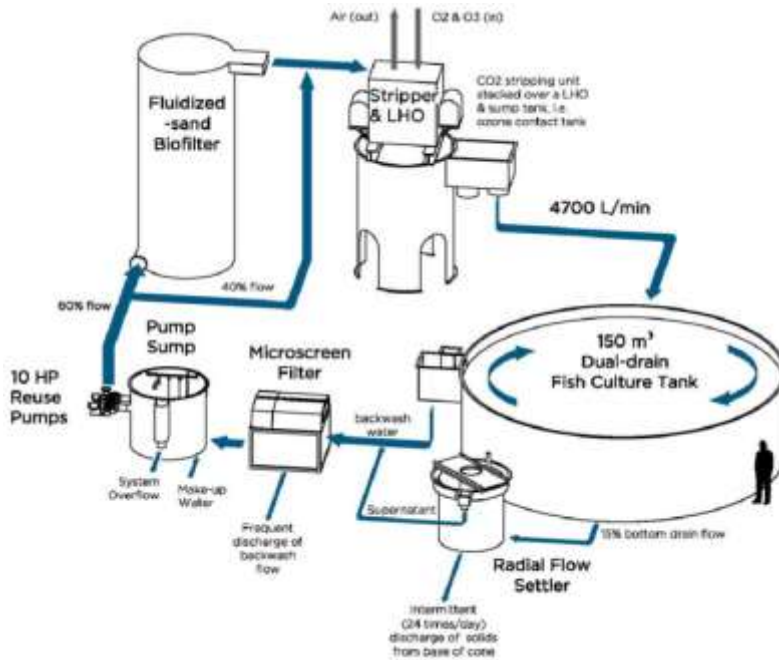
Sistem ini menggunakan teknologi untuk mendaur ulang dan memurnikan air secara terus-menerus dalam lingkungan tertutup. Air yang digunakan dalam sistem RAS disaring melalui berbagai filter dan sistem pemurnian, dan kemudian kembali ke tangki budidaya. Ini memungkinkan pengendalian lingkungan budidaya yang ketat dan efisiensi penggunaan air yang tinggi. RAS memungkinkan pengurangan konsumsi air hingga 90% lebih rendah dibandingkan dengan metode tradisional, serta pengurangan risiko pencemaran lingkungan (Martins et al., 2012). Sistem teknologi RAS memiliki beberapa kelebihan, seperti:

1. **Efisiensi Penggunaan Air:** RAS memungkinkan penggunaan air yang sangat efisien karena air didaur ulang secara terus-menerus dalam sistem. Hal ini mengurangi konsumsi air hingga 90% lebih rendah dibandingkan dengan metode tradisional (Martins et al., 2010).
2. **Pengendalian Lingkungan yang Ketat:** Sistem ini memungkinkan pengendalian parameter lingkungan budidaya seperti suhu, oksigen terlarut, pH, dan kebersihan air secara ketat. Hal ini memungkinkan kondisi lingkungan yang optimal untuk pertumbuhan dan kesehatan organisme akuatik (Delgado et al., 2014).
3. **Produksi Tahunan yang Konsisten:** Dengan pengendalian lingkungan yang ketat, RAS memungkinkan produksi ikan yang konsisten sepanjang tahun, tanpa tergantung pada musim atau kondisi lingkungan eksternal (Martins et al., 2010).
4. **Pengurangan Dampak Lingkungan:** Daur ulang air dan pengelolaan limbah yang efisien dalam RAS membantu

mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sekitar, seperti pencemaran air dan degradasi habitat (Verdegem et al., 2016).

Untuk mengoperasikan sistem teknologi RAS ini, diperlukan beberapa komponen utama, yang meliputi:

1. **Tangki Budidaya:** Merupakan tempat dimana ikan dibudidayakan. Tangki ini biasanya terbuat dari bahan yang tahan terhadap air dan memiliki sistem *drainase* untuk mengalirkan air ke sistem pemurnian.
2. **Sistem Pemurnian Air:** Meliputi berbagai filter dan sistem pemurnian yang berfungsi untuk menghilangkan partikel-padat, zat organik terlarut dan zat berbahaya lainnya dari air. Komponen-komponen ini mencakup filter mekanis, filter biologis (biofilter), dan sistem pemurnian kimia jika diperlukan.
3. **Sistem Aerasi:** Digunakan untuk memastikan bahwa air dalam tangki budidaya memiliki kandungan oksigen yang cukup untuk mendukung kehidupan ikan. Aerasi bisa dilakukan dengan menggunakan aerator, jet aerasi atau *diffuser* udara.
4. **Sistem Pemantauan dan Kontrol:** Meliputi sensor dan instrumen untuk memantau parameter air seperti suhu, pH, oksigen terlarut dan amonia. Sistem kontrol otomatis dapat digunakan untuk menjaga kondisi lingkungan yang optimal.
5. **Sistem Penanganan Limbah:** Merupakan bagian penting dari RAS yang berfungsi untuk mengelola limbah organik dan kimia yang dihasilkan oleh ikan. Proses pemurnian limbah dapat melibatkan penggunaan filter biologis, dekomposisi anaerobik dan proses kimia seperti ozonisasi atau UV sterilisasi.



Gambar 4. 1. Konsep *Recirculating Aquaculture Systems* (RAS)
(Sumber : Bergheim & Fivelstad, 2014)

4.3.2 *Flow-Through Systems*

Sistem ini menggunakan aliran air konstan dari sumber air alami, seperti sungai atau sumur, untuk mengalirkan air ke dalam tangki budidaya organisme akuatik. Air yang digunakan tidak didaur ulang, tetapi aliran air segar terus-menerus dimasukkan ke dalam sistem dan kemudian dibuang keluar. *Flow-through systems* relatif lebih mudah dan murah dalam pembangunan dan operasinya, terutama di daerah-daerah yang memiliki akses ke sumber air alami yang cukup (Piedrahita, 2003). Sistem teknologi *Flow-Through Systems* memiliki beberapa kelebihan, seperti:

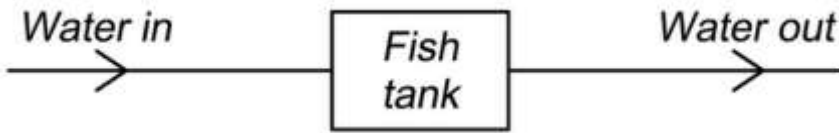
1. **Biaya Investasi Rendah:** *Flow-Through Systems* cenderung memiliki biaya investasi awal yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem tertutup lainnya seperti RAS. Hal ini karena sistem ini tidak memerlukan

peralatan dan infrastruktur yang rumit untuk mendaur ulang air (Ebeling & Timmons, 2012).

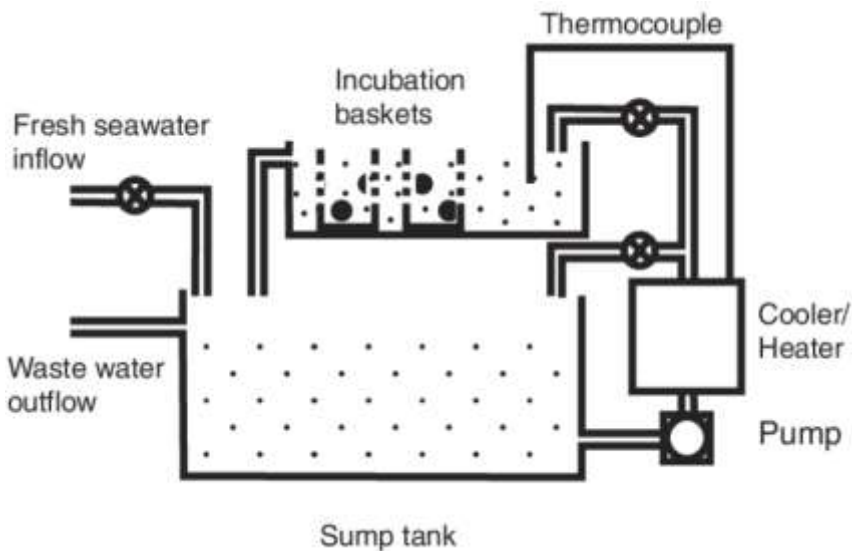
2. **Membutuhkan Ruang yang Lebih Sedikit:** Karena tidak memerlukan tangki pemurnian air dan infrastruktur terkait, Flow-Through Systems membutuhkan ruang yang lebih sedikit dalam penerapannya. Hal ini membuatnya cocok untuk daerah-daerah dengan lahan terbatas (Ebeling & Timmons, 2012).
3. **Pemeliharaan Kualitas Air Alami:** Air segar yang terus-menerus mengalir melalui sistem ini memastikan kualitas air yang tinggi dan stabil. Hal ini dapat mengurangi risiko penyakit dan mengoptimalkan kondisi pertumbuhan organisme akuatik (Magar et al., 2020).

Untuk mengoperasikan sistem teknologi *Flow-Through Systems* ini, diperlukan beberapa komponen utama, yang meliputi:

1. **Intake (Pengambilan Air):** Tempat dimana air segar dari sumber alami masuk ke dalam sistem. *Intake* ini biasanya dilengkapi dengan *filter* untuk mencegah masuknya partikel besar atau organisme yang tidak diinginkan ke dalam sistem.
2. **Tangki Budidaya:** Tempat dimana organisme akuatik, seperti ikan atau udang dibudidayakan. Tangki ini bisa memiliki berbagai bentuk dan ukuran tergantung pada spesies yang dibudidayakan dan skala operasi.
3. **Sistem Aerasi:** Digunakan untuk memastikan bahwa air dalam tangki budidaya memiliki kandungan oksigen yang cukup untuk mendukung kehidupan organisme akuatik. Aerasi biasanya dilakukan dengan menggunakan aerator atau jet aerasi.
4. **Overflow (Pembuangan Air):** Tempat dimana air yang telah digunakan dalam budidaya dialirkan keluar dari sistem. *Overflow* ini biasanya dilengkapi dengan sistem pengaturan tingkat air untuk menjaga level air dalam tangki budidaya tetap stabil.



Gambar 4. 2. Konsep *Flow-Through Systems*
(Sumber : Nesje, 2018)



Gambar 4. 3. Konsep *Flow-Through Systems* Pada Proses Inkubasi Telur
(Sumber : Fox et al., 2003)

4.3.3 *Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA)*

Sistem ini menggabungkan budidaya beberapa spesies organisme akuatik dengan tingkat trofik yang berbeda dalam satu sistem yang terintegrasi. Misalnya, ikan dipadukan dengan moluska atau tanaman air untuk menciptakan ekosistem yang seimbang di dalam satu tangki atau area budidaya. IMTA memungkinkan pemanfaatan limbah organik dari satu spesies sebagai sumber nutrisi bagi spesies lain, sehingga mengurangi

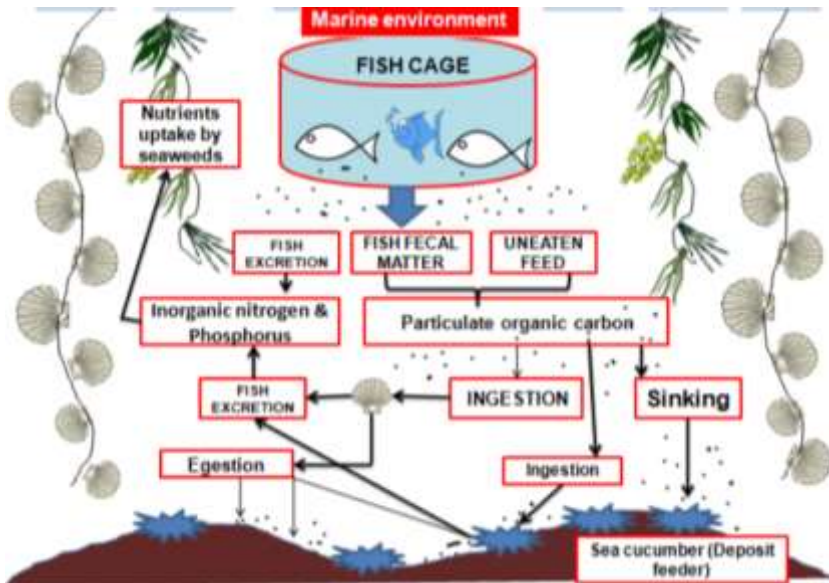
dampak lingkungan dan meningkatkan efisiensi sumber daya (Neori et al., 2004). Sistem teknologi IMTA memiliki beberapa kelebihan, seperti:

1. **Pemanfaatan Sumber Daya yang Efisien:** Dalam IMTA, limbah organik dari satu spesies dapat dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi bagi spesies lain dalam sistem. Misalnya, limbah dari budidaya ikan dapat digunakan untuk memelihara moluska atau tanaman, yang membantu mengurangi limbah organik yang tidak diinginkan dan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya (Chopin et al., 2001).
2. **Diversifikasi Produksi:** Karena tidak memerlukan tangki pemurnian air dan infrastruktur terkait, Flow-Through Systems membutuhkan ruang yang lebih sedikit dalam penerapannya. Hal ini membuatnya cocok untuk daerah-daerah dengan lahan terbatas (Neori et al., 2004).
3. **Pengurangan Dampak Lingkungan:** Dengan memanfaatkan limbah organik sebagai sumber nutrisi bagi spesies lain, IMTA membantu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran air dan degradasi habitat. Ini menciptakan sistem budidaya yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan (Neori et al., 2004).

Untuk mengoperasikan sistem teknologi IMTA ini, diperlukan beberapa komponen utama, yang meliputi:

1. **Organisme Utama (*Main Species*):** Biasanya terdiri dari spesies yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan menjadi fokus utama budidaya. Contohnya adalah ikan air tawar seperti salmon, trout, atau tilapia atau ikan air laut seperti kerapu atau salmon laut.
2. **Organisme Pengurai (*Decomposer Species*):** Merupakan organisme yang memanfaatkan limbah organik dari organisme utama sebagai sumber nutrisi. Contohnya adalah moluska seperti kerang atau tiram atau udang pemakan sisa organik.

3. **Organisme Penghasil (*Producer Species*):** Merupakan organisme yang memanfaatkan sisa nutrisi yang dihasilkan oleh organisme utama dan pengurai untuk pertumbuhannya. Contohnya adalah alga atau rumput laut, yang dapat memanfaatkan limbah organik dan nutrisi dari organisme lain.



Gambar 4. 4. Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA)
(Sumber : Jena et al., 2017)

4.3.4 Aquaponics

Sistem ini mengintegrasikan budidaya ikan dengan budidaya tanaman dalam satu sistem tertutup. Air yang digunakan untuk budidaya ikan dilewatkan melalui sistem tanaman, di mana akar tanaman mengambil nutrisi dari limbah ikan sebagai pupuk. Air yang telah diproses kemudian kembali ke tangki ikan. *Aquaponics* menghasilkan dua jenis produk sekaligus, yaitu ikan dan tanaman, dalam satu sistem. Selain itu, sistem ini memungkinkan penggunaan sumber daya secara efisien dan menghasilkan limbah yang minimal (Rakocy et al.,

2006). Sistem teknologi *Aquaponics* memiliki beberapa kelebihan, seperti:

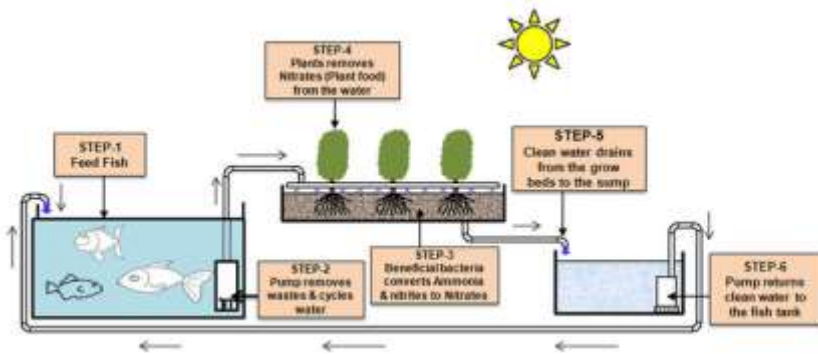
1. **Produksi Dual:** Aquaponics menghasilkan dua jenis produk sekaligus, yaitu ikan dan tanaman. Hal ini menciptakan diversifikasi produksi dan meningkatkan keuntungan bagi pembudidaya (Rakocy et al., 2006).
2. **Efisiensi Penggunaan Sumber Daya:** Sistem ini menggunakan air secara terus-menerus dalam siklus tertutup, sehingga menghasilkan penggunaan air yang sangat efisien. Selain itu, nutrisi yang terbuang dari budidaya ikan dimanfaatkan oleh tanaman sebagai pupuk, sehingga mengurangi limbah organik dan meningkatkan efisiensi sumber daya (Goddek et al., 2015).
3. **Pengendalian Lingkungan yang Ketat:** *Aquaponics* memungkinkan pengendalian lingkungan budidaya yang ketat, termasuk suhu, pH dan kualitas air. Hal ini menciptakan kondisi optimal untuk pertumbuhan dan kesehatan ikan dan tanaman (Endut et al., 2010).
4. **Produksi yang Berkelanjutan:** Dengan menggunakan prinsip-prinsip daur ulang air dan nutrisi, Aquaponics menciptakan sistem budidaya yang berkelanjutan dan ramah lingkungan (Goddek et al., 2015).

Untuk mengoperasikan sistem teknologi IMTA ini, diperlukan beberapa komponen utama, yang meliputi:

1. **Tangki Ikan (*Fish Tank*):** Tempat dimana ikan dibudidayakan. Tangki ini biasanya terhubung dengan sistem pemurnian air untuk menjaga kualitas air tetap baik.
2. **Tangki Tanaman (*Grow Bed*):** Merupakan tempat dimana tanaman ditanam. Tangki ini biasanya terletak di atas tangki ikan dan diisi dengan media tumbuh seperti kerikil atau hidroton.
3. **Pompa Air (*Water Pump*):** Digunakan untuk mengalirkan air dari tangki ikan ke tangki tanaman.

Pompa ini memastikan aliran air yang konstan dan merata ke tanaman.

4. **Filter Biologis (Biofilter):** Biasanya terletak di antara tangki ikan dan tangki tanaman. Filter ini digunakan untuk mengubah ammonia yang dihasilkan oleh ikan menjadi nutrisi yang dapat diserap oleh tanaman.
5. **Sistem Aerasi (Aeration System):** Digunakan untuk memastikan bahwa air dalam tangki ikan memiliki kandungan oksigen yang cukup untuk mendukung kehidupan ikan.
6. **Tanaman (Plants):** Berbagai jenis tanaman dapat ditanam dalam sistem *aquaponics*, termasuk sayuran, buah-buahan, dan rempah-rempah.



Gambar 4. 5. Konsep Sistem *Aquaponics*
(Sumber : Jena et al., 2017)

4.4 Hambatan dan Tantangan Sistem Teknologi *Land-Based* Akuakultur

Penerapan Sistem Teknologi *Land-Based* Akuakultur memang menawarkan sejumlah manfaat yang signifikan, akan tetapi terdapat pula hambatan dan tantangan yang perlu diatasi untuk mencapai keberhasilan dalam operasinya. Berikut adalah penjelasan lengkap mengenai manfaat dari penerapan sistem ini (Verdegem et al., 2016; Waite et al., 2014; Buck & Langan, 2017):

1. **Biaya Investasi yang Tinggi:** Salah satu hambatan utama dalam menerapkan sistem teknologi *land-based* akuakultur adalah biaya investasi awal yang tinggi. Pembangunan infrastruktur yang diperlukan, seperti bangunan, tangki budidaya, sistem pemurnian air, dan peralatan lainnya, memerlukan investasi yang besar.
2. **Biaya Operasional yang Tinggi:** Selain biaya investasi awal, operasional sistem teknologi *land-based* akuakultur juga membutuhkan biaya yang signifikan. Biaya untuk pemeliharaan peralatan, pemantauan lingkungan, pengadaan pakan, dan pengolahan limbah dapat menjadi beban finansial yang berat.
3. **Keterampilan dan Pengetahuan Teknis yang Tinggi:** Pengoperasian sistem teknologi *land-based* akuakultur memerlukan keterampilan dan pengetahuan teknis yang tinggi dalam manajemen akuakultur, teknologi pemurnian air, pengendalian lingkungan, dan manajemen risiko. Keterbatasan tenaga kerja terlatih dapat menjadi hambatan dalam implementasi yang efektif.
4. **Manajemen Limbah dan Pemurnian Air:** Pengelolaan limbah organik dan pemurnian air adalah tantangan tersendiri dalam operasi *land-based* akuakultur. Memastikan bahwa limbah budidaya diolah dengan benar dan air yang digunakan dalam sistem dijaga kebersihannya memerlukan teknologi dan manajemen yang canggih.
5. **Risiko Penyakit dan Kesehatan Organisme Akuatik:** Kondisi lingkungan yang terkendali dalam sistem ini tidak selalu menjamin kebebasan dari risiko penyakit dan masalah kesehatan organisme akuatik. Kontaminasi bakteri, parasit, dan patogen lainnya masih dapat terjadi, dan pengendalian penyakit menjadi tantangan yang perlu diatasi.
6. **Regulasi dan Izin Lingkungan:** Penerapan *land-based* akuakultur sistem tertutup juga dapat terhambat oleh regulasi lingkungan yang ketat dan persyaratan izin. Pembangunan dan operasi sistem ini harus memenuhi standar lingkungan yang ketat, yang dapat memperlambat proses perizinan dan meningkatkan biaya operasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Bergheim, A. & Fivelstad, S. (2014). "Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in aquaculture: metabolic rate and water flow requirements. In book: Salmon: Biology, Ecological Impacts and Economical Importance. Edition: 1st." Nova Science Publishers, Inc. pp. 155- 173.
- Buck, B. H. & Langan, R. (2018). "Aquaculture perspective of multi-use sites in the open ocean." Springer.
- Chopin, T., Buschmann, A. H., Halling, C., Troell, M., Kautsky, N., Neori, A., Kraemer, G. P., Zertuche-Gonzales, J. A., Yarish, C. & Neefus, C. (2001). "Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key toward sustainability." *Journal of Phycology*, 44(5), 975-986.
- Delgado, M. (2014). "Recent advances in the development of biofilters for recirculating aquaculture systems." *Aquacultural Engineering*, 63, 51-57.
- Ebeling, J. M., & Timmons, M. B. (2012). "Recirculating Aquaculture (3rd ed.)." Cayuga Aqua Ventures.
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W. B. & Hassan, A. (2010). "A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system." *Bioresource Technology*, 101, 1511-1517.
- Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. (2020). "Fisheries and Aquaculture Glossary." <http://www.fao.org/fishery/glossary/en>.
- Fox, C. J., Geffen, A. J., Blyth, R. & Nash, R. (2003). "Temperature-dependent development rates of plaice (*Pleuronectes platessa* L.) eggs from the Irish Sea." *Journal of Plankton Research*, 25(11), 1-11.
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H. & Thorarinsdottir, R. (2015). "Challenges of sustainable and commercial aquaponics." *Sustainability*, 7(4), 4199-4224.

- Jena, A. K., Biswas, P. & Saha, H. (2017). "Advanced farming systems in aquaculture: Strategies to enhance the production." *Inno. Farm.*, 1(1), 84-89.
- Magar, V. S. (2020). "Effect of different water management practices on water quality of fishpond." *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(1), 1248-1252.
- Martins, C. I. M., Eding, E. H., Verdegem, M. C. J., Heinsbroek, L. T. N., Schneider, O., Blancheton, J. P., d'Orbcastel, E. R. & Verrerth, J. A. J. (2010). "New Development in Recirculating Aquaculture System in Europe: A Perspective on Environmental Sustainability." *Aquaculture Engineering*, 43, 83-93.
- Martins, C. I. M., Eding, E. H., Verdegem, M. C. J., Heinsbroek, L. T. N., Schneider, O., Blancheton, J. P., d'Orbcastel, E. R. & Verrerth, J. A. J. (2012). "Health and welfare monitoring in land-based aquaculture systems using sensing technology." *Aquacultural Engineering*, 46, 14-20.
- Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A. H., Kraemer, G. P., Halling, C., Shpigel, M. & Yarish, C. (2004). "Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture." *Aquaculture*, 231(1-4), 361-391.
- Nesje, J. (2018). "Impacts of Organic Matter Removal Efficiency on the Microbial Carrying Capacity and Stability of Land-Based Recirculating Aquaculture Systems." Thesis. Norwegian University of Science and Technology.
- Piedrahita, R. H. (2003). "Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation." *Aquaculture*, 226(1-4), 35-44.
- Rakocy, J. E., Shultz, C., Bailey, D. S. & Thoman, E. S. (2006). "Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system." *Acta Horticulturae*, 742, 63-69.

