

Judul:

Produksi Benih Ikan (Manajemen, Teknologi, dan Pengendalian Mutu)

Kategori: Buku Referensi Pendidikan

Usia Pembaca: Dewasa

Penulis: Dr. Ir. Agus Syarif Hanafie, M.Si., C.Ed.

Editor: Novianti Pratiwi

Sinopsis:

Produksi benih merupakan fondasi utama dalam keberhasilan usaha budi daya ikan. Mutu benih yang dihasilkan akan menentukan tingkat pertumbuhan, kelangsungan hidup, efisiensi pakan, hingga produktivitas usaha perikanan secara keseluruhan. Oleh karena itu, pengelolaan proses pembenihan tidak hanya memerlukan keterampilan teknis, tetapi juga penerapan prinsip-prinsip manajemen yang sistematis.

Buku ini membahas secara komprehensif seluruh tahapan manajemen produksi benih ikan, mulai dari konsep dasar pembenihan, persiapan sarana dan prasarana, manajemen induk, teknik pemijahan, penetasan telur, pemeliharaan larva, pengelolaan kualitas air, biosekuriti, hingga pengendalian mutu produksi. Berbagai pembahasan diperkaya dengan perkembangan teknologi terkini, regulasi nasional, standar pembenihan, serta beragam temuan ilmiah yang mencerminkan perkembangan praktik akuakultur modern.

Disusun dengan pendekatan ilmiah yang aplikatif, buku ini dapat menjadi referensi bagi mahasiswa, dosen, penyuluh perikanan, praktisi pembenihan, pelaku usaha budidaya, maupun siapa saja yang ingin memahami sistem produksi benih ikan secara menyeluruh. Kehadiran buku ini diharapkan mampu mendukung pengembangan industri pembenihan yang produktif, berdaya saing, dan berkelanjutan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku *Produksi Benih Ikan (Manajemen, Teknologi, dan Pengendalian Mutu)* dapat hadir di hadapan para pembaca. Buku ini disusun sebagai salah satu upaya untuk menyediakan referensi yang mampu menjembatani konsep-konsep keilmuan dengan praktik pembenihan ikan yang berkembang di lapangan. Melalui penyajian materi yang sistematis, komunikatif, dan mudah dipahami, buku ini diharapkan dapat menjadi sumber belajar sekaligus rujukan bagi mahasiswa, dosen, penyuluh, praktisi, serta siapa pun yang memiliki perhatian terhadap pengembangan akuakultur di Indonesia.

Produksi benih merupakan tahapan yang sangat menentukan keberhasilan usaha budi daya ikan. Mutu benih akan memengaruhi berbagai aspek produksi berikutnya, mulai dari tingkat kelangsungan hidup, pertumbuhan, efisiensi pemanfaatan pakan, hingga produktivitas usaha secara keseluruhan. Oleh karena itu, penguasaan pengetahuan mengenai manajemen pembenihan tidak hanya penting bagi dunia pendidikan, tetapi juga menjadi bekal bagi pelaku usaha dalam menghasilkan benih yang berkualitas, sehat, dan berdaya saing.

Buku ini membahas berbagai aspek penting dalam produksi benih ikan secara utuh, mulai dari konsep dasar pembenihan, persiapan sarana dan prasarana, manajemen induk, teknik pemijahan, penetasan telur, pemeliharaan larva dan benih, pengelolaan kualitas air, penerapan biosekuriti, pengendalian mutu, hingga evaluasi produksi dan inovasi teknologi yang mendukung perkembangan *hatchery* modern. Berbagai pembahasan juga diperkaya dengan perkembangan ilmu pengetahuan, regulasi nasional, standar pembenihan, serta beragam pengalaman praktis yang relevan sehingga pembaca memperoleh gambaran yang komprehensif mengenai penyelenggaraan produksi benih ikan pada era akuakultur modern.

Penyusunan buku ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi penguatan pendidikan, pengembangan kompetensi sumber daya manusia, serta peningkatan kualitas praktik pembenihan ikan di Indonesia. Semoga kehadiran buku ini dapat memberikan manfaat, memperluas wawasan, serta menjadi salah satu referensi yang mendukung kemajuan ilmu pengetahuan untuk dimanfaatkan sebagai acuan dalam kegiatan pelatihan, pendampingan, maupun pengembangan usaha pembenihan yang produktif, efisien, dan berkelanjutan.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	2
DAFTAR ISI.....	3
DAFTAR GAMBAR.....	8
DAFTAR TABEL	10
BAB 1 MENGENAL PRODUKSI BENIH IKAN	11
A. Mengapa Produksi Benih Sangat Penting?.....	11
B. Potret Industri Pembenihan Ikan Indonesia	12
C. Prinsip Dasar Manajemen Produksi Benih Ikan	15
D. Tujuan Produksi: Kualitas, Kuantitas, dan Kontinuitas.....	18
E. Tantangan dan Strategi Pengembangan Produksi Benih Ikan di Indonesia.....	21
BAB 2 MEMBANGUN UNIT PEMBENIHAN YANG EFEKTIF	24
A. Menentukan Lokasi Terbaik	24
1. Topografi Lahan	25
2. Kuantitas dan Kualitas Air	26
3. Aksesibilitas dan Zonasi Wilayah	27
B. Merancang Fasilitas Pembenihan	28
1. Kolam Induk	29
2. Kolam Pemijahan	30
3. Kolam Penetasan	30
4. Kolam Pendederan	31
C. Membangun Sistem Air	31
1. Suplai Air	31
2. Filtrasi	32
3. Aerasi	33
D. Peralatan yang Wajib Tersedia.....	34
1. Jaring.....	34
2. Timbangan	34
3. DO Meter	34
4. pH Meter	35
5. Mikroskop	35
BAB 3 MENGELOLA INDUK BERKUALITAS	37

A. Memilih Induk Unggul.....	37
B. Menjaga Keragaman Genetik	38
1. Hierarki Klasifikasi Induk Nasional	38
2. Pengelolaan Populasi Efektif dan Pencegahan Inbreeding	39
3. Simulasi Numerik Ukuran Populasi Efektif.....	40
C. Nutrisi untuk Induk Produktif.....	41
1. Kebutuhan Protein dan Asam Lemak Esensial	42
2. Suplementasi Vitamin E	42
3. Manajemen Pemberian Pakan dan Pemberokan	44
D. Teknik Reproduksi.....	45
1. Pemijahan Alami dan Semi-Alami.....	45
2. Pemijahan Buatan	45
3. Penanganan Hormon dan Larva Pascatetas	47
E. Pemeliharaan Kesehatan Induk dan Biosekuriti	48
1. Isolasi dan Karantina	48
2. Kontrol Lalu Lintas dan Sanitasi	49
3. Pemantauan Kualitas Air dan Teknologi Resirkulasi	49
4. Menuju Sertifikasi CPIB dan CKIB	50
BAB 4 SISTEM PEMBENIHAN (<i>HATCHERY</i>) IKAN.....	53
A. Pemijahan (<i>Spawning</i>).....	53
1. Persiapan Wadah Pemijahan	54
2. Manipulasi Lingkungan (Suhu dan Fotoperiode).....	56
3. Induksi Hormonal.....	57
B. Penetasan Telur (<i>Incubation</i>)	58
1. Penanganan Telur dan Pengendalian Jamur	58
2. Kontrol Kualitas Air Selama Penetasan.....	59
3. Manajemen Kepadatan dan Sistem Penetasan	60
C. Pemeliharaan Larva.....	61
1. Transisi dari Pakan Endogen ke Pakan Eksogen.....	62
2. Manajemen Pakan Alami dan Pakan Buatan	62
3. Pengelolaan Kualitas Air pada Bak Larva	63
BAB 5 PENDEDERAN (<i>NURSERY</i>) MENENTUKAN MASA DEPAN BENIH.....	66
A. Rekayasa dan Penyiapan Media Pendederan	67

B. Dinamika Penebaran Benih dan Adaptasi Fisiologis.....	69
1. Seleksi Kualitas dan Padat Penebaran.....	69
2. Prosedur Aklimatisasi	70
C. Manajemen Kesehatan dan Pengendalian Penyakit pada Fase Pendederan	70
Pengendalian Ektoparasit dan Risiko Penyakit	70
D. Pengelolaan Pakan dan Nutrisi Spesifik Fase Pendederan	71
E. <i>Monitoring</i> Kualitas Air, Laju Pertumbuhan, dan Evaluasi Kelangsungan Hidup	73
1. Pemantauan Parameter Fisika-Kimia Air	73
2. Pengukuran Kinerja Biologi Benih	74
BAB 6 PENGELOLAAN KESEHATAN IKAN DAN BIOSEKURITI DI PEMBENIHAN	77
A. Prinsip Dasar Biosekuriti di <i>Hatchery</i>	78
B. Identifikasi Penyakit Umum (Parasiter, Bakteri, Jamur)	80
1. Penyakit Parasiter	80
2. Penyakit Bakteri	81
3. Penyakit Jamur	81
C. Tindakan Preventif dan Kuratif	82
1. Tindakan Preventif.....	82
2. Tindakan Kuratif	83
D. Manajemen Sanitasi Lingkungan	84
1. Sterilisasi Wadah, Media, dan Peralatan.....	85
2. Pemeliharaan Kualitas Air dan Manajemen Larva	85
3. Pengelolaan Limbah Operasional (IPAL).....	86
BAB 7 MENGELOLA USAHA PEMBENIHAN YANG MENGUNTUNGKAN	88
A. Mengapa Aspek Ekonomi Penting?	88
B. Pencatatan Produksi (<i>Logbook</i>) dan Standardisasi CPIB	89
Parameter Operasional dalam Pencatatan CPIB	89
C. Menghitung Biaya Produksi.....	90
1. Biaya Tetap (<i>Fixed Cost</i>).....	90
2. Biaya Variabel (<i>Variable Cost</i>).....	90
D. Menilai Kelayakan Usaha.....	91
1. Perhitungan Laba Rugi dan <i>R/C Ratio</i>	92
2. <i>Break-Even Point</i> (BEP) dan <i>Payback Period</i> (PP).....	93
3. <i>Net Present Value</i> (NPV) dan <i>Internal Rate of Return</i> (IRR)	94

E. Strategi Pemasaran Terpadu dan Optimasi Saluran Distribusi Benih	95
1. Formulasi Bauran Pemasaran Benih	95
2. Analisis Saluran Distribusi dan Efisiensi Pemasaran	95
3. Formulasi Matriks SWOT dan Penentuan Posisi Kuadran	97
BAB 8 MASA DEPAN PRODUKSI BENIH IKAN	101
A. Mengukur Keberhasilan Produksi Benih	102
B. Faktor Penentu Keberhasilan Produksi.....	103
Manajemen Data dan Ketertelusuran Produksi	105
C. Inovasi Bioteknologi dalam Produksi Benih	105
1. Seleksi Genetik dan Program Pemuliaan	105
2. Maskulinisasi Berbahan Alami.....	106
3. Probiotik dan Pakan Fungsional.....	108
D. Digitalisasi dan Otomasi Produksi (<i>Smart Aquaculture</i>)	109
E. Tantangan dan Arah Pengembangan	111
DAFTAR PUSTAKA.....	113
PROFIL PENULIS	124

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Produksi Perikanan Budi Daya Indonesia Tahun 2023–2024.....	13
Gambar 2 Pemenuhan Kebutuhan Benur Udang Vaname Nasional	14
Gambar 3 Alur Proses Produksi Benih Ikan pada Unit Pembenihan (<i>Hatchery</i>)	16
Gambar 4 Rentang Optimal Parameter Kualitas Air untuk Pembenihan Ikan Air Tawar Tropis.....	27
Gambar 5 Skema Tata Letak dan Alur Air Unit Pembenihan Ikan Berdasarkan Prinsip Gravitasi dan Zonasi Biosekuriti.....	29
Gambar 6 Alur Sistem Resirkulasi Akuakultur (<i>Recirculating Aquaculture System/RAS</i>) pada Unit Pembenihan	32
Gambar 7 Hierarki Klasifikasi Induk dalam Sistem Perbenihan Ikan Nasional.....	39
Gambar 8 Dosis Suplementasi Vitamin E Optimal Pada Pakan Induk Berbagai Komoditas Akuakultur.....	42
Gambar 9 Perbandingan Daya Tetas Telur dan Sintasan Larva pada Sistem Pemijahan Alami dan Semi-Alami Ikan Koi	46
Gambar 10 Tiga Pilar Utama Biosekuriti pada Instalasi Pembenihan Induk.....	48
Gambar 11 Alur Tahapan Sistem Pembenihan (<i>Hatchery</i>) Ikan Meliputi Pemijahan, Penetasan Telur, dan Pemeliharaan Larva	53
Gambar 12 Perbandingan Derajat Penetasan Telur Ikan Mas pada Substrat Kakaban Ijuk vs. <i>Hydrilla</i> sp.	56
Gambar 13 Pengaruh Suhu Inkubasi Terhadap Daya Tetas Telur Ikan Nila.....	60
Gambar 14 Derajat Penetasan Telur Ikan Nila pada Sistem Corong Penetasan/<i>Zoug Jar</i>	61
Gambar 15 Ilustrasi Perbandingan Sistem Pengelolaan Kualitas Air Terhadap Kelangsungan Hidup Larva.....	64
Gambar 16 Alur Tahapan Manajemen Pendederan (<i>Nursery</i>) Ikan Meliputi Persiapan Media, Penebaran Benih, Manajemen Pakan, dan Monitoring.....	67
Gambar 17 Rentang Parameter Kualitas Air Optimal pada Fase Pendederan Ikan Tropis	69
Gambar 18 Perbandingan Rasio Konversi Pakan (FCR) pada Beberapa Komoditas Fase Pendederan	73
Gambar 19 Rentang Parameter Kualitas Air Optimal pada Fase Pendederan Ikan Tropis	74
Gambar 20 Pengaruh Penerapan <i>Grading</i> Rutin Terhadap Kelangsungan Hidup Benih pada Fase Pendederan.....	75
Gambar 21 Tiga Tingkatan Manajemen Biosekuriti pada Unit Pembenihan Ikan.....	79
Gambar 22 Prevalensi Infeksi Parasit dan Penyakit Klinis pada Kolam Budi Daya Ikan Air Tawar	80
Gambar 23 Alur Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada Unit Pembenihan.....	86
Gambar 24 Estimasi Proporsi Komponen Biaya Variabel pada Usaha Pembenihan Ikan Air Tawar	91
Gambar 25 Perbandingan <i>R/C Ratio</i> dan <i>Net B/C Ratio</i> pada Beberapa Studi Kasus Usaha Pembenihan Ikan	93
Gambar 26 Dua Pola Utama Saluran Distribusi Benih Ikan: Tingkat Nol (Langsung) dan Tingkat Multi (Tidak Langsung)	96
Gambar 27 Matriks Kuadran Posisi Strategis IFE-EFE untuk Perumusan Strategi Pemasaran Unit Pembenihan Ikan.....	98
Gambar 28 Pengaruh Padat Tebar Terhadap Nilai <i>Feed Conversion Ratio</i> (FCR) Benih Ikan Nila	104

Gambar 29 Perbandingan Persentase Benih Ikan Nila Jantan Hasil Maskulinisasi Berbahan Alami	107
Gambar 30 Alur Sistem <i>Smart Hatchery</i> Berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT).....	110