- Verdegem, M. C. J. (2016). "Energy use in recirculating aquaculture systems (RAS): Identifying the main sources and conservation opportunities." *Aquacultural Engineering*, 74, 77-88.
- Waite, R. (2014). "The case for land-based, closed containment aquaculture." The Freshwater Institute, Conservation Fund.

BAB 5

SISTEM FILTRASI AKUAKULTUR

Oleh Mochammad Heri Edy

Bab ini akan membahas tentang sistem filtrasi dalam akuakultur, yang merupakan komponen penting untuk menjaga kualitas air dan kesehatan organisme budidaya.

5.1 Pengantar Sistem Filtrasi Akuakultur

Filtrasi adalah proses penyaringan air untuk menghilangkan partikel padat, kotoran, dan zat berbahaya. Dalam akuakultur, filtrasi memainkan peran penting dalam menjaga kualitas air dan kesehatan organisme budidaya. Filtrasi dalam akuakultur memainkan peran penting dalam menjaga kualitas air dan kesehatan organisme budidaya dengan beberapa cara:

Filtrasi menghilangkan partikel padat seperti kotoran, sisa pakan, dan organisme mikroskopis yang dapat mencemari air dan menurunkan kualitasnya. Partikel padat ini dapat mengurangi kadar oksigen terlarut dalam air, menyebabkan kekeruhan air, sehingga menghambat fotosintesis pada tanaman air, tempat berkembang biaknya bakteri dan patogen. Filtrasi membantu menjaga air tetap jernih dan bebas dari partikel padat, sehingga meningkatkan kadar oksigen terlarut dan mencegah pertumbuhan bakteri. mengurangi Racun seperti amonia dan nitrit yang dihasilkan oleh organisme budidaya. Racun ini dapat menyebabkan stres dan penyakit pada organisme budidaya. Yang mengganggu keseimbangan ekosistem akuakultur. Filtrasi membantu menjaga

keseimbangan pH air. Fluktuasi pH yang ekstrem dapat menyebabkan stres pada organisme budidaya, mengganggu proses metabolisme dan reproduksi. Filtrasi membantu menjaga pH air dalam kisaran yang optimal untuk pertumbuhan dan reproduksi organisme budidaya. Filtrasi dapat membantu meningkatkan aerasi air, yaitu kadar oksigen terlarut dalam air. Kadar oksigen yang tinggi penting untuk respirasi organisme budidaya untuk meningkatkan pertumbuhan dan reproduksi dan mencegah penyakit.

Tujuan utama filtrasi dalam akuakultur adalah menjaga kualitas air. Filtrasi membantu menghilangkan partikel padat seperti kotoran, sisa pakan, dan organisme mikroskopis yang dapat mencemari air dan menurunkan kualitasnya. Filtrasi juga meningkatkan kadar oksigen. Partikel padat yang tersuspensi dalam air dapat menghalangi oksigen terlarut. Filtrasi membantu meningkatkan kadar oksigen dalam air, yang penting untuk respirasi organisme budidaya. Filtrasi dapat membantu menghilangkan racun seperti amonia dan nitrit yang dihasilkan oleh organisme budidaya. Racun ini dapat berbahaya bagi kesehatan dan bahkan menyebabkan kematian organisme. Manfaat filtrasi bagi organisme budidaya dapat meningkatkan kesehatan dan ketahanan terhadap penyakit, meningkatkan pertumbuhan dan reproduksi, meningkatkan kualitas panen, mengurangi stres dan meningkatkan kesejahteraan.

Filtrasi adalah proses yang penting untuk menjaga kesehatan dan kelestarian lingkungan akuakultur. Dengan menerapkan sistem filtrasi yang tepat, pembudidaya dapat meningkatkan kualitas air, meningkatkan produksi, dan menghasilkan produk yang lebih aman dan berkualitas tinggi. Contoh aplikasi filtrasi dalam akuakultur:

- Filtrasi kolam: Digunakan untuk menghilangkan kotoran dan sisa pakan dari kolam ikan.

- Filtrasi biofilter: Digunakan untuk menguraikan amonia dan nitrit dalam air.
- Filtrasi membran: Digunakan untuk menghilangkan patogen dan mikroorganisme dari air.

Pemilihan sistem filtrasi yang tepat tergantung pada beberapa faktor, seperti:

- Jenis organisme yang dibudidayakan, skala budidaya, kualitas air dan sumber biaya
- Penting untuk memilih sistem filtrasi yang tepat dan memeliharanya dengan baik untuk memastikan kualitas air yang optimal dan hasil budidaya yang maksimal.

5.2 Mekanisme Filtrasi

Filtrasi bekerja dengan memisahkan partikel berdasarkan ukurannya. Partikel yang lebih besar dari pori-pori media filter akan tertahan, sedangkan partikel yang lebih kecil akan lolos. Air yang akan difiltrasi didorong melalui media filter oleh gaya dorong. Gaya dorong ini dapat berupa gravitasi, tekanan, atau pompa. Media filter adalah bahan yang digunakan untuk menyaring partikel dari air. Media filter memiliki berbagai jenis dan karakteristik yang berbeda.

Proses Filtrasi Mekanis

Filtrasi mekanis menjelaskan proses penyaringan partikel padat dari air, seperti kotoran, sisa pakan, dan organisme mikroskopis. Filtrasi mekanis adalah proses penyaringan partikel padat dari air, seperti kotoran, sisa pakan, dan organisme mikroskopis, menggunakan media fisik. Filtrasi mekanis merupakan salah satu metode filtrasi yang paling umum digunakan dalam akuakultur.

Air yang akan difiltrasi dialirkan melalui media filter. Media filter menahan partikel padat berdasarkan ukurannya. Partikel yang lebih besar dari pori-pori media filter akan terperangkap, sedangkan partikel yang lebih kecil akan lolos. Air yang telah difiltrasi (air filtrat) akan keluar dari media filter.

Jenis-jenis Media Filter Mekanis:

1. Saringan kasa: Saringan kasa terbuat dari kain kasa dengan berbagai ukuran pori. Saringan kasa umumnya digunakan untuk menyaring partikel besar seperti kotoran dan sisa pakan.
2. Pasir silika: Pasir silika adalah pasir yang telah diproses dan memiliki ukuran yang seragam. Pasir silika umumnya digunakan untuk menyaring partikel yang lebih kecil daripada saringan kasa.
3. Karbon aktif: Karbon aktif memiliki kemampuan untuk menyerap bau dan kotoran. Karbon aktif umumnya digunakan untuk menyaring partikel kecil dan zat organik terlarut.
4. Busa filter: Busa filter terbuat dari busa dengan berbagai kepadatan. Busa filter umumnya digunakan untuk menyaring partikel kecil dan mikroorganisme.

Keuntungan filtrasi mekanis adalah lebih efisien, filtrasi mekanis dapat menghilangkan partikel padat dengan efisien. Filtrasi mekanis mudah dioperasikan dan dipelihara, biaya awal untuk sistem filtrasi mekanis relatif murah. Filtrasi mekanis dapat menyumbat media filter sehingga dapat tersumbat oleh partikel padat yang perlu dibersihkan secara berkala. Filtrasi mekanis dapat menghilangkan semua partikel. Filtrasi mekanis tidak dapat menghilangkan semua partikel, terutama partikel yang sangat kecil dan dapat merusak organisme kecil seperti plankton

Filtrasi biologis

Filtrasi biologi merupakan salah satu metode filtrasi yang memanfaatkan peran bakteri menguntungkan dalam memecah senyawa beracun seperti amonia dan nitrit. Bakteri ini memainkan peran penting dalam menjaga kualitas air dan kesehatan organisme budidaya. Beberapa Jenis bakteri menguntungkan:

- Bakteri nitrifikasi: Mengubah amonia menjadi nitrit dan kemudian nitrit menjadi nitrat.
- Bakteri denitrifikasi: Mengubah nitrat menjadi nitrogen gas.
- Bakteri heterotrofik: Menguraikan senyawa organik terlarut.

Proses Penguraian Senyawa Beracun:

- Amonia: Amonia merupakan produk ekskresi dari organisme budidaya yang dapat menjadi racun pada tingkat tinggi. Bakteri nitrifikasi mengubah amonia menjadi nitrit.
- Nitrit: Nitrit juga merupakan racun bagi organisme budidaya. Bakteri nitrifikasi selanjutnya mengubah nitrit menjadi nitrat. Nitrat: Nitrat adalah senyawa nitrogen yang relatif aman bagi organisme budidaya.
- Denitrifikasi: Dalam kondisi anoxic, bakteri denitrifikasi mengubah nitrat menjadi nitrogen gas, yang kemudian dilepaskan ke atmosfer.

Keuntungan filtrasi biologi adalah dapat menjaga kualitas air: Filtrasi biologi membantu menjaga kualitas air dengan memecah senyawa beracun seperti amonia dan nitrit, meningkatkan kesehatan organisme budidaya. Air dengan kualitas yang baik membantu meningkatkan kesehatan dan pertumbuhan organisme budidaya. Filtrasi biologi merupakan

metode filtrasi yang ramah lingkungan dan tidak menggunakan bahan kimia.

Faktor-faktor yang mempengaruhi Filtrasi Biologi adalah :

Jenis bakteri: Jenis bakteri yang terdapat dalam media filter menentukan efektivitas filtrasi biologi.

- Ketersediaan oksigen: Bakteri nitrifikasi membutuhkan oksigen untuk menguraikan amonia dan nitrit.
- pH: Filtrasi biologi bekerja paling baik pada pH netral (7).
- Suhu: Suhu optimal untuk filtrasi biologi berkisar antara 20-30°C.

Filtrasi biologi dapat dioptimalkan dengan memilih media filter yang mendukung pertumbuhan bakteri menguntungkan. Pastikan aliran air melalui media filter cukup untuk menyediakan oksigen bagi bakteri nitrifikasi. Pantau pH dan suhu air secara berkala berperan menguraikan peran bakteri menguntungkan dalam memecah senyawa beracun seperti amonia dan nitrit.

Filtrasi kimia

Filtrasi kimia adalah salah satu metode filtrasi yang menggunakan media kimia untuk menyerap zat berbahaya dan meningkatkan kualitas air. Filtrasi ini bermanfaat untuk menghilangkan zat berbahaya. Filtrasi kimia dapat menghilangkan zat berbahaya seperti logam berat, klorin, pestisida, dan senyawa organik terlarut. Filtrasi kimia membantu meningkatkan kejernihan, rasa, dan bau air serta dapat menjaga kesehatan organisme budidaya.

Jenis-jenis Media Kimia Karbon aktif:

- 1) Karbon aktif memiliki kemampuan untuk menyerap berbagai zat berbahaya.
- 2) Resin penukar ion: Resin penukar ion dapat menghilangkan logam berat dan mineral terlarut.
- 3) Zeolit: Zeolit dapat menyerap amonia dan nitrit.
- 4) Katalis: Katalis dapat membantu menguraikan senyawa organik terlarut.

Proses Filtrasi Kimia:

- 1) Air yang akan difiltrasi dialirkan melalui media filter.
- 2) Media Filter: Media filter menyerap zat berbahaya dari air.
- 3) Air Filtrat: Air yang telah difiltrasi (air filtrat) akan keluar dari media filter.

Keuntungan Filtrasi Kimia adalah Efisien filtrasi kimia dapat menghilangkan zat berbahaya dengan efisien. Mudah digunakan: Filtrasi kimia mudah dioperasikan dan dipelihara. Filtrasi kimia relatif murah pada awal pemakaian. Kekurangan filtrasi kimia media filter perlu diganti secara berkala, ketika sudah jenuh dapat membahayakan organisme budidaya.

Filtrasi kimia merupakan metode filtrasi yang efektif untuk menghilangkan zat berbahaya dan meningkatkan kualitas air. Filtrasi kimia mudah digunakan dan dipelihara, dan biaya awal untuk sistem filtrasi kimia relatif murah. Namun, media filter perlu diganti secara berkala dan beberapa media kimia dapat membahayakan organisme budidaya jika tidak digunakan dengan benar.

5.3 Komponen Sistem Filtrasi:

Sistem filtrasi terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja sama untuk menyaring air dan menghilangkan kotoran, partikel, dan zat berbahaya. Berikut adalah penjelasan dari beberapa komponen sistem filtrasi:

1. Intake
 - a. Fungsi: Intake merupakan tempat masuknya air yang akan difiltrasi.
 - b. Jenis: Intake dapat berupa pipa, lubang, atau struktur lain yang memungkinkan air masuk ke sistem filtrasi.
 - c. Pertimbangan: Intake harus dirancang untuk memungkinkan aliran air yang cukup dan mencegah masuknya benda besar yang dapat merusak sistem filtrasi.
2. Pre-filter
 - a. Fungsi: Pre-filter menyaring partikel besar seperti pasir, lumpur, dan daun sebelum air memasuki tahap filtrasi berikutnya.
 - b. Jenis: Pre-filter dapat berupa saringan kasa, filter pasir, atau filter cartridge.
 - c. Pertimbangan: Pre-filter harus dipilih berdasarkan ukuran partikel yang ingin dihilangkan dan tingkat kekeruhan air.
3. Filter utama
 - a. Fungsi: Filter utama menghilangkan partikel yang lebih kecil dan zat berbahaya dari air.
 - b. Jenis: Ada berbagai jenis filter utama, termasuk:
 - c. Filter pasir: Menekan partikel dan zat berbahaya melalui lapisan pasir.
 - d. Filter karbon aktif: Menyerap zat berbahaya seperti klorin, pestisida, dan senyawa organik terlarut.
 - e. Filter membran: Menekan air melalui membran yang sangat kecil untuk menghilangkan partikel dan bakteri.

- f. Resin penukar ion: Mengganti ion logam berbahaya dengan ion yang aman.
 - g. Pertimbangan: Jenis filter utama yang dipilih tergantung pada kebutuhan dan tingkat kualitas air yang diinginkan.
- Post-filter
 - 1) Fungsi: Post-filter meningkatkan rasa, bau, dan kejernihan air setelah filtrasi utama.
 - 2) Jenis: Post-filter dapat berupa filter karbon aktif, filter polishing, atau filter UV.
 - 3) Pertimbangan: Post-filter dapat dipilih untuk meningkatkan kualitas air lebih lanjut atau untuk menghilangkan rasa dan bau yang tidak diinginkan.
- Output
 - 1) Fungsi: Output merupakan tempat keluarnya air yang telah difiltrasi.
 - 2) Jenis: Output dapat berupa pipa, keran, atau struktur lain yang memungkinkan air mengalir keluar dari sistem filtrasi.
 - 3) Pertimbangan: Output harus dirancang untuk memungkinkan aliran air yang cukup dan mencegah kontaminasi air yang telah difiltrasi.
- Komponen lain
 - 1) Pompa: Pompa digunakan untuk mendorong air melalui sistem filtrasi.
 - 2) Kontroler: Kontroler digunakan untuk mengatur aliran air dan mengoperasikan sistem filtrasi.
 - 3) Pipa dan fitting: Pipa dan fitting digunakan untuk menghubungkan komponen-komponen sistem filtrasi.

Sistem filtrasi terdiri dari berbagai komponen yang bekerja sama untuk menyaring air dan menghasilkan air yang bersih dan aman untuk digunakan. Pemilihan komponen yang tepat dan desain sistem yang cermat sangat penting untuk mencapai tingkat kualitas air yang diinginkan.

5.4 Bak filter: Berbagai jenis bak filter dan fungsinya dalam sistem filtrasi.

Bak filter adalah wadah yang menampung media filter dan berperan penting dalam sistem filtrasi air. Beragam jenis bak filter tersedia, dengan fungsi dan keunggulannya masing-masing. Berikut uraian mengenai jenis-jenis bak filter dan fungsinya:

Jenis-jenis Bak Filter

1. Berdasarkan Posisi

- a) Internal: Dipasang di dalam kolam atau aquarium.
- b) Eksternal: Dipasang di luar kolam atau aquarium.

2. Berdasarkan Sistem Filtrasi

- a) Tekanan: Air didorong melalui media filter dengan tekanan.
- b) Gravitasi: Air mengalir melalui media filter dengan gravitasi.

3. Berdasarkan Skala Penggunaan

- a) Rumah tangga: Digunakan untuk filtrasi air di rumah.
- b) Industri: Digunakan untuk filtrasi air dalam skala industri.

Fungsi Bak Filter

- Menyaring air: Bak filter menampung media filter yang berfungsi untuk menyaring kotoran, partikel, dan zat berbahaya dari air.
- Meningkatkan kualitas air: Filtrasi air dalam bak filter meningkatkan kejernihan, rasa, dan bau air.
- Menjaga kesehatan biota: Dalam aquarium, bak filter membantu menjaga kesehatan biota akuatik dengan menyediakan air yang bersih dan berkualitas.

5.5 Jenis-jenis Media Filter

1. Pasir: Menyaring kotoran dan partikel besar.
2. Karbon aktif: Menyerap zat berbahaya seperti klorin dan pestisida.
3. Resin penukar ion: Mengganti ion logam berbahaya dengan ion yang aman.
4. Bakteri: Menguraikan senyawa organik terlarut dan amonia.

Pemilihan Bak Filter

1. Jenis: Sesuaikan dengan kebutuhan dan jenis filtrasi yang diinginkan.
2. Kapasitas: Sesuaikan dengan volume air yang ingin difiltrasi.
3. Material: Sesuaikan dengan budget dan kondisi lingkungan.

Penggunaan Bak filter perhatikan hal sebagai berikut :

Pemilihan bak filter yang tepat dengan media filter yang sesuai dengan kebutuhan. Lakukan perawatan bak filter secara berkala untuk menjaga performanya. Pastikan bak filter terpasang dengan baik dan aman. Bak filter merupakan

komponen penting dalam sistem filtrasi air. Beragam jenis bak filter tersedia dengan fungsi dan keunggulannya masing-masing. Pemilihan bak filter yang tepat dan perawatan yang optimal akan menghasilkan air yang bersih dan berkualitas.

Selain jenis-jenis yang disebutkan di atas, terdapat beberapa jenis bak filter lain, seperti bak filter bergerak (moving bed filter) dan bak filter fluidized bed.

Bak filter dapat dibuat sendiri dengan menggunakan bahan-bahan yang mudah didapat, seperti pipa PVC dan ember. Perawatan bak filter yang tepat dan berkala akan memperpanjang usia bak filter dan menjaga performanya.

Media filtrasi:

Menjelaskan jenis-jenis media filtrasi, karakteristiknya, dan pemilihan media yang tepat. Media filtrasi adalah bahan yang digunakan dalam sistem filtrasi untuk menyaring air dan menghilangkan kotoran, partikel, dan zat berbahaya. Beragam jenis media filtrasi tersedia, dengan karakteristik dan fungsinya masing-masing. Pemilihan media yang tepat sangat penting untuk mencapai tingkat kualitas air yang diinginkan.

Jenis-jenis Media Filtrasi:

1. Media Filtrasi Mekanis:

- Pasir: Menyaring kotoran dan partikel besar.
- Anthracite: Menyaring kotoran dan partikel lebih kecil dari pasir.
- Gravel: Menyaring kotoran dan partikel besar, dan mendukung pertumbuhan bakteri.

2. Media Filtrasi Biologis:

- Busa bio: Menampung bakteri yang menguraikan senyawa organik terlarut dan amonia. Media ini terbuat dari busa polyurethane yang memiliki pori-pori kecil. Pori-pori ini menyediakan tempat yang ideal

bagi bakteri menguntungkan untuk tumbuh dan berkembang biak.

- Bio ball: Menampung bakteri yang menguraikan senyawa organik terlarut dan amonia. Media ini terbuat dari plastik berbentuk bola dengan permukaan yang berpori. Pori-pori ini menyediakan tempat yang ideal bagi bakteri menguntungkan untuk tumbuh dan berkembang biak.
- K1 (Katalis Impregnasi) media: Menampung bakteri yang menguraikan senyawa organik terlarut dan amonia. Media ini terbuat dari plastik berbentuk bola dengan permukaan yang berpori. Pori-pori ini menyediakan tempat yang ideal bagi bakteri menguntungkan untuk tumbuh dan berkembang biak.

3. Media Filtrasi Kimiawi

- Karbon aktif: Menyerap zat berbahaya seperti klorin dan pestisida. Karbon aktif adalah bahan yang sangat berpori dan memiliki luas permukaan yang besar. Sifat ini memungkinkannya untuk menjerat dan menyerap zat berbahaya dari air melalui proses yang disebut adsorpsi. Sistem Kerja Adsorpsi adalah Partikel zat berbahaya: Terlarut dalam air dan bergerak bebas. Pori-pori karbon aktif memiliki muatan elektrostatis yang menarik partikel zat berbahaya. Partikel zat berbahaya tertarik dan menempel pada permukaan pori-pori karbon aktif. Partikel zat berbahaya terikat pada karbon aktif dan tidak lagi terlarut dalam air. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi diantaranya : Luas permukaan: Semakin besar luas permukaan karbon aktif, semakin banyak zat berbahaya yang dapat diserap, ukuran pori i yang lebih kecil dapat menyerap zat berbahaya yang lebih besar. Konsentrasi zat berbahaya: Semakin tinggi konsentrasi

zat berbahaya, semakin banyak yang diserap. Adsorpsi lebih efektif pada suhu yang lebih rendah.

- Resin penukar ion: Mengganti ion logam berbahaya dengan ion yang aman. Resin memiliki gugus fungsional yang dapat menukar ion dengan ion lain dalam larutan. Mekanisme ini memungkinkan resin untuk mengganti ion logam berbahaya dalam air dengan ion yang aman. Mekanisme Penukaran Ion: Resin penukar ion memiliki gugus fungsional yang bermuatan negatif. Ion logam berbahaya: Terlarut dalam air dan bermuatan positif. Ion logam berbahaya tertarik dan menempel pada gugus fungsional resin penukar ion. Pertukaran ion logam berbahaya ditukar dengan ion yang aman, seperti natrium atau kalium, yang terikat pada resin penukar ion. Kation penukar: Mengganti kation (ion bermuatan positif) seperti logam berbahaya dengan kation aman seperti natrium. Anion penukar: Mengganti anion (ion bermuatan negatif) seperti nitrat dengan anion aman seperti klorida.

Aplikasi Resin Penukar Ion diantaranya pelunakan air mengganti ion kalsium dan magnesium dengan ion natrium untuk menghasilkan air yang lebih lunak dan menghilangkan ion logam berbahaya seperti timbal dan merkuri dari air.

- Zeolite: Menyerap amonia dan nitrit. Zeolite adalah mineral alami yang memiliki struktur kristal berpori. Pori-pori ini memiliki sifat selektif, yang berarti mereka dapat menarik dan menjebak ion tertentu, seperti amonia dan nitrit, dari air. Prinsip Kerja Zeolite: Struktur kristal zeolite memiliki rongga dan pori-pori dengan muatan negatif. Ion amonia dan nitrit: terlarut dalam air dan bermuatan positif. Ion amonia dan nitrit tertarik dan menempel pada muatan negatif di dalam

rongga zeolite. Penukaran: Ion amonia dan nitrit ditukar dengan ion lain, seperti natrium atau kalium, yang terikat pada zeolite. Zeolit sangat efektif menyerap amonia dan nitrit dengan baik. Kapasitas tinggi zeolite dapat menyerap banyak amonia dan nitrit sebelum perlu diregenerasi. Zeolite dapat diregenerasi dan digunakan kembali. Zeolite adalah bahan alami yang aman bagi lingkungan.