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Penerapan Fungsi Manajemen (POAC) dalam Produksi Benih Ikan	18
Tabel 2 Integrasi Variabel Manajemen terhadap Kualitas, Kuantitas, dan Kontinuitas Produksi Benih Ikan	20
Tabel 3 Tantangan dan Strategi Pengembangan Produksi Benih Ikan di Indonesia	23
Tabel 4 Ringkasan Parameter Kesesuaian Lokasi Unit Pembenihan Ikan Air Tawar ..	28
Tabel 5 Jenis, Komponen, dan Prosedur Perawatan Peralatan Pendukung Unit Pembenihan	36
Tabel 6 Klasifikasi induk dalam Sistem Perbenihan Ikan Nasional	41
Tabel 7 Rekomendasi Dosis vitamin E pada Pakan Induk Berbagai Komoditas Akuakultur	44
Tabel 8 Perbandingan Parameter Operasional Tiga Sistem Pemijahan	47
Tabel 9 Perbandingan Karakteristik Wadah dan Substrat Pemijahan pada Beberapa Komoditas Akuakultur	55
Tabel 10 Perbandingan Aplikasi Induksi Hormonal pada Beberapa Spesies Ikan Budidaya	58
Tabel 11 Pengaruh Kepadatan Telur dan Metode Inkubasi terhadap Keberhasilan Penetasan	61
Tabel 12 Perbandingan Sistem Pengelolaan Kualitas Air terhadap Kelangsungan Hidup Larva	64
Tabel 13 Perbandingan Parameter Persiapan Media Pendederan pada Kolam Tanah dan Bak Terkontrol	68
Tabel 14 Perbandingan Padat Tebar Benih pada Beberapa Komoditas dan Sistem Pendederan	70
Tabel 15 Perbandingan Strategi Pemberian Pakan pada Beberapa Komoditas Fase Pendederan	72
Tabel 16 Ringkasan Golongan Patogen, Organ Target, Dan Gejala Klinis Utama Pada Ikan Budidaya	82
Tabel 17 Perbandingan Tindakan Preventif dan Kuratif dalam Manajemen Kesehatan Ikan	84
Tabel 18 Perbandingan Kelayakan Finansial dalam Studi Kasus Usaha Pembenihan Ikan Air Tawar di Indonesia	92
Tabel 19 Indikator Utama Evaluasi Keberhasilan Produksi Benih Ikan	103
Tabel 20 Perbandingan Jenis Inovasi Produksi Benih Ikan Beserta Prinsip Kerja Dan Capaian Utamanya	108

BAB 1 MENGENAL PRODUKSI BENIH IKAN

A. Mengapa Produksi Benih Sangat Penting?

Produksi benih ikan merupakan pilar utama dalam seluruh rantai industri akuakultur modern yang menentukan keberhasilan fase budi daya berikutnya, seperti pendederan dan pembesaran. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Bidang Kelautan dan Perikanan, produksi benih didefinisikan sebagai serangkaian kegiatan sistematis dan terencana yang dilakukan untuk menghasilkan benih bermutu tinggi. Sementara itu, merujuk pada Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 35 Tahun 2016, pembenihan ikan diartikan sebagai proses menghasilkan benih ikan melalui manajemen induk, pemijahan, penetasan telur, dan pemeliharaan larva di dalam lingkungan yang terkontrol. Benih ikan itu sendiri mencakup biota air dalam fase umur, bentuk, dan ukuran yang belum dewasa, termasuk di dalamnya fase telur, larva, hingga biakan murni alga sebagai penyedia pakan alami.

Pentingnya produksi benih terletak pada kontribusi biologis dan ekonomisnya terhadap efisiensi budi daya secara menyeluruh. Sebagai titik awal dari seluruh rantai produksi akuakultur, mutu benih yang dihasilkan pada tahap pembenihan akan menentukan performa pertumbuhan, tingkat kelangsungan hidup (*survival rate*), maupun efisiensi konversi pakan pada tahap pembesaran. Benih yang tidak seragam dan bermutu rendah menyebabkan pembudi daya harus menanggung biaya produksi lebih tinggi akibat rendahnya derajat penetasan (*hatching rate*) dan tingginya angka kematian pada fase awal pemeliharaan. Tanpa sistem pembenihan yang andal, industri pembesaran akan mengalami stagnasi akibat kelangkaan benih musiman dan ketergantungan pada tangkapan alam yang tidak pasti pasokannya.

Dalam beberapa tahun terakhir, kebutuhan pasar, baik di dalam negeri maupun di pasar internasional, terhadap berbagai komoditas perikanan budi daya terus mengalami peningkatan. Kondisi ini menjadikan produksi benih sebagai salah satu faktor strategis dalam mendukung keberlanjutan industri perikanan. Direktorat Jenderal Perikanan Budi Daya menjelaskan bahwa permintaan terhadap komoditas unggulan, seperti udang, ikan nila, ikan lele, ikan mas, ikan patin, serta beragam jenis ikan hias, terus menunjukkan tren yang positif sehingga memerlukan pasokan benih yang berkualitas dan tersedia secara berkesinambungan. Pada saat yang sama, Indonesia memiliki potensi yang sangat besar untuk mengembangkan industri pembenihan. Direktorat Jenderal Perikanan Budi Daya mencatat bahwa luas lahan yang berpotensi dimanfaatkan untuk budi daya air tawar mencapai lebih dari 1,5 juta hektare, sedangkan ruang laut yang dapat dialokasikan bagi kegiatan budi daya mencapai sekitar 12 juta hektare.

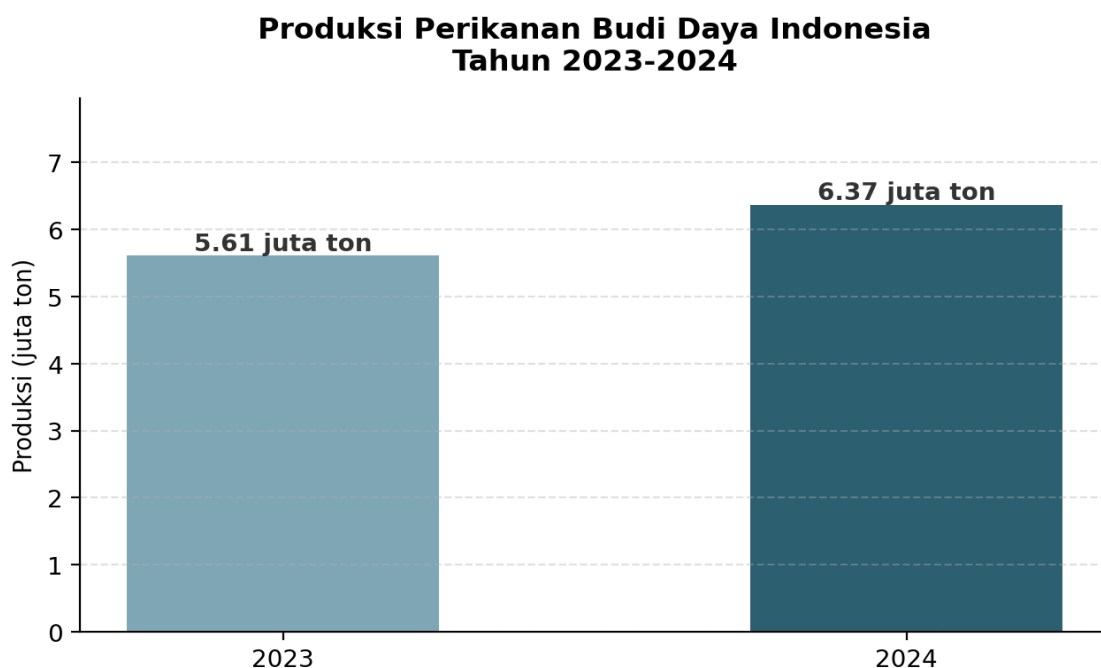
Besarnya potensi tersebut menjadi modal penting bagi Indonesia untuk memperluas kapasitas produksi benih sekaligus memperkuat daya saing sektor perikanan budi daya di tingkat nasional maupun global. Namun demikian, potensi tersebut hanya dapat direalisasikan apabila ketersediaan benih bermutu, dalam jumlah cukup, dan berkesinambungan sepanjang tahun dapat terjamin melalui manajemen produksi yang baik.

Keragaman komoditas yang dihasilkan oleh unit pembenihan di Indonesia mencerminkan besarnya potensi sektor perikanan budi daya nasional. Direktorat Jenderal Perikanan Budi Daya menjelaskan bahwa unit pembenihan tidak hanya memproduksi benih ikan konsumsi air tawar, seperti ikan mas, ikan nila, ikan lele, ikan patin, dan ikan gurame, tetapi juga menghasilkan benih komoditas air payau dan laut, di antaranya udang vaname, bandeng, dan kerapu. Selain memenuhi kebutuhan pangan, industri pembenihan juga berperan dalam menyediakan benih berbagai jenis ikan hias yang memiliki nilai ekonomi tinggi, seperti koi dan cupang. Keberagaman komoditas tersebut menunjukkan bahwa kegiatan pembenihan menjadi fondasi penting dalam mendukung perkembangan berbagai subsektor akuakultur, baik untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik maupun meningkatkan daya saing produk perikanan Indonesia di pasar internasional. Keberagaman komoditas tersebut menuntut penerapan manajemen produksi benih yang bersifat spesifik spesies (*species-specific*), mengingat setiap jenis ikan memiliki karakteristik biologi reproduksi, kebutuhan lingkungan, serta tingkat kerentanan terhadap penyakit yang berbeda-beda. Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif terhadap prinsip dasar manajemen produksi benih ikan menjadi landasan penting sebelum diterapkan secara teknis pada masing-masing komoditas budidaya.

Secara historis, aktivitas pembenihan ikan di Indonesia telah berkembang jauh sebelum terbitnya regulasi formal, mulai dari praktik pemijahan alami sederhana pada kolam tanah hingga penerapan teknik pemijahan buatan berbasis induksi hormon yang mulai populer sejak akhir abad ke-20. Perkembangan ini terus berlanjut seiring kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi akuakultur, sehingga pembenihan ikan pada masa kini tidak lagi sekadar mengandalkan pengalaman empiris pembudidaya, melainkan telah bertransformasi menjadi suatu bidang kajian ilmiah tersendiri yang melibatkan aspek genetika, fisiologi reproduksi, nutrisi, teknik rekayasa lingkungan, hingga manajemen bisnis perikanan secara terpadu. Transformasi tersebut menuntut pembudi daya maupun pengelola unit pembenihan untuk terus memperbarui pengetahuan dan keterampilan teknisnya agar mampu bersaing di tengah tuntutan pasar yang semakin kompetitif.

B. Potret Industri Pembenihan Ikan Indonesia

Sektor perikanan budi daya Indonesia menunjukkan tren pertumbuhan yang positif dalam beberapa tahun terakhir. Kementerian Kelautan dan Perikanan (2024) melaporkan bahwa total produksi ikan hasil budi daya pada tahun 2024 mencapai 6,37 juta ton, meningkat 13,64% dibandingkan tahun sebelumnya, sementara produksi rumput laut mencapai 10,80 juta ton atau tumbuh 10,82% pada periode yang sama. Peningkatan ini turut mendorong kenaikan rata-rata pendapatan pembudi daya ikan hingga 4,55% dibandingkan tahun sebelumnya. Pertumbuhan produksi tersebut merupakan hasil dari implementasi program ekonomi biru, khususnya pengembangan kawasan perikanan budi daya (KPB) modern yang mengintegrasikan proses bisnis dari hulu hingga hilir. Gambar 1 menyajikan perbandingan volume produksi perikanan budi daya nasional pada tahun 2023 dan 2024.



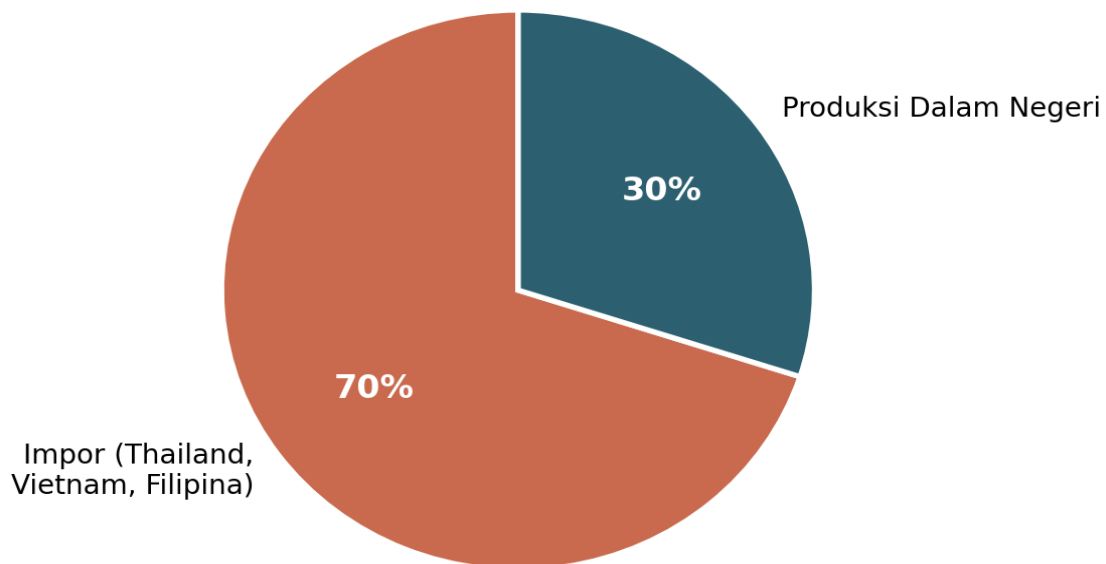
Gambar 1 Produksi Perikanan Budi Daya Indonesia Tahun 2023–2024

Sumber: Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2024

Sekalipun tren produksi total memperlihatkan capaian yang menggembirakan, keberhasilan tersebut tidak lepas dari tantangan di sisi hulu, yaitu keterbatasan ketersediaan induk dan benih unggul bermutu tinggi yang bebas dari penyakit tertentu (*specific pathogen free/SPF*). Direktorat Jenderal Perikanan Budi Daya (2025) mencatat bahwa hingga saat ini sekitar 70% kebutuhan benur (benih udang vaname) nasional masih dipenuhi melalui impor dari Thailand, Vietnam, dan Filipina, sementara produksi dalam negeri baru mampu memenuhi 30% dari kebutuhan tersebut, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 *Broodstock Center* yang dibangun di Bali dan Aceh untuk mengurangi ketergantungan impor bahkan baru mampu memproduksi sekitar 1 miliar benur per tahun, jauh dari target 3 miliar benur yang telah

ditetapkan. Kondisi ini menggambarkan bahwa persoalan pembenihan bukan sekadar aspek teknis budidaya, melainkan juga menyangkut kemandirian dan ketahanan industri akuakultur nasional secara keseluruhan.

Pemenuhan Kebutuhan Benur Udang Vaname Nasional



Gambar 2 Pemenuhan Kebutuhan Benur Udang Vaname Nasional

Sumber: Direktorat Jenderal Perikanan Budi Daya, 2025

Pertumbuhan produksi tersebut turut berkontribusi terhadap perekonomian nasional. Berdasarkan rilis data triwulanan Kementerian Kelautan dan Perikanan, Produk Domestik Bruto (PDB) sektor perikanan pada Triwulan I-2025 atas dasar harga konstan tercatat sebesar Rp66,9 triliun, tumbuh 2,25% dibandingkan periode yang sama tahun sebelumnya, dengan produksi perikanan budi daya menyumbang 4,16 juta ton dari total produksi perikanan nasional pada periode tersebut. Neraca perdagangan produk perikanan Indonesia pun masih mencatatkan surplus meskipun menghadapi tekanan penurunan permintaan global, yang menegaskan bahwa sektor perikanan budi daya, termasuk industri pembenihan di dalamnya, tetap menjadi salah satu penopang utama perekonomian kelautan nasional.