Karakteristik Media Filtrasi

- **Ukuran:** Ukuran media filtrasi menentukan partikel yang dapat tersaring. Ukuran media filtrasi memainkan peran penting dalam menentukan partikel yang dapat tersaring. Semakin kecil ukuran media filtrasi, semakin kecil pula partikel yang dapat terperangkap.

Luas permukaan media filtrasi menentukan jumlah bakteri yang dapat tumbuh. Luas permukaan media filtrasi merupakan salah satu faktor penting yang menentukan jumlah bakteri yang dapat tumbuh. Semakin besar luas permukaan media filtrasi, semakin banyak bakteri yang dapat menempel dan tumbuh. Hal ini karena lebih banyak ruang luas permukaan yang besar menyediakan lebih banyak ruang bagi bakteri untuk menempel dan tumbuh, lebih banyak nutrisi, dan lebih banyak oksigen dibutuhkan untuk respirasi.

- **Ketahanan:** Ketahanan media filtrasi menentukan berapa lama media dapat digunakan.

Ketahanan media filtrasi sangat penting untuk memastikan kinerja sistem filtrasi yang optimal. Memilih media filtrasi yang tepat dan memeliharanya dengan baik dapat memperpanjang masa pakainya. Pilih media filtrasi yang tahan lama dan sesuai dengan kualitas air. Bersihkan dan memelihara media filtrasi secara teratur.

Pantau aliran air dan tekanan air. Periksa kualitas air secara berkala.

5.6 Air sumur bor untuk mengairi kolam atau Tambak

Pemilihan air baku kolam sumur bor dapat menjadi sumber air yang ideal untuk mengairi tambak atau kolam. Namun, ada beberapa pertimbangan penting yang perlu diperhatikan sebelum menggunakannya:

Kualitas Air

- **Kadar mineral:** Air sumur bor umumnya memiliki kadar mineral yang tinggi, seperti kalsium, magnesium, dan sulfat. Kadar mineral yang tinggi dapat menyebabkan masalah pada kesehatan ikan dan udang, serta menyumbat sistem irigasi. Pada kondisi tertentu air yang berasal sumur bor mengandung Fe yang diatas normal air baku budidaya, demikian pula NH₃ dalam air, hal ini sangat mengganggu kehidupan organisme budidaya.
- **Kontaminasi:** Air sumur bor dapat terkontaminasi oleh bakteri, virus, dan bahan kimia. Kontaminasi ini dapat membahayakan kesehatan ikan dan udang, serta mencemari lingkungan.

Pengujian Air

Sangat penting untuk melakukan pengujian air sumur bor sebelum menggunakannya untuk mengairi tambak atau kolam. Pengujian air dapat membantu menentukan kualitas air dan mengidentifikasi potensi kontaminasi. Parameter air yang perlu diuji termasuk pH, salinitas, alkalinitas, Fe, amonia, nitrat, nitrit, dan logam berat.

Pengolahan Air

Jika kualitas air sumur bor tidak sesuai dengan standar untuk budidaya perikanan, maka perlu dilakukan pengolahan air. Pengolahan air dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti filtrasi, desinfeksi, dan demineralisasi. Pilihan metode pengolahan air tergantung pada parameter air yang tidak sesuai standar dan tingkat keparahannya.

Volume Air

Kapasitas air sumur bor harus cukup untuk memenuhi kebutuhan irigasi tambak atau kolam. Perlu memperhitungkan kebutuhan air harian untuk budidaya perikanan, serta mempertimbangkan curah hujan dan evapotranspirasi sistem irigasi yang tepat perlu dirancang dan dipasang untuk mendistribusikan air sumur bor ke seluruh tambak atau kolam secara merata. Sistem irigasi yang umum digunakan untuk tambak dan kolam termasuk sistem irigasi gravitasi, sistem irigasi tetes, dan sistem irigasi sprinkler.

Penggunaan air sumur bor untuk mengairi tambak atau kolam dapat memberikan banyak manfaat, seperti meningkatkan hasil panen dan mengurangi penggunaan air. Namun, penting untuk memperhatikan kualitas air dan melakukan pengolahan air jika diperlukan. Dengan perencanaan dan pengelolaan yang tepat, air sumur bor dapat menjadi sumber air yang berkelanjutan untuk budidaya perikanan.

Air Laut

Air laut dapat digunakan untuk budidaya berbagai jenis hewan laut, termasuk udang, bandeng, kerapu, kakap putih, dan lain-lain. Budidaya udang Vaname merupakan organisme budidaya yang dapat dikelola secara industri dengan persyaratan air yang sangat optimal agar udang produktivitasnya tinggi dan berkelanjutan. Penggunaan air laut masih ditrunkan salinitasnya menjadi 15 permil sampai 25 permil. Air laut rata-rata

salinitasnya masih 30- 35 permil. Untuk menurunkannya masih perlu dicampuri air tawar dari sungai atau air tawar dari sumur bor. Untuk memenuhi air baku budidaya yang baik maka perlu diketahui kualitas masing masing air yang digunakan. Targetnya air yang digunakan media budidaya harus berkualitas baik dengan berbagai perlakuan filtrasi seperti dijelaskan sebelumnya.

Berikut adalah beberapa keuntungan dan tantangan penggunaan air laut untuk budidaya:

- Sumber air yang berlimpah: Air laut tersedia secara berlimpah dan tidak memerlukan biaya untuk mendapatkannya. Air laut yang baik menjadi
- Kaya nutrisi: Air laut kaya akan nutrisi yang dibutuhkan oleh hewan laut untuk tumbuh dan berkembang.
- Salinitas: Air laut memiliki kadar garam yang tinggi, yang dapat membahayakan hewan laut yang tidak toleran terhadap salinitas tinggi.
- Suhu: Suhu air laut dapat berfluktuasi, yang dapat menyebabkan stres pada hewan laut.
- Penyakit: Hewan laut yang dibudidayakan di air laut lebih rentan terhadap penyakit dibandingkan dengan hewan laut yang dibudidayakan di air tawar.

5.7 Jenis Budidaya Hatchery Udang

Hatchery udang Vaname atau *Litopenaeus vannamei*

Hatchery udang vaname atau *Litopenaeus vannamei* memerlukan baku mutu air tertentu dan berkualitas baik agar Air dengan kualitas yang baik akan membantu menjaga kesehatan udang dan meningkatkan daya tahan tubuhnya terhadap penyakit. Air yang tercemar dapat menyebabkan stres pada

udang, yang dapat melemahkan sistem kekebalan tubuhnya dan membuatnya mudah terserang penyakit.

Berikut adalah beberapa parameter baku mutu air hatchery udang vaname:

Suhu: 26-30°C

Salinitas: 30-35 ppt

pH: 7,8-8,5

Kecerahan: >25 cm (diukur dengan Secchi disk)

TSS (Total Suspended Solids): <10 mg/L

DO (Dissolved Oxygen): >5 mg/L

NH₃ (Amonia): <0,1 mg/L

NO₂- (Nitrit): <0,1 mg/L

NO₃- (Nitrat): <10 mg/L

PO₄³⁻ (Fosfat): <0,1 mg/L

Alkalinitas: 80-120 mg/L CaCO₃

Vibrio spp.: <100 CFU/ml

Total Coliform: <1000 CFU/ml

Untuk memastikan bahwa air memenuhi baku mutu yang perlu ditetapkan dalam pengelolaan adalah :

- Gunakan sumber air yang berkualitas baik: Baku mutu air laut di atas merupakan nilai ambang batas yang ideal untuk hatchery udang vaname
- Lakukan penyaringan air secara teratur : Penyaringan dilakukan agar air ideal untuk kehidupan benur udang dan mengurangi adanya partikel padatan yang mengganggu kehidupannya.

- Gunakan biofilter untuk menjaga kualitas air : Kualitas air laut yang optimal untuk hatchery udang vaname dapat bervariasi tergantung kondisi lingkungan, bio filter dapat mengurangi penyakit benur udang vaname.
- Pantau kualitas air secara berkala guna menyesuaikan udang agar kualitas air senantiasa sesuai.

Pemantauan kualitas air laut secara berkala sangat penting untuk memastikan bahwa air laut yang digunakan dalam hatchery udang vaname memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Hatchery udang vaname umumnya menggunakan beberapa jenis filter untuk menjaga kualitas air dan memastikan kelangsungan hidup udang. Berikut adalah beberapa jenis filter yang umum digunakan:

1. Filter Mekanik:

- Sand Filter: Filter ini menggunakan pasir sebagai media penyaring untuk menyingkirkan partikel tersuspensi seperti kotoran, sisa pakan, dan plankton. Sand filter biasanya digunakan sebagai tahap pertama penyaringan air.
- Cartridge Filter: Filter ini menggunakan cartridge yang terbuat dari bahan seperti polypropylene atau polyester untuk menyaring partikel yang lebih kecil. Cartridge filter biasanya digunakan setelah sand filter untuk penyaringan yang lebih halus.
- Bag Filter: Filter ini menggunakan kantong kain yang terbuat dari bahan seperti nylon atau polyester untuk menyaring partikel yang lebih halus. Bag filter biasanya digunakan setelah cartridge filter untuk penyaringan akhir.

2. Filter Biologis:

- Biofilter: Filter ini menggunakan media yang mendukung pertumbuhan bakteri nitrifikasi, yang membantu mengubah amonia menjadi nitrit dan nitrat. Biofilter dapat berupa trickling filter, moving bed biofilm reactor (MBBR), atau fluidized bed reactor (FBR).
- Denitrifier: Filter ini menggunakan media yang mendukung pertumbuhan bakteri denitrifikasi, yang membantu mengubah nitrat menjadi nitrogen gas. Denitrifier dapat berupa anoxic filter atau upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor.

3. Filter Lainnya:

- UV Sterilizer: Alat ini menggunakan sinar ultraviolet untuk membunuh mikroorganisme seperti bakteri, virus, dan jamur. UV sterilizer dapat membantu mencegah penyakit pada udang.
- Ozonizer: Alat ini menghasilkan ozon, yang merupakan gas dengan sifat antibakteri dan desinfektan. Ozonizer dapat membantu meningkatkan kualitas air dan mencegah penyakit pada udang.

Berikut adalah beberapa kombinasi filter yang umum digunakan di hatchery udang vaname:

- Sand filter + Cartridge filter + Biofilter: Kombinasi ini cocok untuk hatchery skala kecil dan menengah.
- Sand filter + Cartridge filter + Biofilter + UV Sterilizer: Kombinasi ini cocok untuk hatchery skala besar dan yang ingin meningkatkan biosecurity.
- Sand filter + Cartridge filter + Biofilter + Ozonizer: Kombinasi ini cocok untuk hatchery yang ingin meningkatkan kualitas air dan mencegah penyakit pada udang.

Pemilihan jenis filter yang tepat untuk hatchery udang vaname tergantung pada beberapa factor yaitu kebutuhan filtrasi pada tahap nauplii, zoea, mysis, dan PL berbeda-beda. Ukuran hatchery yang lebih besar membutuhkan sistem filtrasi yang lebih besar. Kualitas air baku yang buruk membutuhkan sistem filtrasi yang lebih kompleks. Biaya pembelian dan operasional sistem filtrasi harus dipertimbangkan.

5.8 Pemanfaatan Air Laut Untuk Tambak Udang vaname

Tambak udang vaname adalah kolam buatan yang digunakan untuk membudidayakan udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). Udang vaname merupakan spesies udang laut yang banyak dibudidayakan di Indonesia karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan udang lainnya. Baku mutu air untuk tambak vaname sangat penting untuk menjaga kesehatan udang dan meningkatkan hasil panen. Berikut adalah beberapa parameter baku mutu air untuk tambak vaname:

Parameter Fisik

Suhu: 25-30°C

Salinitas: 15-35 ppt (optimal 25-30 ppt)

pH: 7,5-8,5

Kecerahan: >25 cm (diukur dengan Secchi disk)

TSS (Total Suspended Solids): <30 mg/L

Parameter Kimia

DO (Dissolved Oxygen): >5 mg/L

NH₃ (Amonia): <0,1 mg/L

NO₂⁻ (Nitrit): <0,1 mg/L

NO₃- (Nitrat): <10 mg/L

PO₄³⁻ (Fosfat): <0,1 mg/L

Alkalinitas: 80-120 mg/L CaCO₃

H₂S (Hidrogen Sulfida): <0,02 mg/L

Parameter Biologi

Vibrio spp.: <100 CFU/ml

Total Coliform: <1000 CFU/ml

Filtrasi merupakan salah satu proses penting dalam menjaga kualitas air tambak udang vaname. Filtrasi dapat membantu menghilangkan partikel tersuspensi: Seperti kotoran udang, sisa pakan, dan plankton yang dapat mencemari air dan menurunkan kadar oksigen. Filtrasi juga dapat menghilangkan bakteri dan virus yang dapat menyebabkan penyakit pada udang. menjaga keseimbangan pH dan kadar oksigen dalam air tambak. Berikut adalah beberapa jenis filtrasi yang umum digunakan dalam tambak udang vaname:

1. Filtrasi Mekanik

Filter mekanik merupakan salah satu jenis filtrasi yang umum digunakan dalam tambak udang vaname. Filter mekanik bekerja dengan cara menyaring partikel tersuspensi seperti kotoran udang, sisa pakan, dan plankton dari air. Filtrasi di tambak biasanya tidak banyak yang menggunakan seperti di hatchery misalnya penggunaan sand filter dan sebagainya, hal ini disebabkan kebutuhan air tambak sangat besar sehingga cari yang lebih praktis seperti penyaringan dengan kantong kain nilon saja. Atau cukup diendapkan pada tandon yang bisa menampung kapasitas besar dan cukup diendapkan saja.

2. Filtrasi Biologis

- Biofilter: Filter ini menggunakan media yang mendukung pertumbuhan bakteri nitrifikasi, yang membantu mengubah amonia menjadi nitrit dan nitrat.
- Denitrifier: Filter ini menggunakan media yang mendukung pertumbuhan bakteri denitrifikasi, yang membantu mengubah nitrat menjadi nitrogen gas.

3. Filtrasi Lainnya

- UV Sterilizer: Alat ini menggunakan sinar ultraviolet untuk membunuh mikroorganisme seperti bakteri, virus, dan jamur. Saat ini sudah mulai ada petambak industri yang mulai menggunakan UV sterilizer.
- Ozonizer: Alat ini menghasilkan ozon, yang merupakan gas dengan sifat antibakteri dan desinfektan.

Berikut adalah beberapa tips untuk memilih sistem filtrasi yang tepat untuk tambak udang vaname:

- Pertimbangkan ukuran tambak: Sistem filtrasi yang tepat untuk tambak kecil berbeda dengan tambak besar.
- Pertimbangkan kualitas air: Sistem filtrasi yang tepat untuk air yang tercemar berbeda dengan air yang bersih.
- Pertimbangkan anggaran: Sistem filtrasi yang kompleks membutuhkan biaya yang lebih besar.

Teknologi Terbaru dalam Filtrasi Akuakultur:

1. Sistem biofilter terfluidisasi

Sistem biofilter terfluidisasi adalah teknologi pengolahan air yang menggunakan media biofilter yang bergerak bebas dalam aliran air. Media biofilter ini biasanya terbuat dari bahan seperti plastik, keramik, atau bioball.

Teknologi Biofilter Terfluidisasi:

- Air yang akan diolah dialirkan ke dalam tangki biofilter.
- Media biofilter : Media biofilter bergerak bebas dalam aliran air.
- Bakteri : Bakteri menempel pada permukaan media biofilter.
- Proses biofiltrasi: Bakteri menguraikan bahan pencemar organik dalam air.
- Air bersih: Air yang telah diolah keluar dari tangki biofilter.

Keuntungan Sistem Biofilter Terfluidisasi:

- Efisiensi tinggi: Sistem biofilter terfluidisasi memiliki efisiensi yang tinggi dalam menguraikan bahan pencemar organik.
- Luas permukaan yang besar: Media biofilter yang bergerak bebas dalam aliran air memberikan luas permukaan yang besar untuk pertumbuhan bakteri.
- Mudah dioperasikan dan dipelihara: Sistem biofilter terfluidisasi mudah dioperasikan dan dipelihara.
- Hemat biaya: Sistem biofilter terfluidisasi hemat biaya dibandingkan dengan sistem pengolahan air lainnya.

Aplikasi Sistem Biofilter Terfluidisasi

Pengolahan air limbah sistem biofilter terfluidisasi dapat digunakan untuk mengolah air limbah domestik, industri, dan pertambakan. Akuakultur: Sistem biofilter terfluidisasi dapat digunakan untuk menjaga kualitas air di tambak dan kolam ikan.

Sistem biofilter terfluidisasi lebih efisien, mudah dioperasikan, dan hemat biaya. Sistem ini dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk pengolahan air limbah, akuakultur, dan pembangkit listrik.

2. Filtrasi membran

Filtrasi membran adalah teknologi yang menggunakan membran semipermeabel untuk memisahkan partikel dari air. Membran ini memiliki pori-pori yang sangat kecil sehingga dapat menahan partikel seperti bakteri, virus, dan protozoa. Filtrasi membran dapat digunakan untuk berbagai aplikasi dalam akuakultur, termasuk:

a. Pengolahan air

- Penyaringan air: Filtrasi membran dapat digunakan untuk menyaring air dari sumber air baku, seperti air laut, air sungai, atau air sumur.
- Desinfeksi air: Filtrasi membran dapat digunakan untuk membunuh bakteri dan virus dalam air.
- Pengolahan air limbah: Filtrasi membran dapat digunakan untuk mengolah air limbah dari tambak dan kolam ikan.

b. Pemeliharaan kualitas air:

- Pengendalian penyakit: Filtrasi membran dapat membantu mengendalikan penyakit dengan menghilangkan bakteri dan virus dari air.
- Pengendalian alga: Filtrasi membran dapat membantu mengendalikan alga dengan

menghilangkan nutrisi yang dibutuhkan alga untuk tumbuh.

- Peningkatan kadar oksigen: Filtrasi membran dapat membantu meningkatkan kadar oksigen dalam air dengan menghilangkan partikel yang dapat menyumbat insang ikan.

Teknologi Filtrasi Membran:

- Mikrofiltrasi: Mikrofiltrasi dapat digunakan untuk menghilangkan partikel yang lebih besar dari 0,1 mikron, seperti bakteri dan protozoa.
- Ultrafiltrasi: Ultrafiltrasi dapat digunakan untuk menghilangkan partikel yang lebih besar dari 0,001 mikron, seperti virus dan protein.
- Nanofiltrasi: Nanofiltrasi dapat digunakan untuk menghilangkan partikel yang lebih besar dari 0,0001 mikron, seperti garam dan gula.
- Osmosis balik: Osmosis balik dapat digunakan untuk menghilangkan garam dan mineral dari air.

Keuntungan Filtrasi Membran efisiensi tinggi dengan filtrasi membran dapat menghilangkan partikel dengan efisiensi yang tinggi, mudah dioperasikan dan dipelihara, serta ramah lingkungan. Kekurangannya adalah biaya awal untuk membeli dan memasang sistem filtrasi membran dapat tinggi. Sistem filtrasi membran membutuhkan energi untuk beroperasi, membran dapat tersumbat oleh partikel, yang dapat mengurangi efisiensi sistem

Filtrasi membran adalah teknologi yang efektif dan serbaguna yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi dalam akuakultur. Teknologi ini dapat membantu meningkatkan kualitas air, mengendalikan penyakit, dan meningkatkan produksi benih.

Studi Kasus dan Contoh Penerapan

Contoh penerapannya

Studi kasus keberhasilan penggunaan sistem filtrasi: Menampilkan contoh penerapan sistem filtrasi yang berhasil meningkatkan kualitas air dan produktivitas budidaya.

Berikut adalah diagram sistem filtrasi kombinasi Sand Filter, Cartridge Filter, dan Biofilter pada tambak udang vaname yang sukses

Penjelasan:

- Air dari tambak: Air dari tambak masuk ke sistem filtrasi melalui pipa inlet.
- Sand Filter: Air melewati Sand Filter, yang menyaring partikel tersuspensi yang besar seperti kotoran udang, sisa pakan, dan plankton.
- Cartridge Filter: Air kemudian melewati Cartridge Filter, yang menyaring partikel tersuspensi yang lebih kecil dan bakteri.
- Biofilter: Air selanjutnya mengalir ke Biofilter, di mana bakteri nitrifikasi mengubah amonia menjadi nitrit dan nitrat.
- Air bersih: Air yang telah difiltrasi kemudian kembali ke tambak melalui pipa outlet.

Keuntungan:

- Efektif dalam meningkatkan kualitas air: Kombinasi Sand Filter, Cartridge Filter, dan Biofilter efektif dalam menyaring partikel tersuspensi, bakteri, dan virus, serta meningkatkan kadar oksigen dalam air.
- Meningkatkan produktivitas: Sistem filtrasi ini dapat meningkatkan survival rate (tingkat hidup) dan panen udang vaname.

- Mengurangi pencemaran lingkungan: Sistem filtrasi membantu mengurangi pencemaran lingkungan dari limbah tambak.
- Mudah dioperasikan dan dipelihara: Sistem filtrasi ini mudah dioperasikan dan dipelihara.

Pemilihan filterasi kombinasi ini yang harus diperhatikan adalah memilih media filter yang tepat yang sesuai dengan kebutuhan tambak Anda. Petambak harus melakukan backwash secara berkala. Backwash Sand Filter dan Cartridge Filter secara berkala untuk memastikan sistem filtrasi bekerja dengan optimal. Pemantauan kualitas air secara berkala untuk memastikan sistem filtrasi bekerja dengan baik dan untuk mengetahui kondisi air tambak.

Sistem filtrasi kombinasi Sand Filter, Cartridge Filter, dan Biofilter merupakan sistem filtrasi yang efektif untuk meningkatkan kualitas air dan produktivitas budidaya udang vaname. Sistem ini mudah dioperasikan dan dipelihara, serta dapat membantu mengurangi pencemaran lingkungan. Sistem filtrasi merupakan komponen penting dalam akuakultur untuk menjaga kualitas air dan kesehatan organisme budidaya. Dengan memahami berbagai jenis sistem filtrasi, mekanismenya, dan cara kerjanya, pembudidaya dapat memilih dan menerapkan sistem filtrasi yang tepat untuk meningkatkan hasil panen dan kelestarian lingkungan.

BAB 6

SISTEM DISINFEKSI DAN BIOSEKURITAS AKUAKULTUR

Oleh Atika Marisa Halim

6.1 Pinsip Umum Disinfeksi pada Kegiatan Budidaya

Disinfeksi digunakan sebagai alat pengelolaan penyakit yang umum digunakan pada kegiatan budidaya perikanan. Hal ini dapat digunakan sebagai praktik rutin dalam program biosekuriti yang dirancang untuk mencegah penyebaran penyakit tertentu, serta sanitasi rutin yang digunakan untuk mengurangi timbulnya penyakit di dalam pemeliharaan organisme yang dibudidayakan, atau dapat digunakan dalam pemberantasan hama yang dapat mengganggu proses budidaya. Alasan spesifik disinfeksi akan menentukan strategi disinfeksi yang digunakan dan cara penerapannya.

Prinsip umum yang berkaitan dengan desinfeksi tempat budidaya perikanan melibatkan penerapan bahan kimia yang harus diperhatikan konsentrasi yang cukup, dan untuk jangka waktu yang cukup, serta dapat membunuh semua organisme patogen pada media air budidaya dan sekitarnya. Karena toksisitas yang melekat pada disinfektan juga akan mempengaruhi keamanan dan kesehatan kultivan, desinfeksi hanya dapat diterapkan sesuai dengan dosis yang ditetapkan pada tempat penetasan dan penyimpanan barang pada usaha

budidaya. Penting untuk diingat bahwa terdapat metode alternatif lain yang digunakan untuk membunuh pathogen.

Pilihan prosedur disinfeksi tergantung pada ukuran, jenis dan sifat bahan serta fasilitas yang akan digunakan, dan harus dipastikan bahwa produk desinfektan yang tersedia secara legal di suatu negara. Permukaan yang akan didesinfeksi diantaranya jaring/waring, permukaan keras (plastik, beton) atau bahan permeabel (tanah, kerikil). Disinfeksi lebih sulit dilakukan pada permukaan yang permeabel dan memerlukan waktu yang lebih lama.

Adanya bahan organik pada perairan budidaya dapat mengurangi kinerja desinfektan. Sehingga, menyaring air yang masuk adalah salah satu hal yang perlu dilakukan untuk mencegah penumpukan bahan organik. Selain itu, semua permukaan harus dibersihkan secara menyeluruh sebelum disinfeksi. Deterjen yang digunakan haruslah kompatibel dengan desinfektan dan keduanya harus kompatibel dengan permukaan yang dirawat (misalnya larutan iodoform umumnya bersifat asam sehingga tidak dapat digunakan pada beton yang bersifat basa).

Desinfeksi dasar mencakup pemindahan semua hewan air (baik yang mati maupun hidup) dari wadah pemeliharaan, menghilangkan semua sisa bahan organik yang menempel pada wadah budidaya setelah pemanenan juga perlu dilakukan sebelum memulai kegiatan budidaya selanjutnya. Prosedur pencucian dan disinfeksi paling sedikit meliputi tahapan sebagai berikut:

- a. Pembuangan limbah padat, dll., diikuti dengan pencucian awal, biasanya dapat menyempatkan air tawar.
- b. Pembersihan dan pencucian dengan menggunakan detergen atau sikat pembersih.

- c. Disinfeksi menggunakan desinfektan atau bahan kimia lain.

Terdapat sejumlah metode disinfeksi yang bisa dilakukan digunakan dalam budidaya perikanan. Logistik, toksisitas residu, dan biaya akan menentukan metode mana yang paling cocok untuk digunakan. Metode disinfeksi yang paling umum adalah baik fisik maupun kimia. Para pelaku budidaya perairan harus memahami peraturan federal, negara bagian, dan lokal mengenai penggunaan metode atau agen tertentu, serta setiap masalah keselamatan manusia dan lingkungan.

Metode fisik untuk mendisinfeksi peralatan meliputi penjemuran dengan memanfaatkan energi panas, sinar matahari dan pengeringan (dessikasi). Paparan pada suhu 80 hingga 100 °C selama 10 menit mematikan mikroorganisme, tetapi beberapa tahap kehidupan seperti spora mungkin memerlukan jangka waktu yang lebih lama. Sinar matahari bisa efektif, namun waktu paparan akan bervariasi tergantung pada intensitas, suhu dan faktor lainnya. Pengeringan peralatan bisa juga membantu mengurangi jumlah patogen, meskipun spora, kista atau telur masih bertahan. Di daerah dengan kelembaban tinggi (seperti wadah budidaya pada lokasi dalam ruangan atau di luar ruangan selama musim hujan atau hujan), pengeringan sempurna mungkin tidak dapat dilakukan.

Penting untuk memberikan perlindungan bagi pelaku disinfeksi dari kontak dengan zat berbahaya dengan mengenakan pakaian pelindung, masker wajah, pelindung mata, dan lain-lain, jika diperlukan. Desinfektan harus disimpan sedemikian rupa sehingga tidak menimbulkan bahaya langsung atau tidak langsung terhadap kesehatan hewan atau manusia dan lingkungan sekitar. Seluruh proses kegiatan disinfeksi harus dipantau oleh orang yang kompeten secara teknis dan catatannya perlu disimpan, tentunya apabila usaha budidaya

telah menerapkan Cara Budidaya Ikan yang Baik (CBIB) pencatatan tersebut merupakan hal yang sangat penting.

6.2 Desinfeksi Telur dan Larva

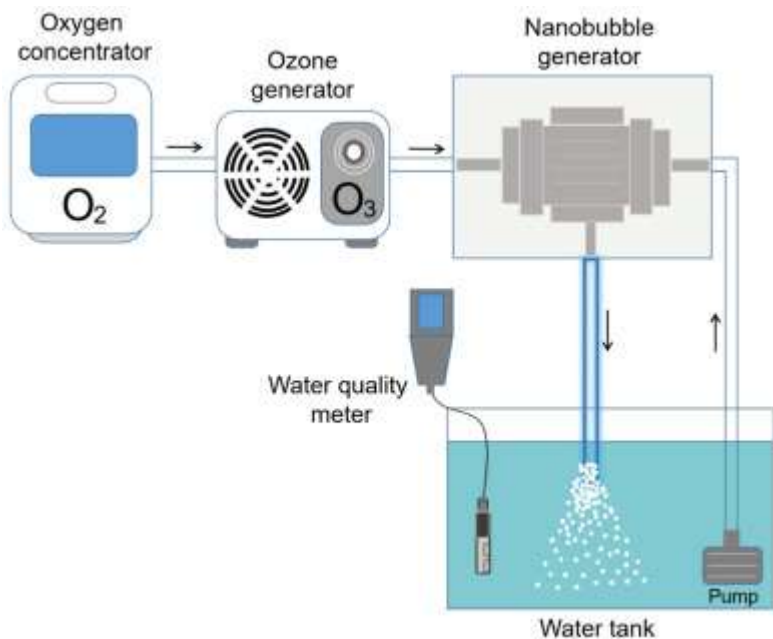
Pada usaha pembenihan, desinfeksi telur dengan iodine dapat dilakukan untuk berbagai spesies ikan, tetapi yang paling umum digunakan untuk telur ikan dari jenis *Salmonidae* (salmon, trout dan char). Meski secara umum efektif untuk dekontaminasi permukaan cangkang telur dan telur yang baru dibuahi, penggunaan disinfektan, seperti iodofor, tidak boleh digunakan untuk mencegah penularan vertikal beberapa bakteri patogen (misalnya *Renibacterium salmoninarum*) dan patogen virus (misalnya *Infectious Pancreatic Necrosis Virus*) yang mungkin ada di dalam sel telur yang terbuahi.

Iodofor telah menjadi disinfektan telur yang banyak diminati oleh pembenih baik lingkup usaha luas maupun hatchery skala rumah tangga, karena merupakan disinfektan permukaan paling andal yang dapat digunakan untuk mengendalikan penyebaran patogen ikan dengan margin keamanan yang luas.

Iodofor (produk larut dalam air yang mengandung yodium) terbukti efektif mencegah penyebaran bakteri (*Aeromonas salmonicida*, *Flavobacterium Columnare*, *Cytophaga psychrophila*, *Vibrio anguillarum*, *Yersinia ruckeri*), virus (virus nekrosis hematopoietik menular, virus nekrosis pankreas menular, virus anemia salmon menular, dan virus septikemia hemoragik), dan agen jamur/mikotik (Yanong dan Erlacher-Reid, 2012). Dianjurkan untuk memberikan yodium dalam rendaman 10 menit dengan 100 ppm yodium. Penting untuk dicatat bahwa jika telur ditujukan untuk konsumsi manusia atau hewan, produk yodium tidak boleh digunakan.

Disinfektan lainnya termasuk hidrogen peroksida dan formalin. Disinfektan hidrogen peroksida juga terbukti efektif melawan bakteri, virus, dan agen jamur/mikotik. Formalin juga dapat digunakan namun karena kekhawatiran terhadap keselamatan manusia, penggunaannya sebaiknya tidak digunakan dalam desinfeksi telur karena ada alternatif yang lebih baik.

Sugama *et al.*, (2013) menjelaskan bahwa meminimalisir kemungkinan penularan vertikal penyakit *Viral Nervous Necrosis* (VNN), telur berbagai spesies ikan laut yang telah dibuahi diberi perlakuan ozonisasi (Gambar 6.1).



Gambar 6. 1. Sistem Ozonasi pada Akuakultur sebagai Disinfeksi

(Jhunkeaw *et al.*, 2021)

Dibandingkan dengan metode disinfeksi tradisional seperti klorin atau ultraviolet, ozon yang dilarutkan dalam air memiliki banyak keunggulan: ramah lingkungan, bertahan di dalam air dalam waktu singkat, dan tidak berakibat fatal bagi ikan yang dibudidayakan. Karena potensi oksidasinya yang tinggi, ozon dapat secara efektif melawan bakteri. Ini dapat menghancurkan membran sel patogen (Jhunkeaw *et al.*, 2021).

Abd El-Gawad, Shen dan Wang (2016) menjelaskan bahwa disinfektan kimia mempunyai dua peran: pertama, mencegah perpindahan patogen eksternal dari induk ke telur, dan dengan demikian mengurangi angka kematian yang terkait dengan patogen tersebut. Kedua, mengurangi kelimpahan jamur dan bakteri secara keseluruhan yang menyebabkan kematian telur. Disinfektan bekerja pada mikroorganisme baik dengan menghambat pertumbuhannya atau dengan efek mematikan (bakterisidal, fungisidal, dan virusidal).

Disinfektan kimia yang umum digunakan adalah produk klorin anorganik (pemutih, seperti natrium hipoklorit atau kalsium hipoklorit), Virkon® Aquatic, senyawa amonium kuaterner (QAC), klorheksidin, alkohol (seperti isopropil alkohol), iodofor, hidrogen peroksida, turunan fenol, dan formaldehida.

Formalin adalah disinfektan yang umum digunakan oleh para pembudidaya ikan untuk mengendalikan infeksi jamur, bakteri, parasit dan virus pada ikan dan telur ikan. Kemanjuran formalin dalam meningkatkan tingkat penetasan dengan konsentrasi berbeda dan waktu pemaparan berbeda telah dipelajari dan terbukti menjadi disinfektan yang efektif pada berbagai spesies ikan (Akpoilih & Adebayo 2010; Stuart *et al.* 2010; Yisa *et al.* 2014). Telur *Clarias gariepinus* yang diberikan perlakuan dengan 1 ml formalin yang diencerkan selama 60 detik adalah dosis yang paling efektif dan direkomendasikan (Yisa *et al.*, 2014). Namun, saat ini Formalin tidak lagi

direkomendasikan karena uapnya yang menyebabkan iritasi dan potensi karsinogenisitasnya pada konsentrasi yang lebih tinggi. Produk lain direkomendasikan sebagai pengganti formalin.

Yodium telah terbukti sebagai desinfektan yang efisien terhadap patogen bakteri, jamur dan virus pada berbagai spesies ikan (Wagner, Oplinger, Arndt, Forest & Bartley 2010; Eissa, Abdelsalam, Tharwat & Zaki 2013); sementara itu menunjukkan tingkat toksisitas yang rendah terhadap telur ikan. Yodium dan formalin (37% formaldehida) telah disetujui oleh FDA untuk disinfeksi telur dalam budidaya perikanan (Food & Drug Administration, 2010).

Hidrogen peroksida adalah zat pengoksidasi kuat yang dapat efektif sebagai desinfektan permukaan pada konsentrasi 3%. Ini membunuh bakteri dan beberapa patogen lainnya. Karena hidrogen peroksida terurai menjadi oksigen dan air, itu dianggap aman bagi lingkungan. 35% PEROX-AID® (35% produk hidrogen peroksida) disetujui FDA untuk membunuh patogen spesifik pada ikan dan telur ikan.

Natrium klorida (garam) telah terbukti sebagai desinfektan yang aman, efektif dan ekonomis untuk mengendalikan jamur dan infeksi bakteri pada budidaya ikan bersirip dan kerang air tawar sehingga meningkatkan tingkat penetasan telur.

Disinfektan kimia sangat berguna, tetapi kegunaannya berbeda-beda begitupun efektivitasnya terhadap pencegahan penyakit tertentu (lihat Gambar 6.2 dan 6.3).

Disinfectant type	Products / chemicals	Dose or dilution	Contact time	Specific activity*	Comments
Chlorine	Sodium hypochlorite (liquid)	200 to 500 mg/L** available chlorine	10 to 60 minutes for general disinfection.	B EV	Rinse equipment thoroughly after use and neutralize with sodium thiosulfate (7 mg to 1 mg of chlorine). Make sure no residual chlorine remains (test).
	Calcium hypochlorite (powder, granules, pellets)	5,000 to 10,000 mg/L available chlorine	Higher concentrations and longer contact times may be required for specific pathogens and situations. 10 to 30 minutes to eliminate some more resistant types of mycobacteria and spores. When cleaning tanks, disinfect for 24 hours, neutralize, rinse, and allow to dry.	NEV F +/- M +/- S	Irritates mucus membranes, eyes, and skin in high concentrations; therefore, it is advisable to wear gloves, masks, and eye protection. Use with caution—to avoid killing animals in adjacent systems or tanks—in poorly ventilated rooms. Corrosive to metals and may damage silicone sealants. Damaging to nets over time. Do not mix with ammonia or with products containing phosphoric acid. Works best in pH of 6 to 8. Alkaline pH inhibits chlorination. Shelf life may be up to 1 month if stored in an opaque bottle and used sparingly. Opening and closing the bottle frequently may reduce the concentration by half over the course of a month.

* B = bacteria, EV = enveloped viruses, NEV = non-enveloped viruses, F = fungal/mycotic agents, M = mycobacteria organisms, S = spores.

+/- designates variable results documented in the literature. Refer to Table 3 for disinfection recommendations for specific diseases.

** 1.4 grams of HTH (calcium hypochlorite) per liter = 0.4 grams of 50% HTH per liter = 0.32 grams of 65% HTH per liter = 200 mg/L available chlorine

Disinfectant type	Products / chemicals	Dose or dilution	Contact time	Specific activity*	Comments
Iodine/ Iodophor	Providone-iodine Contains 9 to 12% available iodine calculated on a dry weight basis. Formulations may contain 1 to 10% providone-iodine, which is equivalent to 0.1 to 1% available iodine.	30 to 50 mg/L of free iodine	10 to 30 minutes for general disinfection	B	Different iodine formulations vary in concentration; therefore, the amount to use for disinfection can depend on the brand that is used. Follow product label instructions carefully, especially if using for egg surface disinfection.
		Dilution depends on product.	Prolonged contact time likely for mycobacteria and spores.	EV	
				+/- NEV	
				F	
				+/- M	Will stain cloth or clothing a dark brown.
				+/- S	Can be somewhat corrosive to metals.
		200 to 250 mg/L free iodine	A few seconds only; foot baths or net dips.		
Virkon® Aquatic	Virkon® Aquatic 21.4% potassium peroxymonosulfate and 1.5% sodium chloride	Virkon dilution of 0.5% to 1% or 50 to 100 g per 10 liters of water	10 to 15 minutes for general disinfection.	B	Commonly used for footbaths.
				EV	Do not exceed 30 minutes of contact time on metal objects.
				NEV	Active for 7 days after mixed; test strips are available from the manufacturer.
				+/- F	Considered environmentally safe, biodegradable.
				+/- S	
Quaternary Ammonium Compounds (QAC)	Roccal®-D 10% solution of benzalkonium chloride	250 to 500 mg/L benzalkonium chloride	10 to 30 minutes for general disinfection.	B	Commonly used on floors, footbaths, walls, equipment, and furnishings due to good penetration of porous surfaces.
		5 ml of Roccal per 1 liter of water often used for a net dip		EV	
				+/- F	
		Roccal dilution of 0.1 to 1.5% also common			
Alcohol	Ethyl alcohol (ethanol) and isopropyl alcohol (isopropanol)	60 to 90% (v/v; volume of alcohol to volume of water)	10 to 30 minutes for general disinfection.	B	Both readily available.
				EV	Most commonly used for hands and counter/work surfaces.
				F	Prolonged and repeated use on plastic and rubber may damage these materials.
				M	Repeated application on the skin can result in drying and irritation.
					Ethanol is highly flammable; isopropyl alcohol is safer.
Chlorhexidine	Nolvasan®-S 2% Chlorhexidine diacetate Virosan™ 2% Chlorhexidine gluconate (CHG) Most solutions contain 2% active chlorhexidine.	Nolvasan dilution of 10% (add 100 ml to 1 liter of water) for disinfection	5 to 10 minutes for general disinfection.	B	Commonly used for footbaths because it is more resilient to the presence of organic material than chlorine or iodophors.
				EV	
				+/- F	
					Activity reduced in hard water, at extreme alkaline or acidic pH, or in the presence of anionic and non-ionic based moisturizers and detergents.

* B = bacteria, EV = enveloped viruses, NEV = non-enveloped viruses, F = fungal/mycotic agents, M = mycobacteria organisms, S = spores, +/- designates variable results documented in the literature. Refer to Table 3 for disinfection recommendations for specific diseases.

Disinfectant type	Products / chemicals	Dose or dilution	Contact time	Specific activity*	Comments
Hydrogen peroxide	3% Hydrogen peroxide	3 to 30%** w/v; weight percentage	5 to 30 minutes for general disinfection.	B	Lower concentration products readily available in smaller quantities.
	35% PEROX-AID®	(If using 35% PEROX-AID for treatment of fish or disinfection of eggs, follow labeled instructions.)	(One recommendation is for 3 to 5% for 5 to 15 minutes.)	EV	Concentrated solutions may irritate the eyes, skin, and mucous membranes; wear protective gear, including gloves and eye protection.
				F	
				+/- M	High-strength hydrogen peroxide should be stored in a suitable, vented container to prevent rupture from the buildup of oxygen gas.
				+/- S	
Phenolic derivatives	ortho-phenyl phenol	2 to 5% active ingredient	10 to 30 minutes for general disinfection.	B	Some common household products.
	ortho-benzyl-para-chlorophenol			EV	Skin irritation and absorption through the skin can occur so it is important to take precautions when using these materials. Wear gloves, eye protection, and masks to prevent respiratory irritation.
	para-tertiary amylphenol			+/- NEV	
				F	
Aldehydes	Lysol®	1% Lysol	1 minute inactivates mycobacteria.	+/- M	Must rinse well after use; residue is toxic.
	1% Benzyl-4-chlorophenol-2-phenylphenol				
	Formaldehyde	1 to 8%	10 minutes to 16 hours.	B	Formalin is used, but not recommended as a disinfectant due to irritating vapors and potential carcinogenicity.
				EV	Personal protective equipment is required.
pH	Calcium hydroxide (slaked lime)	pH > 11	>4 hours	NEV	The OSHA limit is an 8-hour time-weighted average exposure to a concentration of 0.75 mg/L of formalin in the workplace.
	Calcium oxide (quicklime)			F	
	Hydrochloric acid			M	
	Phosphoric acid	pH < 4		S	
				+/- EV	Concentrated products are very irritating, caustic and corrosive. Wear personal protective equipment, including respirators, when applying.
				+/- NEV	Apply only in a well-ventilated area. Store products as per manufacturer's instructions.

* B = bacteria, EV = enveloped viruses, NEV = non-enveloped viruses, F = fungal/mycotic agents, M = mycobacteria organisms, S = spores, +/- designates variable results documented in the literature. Refer to Table 3 for disinfection recommendations for specific diseases.

** 3% means 3 grams of hydrogen peroxide per 100 grams of solution

Gambar 6. 2. Disinfektan kimia yang biasa digunakan dalam budidaya perikanan. (Yanong dan Erlacher-Reid, 2012).

Secara historis *malachite green* telah digunakan secara efektif untuk menghambat infeksi jamur pada salmon dewasa dan telurnya. Sesuai dengan peraturan FDA, manfaat potensial dari penggunaan *malachite green* adalah melawan virus seperti IHNV(Giuseppe Bovo, Barry Hill, Asbjørn Husby, Tore Håstein, Christian Michel, Niels J. Olesen, 2005). *Malachite green* adalah senyawa beracun yang mekanisme kerjanya dapat mempengaruhi sistem pernafasan patogen, kerusakan sel pathogen dan mengakibatkan kematian dalam waktu yang sangat cepat. Disamping itu, *malachite green* mampu melindungi

membran telur ikan dari serangan jamur *Saprolegnia* sp. Muhajir (2018) pada penelitiannya menemukan bahwa Dosis terbaik dalam menggunakan *malachite green* sebagai desinfektan untuk membunuh *Saprolegnia* sp. pada telur ikan mas adalah 1 ppm, sedangkan lama perendaman yang terbaik selama 60 menit.

Aplikasi bahan kimia sebagai desinfektan untuk penyakit ikan sudah lama dikenal oleh pembudidaya. Namun, pada perkembangan terakhir ini, dampak akumulasi penggunaan bahan kimia terutama sebagai desinfektan secara tidak langsung dapat merusak ekosistem perairan. Disamping itu dapat menurunkan kualitas ikannya. Sehingga sangat perlu diperhatikan dosis penggunaan dan lama waktu penggunaannya bagi telur yang dibuahi dan lingkup pembenihan.

Pathogen	Specific disinfectants reported in the literature and minimal required dose
<i>Mycobacteria</i> ^{1,2}	Chlorine 200 mg/L for 60 minutes Chlorine 500 mg/L for 30 to 60 minutes Chlorine 5,000 to 10,000 mg/L for 10 to 30 minutes Phenolic (Lysol®) for 1 minute 50 to 70% ethyl alcohol for 1 minute
<i>Mycobolus cerebralis</i> ² (MC = myxospores; TAM = Triactinomyxon spores)	Benzalkonium chloride 500 mg/L for 10 minutes (MC, TAM) Chlorine 500 mg/L for 15 minutes (MC) or 10 minutes (TAM) Virkon® Aquatic 0.5 to 1% for 5 minutes (TAM)
<i>Megalocytivirus</i> ²	Chlorine 200 to 500 mg/L for 15 minutes pH >11 for a minimum of 30 minutes
<i>Betnodavirus</i> ²²	Benzalkonium chloride 50 mg/L for 10 minutes Chlorine 50 mg/L for 10 minutes Iodophor 50 mg/L for 10 minutes pH of 12 for 10 minutes
<i>Ranavirus</i> ²	Chlorine 500 mg/L for 15 minutes Didecyl dimethyl ammonium chloride 400 mg/L for 10 minutes Virkon® Aquatic 0.5 to 1% for 1 minute
Koi Herpesvirus (Herpesvirus) ^{2,22}	Benzalkonium chloride 500 mg/L for 10 minutes Benzalkonium chloride 60 mg/L for 20 minutes Chlorine at a minimum of 3 mg/L for 20 minutes Didecyl dimethyl ammonium chloride 400 mg/L for 5 minutes Ethyl alcohol (minimum 30%) for 20 minutes Hydrogen peroxide 3 to 5% for 5 minutes Iodophor 200 mg/L for 20 minutes
Channel Catfish Virus Disease (Herpesvirus) ¹	Chlorine 20 to 50 mg/L in pond for 24 hours and sun drying
Viral Hemorrhagic Septicemia ²	Benzalkonium chloride 500 mg/L for 5 minutes Chlorine 200 to 500 mg/L for 5 minutes Iodophor 100 to 200 mg/L for 10 minutes Isopropyl alcohol 60 to 80% for 2 minutes Phenol (Lysol®) for 15 minutes Virkon® Aquatic 0.5 to 1% for 10 minutes
Spring Viremia of Carp (Rhabdovirus) ^{2,22,23}	Benzalkonium chloride 100 mg/L for 20 minutes Chlorhexidine gluconate 175 mg/L for 30 seconds Chlorhexidine gluconate 100 mg/L for 20 minutes Chlorine 500 mg/L for 10 minutes Didecyl dimethyl ammonium chloride 400 mg/L for 10 minutes Hydrogen peroxide 3 to 5% for 5 minutes Iodine 250 mg/L for 20 minutes Virkon® Aquatic 0.5 to 1% for 10 minutes Virkon® Aquatic 0.1% for 30 minutes pH >10 for 15 minutes
Infectious Hematopoietic Necrosis (Rhabdovirus) ^{2,22,23}	Benzalkonium chloride 500 mg/L for 10 minutes Chlorine 200 to 500 mg/L for 5 minutes Iodine 100 to 250 mg/L for 10 minutes Virkon® Aquatic 0.5 to 1% for 5 minutes Virkon® Aquatic 0.1% for 15 to 30 minutes

Gambar 6. 3. Patogen pada Ikan dan Desinfektan
(Yanong and Erlacher-Reid, 2012)

Berbeda perlakuannya dengan desinfeksi pada telur ikan, penyakit virus pada udang penaeid (yaitu baculovirosis, baculovirosis tetrahedral, dan Infeksi parvovirus hepatopankreatik) ditularkan melalui kontaminasi feses pada telur yang dipijahkan. Penyakit-penyakit tersebut, serta infeksi akibat virus udang tertentu lainnya seperti penyakit bercak putih, dan agen penyakit bakteri dan jamur tertentu, dapat dihilangkan dikurangi melalui penggunaan protokol desinfeksi

secara rutin mulai dari karantina telur yang terbuahi sampai nauplii menetas. Metode yang banyak digunakan adalah sebagai berikut:

- Untuk telur yang terbuahi
Kumpulkan telur yang telah dibuahi, pisahkan dengan telur yang tidak terbuahi, karena akan menyebabkan penyebaran infeksi jamur apabila diletakkan dalam satu wadah. Bilas dengan air laut mengalir selama 1-2 menit. Rendam telur dalam 100 ppm formalin selama 1 menit. Rendam telur dalam iodofor (0,1 ppm yodium) selama 1 menit. Bilas dengan menggunakan air laut mengalir selama 3-5 menit. Pindahkan ke tangki pemeliharaan larva yang telah didesinfeksi.
- Untuk Naupli
Dengan menggunakan respons fototaksis terhadap cahaya, kumpulkan nauplii dengan jaring atau kasa. Bilas dengan air laut yang mengalir selama 1-2 menit. Nauplii direndam seluruhnya dalam formalin 400 ppm selama 30-60 detik. Nauplii direndam seluruhnya dalam iodofor (0,1 ppm yodium) selama 1 menit. Bilas dengan air laut mengalir 3-5 menit. Transfer ke tangki pemeliharaan larva yang telah didesinfeksi.