Ketergantungan terhadap induk maupun benih impor tersebut berimplikasi luas, mulai dari kerentanan terhadap fluktuasi nilai tukar, risiko masuknya penyakit lintas negara (*transboundary diseases*), hingga terbatasnya kendali terhadap mutu genetik benih yang beredar di tingkat pembudidaya. Oleh karena itu, penguatan kapasitas unit pembenihan rakyat (*hatchery* skala rumah tangga) maupun unit pembenihan skala industri melalui penerapan manajemen produksi yang terstandardisasi menjadi kebutuhan mendesak agar Indonesia

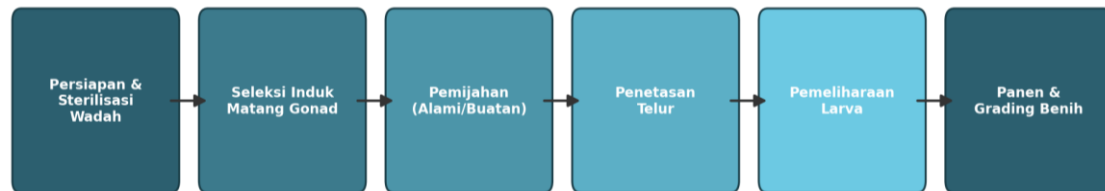
mampu mewujudkan kemandirian pembenihan sekaligus meningkatkan daya saing produk perikanan budi daya di pasar global.

C. Prinsip Dasar Manajemen Produksi Benih Ikan

Prinsip dasar manajemen produksi benih ikan berfokus pada integrasi aspek bioteknologi reproduksi dengan fungsi manajerial yang sistematis untuk mencapai efisiensi operasional. Manajemen operasional di unit pembenihan (*hatchery*) idealnya menerapkan empat fungsi utama secara konsisten, yaitu perencanaan (*planning*), pengorganisasian (*organizing*), pelaksanaan (*actuating*), dan pengawasan (*controlling*) terhadap seluruh variabel produksi. Pentingnya fungsi perencanaan dalam kegiatan pembenihan juga didukung oleh berbagai temuan ilmiah. Salah satu kajian lapangan pada unit pembenihan ikan menunjukkan bahwa perencanaan yang disusun secara matang memberikan kontribusi nyata terhadap keberhasilan produksi benih. Berbagai pengalaman di unit pembenihan ikan air tawar menunjukkan bahwa perencanaan yang matang berperan penting dalam menunjang keberhasilan produksi benih. Perencanaan tersebut mencakup perhitungan kebutuhan induk, proyeksi kapasitas wadah pemeliharaan, serta estimasi kebutuhan pakan, baik pakan alami maupun pakan buatan. Dengan perencanaan yang terstruktur, setiap tahapan produksi dapat dilaksanakan secara lebih efektif, efisien, dan terkoordinasi sehingga mendukung pencapaian hasil pembenihan yang optimal. Temuan tersebut sejalan dengan hasil uji coba Sumarni pada unit pembenihan ikan nila. Menurutnya, penerapan fungsi perencanaan yang tepat menjadi salah satu kunci utama dalam menghasilkan benih ikan yang berkualitas secara konsisten. Kedua uji coba tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan produksi benih tidak hanya bergantung pada kemampuan teknis di lapangan, tetapi juga pada kualitas perencanaan yang menjadi dasar pelaksanaan setiap tahapan pembenihan.

Pelaksanaan operasional pembenihan ikan dilakukan berdasarkan standar prosedur operasional yang telah ditetapkan untuk menjamin mutu benih pada setiap tahapan produksi. Badan Standardisasi Nasional melalui SNI 8035:2019 tentang *Cara Pembenihan Ikan yang Baik* menegaskan bahwa seluruh proses pembenihan harus dilaksanakan secara sistematis, konsisten, dan sesuai dengan standar yang berlaku agar kualitas benih tetap terjaga. Dalam praktiknya, proses produksi benih diawali dengan persiapan wadah melalui kegiatan pembersihan, pengeringan, dan pengapuran sebagai bagian dari upaya sterilisasi. Tahapan tersebut kemudian dilanjutkan dengan seleksi induk yang telah mencapai kematangan gonad, pelaksanaan pemijahan, baik secara alami maupun buatan menggunakan teknik *stripping* dan induksi hormon, proses penetasan telur, pemeliharaan larva, hingga kegiatan panen dan

grading benih. Kementerian Kelautan dan Perikanan menjelaskan bahwa rangkaian proses tersebut membentuk suatu sistem produksi yang saling berkaitan, sehingga setiap tahapan harus dilaksanakan secara cermat untuk menghasilkan benih yang sehat, seragam, dan memiliki mutu yang sesuai dengan standar pembenihan. Rangkaian tahapan tersebut divisualisasikan pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3 Alur Proses Produksi Benih Ikan pada Unit Pembenihan (*Hatchery*)

Sumber: Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 35 Tahun 2016, 2026

Keberhasilan setiap tahapan pada alur tersebut sangat bergantung pada pengelolaan induk (*broodstock management*) yang tepat. Perkembangan uji coba genomik turut memperkuat pentingnya pengelolaan induk dalam kegiatan pembenihan. Hu dan rekan-rekannya menunjukkan bahwa ikan *Bahaba taipingensis* hasil pembenihan buatan generasi pertama (F1) yang berasal dari jumlah induk terbatas mulai memperlihatkan peningkatan koefisien *inbreeding* serta penurunan keragaman haplotipe maternal apabila dibandingkan dengan populasi yang hidup di alam. Meskipun demikian, keragaman genetik pada genom inti masih relatif terpelihara pada generasi awal tersebut. Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan induk dengan variasi genetik yang memadai perlu menjadi perhatian sejak awal program pembenihan agar kualitas genetik populasi tetap terjaga dalam jangka panjang. Temuan tersebut menegaskan pentingnya rotasi dan penyegaran stok induk secara berkala, perluasan basis genetik induk, serta pemantauan genetik jangka panjang guna mencegah penurunan mutu genetik akibat perkawinan sekerabat (*inbreeding*) yang dapat menurunkan daya adaptasi benih pada generasi berikutnya.

Selain aspek manajerial, keberhasilan produksi benih ikan juga ditentukan oleh kemampuan dalam mengelola kualitas lingkungan budi daya secara berkelanjutan. Oleh karena itu, pengelolaan kualitas air dan penerapan biosekuriti menjadi dua komponen yang tidak dapat dipisahkan dalam sistem pembenihan modern. Salah satu teknologi yang semakin banyak diterapkan adalah *Recirculating Aquaculture System* (RAS). Elinah dan Sandisasmita menjelaskan bahwa teknologi ini mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air melalui sistem resirkulasi, menjaga kestabilan suhu media pemeliharaan, serta mengurangi akumulasi

amonia yang bersifat toksik sehingga menciptakan lingkungan yang lebih aman bagi pertumbuhan larva ikan.

Perkembangan teknologi RAS juga terus mengalami penyempurnaan seiring kemajuan teknologi digital. Gupta dan rekan-rekannya, melalui sebuah tinjauan sistematis, mengemukakan bahwa integrasi *artificial intelligence* ke dalam sistem pemantauan kualitas air mampu meningkatkan kinerja RAS secara signifikan. Pemanfaatan kecerdasan buatan memungkinkan proses pemantauan berlangsung secara lebih akurat, meningkatkan kemampuan sistem dalam memprediksi perubahan kondisi lingkungan, sekaligus memperkuat upaya pengendalian patogen sehingga risiko terjadinya wabah penyakit di unit *hatchery* dapat ditekan.

Keberhasilan penerapan RAS sendiri tidak hanya bergantung pada kecanggihan teknologi, tetapi juga pada pengendalian berbagai parameter operasional yang saling memengaruhi. Li dan rekan-rekannya menjelaskan bahwa stabilitas sistem sangat ditentukan oleh kemampuan pengelola dalam mengendalikan suhu, salinitas, kadar oksigen terlarut, derajat keasaman (pH), kepadatan tebar, komposisi pakan, frekuensi pemberian pakan, hingga metode desinfeksi yang digunakan. Pengelolaan seluruh faktor tersebut secara presisi menjadi syarat penting agar sistem resirkulasi dapat beroperasi secara optimal, menjaga kualitas media pemeliharaan, dan mendukung keberhasilan produksi benih secara berkelanjutan.

Selain kualitas air dan biosekuriti, aspek nutrisi larva juga menjadi variabel kritis dalam manajemen produksi benih ikan. Larva ikan pada fase awal umumnya belum mampu mencerna pakan buatan secara optimal sehingga bergantung pada pakan alami berukuran mikro seperti rotifera, *Artemia*, dan *Daphnia* sp. yang kaya akan asam lemak esensial untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan organ pencernaan. Ketersediaan pakan alami secara berkelanjutan menjadi salah satu faktor pembatas produksi pada banyak unit pembenihan skala kecil, sehingga sejumlah *hatchery* modern mulai mengembangkan kultur pakan alami secara mandiri untuk menjamin pasokan yang stabil sepanjang siklus produksi. Frekuensi dan komposisi pemberian pakan yang tepat, dikombinasikan dengan pengendalian kepadatan tebar larva, terbukti berpengaruh signifikan terhadap tingkat kelangsungan hidup dan keseragaman ukuran benih yang dihasilkan. Keempat fungsi manajemen tersebut dapat dirangkum kaitannya dengan variabel teknis produksi benih ikan sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Penerapan Fungsi Manajemen (POAC) dalam Produksi Benih Ikan

Fungsi Manajemen	Deskripsi	Penerapan pada Unit Pembenihan
Perencanaan (<i>Planning</i>)	Menentukan target produksi, kebutuhan induk, proyeksi kapasitas wadah, dan estimasi kebutuhan pakan	Penyusunan jadwal pemijahan dan proyeksi kebutuhan pakan alami/buatan
Pengorganisasian (<i>Organizing</i>)	Pengaturan sumber daya manusia, sarana, dan prasarana produksi	Pembagian tugas teknisi <i>hatchery</i> pada setiap tahapan produksi benih
Pelaksanaan (<i>Actuating</i>)	Penerapan SOP teknis pembenihan sesuai standar mutu yang berlaku	Penerapan SNI 8035:2019 pada seluruh tahapan produksi
Pengawasan (<i>Controlling</i>)	Pemantauan dan evaluasi capaian produksi secara berkala	Pemantauan kualitas air dan mutu benih secara rutin

D. Tujuan Produksi: Kualitas, Kuantitas, dan Kontinuitas

Tujuan akhir dari manajemen produksi benih ikan adalah menjamin terpenuhinya tiga pilar industri pembenihan secara simultan, yaitu kualitas, kuantitas, dan kontinuitas.

Kualitas (Mutu). Kualitas benih menjadi indikator utama keberhasilan suatu unit pembenihan. Benih yang dihasilkan tidak hanya dituntut memiliki kondisi fisik yang baik, tetapi juga didukung oleh kualitas genetik yang unggul, seperti pertumbuhan yang cepat, daya tahan terhadap serangan patogen, serta ukuran yang seragam. Fauzan dan rekan-rekannya, melalui uji coba pada pembenihan ikan koi (*Cyprinus carpio*) di Omah Koi Farm Indonesia, menunjukkan bahwa mutu benih dapat dinilai secara objektif menggunakan sejumlah parameter penting, antara lain tingkat fekunditas induk, *fertilization rate*, *hatching rate*, tingkat kelangsungan hidup (*survival rate*), serta kualitas air sebagai media pemeliharaan. Berbagai parameter tersebut memberikan gambaran menyeluruh mengenai keberhasilan proses reproduksi sekaligus kualitas benih yang dihasilkan.

Pencapaian mutu benih yang optimal sangat bergantung pada penerapan manajemen induk yang baik. Seleksi induk secara cermat menjadi langkah penting untuk mempertahankan keragaman genetik dan mencegah terjadinya penurunan kualitas akibat perkawinan sekerabat. Pentingnya pengelolaan aspek genetik tersebut turut diperkuat oleh uji coba Hu dan rekan-

rekannya yang menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan koefisien *inbreeding* pada populasi hasil pembenihan buatan apabila jumlah induk yang digunakan terlalu terbatas. Temuan tersebut menegaskan bahwa keberhasilan pembenihan tidak hanya diukur dari banyaknya benih yang dihasilkan, tetapi juga dari kemampuan menjaga kualitas genetiknya agar tetap lestari dari satu generasi ke generasi berikutnya.

Selain faktor genetik, pengendalian mutu juga dilakukan melalui proses *grading* atau penyortiran benih berdasarkan ukuran. Badan Standardisasi Nasional, melalui SNI 8035:2019 tentang *Cara Pembenihan Ikan yang Baik*, menempatkan kegiatan ini sebagai salah satu tahapan penting dalam pengelolaan pembenihan. Keseragaman ukuran benih membantu mengurangi risiko kanibalisme yang kerap terjadi pada beberapa komoditas ikan, sekaligus menciptakan pertumbuhan populasi yang lebih seragam dan meningkatkan efisiensi pemeliharaan pada tahap pendederan berikutnya. Dengan demikian, pengelolaan mutu benih merupakan rangkaian proses yang mencakup aspek genetik, biologis, dan teknis untuk menghasilkan benih yang sehat, berkualitas, serta siap mendukung keberhasilan usaha budi daya.

Kuantitas (Jumlah). Selain kualitas, aspek kuantitas juga menjadi ukuran penting dalam keberhasilan manajemen produksi benih. Unit pembenihan dituntut mampu menghasilkan benih dalam jumlah besar agar kebutuhan sektor pembesaran yang terus meningkat dapat terpenuhi. Kementerian Kelautan dan Perikanan mencatat bahwa produksi perikanan budi daya nasional tumbuh sebesar 13,64% pada tahun 2024. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan terhadap benih berkualitas juga terus bertambah sehingga kapasitas produksi harus ditingkatkan secara berkelanjutan.

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, berbagai teknologi reproduksi telah dikembangkan guna meningkatkan efisiensi produksi benih. Kementerian Kelautan dan Perikanan menjelaskan bahwa pemijahan buatan (*artificial spawning*) melalui penggunaan hormon perangsang yang dipadukan dengan manipulasi kondisi lingkungan mampu meningkatkan jumlah telur yang berhasil dibuahi sekaligus memperbaiki tingkat penetasan. Penerapan teknologi ini memungkinkan proses reproduksi berlangsung lebih terkendali sehingga produksi benih dapat dilakukan secara lebih efektif dan berkesinambungan.

Meskipun demikian, peningkatan permintaan pasar masih menjadi tantangan besar bagi industri pembenihan nasional. Direktorat Jenderal Perikanan Budi Daya mengungkapkan bahwa kapasitas produksi benih untuk beberapa komoditas strategis, khususnya udang vaname, masih belum mampu memenuhi target yang telah ditetapkan pemerintah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengembangan teknologi pembenihan, peningkatan kapasitas produksi,

serta penguatan manajemen di tingkat unit pembenihan masih menjadi agenda penting untuk mendukung pertumbuhan sektor akuakultur nasional secara berkelanjutan.

Kontinuitas (Kesinambungan). Keberhasilan industri pembenihan tidak hanya ditentukan oleh kemampuan menghasilkan benih dalam jumlah besar, tetapi juga oleh kemampuan menjaga ketersediaannya secara berkelanjutan. Afriani menegaskan bahwa produksi benih idealnya dapat berlangsung sepanjang tahun tanpa dipengaruhi oleh perubahan musim. Untuk mewujudkan hal tersebut, unit pembenihan perlu menerapkan manajemen produksi yang terencana, antara lain melalui pengaturan rotasi penggunaan induk, rekayasa siklus reproduksi, serta penyediaan pakan alami yang tersedia secara kontinu sesuai kebutuhan setiap fase pemeliharaan.