Disinfeksi telur dan larva pada golongan penaeid tentunya tidak terlepas dari disinfeksi air media pemeliharaan. Hampir semua tempat pembenihan udang penaeid dan fasilitas karantina indukan pasti menggunakan air laut yang telah didesinfeksi untuk menghilangkan potensi patogen, hama, dan agen pembawa penyakit melalui filtrasi mekanis, penyinaran UV, dan/atau desinfeksi kimia. Hal ini dapat dilakukan dengan penyaringan air dari sumber yang pasif (yaitu dengan menggunakan air laut melalui pengeboran sumur) atau dengan penyaringan mekanis menggunakan pompa bertekanan tinggi dan berbagai perangkat penyaringan air yang bertingkat.

Beberapa fasilitas menggunakan penyaringan yang dipadukan dengan disinfeksi sumber air dengan sinar UV, sementara fasilitas lainnya menggunakan metode desinfeksi kimia, menggunakan klorinasi dan deklorinasi atau ozon dosis tinggi dan selanjutnya menghilangkan sisa oksidan.

6.3 Pemanfaatan dan Aplikasi Biosekuriti pada Akuakultur

Biosekuriti dalam budidaya perairan terdiri dari praktik-praktik, prosedur maupun kebijakan yang meminimalkan risiko masuknya penyakit menular dan menyebarkannya ke kultivan. Praktik-praktik ini juga mengurangi stres pada kultivan, sehingga mengurangi kerentanan mereka terhadap penyakit.

Biosekuriti akan berhasil hanya jika manajer dan staf serta pengunjung memahami dan mengikuti standar operasional prosedur yang telah ditetapkan. Biosekuriti yang baik juga mencakup pengurangan kondisi stres yang dapat membuat ikan lebih rentan terhadap penyakit. Biosekuriti yang baik mencakup perolehan hasil budidaya ikan yang sehat dan mengoptimalkan sistem kekebalan tubuh ikan melalui cara budidaya ikan yang baik (pengelolaan/*handling*); mencegah, mengurangi, atau menghilangkan organisme penyebab penyakit dan penyebarannya (manajemen patogen); dan mendidik serta mengelola staf dan pengunjung tentang aplikasi biosekuriti yang baik (manajemen sumber daya manusia).

Tujuan utama biosekuriti adalah:

- pengelolaan hewan
- mendapatkan stok yang sehat dan mengoptimalkan kesehatan dan kekebalan manajemen produksi yang baik
- manajemen—mencegah, mengurangi atau menghilangkan patogen

- manajemen—mendidik dan mengelola staf dan pengunjung

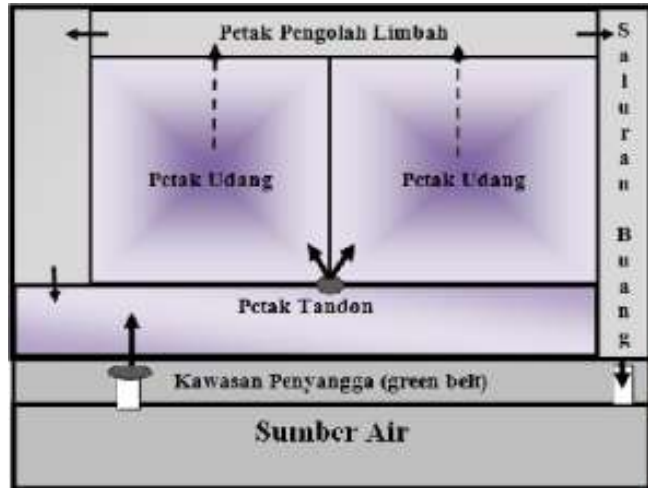
Kemudahan masuknya patogen tertentu suatu fasilitas, menyebar dari satu sistem ke sistem lainnya, dan penyebabnya penyakit tergantung pada:

- spesies, status kekebalan, kondisi, tahap kehidupan dan kerentanan strain pada ikan yang dibudidayakan;
- faktor lingkungan utama seperti kualitas air
- Karakteristik patogen, seperti biologi dan siklus hidupnya tergantung pada kondisi reservoir (pembawa/*carrier*), (peralatan), , peraturan status (penyakit eksotik vs. endemik, pelaporan, dan undang-undang federal, negara bagian dan lokal);
- pemahaman pekerja mengenai prinsip-prinsip biosekuriti dan kepatuhan terhadap protokol biosekuriti.

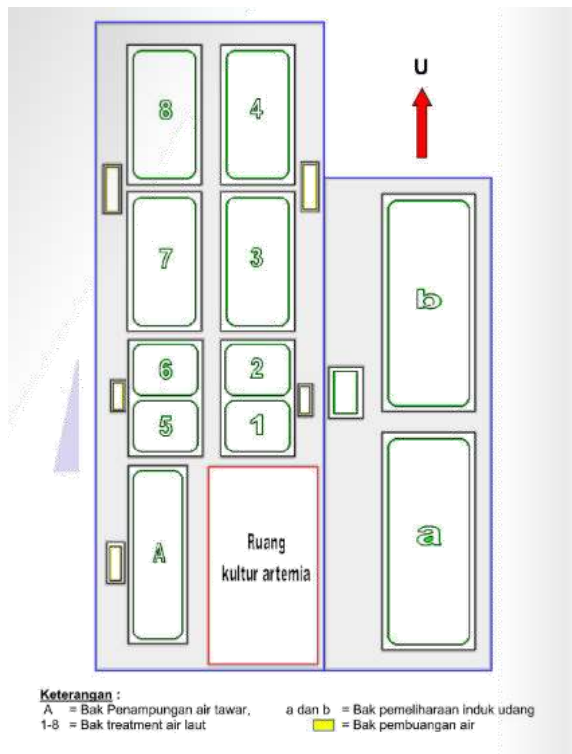
Aplikasi biosekuriti pada unit budidaya dimulai dari mengkondisikan steril pada:

- Ruang Mesin
- Instalasi Aerasi
- Bangunan Filtrasi Air Media
- Bangsal Panen
- Penyimpanan Pakan
- Penyimpanan Bahan Kimia dan Obat-obatan
- Sterilisasi Alas Kaki (*footbath*)
- Sterilisasi tangan
- Biosekuriti kendaraan yang keluar masuk pada unit budidaya
- Perlengkapan kerja personil
- Keamanan Lingkungan lokasi budidaya
- Tersedianya tempat sampah berpenutup
- Pengelolaan Limbah

Food Agricultural Organization (FAO) menetapkan dua negara sebagai percontohan yang menerapkan biosekuriti pada usaha budidaya. Selain Vietnam, Indonesia merupakan rujukan lokasi yang ditunjuk oleh FAO. Kementerian Kelautan Perikanan fokus mencegah masuknya patogen pada industri budidaya. Salah satu yang menjadi perhatian penting bagi salah satu komoditas ekspor andalan Indonesia adalah udang vaname (*Litopenaus vannamei*). Penyakit yang sering muncul dan perlu dilakukan pengelolaan secara intens adalah *Accute Hepatopancreatic Necrosis disease* (AHPND), dimana penyakit ini sudah menyerang pada Negara Tiongkok, Thailand, Malaysia, Meksiko dan Vietnam. Upaya pencegahan yang telah dilakukan oleh Indonesia antara lain melakukan pengawasan, sosialisasi dan penerapan biosekuriti pada lokasi budidaya. Di Indonesia memberlakukan unit budidaya maupun unit pembenihan untuk menyusun standar prosedur operasional (SOP) pencegahan penyakit bakterial, penguatan kapasitas laboratorium termasuk sumber daya manusia dan peralatannya, dan menyusun rencana aksi untuk mencegah masuk dan tersebar luasnya penyakit pada usaha budidaya. Konstruksi tambak budidaya juga harus diatur sedemikian rupa seperti pada gambar 4. Sedangkan konstruksi dan tata letak unit pembenihan udang seperti pada gambar 6.5.



Gambar 6. 4. Konstruksi Tambak Udang Sistem Biosekuriti



Gambar 6. 5. Tata Letak Wadah Pembenihan Udang Sistem Biosekuriti

Sesuai dengan acuan SNI 7911:2013, sistem Biosekuriti pada unit pembenihan dilakukan pada 3 tahapan produksi mulai dari *Input*, proses dan *output*. Pada *Input* yang perlu disiapkan antara lain:

1. Fasilitas disinfeksi kendaraan pembawa induk yang masuk ke area pembenihan dengan melalui perendaman air dengan KmnO_4 konsentrasi 5 – 10 mg/l atau menggunakan formalin 100% (formaldehid 37%) konsentrasi 100 – 200 mg/l atau dapat menggunakan bahan disinfeksi lainnya yang tidak bersifat korosif pada logam
2. Isolasi induk/karantina induk dengan merendam induk dengan PVP iodine 10% atau dapat menggunakan formalin dengan konsentrasi 50 – 100 mg/l satu ekor dalam styrofoam yang diberikan aerasi
3. Melakukan disinfeksi media pemeliharaan dan aerasi dengan kalsium hipoklorit 60% dengan konsentrasi 30 mg/l
4. Memberikan pakan segar berupa *polychaeta* (cacing laut), tiram, cumi, *lumbricus* (cacing tanah) yang tidak mengandung patogen yang telah dicuci dengan air yang mengandung air ozon sebanyak 0,1 – 0,2 mg/l selama 3 menit.

Pada proses pembenihan penerapan biosekuriti yang dilakukan antara lain:

1. Aklimatisasi induk dengan menyiapkan ruang aklimatisasi terpisah dengan ruang karantina
2. Menyediakan dan menyiapkan ruang pematangan gonad dan ruang pemijahan yang sudah didisinfeksi menggunakan larutan iodine 10% dan kalsium hipoklorit 20 mg/l selama 10 – 15 menit

3. Bak peneluran dan penetasan digunakan untuk induk yang berasal dari pemeliharaan yang sama
4. Telur udang yang dipanen dan dicuci dengan air laut steril serta direndam dalam laurat PVP-iodine 10% dengan konsentrasi 50 – 100 mg/l selama 10 – 60 detik.
5. Memisahkan peralatan panen telur, sampling dan panen naupli
6. Mendisinfeksi peralatan pemberian pakan, kebersihan serta sampling pada unit pembenihan dan merendam alat kedalam wadah yang berisi iodine 10% atau formalin 100 mg/l selama 10 menit, dan selanjutnya dibilas dengan air bersih dan dikeringkan
7. Media pemeliharaan larva harus menggunakan filter dengan *catridge* < 1 μm dan disteriliasi dengan UV berdaya 30.000 – 35.000 $\mu\text{Wdetik}/\text{cm}^2$
8. Pada proses pemeliharaan, pagi dan sore hari lantai ruang pemeliharaan dibersihkan dengan larutan kalsium hipoklorit 30 mg/l
9. Melakukan pengelolaan pakan alami mulai dari kultur murni hingga kultur masal dengan proses sterilisasi yang benar
10. Karyawan dan Pengunjung yang keluar masuk pada unit harus mencuci tangan dan mencelupkan alas kaki ke dalam disinfektan seperti pada Gambar 4.



Gambar 6. 6. Tempat Cuci Tangan dan *Footbath* pada Unit Pembenihan

Pada *output* kegiatan pembenihan, sistem bioskuriti yang dilakukan antara lain:

1. Pengambilan *sampling post larva* (PI) dan memeriksa status kesehatan meliputi vibrio dan virus (WSSV, IHNV, IMNV, dan TSV)
2. Media, Wadah dan Kendaraan pengangkut panen larva harus steril
3. Air dari bak pemeliharaan induk dan larva diendapkan sebelum dibuang pada penampungan limbah
4. Kolam penampungan limbah harus tersedia dan dilengkapi dengan pintu air agar dapat didisinfeksi saat terserang wabah

DAFTAR PUSTAKA

- Abd El-Gawad, E. A., Shen, Z. G. and Wang, H. P. (2016) 'Efficacy of formalin, iodine and sodium chloride in improvement of egg hatching rate and fry survival prior to the onset of exogenous feeding in yellow perch', *Aquaculture Research*, 47(8), pp. 2461–2469. doi: 10.1111/are.12694.
- Giuseppe Bovo, Barry Hill, Asbjørn Husby, Tore Håstein, Christian Michel, Niels J. Olesen, A. S. and P. J. M. (2005) *Work package 3 report: Pathogen survival outside the host, and susceptibility to disinfection*, Veterinærmedisinsk Oppdragssenter AS. Available at: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=5917225&site=ehost-live>.
- Jhunkeaw, C. *et al.* (2021) 'Ozone nanobubble treatment in freshwater effectively reduced pathogenic fish bacteria and is safe for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)', *Aquaculture*, 534(September 2020), p. 736286. doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.736286.
- Muhajir and The (2018) 'Of Fungus *Saprolegnia* Sp To The Prevalence', pp. 9–18.
- SNI 7911 (2013). Prosedur Biosekuriti pada Pembenihan Udang. BSAN. Hal 1-6.
- Sugama, K. *et al.* (2013) 'Pengelolaan Pembenihan Kerapu Macan (*Epinephelus fuscoguttatus*): Suatu Panduan Praktik Terbaik', *Australian Centre For International Agricultural Research*, p. 66.
- Yanong, R. P. E. and Erlacher-Reid, C. (2012) 'Biosecurity in Aquaculture, Part 1: An Overview', *Southern Regional Aquaculture Centre*, (4707), pp. 1–16. Available at: <https://srac.tamu.edu>.

Yisa, T. A. *et al.* (2014) 'Effect of Chemical Disinfectant (formalin) on Hatching of Eggs of African Catfish (*Clarias gariepinus*), Survival and Growth Performance of Fry', *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 3(3), pp. 1133–1138.

BAB 7

SISTEM SILVOFISHERY

Oleh Muhammad Nur

7.1 Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan luas hutan mangrove terluas di dunia. Jenis hutan ini tumbuh pada ekosistem pesisir dan dipengaruhi oleh kondisi pasang surut (Mughofar et al., 2018). Hutan mangrove yang tumbuh di sepanjang pesisir pantai mempunyai nilai biologis dan ekonomi yang tinggi. Hutan mangrove berperan sebagai tempat pemijahan, pembesaran, dan mencari makan bagi banyak spesies ikan dan krustasea yang penting secara ekonomi. Selain itu, hutan bakau juga berfungsi sebagai pelindung terhadap badai, banjir, dan erosi. Pohon-pohonnya dapat dimanfaatkan untuk bahan bangunan dan pewarna kulit.

Secara spesifik hutan mangrove mempunyai fungsi yang kompleks mulai dari fungsi biologis, ekologi dan fungsi ekonomi. Fungsi biologis mangrove berfungsi sebagai tempat pemijahan dan pertumbuhan ikan setelah menjadi larva (*nursery ground*), penyedia makanan (*feeding ground*) bagi organisme yang hidup di sekitar ekosistem mangrove, perlindungan terhadap keanekaragaman hayati, serta sebagai penyerap karbon dan penghasil oksigen.

Mangrove sangat penting untuk menjaga fungsi ekologi di wilayah pesisir, khususnya penyimpanan carbon yang dapat mengurangi mitigasi pemanasan global (Rachmawati et al.,

2014). Tanah di mangrove mengandung bahan organik dalam jumlah besar dan memiliki penyimpanan karbon tertinggi di daerah tropis. (Kusumaningtyas et al., 2019; Peñaranda et al., 2019; Wiarta et al., 2019). Fungsi fisik hutan mangrove yaitu sebagai pemecah gelombang, pelindung pantai dari abrasi, pencegahan intrusi air laut ke daratan, pengolahan sampah organik, penahan lumpur, dan perangkap bahan pencemar. Sementara fungsi mangrove yang ekonomis berfungsi sebagai kayu bakar, tambak atau budidaya perikanan, dan ekowisata.

Luas mangrove semakin berkurang setiap tahunnya. Ada tiga penyebab utama kerusakan mangrove yaitu polusi; konversi hutan mangrove tanpa memperhatikan pertimbangan lingkungan hidup; dan penebangan berlebihan (Widyanti et al., 2023). Mangrove biasanya diubah menjadi pemukiman oleh manusia dan untuk budidaya ikan air payau. Berkurangnya hutan mangrove mempunyai pengaruh yang besar terhadap perikanan pesisir sehingga menyebabkan berkurangnya hasil tangkapan ikan dan udang.

Reboisasi mangrove telah dilakukan di beberapa negara tropis dan subtropis, namun upaya tersebut tidak selalu berhasil karena adanya konflik kepentingan dalam pemanfaatan kawasan tersebut untuk pemukiman manusia, pertanian, budidaya perikanan, atau industri. Untuk mengatasi masalah ini, sebuah sistem yang berupaya menggabungkan pemanfaatan dan konservasi yang disebut silvofishery.

Silvofishery adalah salah satu bentuk konservasi mangrove yang terintegrasi dengan budidaya perikanan untuk meningkatkan sumber pendapatan masyarakat lokal yang berdekatan dengan hutan mangrove. Berdasarkan konsep ini, sistem ini termasuk metode akuakultur yang unik karena memungkinkan pemeliharaan organisme akuatik dan mangrove di kolam yang sama. Sistem ini di Indonesia dikenal juga dengan nama “tambak tumpangsari atau winamina” yang

berarti kolam air payau dengan banyak tanaman mangrove. Konsep budidaya ini terintegrasi (terpadu) antara budidaya tambak air payau dengan pengembangan mangrove pada lokasi yang sama sehingga menjadi salah satu bentuk budidaya perikanan berkelanjutan dengan input yang rendah.

Kolam dengan sistem silvofishery telah dikembangkan untuk meningkatkan produksi budidaya perikanan dan melindungi area kolam dari kerusakan. Penanaman atau pemeliharaan mangrove dapat meningkatkan daya dukung tambak, sehingga dapat menjaga kualitas air dan menunjang kehidupan komoditas budidaya (Sualia et al., 2010). Pada intinya silvofishery bertujuan untuk mengoptimalkan keuntungan seiring dengan upaya konservasi (Santoso et al., 2010).

7.2 Sejarah Singkat Sistem Silvofishery

Silvofishery pertama kali dikembangkan di Myanmar sekitar tahun 1960an oleh pemerintah setempat dengan tujuan untuk membuat hutan buatan dengan biaya operasional yang rendah. Sistem ini memungkinkan petani untuk menggunakan lahan berdasarkan kontrak, dan mewajibkan mereka untuk menanam pohon di sekitaran lokasi budidaya. Sistem tersebut kemudian berkembang di berbagai negara, seperti Indonesia, Hong Kong, Thailand, Vietnam, Philipina, dan Kenya.

Silvofishery diperkenalkan di Indonesia pada tahun 1978 oleh Departemen Kehutanan agar petani dapat membudidayakan ikan dan udang selain upaya menanam pepohonan mangrove. Tujuan dari sistem ini di Indonesia adalah untuk meminimalkan biaya produksi, meningkatkan pendapatan petani, dan melestarikan hutan bakau. Dalam 20 tahun setelah diperkenalkan, beberapa kolam model silvofishery pemerintah pusat atau daerah telah dibangun. Awal tambak percontohan silvofishery di Indonesia ini dilakukan di beberapa

lokasi seperti di Segara Anakan di Cilacap (Jawa Barat, berhadapan langsung Samudera Hindia) dan Karawang (Jawa Barat, menghadap ke Laut Jawa). Selanjutnya seiring berjalannya waktu, budidaya tambak dengan sistem silvofishery mulai berkembang dan banyak diterapkan di Indonesia. Beberapa silvofishery yang telah berhasil dikembangkan di Indonesia antara lain di Sinjai (Sulawesi), Cikeong (Jawa Barat), Pemalang (Jawa Tengah) dan Bali (Nuryanto, 2003).

Pengelolaan ekosistem mangrove berdasarkan rekomendasi Perhutani (1988) untuk kegiatan silvofishery yaitu perbandingan luas yaitu 80% : 20%, artinya yang dapat dimanfaatkan untuk usaha perikanan dengan pola silvofishery hanya 20% dari total luas ekosistem mangrove. Alasan perbandingan tersebut di atas untuk menjamin terjadinya keseimbangan ekosistem (*ecosystem balance*) pada suatu kawasan mangrove.

Dengan pengelolaan kawasan mangrove dengan pola silvofishery didapat beberapa manfaat secara ekologi dan ekonomi (Nuryanto, 2003), yaitu 1) menjamin keberadaan ekosistem hutan mangrove dengan luasan memadai dan sebaran proporsional; 2) mengoptimalkan aneka fungsi kawasan itu termasuk fungsi konservasi lindung, dan produksi untuk mencapai manfaat lingkungan, sosial dan ekonomi seimbang secara berkelanjutan; 3) meningkatkan daya dukung kawasan; 4) mendukung pengembangan kapasitas dan keberdayaan masyarakat secara partisipatif, berkeadilan, dan berwawasan lingkungan sehingga menciptakan ketahanan sosial ekonomi. Lebih lanjut dijelaskan bahwa untuk pengembangan sistem silvofishery di kawasan ekosistem hutan mangrove ada beberapa rekomendasi, yaitu a) rencana pengembangan dan pengelolaan kawasan didasarkan atas asas kelestarian dan manfaat terpadu; b) revitalisasi fungsi kawasan hutan mangrove; dan c) pengembangan kegiatan wanamina dengan

proporsi 80% kawasan untuk hutan dan 20% untuk usaha perikanan.

7.3 Desain dan Manajemen

Desain dan manajemen tambak silvofishery dapat berbeda-beda tergantung kondisi dengan kegiatan pertambakan. Terdapat berbagai jenis variasi desain tambak silvofishery dan jenis mangrove yang berkembang di kawasan Asia Tenggara termasuk di Indonesia. Meskipun demikian, pada dasarnya hanya ada 2 bentuk dasar silvofishery, yaitu silvofishery dengan susunan mangrove yang ditanam di dalam kolam dan silvofishery dengan susunan mangrove yang ditanam di luar kolam. Menurut Bengen (2002) terdapat tiga pola model silvofishery yang berkembang di Indonesia yaitu sebagai berikut: 1) pola empang parit (Gambar 7.1), 2) pola empang parit yang disempurnakan (Gambar 7.2), dan pola komplangan (Gambar 7.3).



Gambar 7. 1. Pola empang parit (Bengen, 2002)

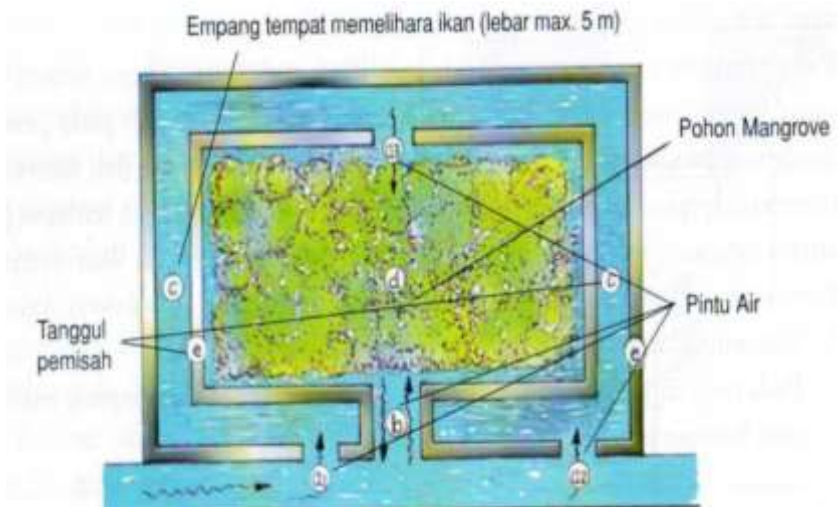
Adapun perbedaan dari tiga pola sebagai berikut: pola empang parit, hutan mangrove dan empang menjadi satu hamparan yang diatur oleh satu pintu air, pola empang parit yang disempurnakan, hutan mangrove dan empang diatur oleh saluran air yang terpisah. Sedangkan pola komplangan, hutan dan mangrove dan empang terpisah dalam dua hamparan yang diatur oleh saluran air dengan dua pintu yang terpisah.

Pola empang parit merupakan model silvofishery yang umum dikembangkan dengan membuat saluran air tempat membudidayakan/ memelihara ikan ataupun udang. Saluran air ini mengelilingi lahan yang digunakan untuk wanamina, sedangkan tumbuhan mangrove dapat ditanam di bagian tengah, sehingga terdapat perpaduan antara tumbuhan mangrove dan budidaya ikan. Kondisi ini dapat diterapkan pada areal bekas tambak yang akan direhabilitasi dengan memanfaatkan pelataran tambak (bagian tengah) untuk ditanami mangrove, sedangkan bagian caren atau parit tetap dibiarkan seperti semula. Dengan menggunakan sistem empang parit ini, maka lahan yang akan direforestasi dapat mencapai sekitar 80% dari luasan tambak. Penanaman mangrove dapat dilakukan dengan jarak tanam 1 x 1 meter antar individu mangrove (Bengen, 2000). Namun demikian, kepadatan mangrove yang ditanam dapat bervariasi antara 0,17-2,5 pohon/m².

Menurut Fitzgerald & William (2002), model empang parit menunjukkan hasil yang terbaik dalam upaya reforestasi pada daerah kolam, keberadaan mangrove ini sangat penting karena dapat mencapai 80% dari luas kolam yang ada dan akan dipengaruhi oleh pasang surut air pada kolam. Kanal pada kolam tersebut memiliki lebar 3-5 meter dan kedalaman 40-80 cm dari permukaan tengah kolam. Terdapat banyak variasi pada model dasar ini untuk meningkatkan luasan permukaan air. Berbagai jenis ikan, udang dan kepiting dapat budidayakan pada kolam dengan model ini.

Produktivitas kolam silvofishery ini sangat ditentukan oleh pemanfaatan pupuk hijau yaitu untuk mendorong terjadinya rantai makanan. Pengkayaan unsur organik pada daerah ini berasal dari sisa pohon mangrove, adapun kepadatan pohon mangrove berkisar antara 0,17-2,5 pohon/m² pada sistem empang parit. Debris dan produksi organik dalam kolam sangat dipengaruhi faktor lain seperti keragaman pertumbuhan flora dan fauna non mangrove seperti algae yang membentuk bagian penting rantai makanan bagi spesies yang dibudidayakan. Kepadatan mangrove hendaknya disesuaikan dengan spesies budidaya yang dilaksanakan, misalnya untuk ikan bandeng sebaiknya menggunakan kerapatan mangrove rendah (1 pohon/m²), sedangkan untuk budidaya udang dan kepiting dapat menggunakan tingkat kerapatan yang lebih tinggi (Fitzgerald & William, 2002).

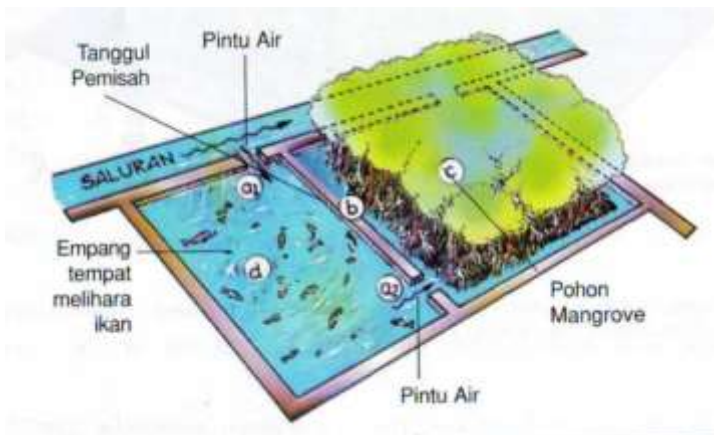
Bentuk model empang terbuka ini tidak berbeda jauh dengan model empang tradisional. Bedanya hanya pada pola penanaman tanaman mangrove. Pada model ini mangrove ditanam pada tanggul yang mengelilingi tambak.



Gambar 7. 2. Pola empang parit yang disempurnakan (Bengen, 2002)

Pola komplangan merupakan suatu sistem wanamina dengan desain tambak berselang-seling atau bersebelahan dengan lahan yang akan ditanami mangrove. Lahan untuk mangrove dan empang terpisah dalam dua hamparan yang diatur oleh saluran air dengan dua pintu air yang terpisah. Luas areal yang akan digunakan untuk wanamina dengan model ini disarankan antara 2-4 ha, sehingga nantinya akan dikembangkan ukuran tambak yang standar untuk memelihara ikan/udang minimal adalah 1 ha. Model ini merupakan suatu metode budidaya air payau dengan input yang rendah dan menghasilkan dampak negatif yang minimal terhadap lingkungan (ekosistem).

Sistem komplangan yang diterapkan tegak lurus dengan garis pantai memungkinkan sejumlah aliran air tawar menuju ke mangrove di dalam areal greenbelt. Model ini juga dapat menjaga kelimpahan keanekaragaman sumberdaya hayati. Dalam pelaksanaannya, wanamina model komplangan ini lebih cocok diterapkan pada areal dengan kepemilikan yang jelas, seperti lahan milik pemerintah atau lahan-lahan yang dimiliki oleh kelompok masyarakat.



Gambar 7. 3. Pola komplangan (Bengen 2002)

Selanjutnya menurut Fitzgerald and William (2002) beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam desain kolam silvofishery adalah sebagai berikut: 1) Rasio antara mangrove area dan area air kolam; 2) Rasio antara area air dan panjang tanggul kolam; 3) Rasio lebar pintu untuk memasukan benih yang bersumber dari alam dan memperlancar *flushing* tambak (50 cm/ha); 4) *Tidal flushing rate*; 5) Mengalirkan air pada kolam ketika air stagnan, yaitu terjadi kadar oksigen rendah terutama pada air bagian bawah; 6) Ukuran panjang dan lebar kanal dan, 7) Posisi lokasi, keadaan tanah, dan kelimpahan stok alami.

Menurut Clough et al. (2013), untuk meningkatkan hasil pada tambak sistem silvofishery, ada beberapa yang perlu diperhatikan yaitu:

1. Menjaga kedalaman air kolam pada kisaran 1 meter dengan mengurangi lumpur yang ada, ketika lumpur sering menjadi permasalahan utama maka 30 % dari luas kolam harus digali pada kedalaman 1,5 meter termasuk saluran pembuangannya.
1. Mengurangi pergantian air ketika panen udang alam yaitu setiap 15 hari saat pasang purnama, atau menerapkan siklus panen menjadi 45-60 hari, dengan mengganti air permukaan saja dan memasukan bibit udang pada saat pasang.
2. Meminimalkan efek yang merugikan dari pengangkatan sedimen pada dasar terhadap kolam dan ekosistem mangrove. Idealnya tanah dari lumpur kolam ditempatkan pada satu area yang luas untuk dijadikan kebun tanaman.
3. Melaksanakan pendederan benih udang yang baik, untuk *Penaeus monodon* disiapkan 10-20% dari luas kolam dilaksanakan selama 20-30 hari dengan pemberian pakan setiap hari berupa ikan rebus dan telur. Pada kolam pembesaran kepadatan 1-2 individu/m² dengan monitoring setiap 10-15 hari, diharapkan pada akhir pemeliharaan SR berkisar antara 30-40 persen.

Untuk manajemen pemeliharaan mangrove disarankan beberapa hal mengenai penanaman dan penjarangan sebagai berikut :

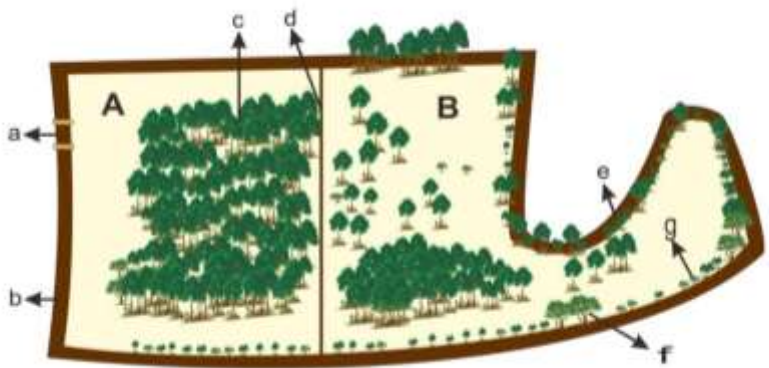
- 1) Padat penanaman berkisar 7000-10.000 pohon/ha.
2. Untuk selanjutnya penjarangan pertama dapat dilakukan umur 7-8 tahun menjadi 5000 pohon/ha. Penjarangan adalah suatu tindakan pengurangan banyaknya tanaman untuk memberi ruang tumbuh bagi tanaman yang tersisa.
3. Penjarangan yang kedua pada umur 12 tahun, yaitu menjadi 2000 pohon perhektar.
4. Panen total dilakukan pada mangrove berumur 18-20 tahun.
5. Perbedaan umur tanam dari masing-masing petani adalah 2-4 tahun, yang tidak kalah penting adalah fleksibilitas penerapan hal diatas oleh para petani.
6. Diversifikasi tanaman dan jenis budidaya sangat dimungkinkan sesuai kondisi, misalnya penanaman jenis pohon buah yang toleran terhadap salinitas, atau jenis pohon kayu yang lain, atau budidaya kepiting bakau selain budidaya udang dan ikan.
7. Lebih penting lagi adalah rekomendasi strategi pembangunan jangka panjang untuk pemanfaatan tanah dan alokasi sumberdaya yang mengakibatkan perubahan topografi sehingga menyebabkan sedimentasi dan erosi pada muara sungai.

Kolam silvofishery di Desa Lubuk Kertang (Gambar 11.4) yang merupakan hasil program reboisasi dan revegetasi di silvofishery. Penanaman kolam dilakukan dalam dua tahap, pada tahun 2014 dilakukan penanaman kembali pada bagian tengah kolam dan pada tahun 2016 dilakukan penanaman sebagian tanggul. Oleh karena itu, terdapat perbedaan tingkat vegetasi mangrove yang ada yaitu semai dan pancang. Kolam silvofishery diperkenalkan dengan luas 8.484 m², dengan luas masing-masing tambak 0,4242 ha. Kawasan silvofishery terkena

dampak perkembangan pasang surut laut; Oleh karena itu, mangrove juga ditanam di tengah dan sekitar kolam. Tindakan ini untuk memperkuat struktur tanah bedengan agar tidak tergerus air pasang (Basyuni et al., 2019).

Mangrove yang ditanam pada area silvofishery diharapkan dapat mengembalikan produktifitas dan memberikan ruang bagi benih ikan atau udang yang telah diperbanyak oleh petambak serta menonaktifkan racun yang terdapat pada tambak ikan atau udang sebelumnya (Basyuni et al., 2018a).

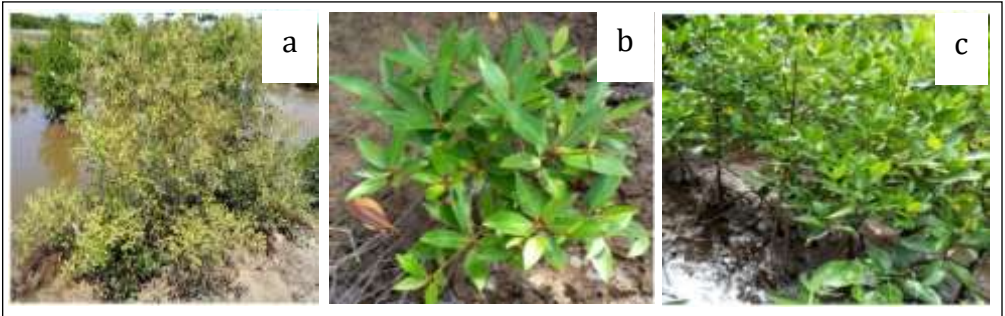
Pelestarian budidaya perikanan di Desa Lubuk Kertang dalam hal pengelolaan air untuk praktiknya sepenuhnya terstruktur juga menunjukkan bahwa air yang datang dari air asin memasuki kolam dari sisi ke sisi melalui pintu air untuk melancarkan air asin dan biasanya air sistem drainase.



Gambar 7. 4. Model Silvofishery di Desa Lubuk Kertang. A. Silvofishery dengan dominasi anakan, B. Silvofishery dengan dominasi anakan. A. Pintu air tambak (pintu silvofishery untuk air payau), b. Tempat tidur, c. Anakan Rhizophora , d. Membatasi jaring, e. Bibit Rhizophora , f. Anakan Avicennia , g. Bibit Avicennia . (Sumber: Basyuni et al., 2019).

7.3 Vegetasi bakau

Belum banyak informasi atau riset terkait mengenai spesies mangrove yang cocok. Namun berdasarkan penelusuran pustaka mangrove yang biasa ditanam pada tambak sistem silvofishery bagian pematang adalah *Rhizophora* sp, *Sonneratia* sp, *Xylocarpus* sp, dan untuk bagian tengah/halaman kolam terutama adalah *Rhizophora* sp. Untuk sistem silvofishery spesies mangrove adalah *R. mucronata*, *R. apiculata*, dan *R. stylosa* yang ditanam di tepi kolam karena mempunyai fungsi yang signifikan dalam meningkatkan pertumbuhan fitoplankton yang tinggi (Basyuni et al., 2018a; Saifullah et al., 2019)



Gambar 7. 5. Spesies mangrove yang ditemukan di lokasi silvofishery. Keterangan: a. *A. marina*, B. *R. apiculata*, dan C. *R. mucronata*

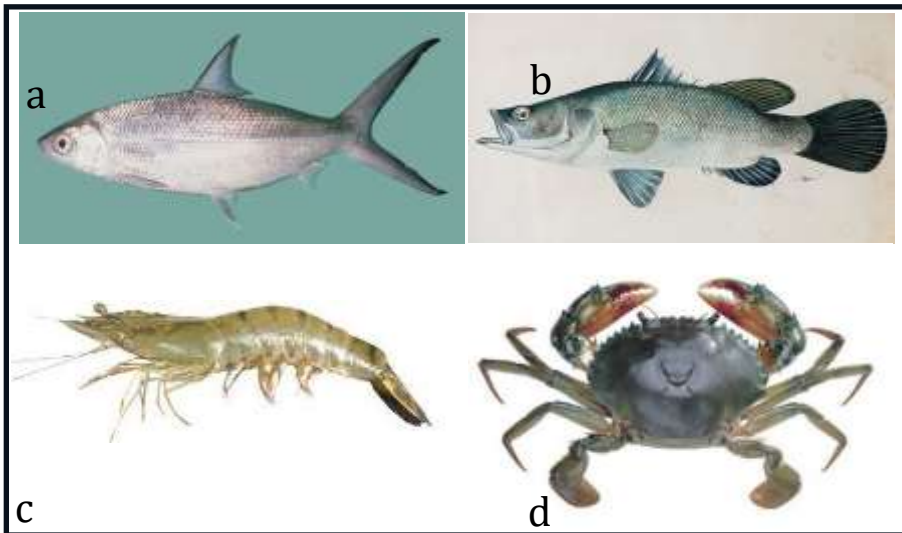
Gambaran komposisi vegetasi yang terdapat pada masing-masing kolam digambarkan pada Gambar 11.5. Mangrove yang ditanam pada skema silvofishery Desa Lubuk Kertang terdiri dari, *A. marina*, *R. apiculata*, dan *R. mucronata*. Mangrove ini ditanam pada bagian tengah dan tepi kolam karena mempunyai fungsi penting dalam menghasilkan pertumbuhan fitoplankton yang tinggi. Jenis kolam yang didominasi oleh *R. mucronata* lebih sesuai untuk pertumbuhan plankton dan mampu menyediakan nutrisi yang lebih tinggi dibandingkan

spesies tegakan bakau lainnya. Dalam hal ini akar *Rhizophora* tidak menghambat perkembangan kolam. Daun *R. mucronata* dan *R. apiculata* dimanfaatkan untuk pakan ternak seperti sapi dan kambing serta memberikan kesuraman bagi makhluk hidup yang berada di sekitar kolam silvofishery [Basyuni et al., 2018b].

Avicenia marina berbentuk pohon atau perdu, tinggi dapat mencapai 12 meter, akar nafasnya seperti pensil. Bentuk daun elips dengan susunan tunggal menyilang dan mempunyai panjang 5-11 cm. *A. marina* mempunyai buah dengan lebar 1,5-2,0 cm dengan diameter 1,5-2,5 cm, permukaan buah berbulu dan menyerupai kacang. *R. apiculata* berbentuk pohon dengan tinggi mencapai 15 m, dengan penyangga akar. Susunan daun tunggal menyilang; elips menyempit dengan tepi tajam dan memiliki panjang 9-18 cm. Permukaan bawah daun berwarna hijau kekuningan, terdapat bintik-bintik hitam kecil yang menyebar ke seluruh permukaan bawah daun dan mempunyai ciri-ciri daun yang lebih kecil dibandingkan semua jenis *Rhizophora*. Kulit batangnya berwarna abu-abu tua dan berpola seperti mozaik. Buah berbentuk silinder mempunyai diameter 1,3-1,7 cm, panjang 20-25 cm dengan permukaan buah berbintik relatif halus dengan warna hijau sampai kecoklatan. Sedangkan *R. mucronata* bercirikan berbentuk pohon dengan tinggi dapat mencapai 25 m dan mempunyai akar penyangga. Susunan daun tunggal menyilang; elips menyempit dengan meruncing ujungnya (berbentuk seperti tonjolan gigi) dan mempunyai panjang 15-20 cm. *R. mucronata* memiliki permukaan bawah daun berwarna hijau kekuningan, mempunyai bintik-bintik hitam kecil yang menyebar ke seluruh permukaan bawah daun, ukurannya lebih besar dari *R. stylosa*. Buah berbentuk silinder memiliki diameter 2,0-2,3 cm dan panjang (Basyuni et al., 2019).

7.4 Spesies akuatik utama untuk akuakultur

Spesies akuatik utama untuk akuakultur dapat berbeda-beda tergantung kondisi tambak silvofishery dan potensi pasar komoditi. Spesies utama yang dibudidayakan di tambak silvofishery dapat dilihat pada Gambar 11.6. Beberapa komoditas yang umum dibudidayakan antara lain: bandeng (*Chanos chanos*), nila (*Oreochromis niloticus*), belanak (*Mugil cephalus*), Kakap putih (*Lates* sp.), udang windu (*Penaeus monodon*), udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) dan kepiting bakau (*Scylla* spp). Benih udang windu biasanya bermigrasi ke kolam saat air pasang, namun benih ikan bandeng dan nila dilepaskan secara buatan. Berbagai jenis ikan lainnya dan jenis organisme selain ikan seperti burung terkadang dipanen sebagai hasil sampingan.



Gambar 7. 6. Beberapa komoditas yang umum dibudidayakan.

Keterangan: a. bandeng (*Chanos chanos*), b. Kakap putih (*Lates* sp.), udang c. udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*), dan d. kepiting bakau (*Scylla* spp). Sumber: Froese & Pauly, 2023

7.5 Lingkungan

Kualitas air adalah suatu ukuran kondisi air dilihat dari karakteristik fisik, kimiawi, dan biologisnya. Kualitas air juga menunjukkan ukuran kondisi air relatif terhadap kebutuhan biota air. Parameter kualitas air yang sesuai untuk tambak silvofishery seperti suhu, kecerahan, salinitas, nitrat, nitrit, fosfat, pH, oksigen terlarut (DO), kebutuhan oksigen biologis (BOD) dan *Total organic matter* (TOM) atau total bahan organik disajikan pada Tabel 7.1. Salinitas berfluktuasi dari 0 ppt (saat air surut) hingga sekitar 30 ppt (saat air pasang), tetapi tidak menyebabkan kerusakan serius pada spesies euryhaline yang dibudidayakan. Parameter lainnya menunjukkan sedikit fluktuasi dalam rentang yang sempit. Konsentrasi TOM lebih tinggi pada kawasan mangrove yang lebat.

Tabel 7. 1. Kualitas air kolam silvofisheries

Parameter	Tanpa bakau	Dengan tutupan mangrove		
		(40-60%)	(70-80%)	(>80%)
Kecerahan (cm)	48,0	29,0	44,0	40,0
pH	7,5	7,5	7,5	6,5
Oksigen terlarut (ppm)	7,0	6,5	8,5	5,1
<i>Total organic matter</i> (ppm)	41,0	78,0	39,0	170,0
Amonia (pmm)	0,270	0,250	<0,001	<0,001
Nitrat (pmm)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,004
Nitrit (pmm)	0,027	0,048	0,039	0,061

Fosfat (pmm)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
--------------	--------	--------	--------	--------

Sumber: Takashima, 2000

7.6 Produktivitas silvofishery

Produksi budidaya perikanan hasil silvofishery bisa berbeda-beda antara satu lokasi dengan lokasi lainnya. Menurut Takashima, 2020 bahwa produktifitas suatu kolam atau tambak silvofishery adalah sebagai berikut: bandeng 467 kg/ha/tahun; nila 67 kg/ha/tahun; udang 150 kg/ha/tahun; dan kepiting 20 kg/ha/tahun dengan total jumlahnya mencapai 703 kg/ha. Pada lokasi yang lain, produktivitas suatu kolam atau tambak silvofishery panen bandeng sekitar 625 kg/ha/tahun; nila 50 kg/ha/tahun; udang 130 kg/ha/tahun; dan lainnya 5 kg/ha/tahun; atau total panen 811 kg/ha/tahun. Produktivitas ikan relatif rendah jika dibandingkan dengan sistem intensif (dengan pemberian pakan buatan). Namun produktivitas udang tetap tinggi tinggi (Tabel 7.2).

Tabel 7. 2. Total produksi udang liar di tambak payau dengan dan tanpa tutupan mangrove (Proyek Karawang)

	Tanpa	Dengan tutupan mangrove		
	bakau	40-60%	70-80%	>80%
Produktifitas	171	181	355	414
(kg/ha/tahun)				

7.7 Biaya dan Pendapatan

Biaya dan pendapatan pertahun dari silvofishery berbeda-beda tergantung pada skala dan jenis spesies yang dibudidayakan. Biaya dan pendapatan dari sivofishery berukuran 3-8 hektar dapat dilihat pada Tabel 11.3. Tambak ini berisi benih udang yang tebar secara alami dan ditebar secara manual.