Kontinuitas produksi juga semakin didukung oleh perkembangan teknologi pembenihan modern. Elinah dan Sandisasmita menjelaskan bahwa penerapan *Recirculating Aquaculture System* (RAS) memberikan keuntungan dalam menjaga kestabilan proses produksi karena memungkinkan berbagai parameter lingkungan, seperti kualitas air dan kondisi media pemeliharaan, dikendalikan secara lebih presisi sepanjang tahun. Dengan sistem tersebut, kegiatan pembenihan tidak lagi terlalu bergantung pada fluktuasi iklim maupun ketersediaan sumber air alami. Kemampuan menjaga kondisi lingkungan tetap stabil pada akhirnya memungkinkan unit pembenihan menghasilkan benih secara lebih konsisten, efisien, dan berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan industri akuakultur.

Ketiga pilar tersebut tidak dapat dipandang secara terpisah, melainkan saling berkaitan dan harus dikelola secara simultan melalui variabel manajemen yang terintegrasi, sebagaimana dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2 Integrasi Variabel Manajemen terhadap Kualitas, Kuantitas, dan Kontinuitas Produksi Benih Ikan

Variabel Manajemen	Target Kualitas	Target Kuantitas	Target Kontinuitas
Pengelolaan Induk	Seleksi genetik unggul untuk mencegah <i>inbreeding</i>	Sinkronisasi pemijahan massal untuk meningkatkan fekunditas	Rotasi stok induk dan manipulasi hormonal sepanjang tahun
Nutrisi dan Pakan	Pemberian pakan alami kaya asam lemak	Dosis pakan presisi (<i>ad libitum</i>) sesuai	Penyediaan kultur pakan alami secara mandiri dan terjadwal

	untuk perkembangan larva	kapasitas tampung wadah	
Kualitas Air dan Sistem	Penerapan sistem biosekuriti dan sterilisasi wadah	Pengaturan padat tebar optimum untuk menekan mortalitas	Penggunaan teknologi RAS untuk kestabilan parameter lingkungan

E. Tantangan dan Strategi Pengembangan Produksi Benih Ikan di Indonesia

Meskipun sektor perikanan budi daya di Indonesia terus menunjukkan perkembangan yang menggembirakan, industri pembenihan masih menghadapi berbagai tantangan yang memerlukan perhatian serius. Salah satu tantangan utama adalah tingginya ketergantungan terhadap induk dan benih impor, terutama untuk komoditas ekspor unggulan seperti udang vaname. Direktorat Jenderal Perikanan Budi Daya mengungkapkan bahwa kapasitas produksi dalam negeri hingga kini baru mampu memenuhi sekitar 30% dari total kebutuhan nasional. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kemampuan produksi benih domestik masih menjadi pekerjaan besar untuk memperkuat kemandirian industri perikanan nasional.

Tantangan berikutnya berkaitan dengan penguasaan teknologi pembenihan modern. Elinah dan Sandisasmita menjelaskan bahwa pemanfaatan *Recirculating Aquaculture System* (RAS) di kalangan pembudi daya skala kecil maupun rumah tangga masih relatif terbatas. Akibatnya, pengendalian kualitas air pada fase pemeliharaan larva belum dapat dilakukan secara optimal, sehingga tingkat kelangsungan hidup benih cenderung lebih rendah dibandingkan sistem yang telah menerapkan teknologi pengelolaan lingkungan secara presisi.

Aspek lain yang tidak kalah penting adalah pengelolaan kualitas genetik induk. Hu dan rekan-rekannya menunjukkan bahwa kurangnya pemantauan terhadap keragaman genetik stok induk dapat mempercepat terjadinya *inbreeding*, yang pada akhirnya berpotensi menurunkan mutu genetik populasi hasil pembenihan. Temuan tersebut menjadi pengingat bahwa keberhasilan pembenihan tidak hanya ditentukan oleh banyaknya benih yang diproduksi, tetapi juga oleh kemampuan mempertahankan kualitas genetiknya dalam jangka panjang. Di samping itu, ancaman penyakit juga tetap menjadi tantangan serius bagi industri pembenihan. Gupta dan rekan-rekannya menegaskan bahwa penyebaran penyakit lintas batas (*transboundary diseases*) masih berpotensi mengganggu keberhasilan produksi apabila sistem biosekuriti di unit *hatchery* tidak diterapkan secara konsisten. Oleh karena itu, penerapan biosekuriti yang menyeluruh, mulai dari pengelolaan induk, pengendalian kualitas air, hingga pengawasan lalu

lintas organisme budidaya, menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari upaya menjaga keberlanjutan dan daya saing industri pembenihan ikan di Indonesia.

Selain tantangan teknis, aspek kelembagaan dan sumber daya manusia turut memengaruhi keberhasilan produksi benih ikan di tingkat lapangan. Sebagian besar unit pembenihan rakyat masih dikelola secara tradisional dengan keterbatasan akses terhadap teknologi, permodalan, dan pendampingan teknis, sehingga penerapan SOP sesuai standar CPIB belum berjalan merata di seluruh wilayah. Kondisi ini menyebabkan disparitas mutu benih yang dihasilkan antarwilayah, sekaligus menyulitkan upaya pelacakan (*traceability*) asal-usul genetik benih yang beredar di pasar. Penguatan kelembagaan pembudi daya melalui pendampingan penyuluh perikanan dan kemitraan dengan lembaga riset menjadi salah satu kunci untuk menjembatani kesenjangan tersebut.

Untuk menjawab tantangan tersebut, pemerintah melalui Direktorat Jenderal Perikanan Budi Daya merumuskan sejumlah strategi dalam Rencana Strategis 2025–2029, di antaranya pengembangan kawasan perikanan budi daya (KPB) modern yang mengintegrasikan bisnis hulu-hilir dengan manajemen profesional, penguatan *broodstock center* di berbagai wilayah untuk mempercepat kemandirian induk unggul, penyaluran bantuan induk unggul dan benih berkualitas kepada kelompok pembudi daya, serta pendampingan penerapan sertifikasi mutu seperti Cara Pembenihan Ikan yang Baik (CPIB) dan Cara Budidaya Ikan yang Baik (CBIB). Perkembangan teknologi digital juga membuka peluang besar untuk meningkatkan kualitas pengelolaan unit pembenihan. Gupta dan rekan-rekannya merekomendasikan penerapan *Recirculating Aquaculture System* (RAS) yang dipadukan dengan sensor digital dan teknologi *artificial intelligence* sebagai salah satu solusi jangka panjang bagi industri pembenihan modern.

Integrasi teknologi tersebut memungkinkan proses pemantauan kualitas air dilakukan secara *real-time*, sehingga setiap perubahan parameter lingkungan dapat dideteksi dan direspons dengan lebih cepat serta akurat. Selain meningkatkan efisiensi penggunaan air, penerapan sistem ini juga membantu menjaga kestabilan kondisi media pemeliharaan sekaligus memperkuat upaya pencegahan dan pengendalian penyakit pada unit *hatchery*. Dengan demikian, pemanfaatan teknologi cerdas tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga mendukung keberhasilan produksi benih yang lebih produktif, presisi, dan berkelanjutan.

Ringkasan tantangan dan strategi pengembangan produksi benih ikan tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Tantangan dan Strategi Pengembangan Produksi Benih Ikan di Indonesia

Tantangan	Strategi Pengembangan
Ketergantungan induk/benih impor pada komoditas strategis (contoh: benur udang vaname)	Penguatan <i>Broodstock Center</i> nasional guna mempercepat kemandirian induk unggul
Keterbatasan adopsi teknologi RAS pada pembudi daya skala kecil	Adopsi RAS berbasis sensor digital dan kecerdasan buatan
Risiko penurunan mutu genetik induk akibat <i>inbreeding</i>	Rotasi stok induk dan pemantauan genetik berkala
Ancaman penyakit lintas batas (<i>transboundary diseases</i>)	Penguatan biosekuriti <i>hatchery</i> dan sertifikasi CPIB/CBIB

Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa produksi benih ikan merupakan fondasi utama yang menentukan keberlanjutan seluruh rantai industri akuakultur, baik dari aspek biologis, ekonomis, maupun strategi ketahanan pangan nasional. Keberhasilan produksi benih tidak hanya ditentukan oleh penguasaan teknik reproduksi ikan semata, tetapi juga oleh penerapan fungsi manajemen yang sistematis—perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, dan pengawasan—yang terintegrasi dengan prinsip pengelolaan mutu genetik induk, kualitas air, dan biosekuriti. Data terkini menunjukkan bahwa sektor perikanan budi daya Indonesia tumbuh pesat, namun pada saat yang sama masih menghadapi tantangan struktural berupa ketergantungan pada induk dan benih impor untuk sejumlah komoditas strategis. Oleh karena itu, penguatan kapasitas manajemen produksi benih ikan, baik pada tingkat unit pembenihan rakyat maupun industri, menjadi kunci untuk mewujudkan tiga pilar utama pembenihan, yaitu kualitas, kuantitas, dan kontinuitas benih, sekaligus mendukung kemandirian dan daya saing industri akuakultur nasional secara berkelanjutan.

BAB 2 MEMBANGUN UNIT PEMBENIHAN YANG EFEKTIF

Pembangunan sarana dan prasarana yang terencana dengan baik merupakan fondasi utama bagi keberlanjutan dan produktivitas usaha budi daya perikanan. Berbagai kasus kegagalan operasional pada kegiatan pembenihan maupun pembesaran biota air pada umumnya tidak disebabkan oleh satu faktor tunggal, melainkan oleh akumulasi kesalahan mulai dari ketidaktepatan pemilihan lokasi, kekeliruan desain tata letak, hingga lemahnya sistem pengelolaan kualitas air. Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia melalui regulasi mengenai Cara Pembenihan Ikan yang Baik (CPIB) menegaskan bahwa aspek teknis, manajerial, keamanan pangan, dan kelestarian lingkungan wajib diintegrasikan sejak tahap awal perencanaan infrastruktur perikanan.

Komitmen tersebut diperkuat melalui Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 21 Tahun 2024 tentang Sistem Perbenihan Ikan Nasional, yang mengarahkan peningkatan mutu benih nasional sekaligus daya saing sektor perikanan budi daya di tingkat nasional maupun regional. Sektor pembenihan ikan air tawar, yang tergolong dalam klasifikasi lapangan usaha KBLI 03226, menuntut ketelitian tinggi dalam pemenuhan kriteria teknis wadah budidaya, sistem sirkulasi air, serta manajemen instrumen pemantauan kualitas air. Uraian pada bab ini disusun untuk memberikan panduan operasional yang komprehensif mengenai rekayasa sarana dan prasarana pembenihan ikan air tawar bagi praktisi maupun akademisi perikanan.

A. Menentukan Lokasi Terbaik

Penentuan lokasi merupakan langkah krusial yang sangat menentukan efisiensi biaya operasional serta mitigasi risiko kegagalan biologis dalam usaha pembenihan. Penentuan lokasi merupakan tahap awal yang sangat menentukan keberhasilan pembangunan unit pembenihan ikan. Sutisna dan Sutarmanto menjelaskan bahwa kelayakan suatu lokasi pada dasarnya dinilai melalui tiga aspek utama, yaitu kondisi topografi, ketersediaan dan kualitas sumber air, serta tingkat aksesibilitas wilayah. Ketiga aspek tersebut saling berkaitan karena memengaruhi efisiensi operasional, kelancaran proses produksi, dan keberlanjutan kegiatan pembenihan dalam jangka panjang.

Seiring berkembangnya teknologi, proses penilaian kesesuaian lokasi tidak lagi hanya mengandalkan pengamatan lapangan, tetapi juga didukung oleh metode analisis yang lebih sistematis. Radiarta dan rekan-rekannya menunjukkan bahwa pendekatan evaluasi berjenjang

melalui metode pembobotan (*weighting*) atau *skoring* terhadap karakteristik fisik lahan dan kualitas air mampu menghasilkan penilaian yang lebih objektif. Pendekatan tersebut telah banyak diterapkan dalam berbagai kajian kesesuaian lahan budi daya perikanan di Indonesia, termasuk untuk menentukan kawasan yang paling potensial dikembangkan berdasarkan hasil analisis spasial. Dengan demikian, pemilihan lokasi tidak hanya didasarkan pada pertimbangan praktis, tetapi juga didukung oleh analisis ilmiah yang dapat meminimalkan risiko kegagalan usaha pembenihan.

1. Topografi Lahan

Kondisi topografi menentukan rancang bangun wadah budi daya serta sistem pengairan yang akan diterapkan pada suatu unit pembenihan. Ketinggian lokasi merupakan salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pembangunan unit pembenihan ikan air tawar karena berpengaruh terhadap kondisi lingkungan pemeliharaan. Sutisna dan Sutarmanto menjelaskan bahwa lokasi yang ideal sebaiknya berada pada ketinggian tidak lebih dari 700 meter di atas permukaan laut. Pada kisaran tersebut, suhu udara umumnya lebih stabil sehingga mampu menciptakan kondisi yang mendukung berbagai proses fisiologis biota air tropis, seperti metabolisme, pertumbuhan, reproduksi, dan perkembangan benih. Dengan demikian, pemilihan lokasi pada ketinggian yang sesuai menjadi langkah penting untuk menjaga produktivitas dan keberhasilan kegiatan pembenihan. Dari aspek kemiringan lahan, lokasi yang ideal memiliki kelandaian berkisar 3% hingga 5%. Kemiringan tersebut memungkinkan distribusi air antarwadah dilakukan sepenuhnya secara gravitasi tanpa bergantung pada pompa elektrik secara terus-menerus, sehingga menekan biaya energi operasional secara signifikan.

Kondisi topografi lahan juga menjadi pertimbangan penting dalam menentukan kelayakan lokasi pembenihan. Fahman menjelaskan bahwa lahan dengan tingkat kemiringan lebih dari 15% sebaiknya tidak dipilih untuk pembangunan unit pembenihan karena memiliki risiko yang lebih tinggi terhadap terjadinya longsor dan erosi permukaan. Selain berpotensi mengganggu keamanan fasilitas, kondisi tersebut juga menyebabkan kebutuhan investasi untuk pekerjaan rekayasa sipil, seperti pemotongan dan penimbunan lahan, pembangunan talud, serta sistem drainase, menjadi jauh lebih besar. Oleh karena itu, pemilihan lahan yang relatif datar atau memiliki kemiringan landai tidak hanya meningkatkan keamanan operasional, tetapi juga membuat pembangunan dan pengelolaan unit pembenihan menjadi lebih efisien dari sisi teknis maupun ekonomi. Khusus pada sistem kolam air deras, kemiringan mikro yang direkomendasikan berada pada kisaran 0,5% hingga 1%, dengan batas toleransi maksimum sebesar 2,5% agar kecepatan arus air tetap terkendali dan tidak memicu erosi pada dinding

maupun dasar kolam. Selain kelandaian, karakteristik tanah pada lokasi calon unit pembenihan juga perlu diperhatikan secara saksama, terutama daya ikat air tanah apabila menggunakan konstruksi kolam tanah, serta tingkat kepekaan tanah terhadap erosi yang idealnya berada pada kategori rendah.

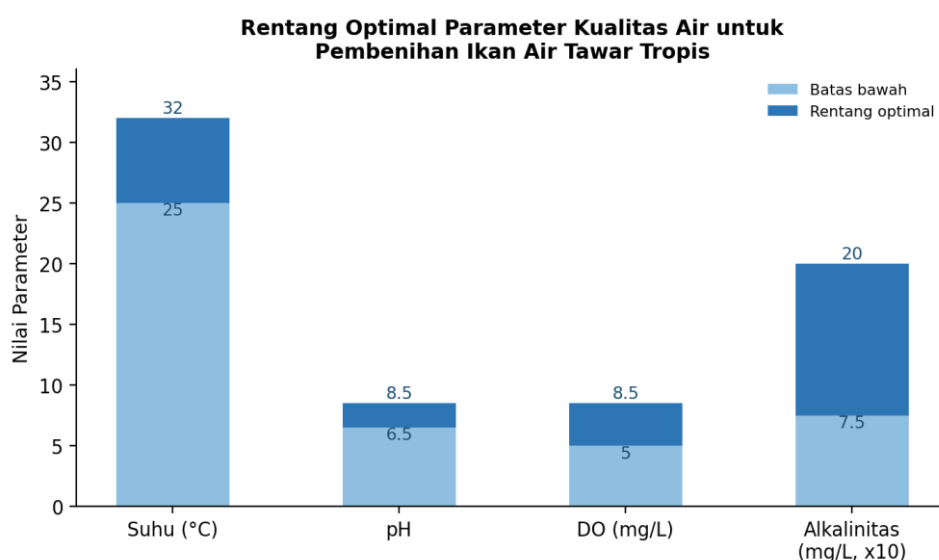
2. Kuantitas dan Kualitas Air

Air memiliki peran ganda bagi biota perairan, yaitu sebagai media internal yang mengatur proses fisiologis dan ekskresi metabolisme, sekaligus sebagai media eksternal yang berfungsi sebagai habitat hidup. Ketersediaan pasokan air harus terjamin sepanjang tahun, baik pada musim hujan maupun musim kemarau. Sumber air yang paling direkomendasikan untuk unit pembenihan adalah mata air pegunungan, sumur bor, atau sumur artesis karena memiliki kestabilan suhu yang baik serta relatif bebas dari patogen dan polutan. Apabila sumber air berasal dari sungai atau saluran irigasi, sistem pengairan wajib dilengkapi bak pengendapan dan unit penyaring sebelum air dialirkan ke kolam pembenihan dan pendederan guna meminimalkan risiko kontaminasi biologis maupun kimiawi.

Kualitas air harus dijaga agar tetap berada dalam kisaran yang sesuai dengan kebutuhan fisiologis ikan. Dalam bukunya yang terbit pada 2015, Boyd menjelaskan bahwa penyimpangan parameter kualitas air dari batas optimal dapat memicu stres pada ikan, yang selanjutnya menurunkan sistem kekebalan tubuh dan meningkatkan risiko kematian. Mengenai suhu, Ghufuran pada 2007 menyebutkan bahwa kisaran ideal bagi pertumbuhan ikan tropis berada antara 28°C hingga 32°C. Sementara itu, Kordi pada 2010 menjelaskan bahwa suhu yang stabil pada rentang 25°C hingga 30°C masih mampu mendukung pertumbuhan ikan secara optimal. Khairuman dan Amri melalui kajiannya pada 2008 juga mengingatkan bahwa perubahan suhu yang terlalu ekstrem perlu dihindari karena dapat menghambat pertumbuhan ikan nila (*Oreochromis niloticus*), bahkan menyebabkan kematian ketika suhu berada di luar batas toleransinya.

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu parameter penting yang perlu dijaga dalam kegiatan pembenihan. Dalam pembahasannya pada 2015, Boyd menjelaskan bahwa nilai pH yang optimal berada pada kisaran 6,5 hingga 8,5. Sementara itu, Effendi pada 2003 menyebutkan bahwa produktivitas budi daya umumnya paling baik pada pH antara 7,0 hingga 8,0. Ghufuran melalui kajiannya pada 2007 juga menjelaskan bahwa pH di bawah 5,0 dapat merusak jaringan insang, sedangkan pH di atas 9,0 meningkatkan kadar amonia tak terionisasi (NH_3) yang bersifat toksik bagi ikan.

Selain pH, kadar oksigen terlarut (*dissolved oxygen* atau DO) juga harus diperhatikan. Boyd pada 2015 menjelaskan bahwa konsentrasi DO sebaiknya dipertahankan di atas 5 mg/L agar proses respirasi aerobik berlangsung optimal. Meski demikian, Cahyono pada 2001 mengemukakan bahwa beberapa spesies ikan yang memiliki tingkat toleransi tinggi masih mampu bertahan pada kadar DO sekitar 3 mg/L. Parameter lain yang tidak kalah penting adalah alkalinitas. Effendi pada 2003 menjelaskan bahwa alkalinitas menunjukkan kemampuan air dalam menahan perubahan pH akibat fluktuasi konsentrasi ion hidrogen. Untuk mendukung kegiatan budidaya, nilai alkalinitas yang dianjurkan berkisar antara 75 hingga 200 mg/L. Apabila diperlukan, kapasitas penyangga tersebut dapat ditingkatkan melalui penambahan kalsium karbonat (CaCO_3) secara terkontrol.



Gambar 4 Rentang Optimal Parameter Kualitas Air untuk Pembenihan Ikan Air Tawar Tropis

3. Aksesibilitas dan Zonasi Wilayah

Aspek logistik dan kemudahan jangkauan sangat menentukan efisiensi rantai pasok pakan, induk, benih, serta hasil panen. Lokasi budi daya sebaiknya berjarak dekat dengan jalan arteri primer atau sekunder, idealnya kurang dari 1.000 meter, guna mempermudah transportasi sarana produksi perikanan. Selain itu, ketersediaan jaringan listrik nasional dan infrastruktur telekomunikasi sangat penting untuk mengoperasikan peralatan aerasi, pompa, serta sistem pemantauan otomatis. Jarak pengaman (*buffer zone*) dari pusat perkotaan yang direkomendasikan minimal 10 kilometer, dan dari kawasan permukiman padat minimal 2 kilometer, guna menghindari risiko kontaminasi limbah domestik maupun industri yang dapat merusak kualitas sumber air.

Dari sudut pandang konservasi lingkungan, perlindungan kawasan setempat wajib ditaati sesuai peraturan perundang-undangan mengenai garis sempadan. Kawasan sempadan pantai yang dilindungi minimal berjarak 100 meter dari garis pasang tertinggi ke arah darat, sedangkan sempadan sungai bertanggung di kawasan permukiman minimal berjarak 3 hingga 5 meter dari tepi luar tanggul, dengan ketentuan yang lebih luas untuk sungai tidak bertanggung di luar kawasan permukiman (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 28/PRT/M/2015). Seluruh pemilihan lokasi unit budi daya harus selaras dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) atau zonasi yang berlaku, bebas dari risiko banjir dan kontaminasi, serta memiliki izin dan tanda registrasi resmi dari otoritas yang berwenang.

Tabel 4 Ringkasan Parameter Kesesuaian Lokasi Unit Pembenihan Ikan Air Tawar

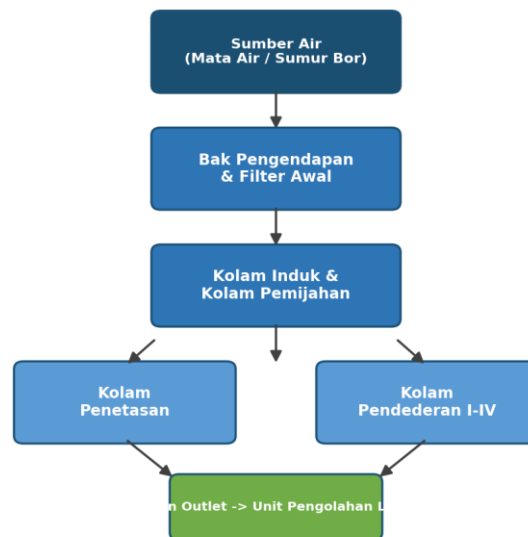
Kategori Parameter	Sub-Parameter	Nilai Optimal / Persyaratan
Topografi	Ketinggian tempat	< 700 m di atas permukaan laut
	Kemiringan lahan	3%–5% (umum); 0,5%–1% (kolam air deras)
	Karakteristik tanah	Daya ikat air tinggi, kepekaan erosi rendah
Kualitas Air	Suhu air	25°C–30°C (umum); 28°C–32°C (tropis)
	Derajat keasaman (pH)	6,5–8,5 (toleransi); 7,0–8,0 (optimal)
	Oksigen terlarut (DO)	> 5 mg/L (optimal); > 3 mg/L (batas kritis)
	Alkalinitas	75–200 mg/L
Zonasi & Akses	Jarak ke jalan arteri	< 1.000 meter
	Jarak ke pusat kota	Minimal 10 kilometer
	Jarak ke permukiman padat	Minimal 2 kilometer
	Sempadan sungai bertanggung	Minimal 3–5 meter dari tepi luar tanggul

B. Merancang Fasilitas Pembenihan

Tata letak fasilitas pembenihan harus mengedepankan prinsip biosekuriti dan efisiensi alur kerja operasional. Pengelompokan wadah budi daya berdasarkan fungsinya sangat krusial untuk mencegah penularan penyakit dari organisme dewasa (induk) kepada organisme yang lebih rentan seperti larva dan benih. Kolam pemijahan, penetasan, pemeliharaan calon induk, pendederan, penampungan benih, dan kolam perawatan (*treatment*) sebaiknya dikelompokkan

dalam satu wilayah agar terhindar dari kemungkinan cemaran akibat kegiatan lain. Saluran air masuk (*inlet*) dibangun agar dapat menyalurkan air langsung dari sumber yang telah terjamin kualitasnya, sedangkan saluran pembuangan (*outlet*) diarahkan langsung menuju unit pengolahan limbah sebelum dialirkan kembali ke perairan umum. Gambar 5 mengilustrasikan skema umum tata letak dan alur air pada suatu unit pembenihan yang memanfaatkan prinsip gravitasi dan zonasi biosekuriti.

**Skema Tata Letak dan Alur Air Unit Pembenihan Ikan
(Prinsip Gravitasi dan Zonasi Biosekuriti)**



Gambar 5 Skema Tata Letak dan Alur Air Unit Pembenihan Ikan Berdasarkan Prinsip Gravitasi dan Zonasi Biosekuriti

1. Kolam Induk

Kolam induk berfungsi sebagai wadah pemeliharaan calon induk dan induk dewasa hingga mencapai kematangan gonad yang optimal. Khairuman dan Amri dalam pembahasannya pada 2003 menjelaskan bahwa kolam induk sebaiknya dipisahkan antara ikan jantan dan betina untuk mencegah terjadinya *wild spawning* atau pemijahan liar yang tidak terkendali. Pemisahan tersebut juga memudahkan pemantauan perkembangan dan kematangan gonad secara berkala. Menurut mereka, kolam induk umumnya memiliki luas sekitar 6 hingga 10 m² dengan konstruksi yang kuat agar proses pematangan gonad dapat berlangsung secara optimal.

Seleksi induk memegang peranan vital dalam menentukan kualitas keturunan. Kriteria fisik induk yang baik meliputi bentuk tubuh yang normal (melengkung sempurna tanpa bagian datar pada punggung), pangkal ekor yang tinggi dan kuat, letak anus yang dekat dengan sirip ekor, serta berasal dari keturunan yang berbeda untuk menghindari perkawinan sekerabat dekat atau *inbreeding*. Pada tahap seleksi, penggunaan agen pembius seperti minyak cengkeh dengan dosis tertentu dianjurkan untuk menekan tingkat stres induk selama penanganan. Untuk

merangsang pemijahan buatan, protokol penyuntikan hormon umumnya dilakukan secara bertahap, sedangkan fekunditas telur dihitung berdasarkan jumlah butir telur hasil ovulasi per satuan bobot tubuh induk betina menggunakan formulasi baku dalam biologi perikanan.

2. Kolam Pemijahan

Kolam pemijahan dirancang sebagai tempat pertemuan fisik antara induk jantan dan betina untuk melakukan proses pembuahan. Sutisna dan Sutarmanto pada 1995 menjelaskan bahwa kolam pemijahan harus dibangun dengan dinding dan dasar yang kuat, kedap air, serta mampu menahan tekanan air secara terus-menerus. Mereka juga menyarankan agar kolam ditempatkan pada bagian tertinggi di kawasan unit pembenihan sehingga proses pengisian dan pengeringan dapat memanfaatkan aliran gravitasi. Menurut keduanya, kolam pemijahan berbahan beton umumnya memiliki luas sekitar 50 hingga 60 m² dengan kedalaman air berkisar antara 0,5 hingga 1,0 meter.

Pintu pemasukan air (*inlet*) diletakkan pada satu sisi dan pintu pengeluaran air (*outlet*) diletakkan pada sisi yang berseberangan untuk menjamin kelancaran sirkulasi air di dalam kolam. Pengeringan kolam selama satu hingga dua hari sebelum pemijahan perlu dilakukan untuk membunuh mikroorganisme patogen sekaligus merangsang proses pemijahan secara alami. Untuk spesies ikan yang telurnya bersifat adhesif atau menempel, kolam dilengkapi substrat buatan berupa kakaban yang diberi pemberat agar tidak mengapung ke permukaan.

3. Kolam Penetasan

Wadah penetasan telur disesuaikan dengan sifat biologis telur dari spesies yang dibudidayakan, baik bersifat menempel (*adhesif*) maupun melayang (*non-adhesif*). Bentuk fisik wadah penetasan dapat berupa kolam beton berukuran kecil, bak fiber, akuarium, maupun corong penetasan yang diletakkan pada ruangan semi-tertutup. Kolam penetasan wajib dilengkapi sistem perpipaan penyalur air (*inlet mikro*) yang dipasang di sepanjang bagian kolam agar seluruh telur mendapatkan pasokan air kaya oksigen secara merata, sekaligus mencegah pembusukan telur akibat penumpukan pada satu titik.

Ciri telur yang baik pada umumnya berwarna kuning cerah dan bening, sedangkan telur yang tidak terbuahi atau mati berwarna putih keruh dan harus segera disingkirkan agar tidak menularkan jamur ke telur yang sehat. Waktu penetasan telur umumnya berkisar antara 36 hingga 48 jam, sangat bergantung pada kestabilan suhu air selama masa inkubasi. Tingkat penetasan telur (*hatching rate*) dihitung sebagai persentase jumlah telur yang menetas terhadap jumlah total telur yang dibuahi, mengacu pada formulasi baku biologi perikanan.

4. Kolam Pendederan

Pendederan merupakan tahap pemeliharaan lanjutan bagi larva yang baru menetas hingga mencapai ukuran benih tertentu yang siap ditebar di kolam pembesaran. Proses pendederan umumnya dilakukan secara berjenjang, mulai dari Pendederan I hingga IV, untuk memisahkan ukuran ikan, menekan tingkat kanibalisme, serta meminimalkan mortalitas benih akibat persaingan pakan. Sistem pendederan berkonstruksi beton dengan luas kolam sekitar 60 m² memerlukan pengeringan selama satu hingga dua hari untuk membunuh bibit penyakit. Setelah dikeringkan, kolam diisi air setinggi 5 hingga 10 cm, kemudian diberi pupuk organik untuk merangsang pertumbuhan plankton sebagai pakan alami benih.

Proses pemindahan larva ke kolam pendederan wajib melalui tahap aklimatisasi suhu secara perlahan untuk mencegah stres osmotik akibat perbedaan suhu yang ekstrem. Manajemen pakan pada tahap pendederan harus dilakukan secara presisi guna mencegah kekurangan pakan (*underfeeding*) yang memicu kanibalisme, maupun kelebihan pakan (*overfeeding*) yang menyebabkan penurunan kualitas air secara drastis. Pakan yang diberikan terdiri atas pakan alami berupa plankton serta pakan buatan berupa pelet halus dengan kadar protein minimal 32%.