Tabel 7.3. Biaya dan keuntungan sivofishery (Rupiah/ha/tahun)

Item	Kolam yang ditumbuhi		Kolam yang ditumbuhi	
	Pohon bakau yang lebat (>80%)		Pohon bakau jarang (40-60%)	
Area	6 Ha	3 Ha	4 Ha	8 Ha
Biaya operasional (Rp)	172.550	609.200	501.000	2.353.700
Biaya variabel (Rp)				
Benih (Rp)	0	191.400	217.500	360.000
Pupuk (Rp)	0	53.000	40.500	50.400
Bahan kimia (Rp)	0	29.000	30.000	0
Panen (Rp)	37.500	40.000	25.000	41.300
Biaya tetap	1.688.000	295.800	284.000	1.902.000
Pendapatan kotor (Rp)	360.000	1.235.000	1.128.000	1.385.000
Pendapatan bersih (Rp)	154.000	625.000	529.000	933.000
Total pendapatan bersih (Rp)	924.000	1.875.000	2.116.000	7.464.000

Sumber: Takashima, 2000

7.8 Permasalahan

Permasalahan yang sering ditemukan pada tambak silvofishery relatif tidak terlalu banyak. Salah satu diantaranya adalah kondisi kolam dan tanggul selalu berubah akibat erosi.

Tanah di kawasan mangrove relatif tidak padat dan stabilitasnya rendah. Tanah tersebut merupakan campuran pasir dan tanah liat dengan kandungan bahan organik yang tinggi. Oleh karena itu, tanggul harus mempunyai kemiringan (1:2 atau 1:1,25, dan faktor penyusutan harus sekitar 40%. Untuk mengatasi rembesan, tanah pada bagian tengah tanggul harus mempunyai permeabilitas yang rendah, misalnya diambil atau digunakan dari tanah liat. Untuk menghindari erosi, disarankan untuk menanam rumput yang umum ditemukan di lokasi tersebut. Terkadang juga dibantu dengan waring yang ditahan dengan bambu.

Meskipun salah satu tujuan silvofishery adalah untuk meningkatkan pendapatan masyarakat lokal, namun konservasi mangrove harus diperhatikan secara mendalam. Pada awal sistem ini, ketika pohon bakau masih muda, permasalahannya masih kurang, namun ketika pohon semakin besar, produksi ikan akan menurun karena adanya efek naungan dan munculnya predator ikan. Tambak di proyek Cilacap tertutup seluruhnya dengan mangrove dalam waktu 4 tahun. Oleh karena itu, disarankan untuk menanam secara bertahap. Misalnya mangrove ditanam pada 10-15% luas lahan setiap 6 bulan atau satu tahun.

Beberapa faktor-faktor yang terkait dengan silvofishery parameter-parameter yang diperlukan untuk menjaga silvofishery dalam kondisi baik seperti:

- 1) Pemilihan lokasi meliputi kualitas air, jenis tanah, perubahan pasang surut, saluran masuk dan keluar air, jenis pohon bakau dan flora di sekitarnya, jalan, tenaga kerja, dan pasar atau konsumen
- 2) Konstruksi meliputi desain, penyediaan bahan, tenaga kerja, dan izin resmi
- 3) Vegetasi bakau meliputi spesies yang cocok, sumber pasokan, dan transportasi

- 4) Pemilihan ikan dan/atau kerang meliputi kemampuan benih untuk beradaptasi, nilai ekonomi organisme sasaran, introduksi benih, dan teknik produksi benih buatan
- 5) Pemeriksaan lingkungan meliputi kuantitas dan kualitas air, stabilitas pasokan air, pasokan benih alami, dan predator alami
- 6) Pengamatan selama pemeliharaan meliputi pertumbuhan dan kelangsungan hidup
- 7) Kepadatan penebaran,
- 8) Kualitas air (pengamatan harian),
- 9) Jumlah pupuk, makanan tambahan, kesehatan ikan,
- 10) Pemanenan dan pemasaran
- 11) Hubungan dengan masyarakat setempat
- 12) Infrastruktur dan dukungan finansial

7.9 Penutup

Sistem silvofishery di Indonesia perlu dikembangkan karena telah terbukti mampu meningkatkan produksi budidaya perikanan dan melindungi area kolam budidaya dari kerusakan. Selain itu beberapa manfaat dari silvofishery yang dapat dirasakan dampaknya seperti menjamin keberadaan ekosistem hutan mangrove dengan luasan memadai dan sebaran proporsional; mengoptimalkan aneka fungsi kawasan itu termasuk fungsi konservasi, dan produksi untuk mencapai manfaat lingkungan, sosial dan ekonomi seimbang secara berkelanjutan; meningkatkan daya dukung kawasan; mendukung pengembangan kapasitas dan keberdayaan masyarakat secara partisipatif, berkeadilan, dan berwawasan lingkungan sehingga menciptakan ketahanan sosial ekonomi. Ke depan diharapkan semakin banyaknya tambak Sistem silvofishery di Indonesia sebagai wujud implementasi ekonomi hijau yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Basyuni M, Gulton K, Fitri A, Susetya I E, Wati R, Slamet B, Sulistiyono N, Yusraini E, Blake T and Bunting P. 2018. Diversity and habitat characteristics of macrozoobenthos in the mangrove forest of Lubuk Kertang Village North Sumatra Indonesia. *Biodiversitas*. 19: 311–17.
- Basyuni M, Yani P, Hartini K S. 2018a. Evaluation of mangrove management through community-based silvofishery in North Sumatra Indonesia. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 122 012109.
- Basyuni M, Nasution KS, Slamet B, Sulistiyono, N Bimantara, Y Putri, Lesmana I. 2019. Introducing of a silvofishery pond on sapling and seedling density based in Lubuk Kertang Village, North Sumatera. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 260(1): 012115.
- Bengen DG. 2002. Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan. Institut Pertanian Bogor. PKSPL-IPB.
- Clough B. 2013. Continuing the Journey Amongst Mangroves. ISME Mangrove Educational Book Series No. 1. International Society for Mangrove Ecosystems (ISME), Okinawa, Japan, and International Tropical Timber Organization (ITTO), Yokohama, Japan
- Fitzgerald, William J. 2002. Silvofisheries: Integrated mangrove forest aquaculture systems. Ecological Aquaculture: The Evolution of the Blue Revolution. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK, 161-262.
- Froese R., D Pauly. Editors. 2023. FishBase. World Wide Web electronic publication. Diakses di www.fishbase.org, pada bulan Oktober 2023.

- Kusumaningtyas MA, Hutahaeen AA, Fischer HW, Pérez-Mayo, M Ransby, D Jennerjahn TC. 2019. Variability in the Organic Carbon Stocks, Sources, and Accumulation Rates of Indonesian Mangrove Ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 218, 310-323. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.12.007>
- Mughofar A., Masykuri M, Setyono P. 2018. Zonasi dan Komposisi Vegetasi Hutan Mangrove Pantai Cengkong Desa Karanggandu Kabupaten Trenggalek Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 8(1), 77-85. <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.1.77-85>.
- Nuryanto A. 2003. Silvofishery. Mina Hutan: Pendekatan Pemanfaatan Mangrove secara Lestari. IPB. Bogor
- Santoso P, Sunadji, Yahyah. 2010. Penerapan teknologi tambak wanamina sebagai implementasi pengelolaan ekosistem mangrove secara lestari di Desa Oebelo. *Perancangan dan Kaji Tindak*. 16: 15-23.
- Peñaranda PML, Cantera KJR, Peña SEJ. 2019. Carbon stocks in mangrove forests of the Colombian Pacific. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 227, 106299. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106299>
- Perhutani. 1998. Pelaksanaan Program Perhutanan Sosial dengan Sistem Silvofishery pada Kawasan Hutan Payau di Pulau Jawa. Perum Perhutani. Jakarta.
- Rachmawati, D., Setyobudiandi, I., Hilmi, E. 2014. Potensi Estimasi Karbon Tersimpan pada Vegetasi Mangrove di Wilayah Pesisir Muara Gembong Kabupaten Bekasi. *Jurnal Omni-Akuatika*, XIII. 19: 85- 91.

- Saifullah AS, Kamal AH, Idris MH, Rajaee AH dan Bhuiyan MK 2016 Peran Fitoplankton di Muara Bakau Tropis dan Saling Ketergantungan. *Forest Sci Technol.* 12 104–13.
- Takashima, F. 2000. Silvofishery: an aquaculture system harmonized with the environment.
- Wiarta R, Indrayani, Y., Mulia, F., Astiani, D. 2019. Carbon Sequestration by Young *Rhizophora apiculata* plants in Kubu Raya District, West Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas*, 20(2): 311 315. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200202>
- Widayanti TF, Irfan AM, Djafar EM, Hakim MZ., Muin AM, Riza M, Aswan, M. 2023. The Role of the Biological Diversity Convention in Mangroves Rehabilitation in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 1181(1).

BAB 8

SISTEM MULTITROFIK

Oleh Nur Indah Sari Arbit

8.1 Pendahuluan

Sektor akuakultur semakin penting dalam meningkatkan keberlanjutan produksi pangan dan memenuhi kebutuhan protein masyarakat global yang terus meningkat. Bagaimana meningkatkan produktivitas tanpa mengganggu lingkungan adalah salah satu tantangan utama dalam pengembangan akuakultur. Metode multitrofik telah muncul sebagai solusi yang menjanjikan dalam hal ini.

Sistem Multitrofik adalah sistem yang mengintegrasikan berbagai tingkat trofik dalam bidang produksi akuakultur, dengan tujuan utama mencapai keberlanjutan dan memaksimalkan efisiensi (Azhar, 2022). Sistem Multitrofik memerlukan pemeliharaan beragam spesies yang termasuk dalam tingkat trofik yang berbeda, termasuk produsen primer, konsumen, dan pengurai, dalam lingkungan tertutup (Dong, Gao and Li, 2023) untuk meningkatkan keberlanjutan ekologis. Strategi ini berfungsi untuk mengurangi ketergantungan pada tepung ikan dan minyak ikan, sehingga menumbuhkan ekosistem yang lebih harmonis dalam pengaturan akuakultur (Chopin, 2019).

Sistem Multitrofik tidak hanya berkontribusi pada kesejahteraan lingkungan, tetapi juga menghadirkan manfaat ekonomi, memantapkan dirinya sebagai pendekatan yang relevan dan berkelanjutan dalam bidang akuakultur (Putra and

Mulyono, 2023). Melalui penggabungan berbagai tingkat trofik, Sistem Multitrofik muncul sebagai strategi yang menjanjikan untuk mengatasi keterbatasan sistem akuakultur konvensional dan beralih ke praktik yang ramah lingkungan dan efisien.

Bab ini akan membahas konsep dasar dan prinsip-prinsip utama sistem multitrofik dalam akuakultur. Kami akan membahas berbagai bagian sistem, manfaatnya, masalahnya, dan kemajuan terbaru. Pembaca diharapkan untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang sistem multitrofik untuk membantu mengembangkan praktik akuakultur yang lebih berkelanjutan di masa depan.

8.2 Pengertian Sistem Multitrofik

Sistem multitrofik adalah pendekatan inovatif dalam bidang akuakultur yang didasarkan pada konsep ekosistem alami. Sistem ini melibatkan hidup bersama organisme yang beragam dalam satu sistem budidaya yang saling mendukung dan berinteraksi. Konsep ini didasarkan pada prinsip ekologi bahwa hubungan simbiotik antara berbagai spesies dapat mengurangi limbah, meningkatkan keberlanjutan sistem, dan meningkatkan penggunaan sumber daya alam. Organisme biasanya terbagi menjadi beberapa tingkat trofik dalam sistem multitrofik: produsen (seperti tumbuhan air), konsumen primer (seperti ikan herbivora), dan konsumen sekunder (seperti ikan karnivora atau omnivora) (Soliveres *et al.*, 2016). Siklus nutrisi dan energi yang lebih efisien dalam sistem terjadi karena organisme-organisme ini berinteraksi satu sama lain, seperti yang terjadi di ekosistem alami (Christie-Oleza *et al.*, 2017).

Dalam akuakultur, sistem multitrofik menggabungkan organisme dari berbagai tingkat trofik untuk meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi sumber daya, meniru ekosistem alami. Studi menunjukkan bahwa keanekaragaman hayati

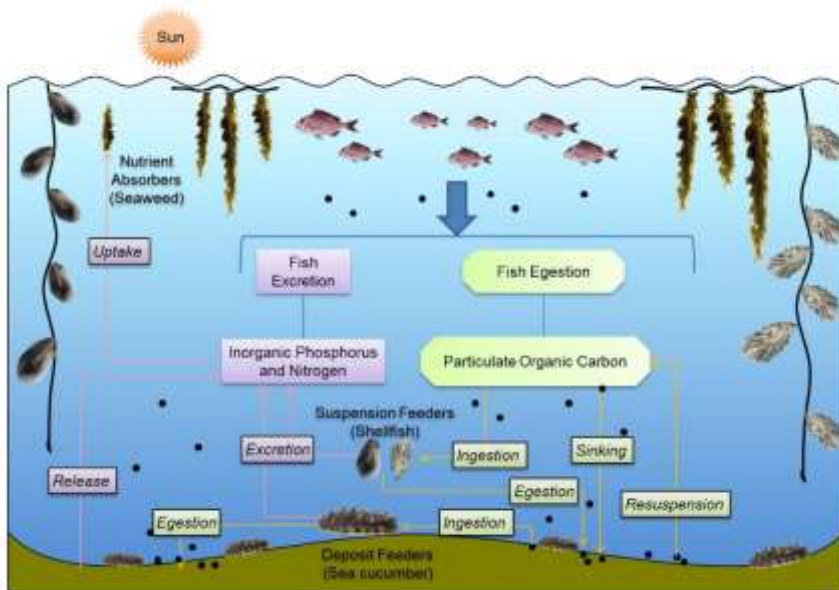
meningkatkan fungsi ekosistem dalam sistem produksi dan bahwa interaksi trofik penting untuk intensifikasi ekologis (Buzhdygan and Petermann, 2023). Studi tentang komunitas multitrofik menunjukkan bahwa keragaman di dalam dan di luar tingkat trofik mempengaruhi proses koeksistensi spesies (Song and Spaak, 2023). Sebagai contoh, beberapa organisme dapat memanfaatkan limbah organik dari organisme lain sebagai sumber makanan, sementara yang lain dapat membantu membersihkan air dari polutan atau nutrisi berlebih. Dengan demikian, sistem multitrofik tidak hanya meningkatkan produktivitas budidaya, tetapi juga mempromosikan keseimbangan ekologis dalam lingkungan budidaya.

Sistem multitrofik memiliki banyak keuntungan ekonomi yang jelas, serta banyak keuntungan lingkungan. Sistem multitrofik dapat mengurangi pencemaran lingkungan perairan dan mengurangi dampak negatifnya pada ekosistem pesisir dengan memanfaatkan hubungan simbiotik organisme (Biswas *et al.*, 2020). Ini menjadikannya solusi yang menjanjikan untuk memperbaiki masalah lingkungan yang sering dihadapi oleh metode akuakultur konvensional (Ren *et al.*, 2012). Oleh karena itu, sistem ini menjadi pusat penelitian dan pengembangan yang terus berkembang untuk tujuan masa depan akuakultur yang lebih berkelanjutan.

8.2.1 Dasar Teoritis Sistem Multitrofik

Konsep dasar ekologi yang mendasari sistem multitrofik menjelaskan bagaimana berbagai organisme dalam suatu sistem dapat berfungsi bersama untuk menghasilkan efek sinergis yang meningkatkan keberlanjutan dan produktivitas. Sistem multitrofik mengikuti prinsip ekosistem alami, seperti bagaimana produsen, konsumen, dan pengurai berinteraksi dalam siklus nutrisi dan energi. Produsen, seperti tumbuhan air, menghasilkan biomassa organik dengan nutrisi dan energi matahari, yang kemudian dikonsumsi oleh konsumen primer,

seperti ikan herbivora. Pengurai, seperti bakteri dan fungi, mengubah limbah konsumen primer ini menjadi nutrisi yang dapat digunakan kembali oleh produsen, menutup siklus nutrisi dalam sistem, diagram konseptual sistem multitrofik sesuai **Gambar 8.1.**

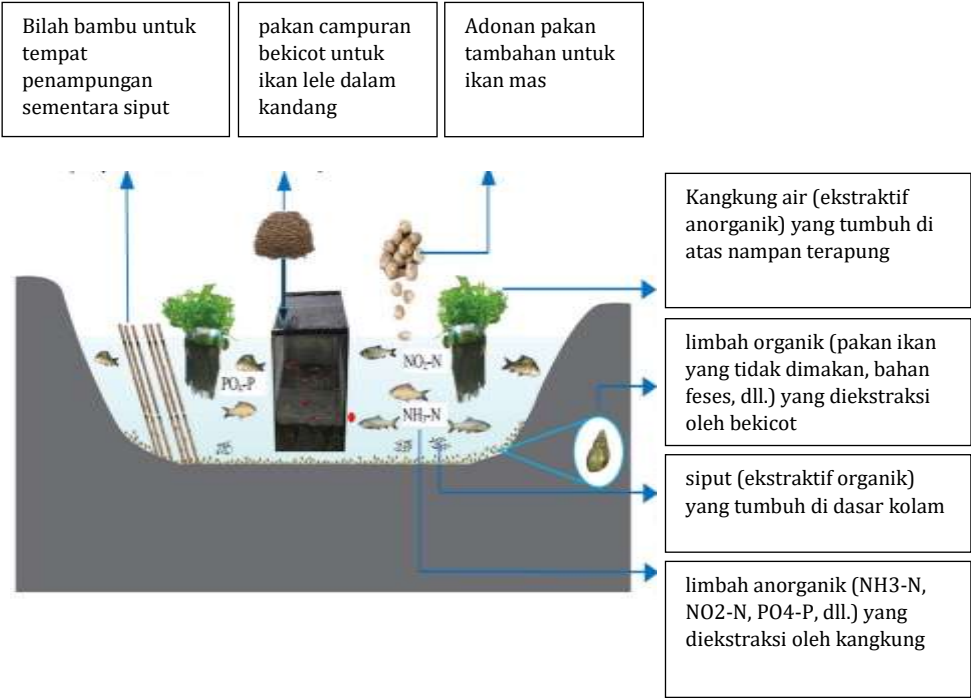


Gambar 8. 1. Diagram konseptual sistem akuakultur multitrofik terpadu
(Sumber : Zhang *et al.*, 2019)

8.2.2 Prinsip-prinsip Ekosistem Alami

Sistem multitrofik memanfaatkan prinsip-prinsip yang ditemukan dalam ekosistem alami, seperti kemampuan organisme untuk mengubah sumber daya menjadi energi dan biomassa, serta kemampuan mereka untuk beradaptasi dengan perubahan lingkungan. Prinsip-prinsip ini membentuk landasan bagi desain sistem multitrofik yang efektif dan berkelanjutan, di mana upaya diperlukan untuk mereplikasi interaksi alami antara organisme dalam lingkungan yang terkendali, sesuai kerangka

kerja konseptual sistem multitrofik di kolam air tawar **Gambar 8.2.**



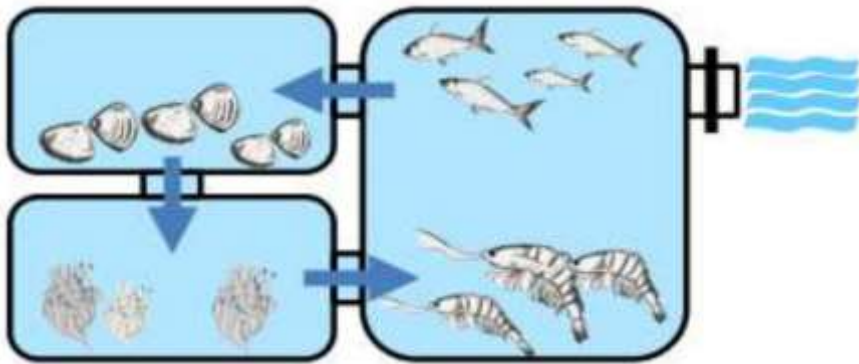
Gambar 8. 2. Kerangka kerja konseptual percobaan Sistem Multitrofik di kolam air tawar
(Sumber :Kibria and Haque, 2018)

8.2.3 Analisis Interaksi Antar Organisme

Analisis interaksi antara berbagai organisme dalam sistem multitrofik dapat mempengaruhi dinamika dan keberlanjutan sistem secara keseluruhan sangat penting. Ini mencakup penelitian tentang bagaimana organisme saling mempengaruhi satu sama lain dalam hal memanfaatkan sumber daya, mengatur populasi, dan berkontribusi pada siklus nutrisi dan proses ekologi lainnya. Dengan memahami bagaimana interaksi ini berfungsi, kita dapat mengoptimalkan desain dan manajemen

sistem multitrofik untuk mencapai tujuan budidaya dan lingkungan.

Percobaan budidaya sistem multitrofik yang menggunakan *Meretrix lusoria* (Bivalvia) dan *Gracilaria* sp. (ganggang merah) bertujuan untuk memanfaatkan limbah organik dan anorganik dalam budidaya ikan bandeng (*Chanos chanos*) atau udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) dengan sistem tradisional merupakan langkah inovatif dalam meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi dalam produksi akuakultur. Percobaan budidaya Sistem Multitrofik menggunakan interaksi antar organisme sesuai **Gambar 8.3**.



Gambar 8. 3. Percobaan budidaya Sistem Multitrofik menggunakan *Meretrix lusoria* (Bivalvia) dan *Gracilaria* sp. (ganggang merah) untuk memanfaatkan limbah organik dan anorganik pada budidaya ikan bandeng (*Chanos chanos*) atau udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) dengan sistem tradisional
(Sumber :Ying *et al.*, 2018)

8.3 Komponen Sistem Multitrofik

Berbagai organisme yang terlibat dalam komponen seperti Ikan, moluska, krustasea, dan tumbuhan air. Setiap jenis memiliki peran dan peran yang berbeda dalam sistem, serta cara mereka berinteraksi dengan organisme lainnya.

Ikan merupakan bagian penting dari sistem multitrofik. Karena mereka berfungsi sebagai konsumen primer, sekunder, atau bahkan tertier dalam jaringan makanan. Selain ikan, ada spesies lain yang berfungsi sebagai pengurai dan mengubah limbah organik menjadi nutrisi yang dapat digunakan kembali oleh hewan lain di sistem.

Beberapa jenis ganggang dan bakteri adalah spesies ekstraktif nutrisi anorganik yang dapat menggunakan nitrat dan fosfat dalam air sebagai sumber nutrisi, membantu mengontrol tingkat nutrisi dalam sistem. Sementara itu, bakteri pengurai, mengubah amonium menjadi nitrit dan kemudian menjadi nitrat. Sebaliknya, spesies ekstraktif nutrisi organik seperti beberapa jenis udang atau kepiting bertanggung jawab untuk mengolah bahan organik yang terakumulasi di dalam sistem, seperti kotoran ikan dan sisa pakan. Mereka berkontribusi pada siklus nutrisi sistem dan mengurangi konsentrasi bahan organik yang terlarut, sehingga membantu mempertahankan kualitas air, sesuai spesies ikan yang ditargetkan secara representatif dan spesies ekstraktif pada **Tabel 8.1**.