C. Membangun Sistem Air

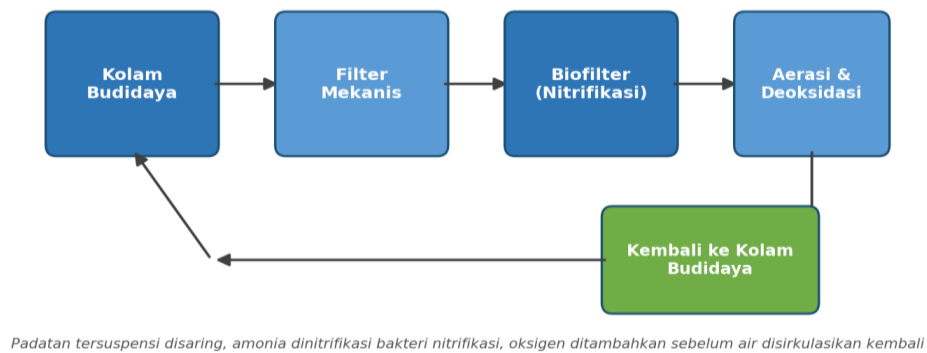
Pengelolaan kualitas air secara terpadu merupakan faktor penentu utama dalam mempertahankan kelulushidupan biota akuatik pada sistem budi daya intensif. Sistem ini umumnya terbagi menjadi tiga subsistem penunjang, yaitu sistem suplai, sistem filtrasi, dan sistem aerasi.

1. Suplai Air

Sistem suplai air harus dirancang agar sirkulasi berjalan lancar dan kontinu sehingga biota budi daya terhindar dari risiko penularan penyakit. Pintu *inlet* kolam sebaiknya dilengkapi saringan halus untuk mencegah masuknya organisme liar atau sampah fisik dari sumber air luar. Sesuai persyaratan biosekuriti CPIB, ruang penyimpanan obat ikan, bahan kimia, dan bahan biologi harus diletakkan terpisah dari saluran suplai air guna mengeliminasi risiko kontaminasi silang yang tidak disengaja.

2. Filtrasi

Filtrasi bertujuan mengolah air sebelum masuk ke wadah pemeliharaan maupun saat mengolah air sisa pemeliharaan dalam sistem resirkulasi akuakultur atau *Recirculating Aquaculture System* (RAS). RAS merupakan teknologi budi daya yang memanfaatkan kembali air pada wadah produksinya melalui rangkaian proses filtrasi fisik, kimiawi, dan biologis yang disertai pemasokan oksigen terlarut. Penerapan RAS terbukti mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air sekaligus mendukung padat tebar yang lebih tinggi dibandingkan sistem budi daya konvensional, sebagaimana ditunjukkan pada penerapan RAS berbasis biofilter pada kolam terpal budi daya ikan nila. Gambar 6 menyajikan alur umum sistem RAS pada unit pembenihan ikan air tawar.



Gambar 6 Alur Sistem Resirkulasi Akuakultur (*Recirculating Aquaculture System*/RAS) pada Unit Pembenihan

- 1. Filtrasi Fisik:** Bertujuan menyaring padatan tersuspensi seperti sisa pakan, feses, dan lumpur menggunakan saringan pasir cepat (*fast sand filter*) atau media fisik lain sejenis.
- 2. Filtrasi Kimiawi:** Bertujuan mengadsorpsi bahan kimia terlarut, logam berat, bau, dan senyawa racun menggunakan media karbon aktif atau batu zeolit.
- 3. Filtrasi Biologis:** Pada sistem filtrasi biologis, proses pengolahan limbah memanfaatkan aktivitas bakteri nitrifikasi, terutama *Nitrosomonas* sp. dan *Nitrobacter* sp. Samsundari dan Wirawan dalam uji cobanya pada 2013 menjelaskan bahwa kedua bakteri tersebut mengubah amonia bebas (NH_3) yang bersifat toksik menjadi nitrit (NO_2^-), kemudian mengoksidasinya lebih lanjut menjadi nitrat (NO_3^-) yang relatif lebih aman bagi biota perairan. Untuk mendukung proses tersebut, berbagai desain biofilter telah dikembangkan, di antaranya *trickling filter*, *bead filter*, sistem aerob-anaerob, serta *Rotating Biological Contactor* (RBC).

Penerapan kombinasi teknologi aerasi dan filtrasi menggunakan saringan pasir cepat serta media biofilter terbukti efektif menurunkan kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), kekeruhan, serta amonia pada air media maupun limbah cair sisa budidaya. Setiap unit pembenihan sebaiknya memiliki unit pengolah limbah agar air buangan menjadi netral sebelum dialirkan kembali ke perairan umum, sejalan dengan prinsip biosekuriti dan keberlanjutan lingkungan yang diamanatkan CPIB.

3. Aerasi

Aerasi merupakan proses yang bertujuan meningkatkan kandungan oksigen di dalam air melalui pemasukan udara secara mekanis. Kordi dalam pembahasannya pada 2010 menjelaskan bahwa keberhasilan proses ini sangat dipengaruhi oleh luas bidang kontak antara gelembung udara dan air, karena semakin besar area kontak tersebut, semakin tinggi pula efisiensi perpindahan oksigen ke media pemeliharaan. Pada sistem budi daya intensif, Boyd pada 2015 menegaskan bahwa pasokan oksigen yang berasal dari difusi alami di permukaan air tidak lagi mampu memenuhi kebutuhan respirasi ikan. Oleh karena itu, penggunaan aerator mekanis, seperti *paddlewheel*, *ring blower*, maupun *air stone diffuser*, menjadi bagian penting dalam pengelolaan kualitas air. Boyd pada 2015 juga menjelaskan bahwa penggunaan kincir air tidak hanya berfungsi menambah kadar oksigen terlarut secara merata di seluruh kolom air, tetapi juga membantu mengoksidasi dasar kolam, menjaga partikel organik tetap tersuspensi agar lebih mudah terurai, mengarahkan endapan lumpur menuju saluran pembuangan, serta mengurangi terjadinya stratifikasi suhu dan salinitas. Dengan demikian, kondisi perairan menjadi lebih homogen dan mampu mendukung pertumbuhan ikan secara optimal.

Uji coba yang dilakukan Samsundari dan Wirawan pada 2013 terhadap ikan nila merah (*Oreochromis niloticus*) menunjukkan bahwa penerapan sistem aerasi yang dipadukan dengan filtrasi biologis mampu menjaga kadar amonia tetap berada di bawah ambang toleransi. Kondisi tersebut tidak hanya memperbaiki kualitas air, tetapi juga mengurangi kerusakan histopatologis pada jaringan insang ikan. Untuk memberikan gambaran mengenai kondisi lingkungan yang ideal bagi kegiatan pembenihan, Gambar 3 menyajikan rentang optimal beberapa parameter kualitas air utama yang perlu dipantau secara berkala pada unit pembenihan ikan air tawar tropis.

D. Peralatan yang Wajib Tersedia

Kementerian Kelautan dan Perikanan pada 2018 menjelaskan bahwa ketepatan dalam pemantauan dan penanganan kegiatan pembenihan sehari-hari sangat dipengaruhi oleh ketersediaan peralatan pendukung yang memadai serta perawatan yang dilakukan secara rutin. Untuk memudahkan pemahaman mengenai fungsi setiap peralatan, Tabel 5 menyajikan ringkasan jenis peralatan, komponen utama, parameter yang diukur, serta prosedur perawatan yang umum diterapkan di unit pembenihan ikan.

1. Jaring

Khairuman dan Amri pada 2003 menjelaskan bahwa jaring perikanan tersedia dalam berbagai ukuran *mesh size* dan bahan yang disesuaikan dengan kebutuhan operasional di unit pembenihan. Peralatan ini dimanfaatkan dalam berbagai kegiatan, mulai dari penanganan ikan saat pemberian pakan, pemantauan kondisi pemeliharaan, pengamatan pertumbuhan, hingga proses panen dan distribusi benih. Kementerian Kelautan dan Perikanan pada 2018 juga menekankan pentingnya melakukan sterilisasi jaring secara berkala menggunakan larutan antiseptik untuk mencegah perpindahan agen penyakit antarwadah budidaya.

2. Timbangan

Timbangan digital berpresisi tinggi digunakan untuk mengukur bobot tubuh ikan sebagai dasar pemantauan laju pertumbuhan harian sekaligus menghitung faktor kondisi (*condition factor*) yang mencerminkan tingkat kesehatan, kemampuan bertahan hidup, dan potensi reproduksi ikan. Menurut Effendie dalam pembahasannya pada 1997, informasi tersebut menjadi indikator penting untuk menilai kondisi fisik ikan selama masa pemeliharaan. Data hasil penimbangan juga dimanfaatkan untuk menentukan kebutuhan pakan harian serta menghitung *Feed Conversion Ratio* (FCR), yaitu perbandingan antara jumlah pakan yang diberikan dengan penambahan biomassa ikan selama periode pemeliharaan. Effendie pada 1997 menjelaskan bahwa nilai FCR dapat digunakan untuk mengevaluasi efisiensi pemanfaatan pakan dalam kegiatan budidaya. Selain itu, timbangan mikro diperlukan untuk menakar dosis hormon pemijahan maupun obat-obatan secara akurat agar penggunaannya sesuai dengan kebutuhan.

3. DO Meter

Dissolved Oxygen (DO) meter merupakan alat elektronik portabel yang digunakan untuk mengukur kadar oksigen terlarut di dalam air secara aktual. Kadar *dissolved oxygen* (DO) menjadi salah satu indikator utama dalam menilai kualitas air pada kegiatan pembenihan. Boyd

dalam pembahasannya pada 2015 menjelaskan bahwa nilai DO yang tinggi umumnya menunjukkan kondisi perairan yang baik, sedangkan kadar DO yang rendah dapat menjadi indikasi adanya pencemaran atau kepadatan populasi ikan yang terlalu tinggi. Pengukuran kadar DO dilakukan menggunakan *DO meter* yang bekerja melalui sensor probe oksigen yang dilengkapi komponen katoda dan anoda. Probe tersebut dicelupkan ke dalam air untuk mendeteksi kadar oksigen terlarut, kemudian hasil pengukurannya diolah secara elektronik dan ditampilkan dalam bentuk angka pada layar instrumen.

4. pH Meter

pH meter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan air secara akurat. Menurut Effendi dalam pembahasannya pada 2003, alat ini bekerja menggunakan elektroda gelas yang sensitif terhadap aktivitas ion hidrogen sehingga mampu memberikan hasil pengukuran secara presisi. Akurasi *pH meter* sangat dipengaruhi oleh perawatan sensornya. Oleh karena itu, Effendi pada 2003 menjelaskan bahwa elektroda perlu dibilas menggunakan air suling (akuades) atau larutan Kalium Klorida (KCl) 3 M sebelum dan sesudah digunakan, disimpan dalam kondisi tetap lembap pada suhu ruangan yang tidak melebihi 50°C, serta dikalibrasi secara berkala menggunakan larutan penyangga (*buffer*) standar. Apabila alat dioperasikan secara terus-menerus selama 24 jam, kalibrasi ulang sebaiknya dilakukan setiap delapan jam untuk menjaga ketelitian hasil pengukuran.

5. Mikroskop

Mikroskop binokuler laboratorium merupakan salah satu peralatan penting dalam mendukung program kesehatan ikan dan penerapan biosekuriti di unit pembenihan. Kementerian Kelautan dan Perikanan dalam pedomannya pada 2018 menjelaskan bahwa alat ini digunakan untuk memantau kondisi kesehatan induk dan benih secara berkala, mengidentifikasi ektoparasit melalui pemeriksaan kerokan lendir (*skin scraping*) pada kulit maupun insang, serta mengamati komposisi dan kelimpahan pakan alami berupa fitoplankton dan *zooplankton* di media pemeliharaan.

**Tabel 5 Jenis, Komponen, dan Prosedur Perawatan Peralatan Pendukung Unit
Pembenihan**

Nama Peralatan	Komponen Utama	Parameter Spesifik	Prosedur Perawatan Rutin
Jaring	Kantung jaring, bingkai, tangkai	Ukuran mata jaring (<i>mesh size</i>)	Pencucian air tawar, perendaman disinfektan, pengeringan di tempat teduh
Timbangan digital	<i>Sensor load cell</i> , layar LCD	Presisi berat (gram/miligram)	Kalibrasi beban standar, pembersihan sisa air dan pakan
DO meter	Unit pembaca, probe katoda-anoda	Oksigen terlarut (mg/L)	Pembilasan probe dengan akuades, penggantian membran dan elektrolit berkala
pH meter	Elektroda gelas, sirkuit penguat	Derajat keasaman (pH)	Kalibrasi <i>buffer</i> pH tiap 8 jam (pemakaian kontinu), rendam larutan KCl 3 M
Mikroskop binokuler	Lensa objektif-okuler, iluminator optik	Perbesaran 40x–1000x	Pembersihan lensa dengan kertas lensa khusus, penyimpanan dalam lemari kering (<i>silica gel</i>)

BAB 3 MENGELOLA INDUK BERKUALITAS

A. Memilih Induk Unggul

Keberlanjutan industri akuakultur nasional sangat bergantung pada kemampuan unit pembenihan menyediakan benih bermutu secara berkesinambungan. Salah satu ancaman serius yang membayangi keberlangsungan mutu benih adalah menurunnya keragaman genetik induk akibat praktik perkawinan sekerabat atau *inbreeding* yang tidak terkendali. Pentingnya menjaga keragaman genetik juga ditunjukkan oleh uji coba Syahputra dan rekan-rekannya pada 2016 terhadap populasi ikan mas *strain* Rajadanu. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa nilai heterozigositas teramati hanya mencapai 0,31, lebih rendah dibandingkan heterozigositas harapan sebesar 0,46, disertai indeks fiksasi positif sebesar 0,32 yang mengindikasikan adanya tekanan *inbreeding* pada populasi. Apabila kondisi tersebut tidak dikelola dengan baik, dampaknya dapat berupa penurunan laju pertumbuhan, meningkatnya abnormalitas morfologi, serta melemahnya ketahanan benih terhadap serangan penyakit.

Persoalan mutu genetik ini menempatkan manajemen induk sebagai pilar utama dalam rantai produksi benih. Manajemen induk tidak hanya mencakup pemilihan calon induk yang unggul, tetapi juga meliputi pengaturan nutrisi, pengendalian sistem reproduksi, dan perlindungan kesehatan induk dari agen penyakit. Pemerintah melalui Kementerian Kelautan dan Perikanan telah menetapkan kerangka regulasi berupa Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 21 Tahun 2024 tentang Sistem Perbenihan Ikan Nasional sebagai acuan hierarkis pengelolaan plasma nutfah, mulai dari induk penjenis hingga induk unggul bersertifikat yang beredar di masyarakat pembudidaya.

Bab ini membahas empat aspek utama manajemen induk perikanan air tawar, yaitu: (1) seleksi dan kualitas genetik induk, (2) pengelolaan nutrisi dan pakan induk, (3) pemilihan sistem reproduksi dan teknik pemijahan, serta (4) pemeliharaan kesehatan dan penerapan biosekuriti. Keempat aspek tersebut disintesis dari temuan riset terkini yang dipublikasikan pada jurnal terindeks Sinta dan Scopus, dengan tujuan memberikan pedoman operasional yang dapat diterapkan oleh unit pembenihan rakyat maupun balai benih pemerintah.

Pendekatan manajemen induk yang berbasis bukti ilmiah menjadi semakin relevan mengingat tekanan produksi yang terus meningkat, sementara basis genetik sebagian komoditas budi daya air tawar di Indonesia diketahui relatif sempit akibat praktik pembenihan yang berulang menggunakan induk yang sama dalam jangka waktu lama. Tanpa intervensi

manajerial yang terencana, siklus ini akan terus berulang dan berpotensi menurunkan daya saing produk perikanan budi daya nasional di pasar domestik maupun ekspor. Oleh sebab itu, pemahaman yang utuh terhadap prinsip genetika populasi, fisiologi reproduksi, dan epidemiologi penyakit ikan menjadi bekal penting bagi teknisi maupun pengelola unit pembenihan dalam menyusun standar operasional prosedur (SOP) manajemen induk yang adaptif terhadap karakteristik masing-masing spesies budidaya.