Tabel 8. 1. Bagian dari spesies ikan yang ditargetkan secara representatif dan spesies ekstraktif nutrisi anorganik dan organik dalam Sistem Multitrofik

Nomor	Finfish	Penyerap nutrisi	Pengumpan suspensi	Pengumpan deposit	Lainnya
1	<i>Anoplopoma fimbria</i> <i>Oncorhynchus</i>	<i>Alaria esculenta</i>	<i>Argopecten irradians</i>	<i>Apostichopus japonicus</i>	<i>Anthocidaris crassispina</i> <i>Fenneropenaeus</i>
2	<i>tshawytscha</i>	<i>Ecklonia radiata</i>	<i>Chlamys farrer</i>	<i>Australostichopus mollis</i>	<i>chinensis</i>
3	<i>O. mykiss</i>	<i>Gracilaria chilensis</i>	<i>Crassostrea gigas</i>	<i>Cucumaria frondosa</i>	<i>Haliotis discus hannai</i>
4	<i>O. kisutch</i>	<i>G. birdiae</i>	<i>C. virginica</i>	<i>Holothuria pervicax</i> <i>Parastichopus</i>	<i>Pandalus platyceros</i>
5	<i>Pagrus major</i>	<i>G. lemaneiformis</i>	<i>Mytilus edulis</i>	<i>californicus</i>	<i>Rhopilema esculenta</i>
6	<i>Pseudocyanea crocea</i>	<i>G. verrucosa</i>	<i>M. trossulus</i>		
7	<i>Salmo salar</i>	<i>Laminaria japonica</i> <i>Macrocystis</i>	<i>Perna canaliculus</i> <i>Patinopecten</i>		
8	<i>Seriola quinqueradiata</i>	<i>pyrifera</i> <i>Porphyra</i>	<i>yessoensis</i>		
9	<i>Sparus aurata</i>	<i>umbilicalis</i> <i>Saccharina</i>	<i>Scapharca broughtoni</i>		
10	<i>Takifugu rubripes</i>	<i>latissima</i>			
11	<i>Thunnus orientalis</i>	<i>Ulva lactuca</i>			
12		<i>U. ohnoi</i>			
13		<i>Zostera marina</i>			

Sumber: (Zhang *et al.*, 2019)

8.3.1 Produsen (Tumbuhan Air)

Produsen sistem multitrofik, terutama tumbuhan air, memainkan peran penting dalam menyediakan fondasi untuk seluruh sistem. Tumbuhan air yang digunakan dalam sistem ini termasuk rumput laut, dan ganggang. Alga, sebagai produsen utama, menunjukkan beragam morfotipe dan hubungan endosimbiosis, berkontribusi secara signifikan terhadap produktivitas primer global (Mock, 2023; Knoop et al., 2022). Dengan menyerap karbon dioksida dan menyediakan oksigen melalui proses fotosintesis, tumbuhan air memainkan peran penting dalam menjaga kualitas air. Selain itu, mereka juga memberi organisme lain dalam sistem tempat berlindung dan berkembang biak. Perawatan tumbuhan air dan manajemen pertumbuhan, termasuk pengendalian pertumbuhan yang tepat, sangat penting untuk menjaga keseimbangan sistem yang ideal.

8.3.2 Konsumen Primer (Herbivora)

Konsumen primer seperti ikan herbivora dan moluska memainkan peran penting dalam siklus energi dan nutrisi (Thongthaisong *et al.*, 2022). Setelah memakan tumbuhan air, mereka mengubahnya menjadi biomassa yang dapat dimanfaatkan oleh organisme konsumen sekunder. Untuk menjaga produktivitas dan keseimbangan dalam sistem, pengelolaan pertumbuhan dan kesehatan konsumen primer, termasuk penyediaan pakan yang tepat dan lingkungan hidup yang sehat, sangat penting (Lozano-Muñoz *et al.*, 2022).

8.3.3 Konsumen Sekunder (Karnivora/Omnivora)

Konsumen sekunder, seperti ikan karnivora dan omnivora, memiliki tingkat trofik yang lebih tinggi dalam jaringan makanan. Menjaga populasi konsumen primer, mengontrol pertumbuhan organisme dalam sistem, dan menjaga keseimbangan ekosistem secara keseluruhan adalah semua tugas mereka. Untuk menjaga kesehatan dan keseimbangan

populasi konsumen sekunder, sangat penting untuk memastikan manajemen pakan dan lingkungan hidup yang tepat.

8.3.4 Pengurai (Bakteri dan Fungi)

Pengurai, seperti bakteri dan fungi, mendekomposisi limbah organik dari organisme lain. Proses ini membantu pengurai mendapatkan kembali nutrisi dari limbah organik, menutup siklus nutrisi dalam sistem. Untuk menjaga fungsi dekomposisi yang optimal dan menjaga kualitas air dalam sistem, pentingnya menjaga keseimbangan populasi bakteri dan fungi dalam sistem tidak boleh diabaikan.

8.4 Manfaat dan Tantangan

Manfaat ekonomi yang signifikan dari sistem multitrofik, termasuk peningkatan produktivitas dan efisiensi penggunaan sumber daya alam seperti pakan dan air. Selain itu, diversifikasi produk dan peningkatan kualitas hasil budidaya juga membuka peluang pasar baru dan meningkatkan daya saing dalam industri akuakultur.

Namun, juga ada beberapa tantangan yang perlu diatasi saat menerapkan sistem multitrofik. Beberapa di antaranya adalah biaya awal yang tinggi, kompleksitas desain sistem, dan kebutuhan akan pemahaman ekologi yang mendalam. Selain itu, risiko lingkungan seperti penyebaran penyakit, peningkatan kepadatan populasi organisme, dan gangguan terhadap ekosistem asli juga harus dipertimbangkan dan diatasi dengan strategi mitigasi yang tepat.

8.4.1 Manfaat Ekonomi

Manfaat ekonomi dari penerapan sistem multitrofik dalam budidaya akuakultur. Ini mencakup peningkatan produktivitas, yang dapat menghasilkan pendapatan yang lebih tinggi bagi

produsen atau pembudidaya. Selain itu, sistem multitrofik dapat meningkatkan peluang pasar baru dan meningkatkan daya saing dalam industri akuakultur dengan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya alam seperti pakan, air, dan energi.

8.4.2 Manfaat Lingkungan

Manfaat lingkungan dari sistem multitrofik dalam akuakultur. Sistem ini mampu mengurangi limbah organik dan nutrisi yang mencemari perairan dengan menggunakan prinsip ekologi alamiah. Penggunaan pengurai alami seperti bakteri dan fungi juga membantu memperbaiki kualitas air dan menjaga keseimbangan ekosistem lokal. Ini akan menguntungkan keberlanjutan lingkungan dan kesehatan ekosistem pesisir (Amirtharaj, Ahilan and Oli, 2017).

8.4.3 Tantangan Implementasi

Tantangan yang dihadapi selama pengembangan sistem multitrofik di akuakultur. Tantangan tersebut termasuk kompleksitas desain sistem yang membutuhkan pemahaman ekologi yang mendalam dan pengelolaan yang cermat. Selain itu, dua hambatan utama adalah biaya awal yang tinggi dan kebutuhan akan infrastruktur yang sesuai. Namun, banyak masalah ini dapat diatasi untuk berhasil menerapkan sistem multitrofik dengan adopsi teknologi baru dan metode yang terintegrasi.

8.4.4 Tantangan Lingkungan

Tantangan lingkungan yang muncul ketika sistem multitrofik diterapkan dalam budidaya akuakultur. Beberapa masalah yang harus diatasi termasuk risiko penyebaran penyakit, peningkatan kepadatan populasi organisme, dan gangguan terhadap ekosistem asli. Untuk mengurangi dampak negatif sistem multitrofik pada lingkungan, metode mitigasi dan manajemen yang efektif perlu diterapkan, seperti pemantauan

penyakit yang teratur, praktik budidaya yang berkelanjutan, dan pemulihan ekosistem.

8.5 Pengembangan Terkini dan Prospek Masa Depan

Penelitian dan inovasi terbaru yang terjadi selama pengembangan sistem multitrofik termasuk peningkatan pengelolaan sistem melalui penggunaan teknologi canggih seperti sensor dan pemantauan otomatis, serta spesies baru yang dapat dimasukkan ke dalam sistem untuk meningkatkan keberlanjutan dan produktivitas. sistem multitrofik dapat digabungkan dengan teknologi atau praktik akuakultur lainnya. Misalnya, menggabungkan sistem multitrofik dengan sistem akuaponik atau sistem pertanian vertikal dapat membuat solusi penggunaan sumber daya yang lebih holistik.

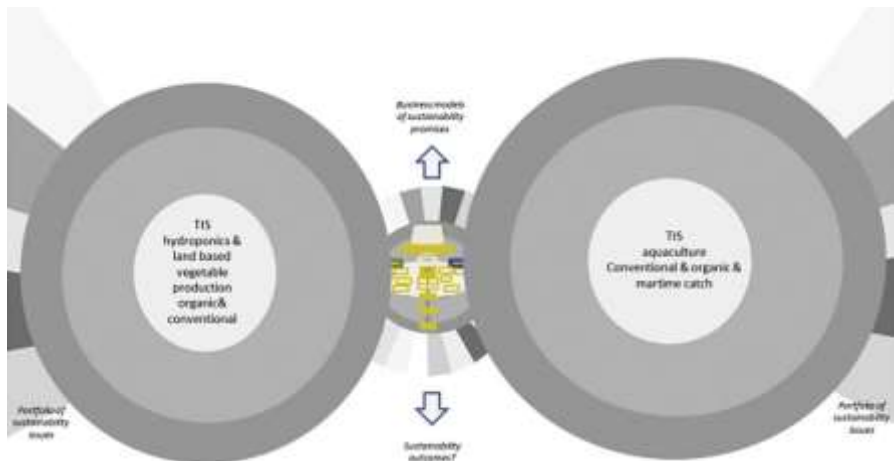
Dengan memahami kemajuan terbaru dan prospektif sistem multitrofik, sehingga dapat mengantisipasi arah dan tren dalam pengembangan budidaya akuakultur yang lebih berkelanjutan dan efisien. Ini akan membantu dalam merumuskan pendekatan dan peraturan yang tepat untuk meningkatkan perkembangan berkelanjutan dari sektor akuakultur di masa mendatang.

8.5.1 Inovasi Teknologi

Perkembangan terbaru dalam teknologi yang digunakan dalam sistem akuakultur multitrofik. Ini termasuk penggunaan teknologi canggih seperti sensor dan pemantauan otomatis untuk meningkatkan pengelolaan sistem, pemantauan kesehatan organisme, dan pengoptimalan kondisi lingkungan. Penelitian terbaru di bidang ini akan memberikan gambaran tentang bagaimana teknologi dapat meningkatkan keberlanjutan, efisiensi, dan produktivitas sistem multitrofik.

8.5.2 Integrasi dengan Sistem Lain

Potensi penggabungan sistem multitrofik dengan metode atau teknologi akuakultur tambahan seperti akuaponik atau pertanian vertikal (Yep and Zheng, 2019). Studi kasus tentang keberhasilan integrasi sistem multitrofik dengan sistem lain akan memberikan wawasan tentang manfaat dan kekurangan metode ini. Ini memungkinkan sistem multitrofik untuk lebih terintegrasi dengan lingkungan budidaya lainnya dan menghasilkan solusi penggunaan sumber daya yang lebih komprehensif.



Gambar 8. 4. Posisi akuaponik sebagai TIS yang sedang berkembang di antara TIS yang dikembangkan dari produksi sayuran dan akuakultur
(Sumber :König *et al.*, 2018)

8.5.3 Kesadaran dan Adopsi

Tingkat kesadaran dan adopsi sistem multitrofik oleh produsen, pembudidaya dan pemangku kepentingan lain dalam industri akuakultur. Untuk meningkatkan kesadaran dan adopsi sistem multitrofik di masyarakat, evaluasi akan dilakukan.

Evaluasi ini juga akan mencakup pendekatan yang efektif untuk meningkatkan penerimaan dan pelaksanaan sistem.

8.5.4 Dukungan Pemerintah dan Industri

Dukungan pemerintah dan industri untuk pengembangan dan penerapan sistem multitrofik dalam budidaya akuakultur. Analisis akan dilakukan terhadap kebijakan dan insentif yang telah diterapkan atau direncanakan untuk mendorong pertumbuhan dan adopsi sistem multitrofik di industri akuakultur. Dalam hal masa depan industri akuakultur yang berkelanjutan, diskusi tentang peran penting yang dimainkan oleh pemerintah dan industri dalam memfasilitasi pertumbuhan dan perkembangan sistem ini akan sangat membantu.

8.6 Penutup

Sistem Multitrofik memiliki potensi yang sangat besar untuk meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi produksi pangan perairan. Sistem multitrofik dapat menghasilkan lingkungan budidaya yang lebih seimbang di mana berbagai organisme saling bergantung satu sama lain dalam siklus nutrisi dan energi. Ini meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil budidaya, serta mengurangi dampak buruk pada perairan seperti pencemaran dan degradasi habitat.

Namun, kami juga menyadari bahwa ada beberapa masalah yang perlu diatasi saat menerapkan sistem multitrofik. Beberapa faktor yang memerlukan perhatian khusus termasuk biaya awal yang tinggi, kesulitan desain dan manajemen, dan ancaman terhadap lingkungan.

Meskipun demikian, diharapkan dapat mengatasi tantangan ini dan mengembangkan sistem budidaya akuakultur yang lebih berkelanjutan dan efisien di masa depan dengan

adopsi inovasi teknologi, peningkatan kesadaran dan edukasi, dan dukungan yang kokoh dari pemerintah dan industri.

Kami berharap pembaca akan memahami peran dan potensi sistem multitrofik dalam industri akuakultur dan mendorong adopsi metode ini di seluruh dunia. Kita dapat mencapai tujuan bersama untuk menciptakan masa depan yang lebih berkelanjutan dan sejahtera bagi industri akuakultur dan lingkungan perairan global hanya dengan kerja sama yang kokoh dan komitmen bersama.

DAFTAR PUSTAKA

- Amirtharaj, T.K.S.V., Ahilan, B. and Oli, T.G.A. (2017) 'Integrated Multi-Trophic Aquaculture (Imta)-an Environmental Friendly Farming Approach', *J. Aqua Trop*, 32(October), pp. 235–249. Available at: <http://www.printspublications.com>.
- Azhar, M.H. (2022) 'Development of the Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) System in the World; Article Review', *Journal of Aquaculture Science*, 7(2), pp. 29–38. Available at: <https://doi.org/10.31093/joas.v7i2.260>.
- Biswas, G. *et al.* (2020) 'Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) outperforms conventional polyculture with respect to environmental remediation, productivity and economic return in brackishwater ponds', *Aquaculture*, 516, p. 734626. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734626>.
- Buzhdygan, O.Y. and Petermann, J.S. (2023) 'Multitrophic biodiversity enhances ecosystem functions, services and ecological intensification in agriculture', *Journal of Plant Ecology*, 16(6). Available at: <https://doi.org/10.1093/jpe/rtad019>.
- Chopin, T. (2019) 'Integrated Multi-Trophic Aquaculture', *Northern Aquaculture*, pp. 3–4.
- Christie-Oleza, J.A. *et al.* (2017) 'Nutrient recycling facilitates long-term stability of marine microbial phototroph-heterotroph interactions', *Nature Microbiology*, 2(June). Available at: <https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2017.100>.
- Dong, S.-L., Gao, Q.-F. and Li, L. (2023) 'Aquaculture Ecosystem', in *Aquaculture Ecology*. Singapore: Springer Nature Singapore, pp. 33–91. Available at: https://doi.org/10.1007/978-981-19-5486-3_2.

- Kibria, A.S.M. and Haque, M.M. (2018) 'Potentials of integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in freshwater ponds in Bangladesh', *Aquaculture Reports*, 11(August), pp. 8–16. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.05.004>.
- König, B. *et al.* (2018) 'Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system', *Journal of Cleaner Production*, 180, pp. 232–243. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.037>.
- Lozano-Muñoz, I. *et al.* (2022) 'Herbivorous fish (Medialuna ancietae) as a sustainable alternative for nutrition security in Northern Chile', *Scientific Reports*, 12(1), pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04628-3>.
- Putra, A. and Mulyono, M. (2023) 'Implementasi Akuakultur Biru Melalui Sistem IMTA (Integrated Multi-Tropic Aquaculture)', *Jurnal Kelautan dan Perikanan Terapan*, pp. 117–122.
- Ren, J.S. *et al.* (2012) 'An ecosystem model for optimising production in integrated multitrophic aquaculture systems', *Ecological Modelling*, 246(C), pp. 34–46. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.07.020>.
- Soliveres, S. *et al.* (2016) 'Biodiversity at multiple trophic levels is needed for ecosystem multifunctionality', *Nature*, 536(7617), pp. 456–459. Available at: <https://doi.org/10.1038/nature19092>.
- Song, C. and Spaak, J.W. (2023) 'Multitrophic assembly: a perspective from modern coexistence theory', *bioRxiv*, (March), p. 2023.03.20.533409. Available at: <https://doi.org/10.1101/2023.03.20.533409>.
- Thongthaisong, P. *et al.* (2022) 'Critical role of parasite-mediated energy pathway on community response to nutrient enrichment', *Ecology and Evolution*, 12(12), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.1002/ece3.9622>.

- Yep, B. and Zheng, Y. (2019) 'Aquaponic trends and challenges – A review', *Journal of Cleaner Production*, 228, pp. 1586–1599. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.290>.
- Ying, C. *et al.* (2018) 'The effects of marine farm-scale sequentially integrated multi-trophic aquaculture systems on microbial community composition, prevalence of sulfonamide-resistant bacteria and sulfonamide resistance gene *sul1*', *Science of the Total Environment*, 643, pp. 681–691. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.204>.
- Zhang, J. *et al.* (2019) 'Bio-mitigation based on integrated multi-trophic aquaculture in temperate coastal waters: Practice, assessment, and challenges', *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47(2), pp. 212–223. Available at: <https://doi.org/10.3856/vol47-issue2-fulltext-1>.

BIODATA PENULIS



Muh. Azril, S.S.T.Pi, M.Sc.

Dosen Program Studi Akuakultur
Fakultas Pertanian Universitas Tidar - Magelang

Penulis lahir di Pamol Estate (Malaysia) tanggal 17 Oktober 1991. Penulis yang kerap disapa Azril ini merupakan anak dari pasangan Deling (ayah) dan Ernawati (ibu). Istri penulis bernama Rianti Novtasari dan telah dikarunia seorang putra bernama Muhammad Mu'adz Zaidan Azril. Penulis berasal dari Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan yang kini menjadi dosen PNS pada Program Studi Akuakultur Fakultas Pertanian, Universitas Tidar, Magelang, Jawa Tengah sejak Tahun 2022. Tahun 2013 penulis menyelesaikan pendidikan Diploma VI dan meraih gelar Sarjana Sains Terapan Perikanan (S.S.T.Pi) pada Jurusan Penyuluhan Perikanan di Sekolah Tinggi Perikanan (STP) Jakarta dan Tahun 2019 penulis menyelesaikan pendidikan Master dan meraih gelar *Master of Science* (M.Sc) in *Aquaculture and Marine Resource Management* di Wageningen University and Reserach (WUR) The Netherlands. Penulis memiliki pengalaman kerja sebagai Penyuluh Perikanan di Dinas Perikanan Kabupaten Bekasi, Jawa Barat pada Tahun 2013. Penulis juga pernah bekerja sebagai tenaga kependidikan dan asisten dosen di Sekolah Tinggi Perikanan (STP), Jakarta pada Tahun 2014-2015. Pada Tahun 2020-2021, penulis bekerja sebagai sebagai

Aquaculture Specialist di Yayasan *World Wildlife for Fund* (WWF) Indonesia. Pengalaman kerja penulis lainnya adalah sebagai *Manager Area* di salah satu *startup* perikanan bernama PT. Aruna Jaya Nuswantara pada Tahun 2021-2022. Sejak Tahun 2022 hingga saat ini, penulis juga menjadi bagian dari Yayasan BLUE SEED Indonesia yang fokus pada kegiatan konservasi lingkungan. Saat ini, penulis juga menjabat sebagai manager akuakultur sebuah *startup* akuakultur bernama Crustea. Publikasi yang sudah dihasilkan diterbitkan baik pada jurnal bereputasi nasional maupun internasional. Buku-buku yang berkaitan dengan bidang perikanan khususnya akuakultur juga sudah banyak dihasilkan oleh penulis.

BIODATA PENULIS



Dr. Bambang Suprakto, A.Pi, S.Pi, MT

Dosen Program Studi Teknik Budidaya Perikanan
Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo

Penulis lahir di Pati tanggal 2 Juni 1963. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Budidaya Perikanan Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo. Menyelesaikan Pendidikan Program Diploma Tiga (D 3) pada Prodi Akuakultur Ahli Usaha Perikanan Jakarta dan melanjutkan Pendidikan Program Diploma Empat (D 4) pada Prodi Ahli Akuakultur Sekolah Tinggi Perikanan Jakarta. Pendidikan S1 Prodi Budidaya Perairan Fakultas Perikanan Universitas Abulyatama Banda Aceh, melanjutkan Pendidikan S2 Prodi Teknik Kelautan Minat Teknik dan Manajemen Pantai Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pendidikan S3 Prodi Ilmu Ilmu Pertanian Minat Lingkungan Pesisir dan Lautan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menekuni bidang Lingkungan Budidaya Perikanan Air Payau.

BIODATA PENULIS



N a s u k i , S.Pi, MP.

Dosen Program Studi Teknik Budidaya Perikanan
Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo

Penulis lahir di Sidoarjo tanggal 12 November 1965. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Budidaya Perikanan Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan dan melanjutkan S2 pada Jurusan Budidaya Perairan.

BIODATA PENULIS



Dimas Rizky Hariyadi, S.S.T.Pi., M.Sc.

Dosen Program Studi Teknik Budidaya Perikanan
Politeknik Kelautan dan Perikanan Kupang

Penulis lahir di Pontianak tanggal 19 Juni 1991. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Budidaya Perikanan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Kupang. Menyelesaikan pendidikan D4 pada Program Studi Teknologi Akuakultur dan melanjutkan S2 pada Program Studi Ilmu Perikanan.

BIODATA PENULIS



Atika Marisa Halim, M.P., M. Sc

Dosen Program Studi Teknik Budidaya Perikanan (TBP) di
Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo

Lahir di Sidoarjo tanggal 12 September 1993. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Budidaya Perikanan. Menyelesaikan pendidikan S1 di Universitas Brawijaya dan melanjutkan pendidikan Magister di Universitas Brawijaya dan National Pingtung University of Science and Technology, Taiwan. Penulis menggeluti bidang perikanan khususnya dalam keahlian penyakit ikan, pakan/nutrisi ikan dan akuakultur berkelanjutan.



atikamarisa@gmail.com / atika.halim@kkp.go.id



atika_marisa

BIODATA PENULIS



Dr. Muhammad Nur, S.Pi., M.Si.

Dosen Program Studi Akuakultur/ Budidaya Perairan
Universitas Sulawesi Barat

Penulis lahir di Palattae (Bone), Sulawesi Selatan pada tanggal 24 Desember 1990. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana pada Program Studi Manajemen Sumber daya Perairan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanudin pada tahun 2013. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan magister pada Program Studi Ilmu Perikanan, Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin dan selesai pada tahun 2015 melalui program Beasiswa Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN) calon dosen. Pendidikan Program Doktor penulis tempuh pada tahun 2017 hingga tahun 2020 di Program Studi Pengelolaan Sumber daya Perairan, Institut Pertanian Bogor melalui program beasiswa BPPDN.

Penulis saat ini bekerja sebagai dosen di Program Studi Budidaya Perairan/Akuakultur, Fakultas Peternakan dan Perikanan, Universitas Sulawesi Barat. Terkait dengan organisasi keprofesian, penulis aktif di Masyarakat Ikhtiologi Indonesia dan menjabat Koordinator Wilayah Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara dan Sulawesi Barat. Selain itu, penulis aktif menulis dan reviewer pada berbagai jurnal dan buku. Beberapa buku yang telah dihasilkan yaitu ikan pirik: ekobiologi dan

konservasi, buku ajar penangkapan ikan terbang, find the way, tingkah laku ikan, ekosistem air tawar, ekologi ikan: persebaran dan keragaman ikan, pengelolaan pesisir, rekayasa akuakultur, fisiologi akuatik, dan ekonomi perikanan. Bidang kajian yang digeluti yaitu ekobiologi ikan, iktiologi dan konservasi sumber daya ikan.

BIODATA PENULIS



Dr. Nur Indah Sari Arbit, S.Si., M.Si

Dosen Program Studi Akuakultur
Fakultas Peternakan dan Perikanan

Penulis lahir di Pangkajene tanggal 19 Januari 1989. Penulis adalah anak dari pasangan Arbit Sadjo (ayah) dan Nuraeni Yusuf (ibu) serta Istri dari Suparjo Razasli Carong (Suami). Menyelesaikan Pendidikan Program Doktor Ilmu Pertanian di Universitas Hasanuddin, Makassar pada Tahun 2019. Magister Pengelolaan Lingkungan Hidup di Universitas Hasanuddin, Makassar pada Tahun 2013. Sarjana Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, di Universitas Hasanuddin, Makassar pada Tahun 2010. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Akuakultur Fakultas Peternakan dan Perikanan, Universitas Sulawesi Barat. Penulis memiliki Bidang keahlian dalam Budidaya Rumpuk laut dan lingkungan.