B. Menjaga Keragaman Genetik

Seleksi induk merupakan tahap awal yang menentukan mutu genetik keturunan yang dihasilkan. Program seleksi individu (*mass selection*) pada calon induk nila putih Janti strain, misalnya, mampu meningkatkan nilai *genetic gain* generasi kelima (F5) dibandingkan generasi sebelumnya melalui pemilihan differensial terhadap 100 individu dengan bobot tertinggi dari total populasi yang diamati. Penerapan program seleksi berbasis genetik telah memberikan hasil yang menjanjikan dalam pengembangan induk unggul.

Uji coba Syahputra dan rekan-rekannya pada 2016, yang kemudian diperkuat oleh Himawan dan rekan-rekannya pada 2017, menunjukkan bahwa pada ikan mas strain Rajadanu, kombinasi seleksi individu untuk karakter pertumbuhan cepat dengan seleksi berbasis marka molekuler Cyca-DAB1*05 yang berkaitan dengan ketahanan terhadap *koi herpesvirus* (KHV) mampu mempertahankan performa unggul hingga generasi ketiga (F3). Namun, kedua uji coba tersebut juga mengungkapkan bahwa populasi tersebut memiliki keragaman genotipe yang relatif rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa program seleksi yang dilakukan secara intensif perlu diimbangi dengan pengelolaan jumlah induk yang memadai agar keragaman genetik tetap terjaga dan penyempitan basis genetik populasi dapat dihindari.

1. Hierarki Klasifikasi Induk Nasional

Sesuai dengan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 21 Tahun 2024, pengelolaan plasma nutfah nasional diatur secara berjenjang guna menjamin ketertelusuran mutu benih sebar. Tata kelola ini mengelompokkan induk ke dalam tiga kelas utama sebagaimana disajikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 7 Hierarki Klasifikasi Induk dalam Sistem Perbenihan Ikan Nasional

Sumber: Kementerian Kelautan dan Perikanan serta Peraturan Menteri KP No. 21 Tahun 2024, 2024

Dalam sistem perbenihan nasional, induk dibedakan ke dalam beberapa tingkatan sesuai fungsi dan mutu genetiknya. Kementerian Kelautan dan Perikanan pada 2024 menjelaskan bahwa Induk Penjenis (*breeder stock*) merupakan sumber plasma nutfah murni yang dihasilkan melalui program pemuliaan di bawah pengawasan ketat. Dari kelompok ini kemudian dihasilkan Induk Dasar (*foundation stock*) yang telah memenuhi standar mutu nasional. Selanjutnya, Induk Unggul yang telah memperoleh sertifikasi menjadi kelompok induk yang siap dimanfaatkan untuk menghasilkan benih sebar bagi kebutuhan para pembudidaya.

2. Pengelolaan Populasi Efektif dan Pencegahan Inbreeding

Untuk mencegah penyempitan keragaman genetik, pengelolaan populasi induk perlu memperhitungkan ukuran populasi pembiakan efektif (N_e), yaitu jumlah individu ideal yang berkontribusi terhadap generasi berikutnya. Nilai N_e dalam satu siklus perkawinan dapat diduga melalui persamaan:

$$N_e = \frac{4N_m N_f}{N_m + N_f}$$

dengan N_m adalah jumlah induk jantan dan N_f adalah jumlah induk betina yang memijah secara aktif. Ketimpangan rasio kelamin—misalnya penggunaan jumlah jantan yang jauh lebih sedikit dibandingkan betina—akan menurunkan nilai N_e , yang secara matematis meningkatkan laju penambahan koefisien inbreeding (ΔF) tiap generasi mengikuti persamaan:

$$\Delta F = \frac{1}{2N_e}$$

Peningkatan nilai ΔF umumnya diikuti oleh penurunan keragaman genetik dalam suatu populasi. Kondisi tersebut terlihat pada uji coba Syahputra dan rekan-rekannya pada 2016 terhadap ikan mas Rajadanu generasi F3, yang menunjukkan bahwa heterozigositas teramati hanya mencapai 0,31, lebih rendah dibandingkan heterozigositas harapan sebesar 0,46

berdasarkan pengujian pada tiga lokus mikrosatelit. Untuk mengurangi risiko tersebut, salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah persilangan antar-strain. Ariyanto dan rekan-rekannya pada 2023 membuktikan bahwa ikan mas hibrida hasil persilangan *strain* Majalaya dan Sutisna memiliki tingkat sintasan setelah infeksi *Aeromonas hydrophila* yang lebih tinggi, mencapai 96,7%, dibandingkan strain pembanding yang hanya sebesar 83,3%. Persilangan tersebut juga meningkatkan ketahanan ikan terhadap berbagai cekaman lingkungan abiotik. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan induk jantan dan betina yang berasal dari galur atau populasi berbeda dapat menjadi strategi yang efektif untuk memperkaya keragaman genetik sekaligus menekan risiko terjadinya *inbreeding depression*.

Selain aspek genotipe, evaluasi fenotipe tetap menjadi bagian tidak terpisahkan dari seleksi induk. Parameter fenotipe yang lazim diamati meliputi proporsi anatomi tubuh, kelengkapan sirip, kelincahan gerak, dan status kesehatan bebas penyakit. Seleksi fisik idealnya dilakukan pada pagi hari saat suhu air relatif rendah untuk meminimalkan stres mekanis pada ikan. Pencatatan silsilah (*pedigree*) secara konsisten juga diperlukan agar rotasi induk dapat direncanakan dan penggunaan induk sekerabat dapat dihindari pada siklus pemijahan berikutnya.

3. Simulasi Numerik Ukuran Populasi Efektif

Penerapan ukuran populasi efektif (*effective population size* atau N_e) dapat dipahami melalui contoh sederhana dalam kegiatan pembenihan. Misalnya, sebuah unit pembenihan menggunakan 10 ekor induk jantan dan 40 ekor induk betina dalam satu siklus pemijahan massal. Berdasarkan persamaan:

$$N_e = \frac{4N_mN_f}{N_m + N_f}$$

dengan N_m sebagai jumlah induk jantan dan N_f sebagai jumlah induk betina, diperoleh nilai:

$$N_e = \frac{4 \times 10 \times 40}{10 + 40} = \frac{1600}{50} = 32.$$

Nilai N_e sebesar 32 tersebut lebih rendah dibandingkan jumlah induk yang dipelihara, yaitu 50 ekor. Hal ini terjadi karena komposisi induk yang tidak seimbang, yakni satu induk jantan untuk empat induk betina, sehingga kontribusi genetik dari kelompok jantan menjadi lebih kecil. Sebaliknya, apabila jumlah induk disusun lebih proporsional, misalnya masing-masing 25 ekor jantan dan 25 ekor betina, maka nilai N_e menjadi:

$$N_e = \frac{4 \times 25 \times 25}{25 + 25} = \frac{2500}{50} = 50.$$

Contoh tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan pengelolaan induk tidak hanya ditentukan oleh banyaknya induk yang dipelihara, tetapi juga oleh keseimbangan rasio jantan dan betina agar keragaman genetik populasi tetap terjaga.

Nilai *effective population size* (N_e) yang rendah dapat mempercepat terjadinya *inbreeding* dari satu generasi ke generasi berikutnya. Hal tersebut terlihat pada uji coba Syahputra dan rekan-rekannya pada 2016 terhadap populasi ikan mas Rajadanu, yang masih menunjukkan defisit heterozigositas pada dua dari tiga lokus mikrosatelit serta penyimpangan yang nyata dari keseimbangan Hardy-Weinberg, meskipun telah dikelola dengan program pemuliaan yang cukup ketat. Berdasarkan temuan tersebut, pengelolaan induk sebaiknya dilakukan melalui rotasi induk antar kelompok pemijahan, pembatasan jumlah keturunan dari setiap pasangan induk yang dipertahankan sebagai calon induk generasi berikutnya, serta pemanfaatan penanda molekuler, apabila didukung fasilitas laboratorium, untuk memastikan tingkat kekerabatan sebelum pasangan induk digunakan kembali pada siklus pemijahan berikutnya.

Tabel 6 Klasifikasi induk dalam Sistem Perbenihan Ikan Nasional

Kelas Induk	Penghasil	Fungsi Utama
Induk Penjenis (<i>Breeder Stock</i>)	Lembaga pemuliaan/pemulia	Sumber plasma nutfah murni di bawah pengawasan ketat
Induk Dasar (<i>Foundation Stock</i>)	Turunan induk penjenis	Memenuhi standar mutu genetik nasional untuk perbanyakan lanjutan
Induk Unggul Bersertifikat	Balai benih/UPR bersertifikat	Menghasilkan benih sebar untuk masyarakat pembudidaya

C. Nutrisi untuk Induk Produktif

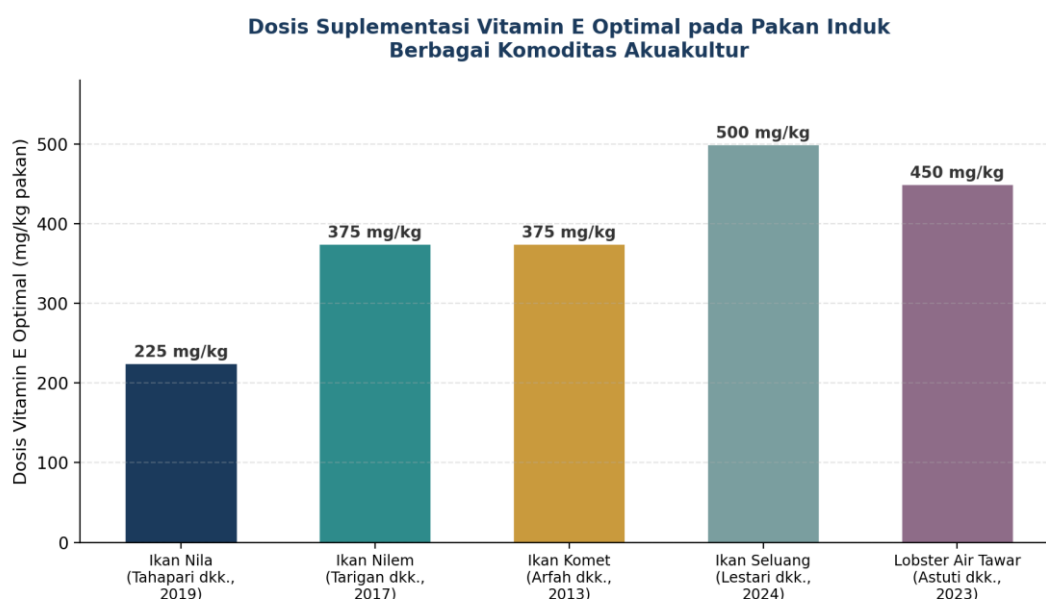
Nutrisi pakan berperan sentral dalam merangsang sumbu hormonal yang mengendalikan perkembangan gonad. Defisiensi gizi makro maupun mikro akan menekan sekresi hormon gonadotropin, sehingga ovarium gagal memproduksi estrogen dalam jumlah cukup untuk menginisiasi vitelogenesis, yaitu proses sintesis dan akumulasi kuning telur di dalam oosit. Oleh karena itu, formulasi pakan induk perlu memperhatikan kadar protein, asam lemak esensial, dan mikronutrien antioksidan secara terukur.

1. Kebutuhan Protein dan Asam Lemak Esensial

Kebutuhan nutrisi induk berbeda dengan ikan pada fase pembesaran karena harus mampu mendukung proses reproduksi secara optimal. Secara umum, pakan untuk induk mengandung protein berkisar antara 31% hingga 36%, bergantung pada spesies yang dibudidayakan. Tahapari dalam uji cobanya pada 2019 menunjukkan bahwa induk ikan nila memperoleh hasil yang baik ketika diberi pakan dengan kandungan protein kasar sekitar 35,83% hingga 36,13%, sebelum diperkaya dengan berbagai mikronutrien. Selain protein, kelompok *Highly Unsaturated Fatty Acids* (HUFA), terutama *eicosapentaenoic acid* (EPA) dan *docosahexaenoic acid* (DHA), juga berperan penting dalam pembentukan hormon reproduksi (*steroidogenesis*) serta struktur membran sel telur. Ketersediaan HUFA yang mencukupi menjadi salah satu faktor yang mendukung pematangan gonad dan menghasilkan telur dengan kualitas yang lebih baik.

2. Suplementasi Vitamin E

Vitamin E (α -tokoferol) tidak dapat disintesis oleh tubuh ikan sehingga wajib disuplai melalui pakan. Senyawa ini berfungsi sebagai antioksidan lipid intraseluler yang melindungi asam lemak tidak jenuh pada membran oosit dari kerusakan oksidatif. Berbagai uji coba pada komoditas akuakultur air tawar menunjukkan dosis optimal vitamin E yang bervariasi menurut spesies, sebagaimana dirangkum pada gambar di bawah ini.



Gambar 8 Dosis Suplementasi Vitamin E Optimal Pada Pakan Induk Berbagai Komoditas Akuakultur

Vitamin E merupakan salah satu mikronutrien yang banyak dimanfaatkan untuk meningkatkan performa reproduksi induk ikan. Tahapari melalui uji cobanya pada 2019 menunjukkan bahwa penambahan vitamin E sebanyak 225 mg/kg pakan pada induk ikan nila mampu meningkatkan produksi larva hingga 78,55% dibandingkan tanpa suplementasi. Hasil serupa juga dilaporkan Tarigan dan rekan-rekannya pada 2017 pada ikan nilam (*Osteochilus hasselti*), di mana pemberian vitamin E sebanyak 375 mg/kg pakan selama enam minggu menghasilkan tingkat kematangan gonad mencapai 100%, dengan indeks gonad somatik sebesar 11,50%, fekunditas 23.484 butir per induk, diameter telur 0,31 mm, dan persentase telur matang sebesar 64,44%.

Respons terhadap suplementasi vitamin E ternyata berbeda pada setiap spesies. Uji coba yang dilakukan Lestari dan rekan-rekannya pada 2024 menunjukkan bahwa ikan hias seluang (*Brevibora dorsiocellata*) mencapai indeks gonad somatik tertinggi pada dosis 500 mg/kg pakan. Arfah dan rekan-rekannya pada 2013 juga menemukan bahwa pemberian vitamin E dengan dosis yang berbeda berpengaruh nyata terhadap kinerja reproduksi induk betina ikan komet (*Carassius auratus*). Hasil yang sejalan dilaporkan Nurhayati dan rekan-rekannya pada 2018 pada ikan cupang (*Betta splendens*), yang menunjukkan peningkatan kematangan gonad setelah penambahan vitamin E dalam pakan. Sementara itu, Astuti dan rekan-rekannya pada 2023 mengungkapkan bahwa suplementasi vitamin E mampu memengaruhi profil hormon reproduksi pada lobster air tawar (*Cherax quadricarinatus*). Bahkan, Andriani dan rekan-rekannya pada 2023 menunjukkan bahwa pengayaan vitamin E pada pakan komersial sudah cukup efektif untuk meningkatkan kematangan gonad induk ikan nila tanpa perlu melakukan reformulasi pakan dasar.

Beragam hasil tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan vitamin E tidak bersifat seragam pada setiap komoditas. Oleh karena itu, dosis suplementasi sebaiknya disesuaikan dengan karakteristik biologis masing-masing spesies agar manfaat yang diperoleh dapat berlangsung secara optimal. Secara fisiologis, vitamin E bekerja dengan cara menetralkan radikal bebas hasil peroksidasi lipid pada membran sel, khususnya pada asam lemak tidak jenuh ganda yang menyusun membran oosit. Tanpa perlindungan antioksidan yang memadai, oosit yang sedang berkembang rentan mengalami kerusakan struktural yang berujung pada penurunan daya tetas telur dan meningkatnya abnormalitas larva. Mekanisme tersebut menjelaskan mengapa peningkatan dosis vitamin E sering dikaitkan dengan kenaikan indeks gonad somatik pada berbagai spesies ikan. Namun, Tarigan dan rekan-rekannya pada 2017 serta Lestari dan rekan-rekannya pada 2024 menunjukkan bahwa dosis yang memberikan hasil terbaik tidak selalu sama. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh karakteristik biologis masing-

masing spesies, seperti laju metabolisme, ukuran tubuh, serta kandungan lemak dalam pakan dasar yang digunakan.

3. Manajemen Pemberian Pakan dan Pemberokan

Pakan induk umumnya diberikan sebanyak 3–5% dari total biomassa per hari dengan frekuensi dua hingga tiga kali sehari, disesuaikan dengan nafsu makan dan fase perkembangan gonad induk yang dipelihara. Pemberian pakan pada jam-jam tertentu secara konsisten membantu membentuk pola makan yang teratur, sehingga memudahkan pemantauan sisa pakan dan pencegahan penurunan kualitas air akibat akumulasi bahan organik dari pakan yang tidak termakan.

Selama masa pemeliharaan, induk jantan dan betina idealnya dipelihara terpisah (*monosex rearing*) untuk mencegah pemijahan liar yang tidak terkendali sekaligus mempermudah pemantauan kematangan gonad secara individual. Pemisahan ini juga menghemat cadangan energi induk, karena tanpa rangsangan visual maupun kimiawi dari lawan jenis, energi metabolik dapat dialokasikan secara optimal untuk pertumbuhan gonad alih-alih perilaku *courtship* yang tidak produktif secara reproduktif di luar jadwal pemijahan terencana. Sebelum pemijahan, induk umumnya menjalani pemberokan (pemuasaan) selama satu hingga tiga hari di wadah khusus untuk mengosongkan saluran pencernaan, sehingga media pemijahan tetap bersih dari kontaminasi feses dan cadangan energi induk dapat dialokasikan sepenuhnya bagi proses gametogenesis. Pemberokan juga mengurangi timbunan lemak abdominal yang dapat menghambat kelancaran pengeluaran telur maupun sperma saat proses pemijahan atau *stripping* berlangsung. Praktik ini perlu dikombinasikan dengan pemantauan bobot dan kondisi klinis induk agar durasi pemuasaan tidak berlebihan hingga menimbulkan stres metabolik yang justru kontraproduktif terhadap kualitas gamet yang dihasilkan.

Tabel 7 Rekomendasi Dosis vitamin E pada Pakan Induk Berbagai Komoditas Akuakultur

Komoditas	Dosis Vitamin E Optimal	Dampak Fisiologis Utama
Ikan Nila (<i>Oreochromis niloticus</i>)	225 mg/kg pakan	Produksi larva naik 78,55% dibanding kontrol
Ikan Nilem (<i>Osteochilus hasselti</i>)	375 mg/kg pakan	TKG 100%, IGS 11,50%, fekunditas 23.484 butir/ekor

Ikan Seluang (<i>Brevibora dorsiocellata</i>)	500 mg/kg pakan	Indeks gonad somatik (GSI) tertinggi
Ikan Komet (<i>Carassius auratus</i>)	Bervariasi per perlakuan	Kinerja reproduksi induk betina meningkat signifikan
Lobster Air Tawar (<i>Cherax quadricarinatus</i>)	Bervariasi per perlakuan	Profil hormon reproduksi berubah signifikan

D. Teknik Reproduksi

Operasional pembenihan mengenal tiga sistem pemijahan, yaitu pemijahan alami (spontan), semi-alami (*induced spawning*), dan buatan (*artificial spawning*). Pemilihan metode ditentukan oleh karakteristik biologis spesies, ketersediaan teknologi, dan skala usaha pembenihan.

1. Pemijahan Alami dan Semi-Alami

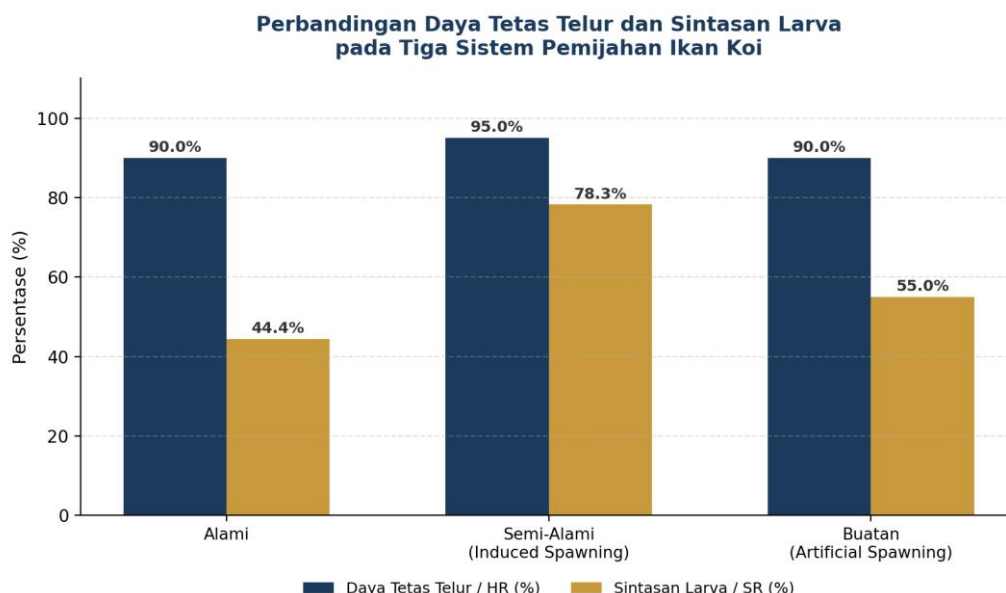
Pemijahan alami mengandalkan penyatuan induk jantan dan betina dalam satu wadah tanpa manipulasi hormon, dengan rangsangan berupa perubahan ketinggian air, penambahan substrat penempel telur, atau fluktuasi suhu. Keberhasilan pemijahan semi buatan dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah rasio induk jantan dan betina. Hasan dan rekan-rekannya pada 2016 menunjukkan bahwa perbedaan rasio jantan pada pemijahan ikan biawan (*Helostoma temminckii*) memberikan pengaruh nyata terhadap tingkat pembuahan, daya tetas telur, dan sintasan larva. Hasil yang serupa juga terlihat pada uji coba oleh Khairunnisa dan Mujtahidah pada 2022 terhadap ikan koi (*Cyprinus carpio*), yang menemukan bahwa metode pemijahan semi-alami dengan bantuan hormon Ovaprim mampu menghasilkan fekunditas sekitar 14.000 butir telur, atau dua kali lebih tinggi dibandingkan pemijahan alami yang hanya mencapai sekitar 7.000 butir. Selain itu, derajat pembuahan juga meningkat dari 71,42% menjadi 85,71%, menunjukkan bahwa penerapan induksi hormon dapat meningkatkan efisiensi reproduksi pada kondisi tertentu.

2. Pemijahan Buatan

Pemijahan buatan merupakan metode intensif dengan intervensi manusia penuh, mulai dari penyuntikan hormon pematangan hingga pengurutan (*stripping*) induk untuk mengeluarkan telur dan semen secara manual. Penerapan teknik pemijahan buatan juga telah menunjukkan

hasil yang menjanjikan pada berbagai komoditas ikan. Uji coba oleh Agustinus dan rekan-rekannya pada 2023 di Balai Benih Ikan Gohong, Pulang Pisau, melaporkan bahwa pemijahan buatan pada ikan patin siam (*Pangasianodon hypophthalmus*) mampu menghasilkan sekitar 3.000 ekor larva dari 300.000 butir telur. Keberhasilan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kualitas induk, ketepatan dosis hormon, kondisi kualitas air, serta penanganan larva setelah menetas.

Sementara itu, hasil yang berbeda ditemukan pada ikan gabus (*Channa striata*). Saat uji coba yang dilakukan Cahyanti dan rekan-rekannya pada 2021 menunjukkan bahwa pemijahan alami menghasilkan fekunditas dan derajat penetasan yang lebih tinggi dibandingkan teknik pemijahan dengan stimulasi hormon penuh. Namun, metode alami memerlukan waktu ovulasi dan penetasan yang lebih lama. Temuan ini menunjukkan bahwa setiap teknik pemijahan memiliki kelebihan dan keterbatasan sehingga pemilihannya perlu disesuaikan dengan karakteristik biologis spesies serta tujuan produksi yang ingin dicapai. Temuan ini menegaskan bahwa keunggulan suatu metode pemijahan bersifat spesifik spesies dan perlu dipertimbangkan bersama efisiensi waktu operasional pembenihan. Perbandingan performa reproduksi antarmetode pemijahan pada ikan koi, sebagai ilustrasi kuantitatif, disajikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 9 Perbandingan Daya Tetas Telur dan Sintasan Larva pada Sistem Pemijahan Alami dan Semi-Alami Ikan Koi

Gambar 9 menunjukkan bahwa metode pemijahan semi-alami memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan pemijahan alami. Berdasarkan uji coba oleh Khairunnisa dan Mujtahidah pada 2022, daya tetas telur pada pemijahan semi-alami mencapai 95% dengan

tingkat sintasan larva sebesar 78,26%, sedangkan pemijahan alami masing-masing hanya mencapai 90% dan 44,44%. Meski demikian, pemilihan metode pemijahan tidak dapat didasarkan pada hasil produksi semata. Ketersediaan hormon sintetis, kemampuan teknis operator, serta karakteristik reproduksi setiap spesies tetap menjadi pertimbangan penting dalam menentukan metode yang paling sesuai.

3. Penanganan Hormon dan Larva Pascatetas

Pada pemijahan semi-alami maupun buatan, hormon gonadotropin sintetis seperti ovaprim, *Human Chorionic Gonadotropin* (hCG), atau ekstrak kelenjar hipofisis donor umumnya disuntikkan secara intramuskular di bawah sirip punggung induk. Dosis dan waktu penyuntikan disesuaikan dengan bobot tubuh serta tingkat kematangan gonad, dengan interval waktu laten ovulasi yang bervariasi—berkisar beberapa jam hingga lebih dari sehari tergantung spesies dan suhu media. Pemantauan tanda-tanda ovulasi, seperti perubahan tekstur abdomen dan warna papila urogenital, penting dilakukan secara berkala agar waktu *stripping* dapat ditetapkan secara tepat sehingga tidak terlambat maupun terlalu dini.

Setelah proses pembuahan buatan berlangsung, penanganan larva pada hari-hari pertama pascatetas menjadi fase kritis yang menentukan keberhasilan sintasan. Larva pada stadia awal umumnya masih mengandalkan cadangan kuning telur (*yolk sac*) sebagai sumber energi, sebelum kemudian memerlukan pakan alami berukuran mikro seperti *nauplii Artemia* atau *rotifer* begitu mulut dan saluran pencernaannya terbentuk sempurna. Keterlambatan pemberian pakan awal maupun ketidaksesuaian ukuran pakan dengan bukaan mulut larva merupakan penyebab umum tingginya mortalitas pada fase larva, sehingga jadwal pemberian pakan awal perlu direncanakan secara cermat berdasarkan laju perkembangan morfologis masing-masing spesies.

Tabel 8 Perbandingan Parameter Operasional Tiga Sistem Pemijahan

Parameter	Pemijahan Alami	Pemijahan Semi-Alami	Pemijahan Buatan
Ketergantungan hormon	Tidak menggunakan hormon	Menggunakan hormon (mis. ovaprim)	Hormon dosis penuh + <i>stripping</i>
Fekunditas (contoh ikan koi)	± 7.000 butir	± 14.000 butir	Seluruh telur ovarium dikeluarkan

Derajat pembuahan (FR)	71,42%	85,71%	Bergantung kualitas sperma & saline
Daya tetas telur (HR)	90%	95%	± 90% (patin siam)
Sintasan larva (SR)	44,44%	78,26%	Bergantung manajemen pakan awal

E. Pemeliharaan Kesehatan Induk dan Biosekuriti

Kesehatan induk merupakan faktor pembatas keberhasilan jangka panjang usaha pembenihan. Penyakit pada induk tidak hanya menurunkan performa fisik dan meningkatkan mortalitas, tetapi juga berpotensi menjadi sumber transmisi penyakit secara vertikal kepada telur dan larva. Penerapan biosekuriti secara konsisten merupakan salah satu kunci keberhasilan dalam kegiatan pembenihan dan budi daya ikan. Syah dalam pembahasannya pada 2025 menjelaskan bahwa biosekuriti tidak hanya berperan menjaga kesehatan ikan, tetapi juga menjadi bagian penting dari sistem manajemen untuk meningkatkan efisiensi produksi sekaligus mengurangi risiko terjadinya wabah penyakit. Dengan penerapan yang baik, keberlangsungan usaha budi daya dapat lebih terjamin dan berlangsung secara berkelanjutan.



Gambar 10 Tiga Pilar Utama Biosekuriti pada Instalasi Pembenihan Induk

Sumber: Kolaborasi De Heus dan Syah, 2026

1. Isolasi dan Karantina

Prinsip isolasi menuntut pemisahan fisik yang jelas antara area pemeliharaan induk utama dengan fasilitas pendederan, penetasan telur, serta unit karantina induk baru. Setiap calon induk yang didatangkan dari luar lokasi pembenihan wajib melalui prosedur karantina yang mengacu pada standar Cara Karantina Ikan yang Baik (CKIB), sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 9/PERMEN-KP/2019 tentang Instalasi Karantina

Ikan. Selama masa karantina, ikan dipantau secara klinis dan diuji di laboratorium untuk memastikan bebas dari hama dan penyakit ikan karantina (HPIK).

2. Kontrol Lalu Lintas dan Sanitasi

Pentingnya penerapan biosekuriti juga terlihat pada implementasinya di perusahaan importir ikan koi. Syah menjelaskan melalui uji cobanya pada 2025 menunjukkan bahwa pengelolaan akses, pemantauan kesehatan ikan, sanitasi, higiene, serta pengelolaan limbah yang dilakukan secara konsisten sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Cara Karantina Ikan yang Baik (CKIB) mampu meningkatkan efektivitas pencegahan penyakit. Uji coba tersebut juga mengungkap bahwa peluang terbesar bagi penguatan sistem biosekuriti berasal dari pemanfaatan teknologi baru untuk pemantauan kesehatan ikan dan proses disinfeksi. Di sisi lain, keterbatasan perangkat diagnostik untuk deteksi penyakit secara cepat serta tingginya intensitas lalu lintas orang ke area budi daya masih menjadi tantangan utama. Berdasarkan temuan tersebut, peningkatan kompetensi sumber daya manusia dan pengembangan laboratorium diagnostik internal direkomendasikan sebagai langkah strategis untuk memperkuat penerapan biosekuriti secara berkelanjutan.

Sterilisasi wadah pemeliharaan lazim dilakukan menggunakan larutan kaporit (kalsium hipoklorit) dengan konsentrasi berkisar 200 ppm untuk perendaman peralatan berukuran besar, sedangkan peralatan kecil dapat didisinfeksi dengan klorin cair atau sterilisasi panas kering. Pemasangan jaring pengaman di atas kolam serta jaring sekat pada saluran masuk dan keluar air turut membantu memblokir vektor pembawa penyakit dari lingkungan luar.

3. Pemantauan Kualitas Air dan Teknologi Resirkulasi

Pemantauan kualitas air kolam induk perlu dilakukan secara disiplin, mencakup pengukuran suhu (ideal berkisar 24–30 °C) dan pH (berkisar 6–8) secara harian. Penerapan sistem resirkulasi air tertutup (*Recirculating Aquaculture System/RAS*) dengan sterilisasi sinar ultraviolet (UV) direkomendasikan pada instalasi pemeliharaan induk karena mampu menyaring bahan organik sisa pakan, mengendalikan mikroba patogen, dan menstabilkan kualitas air, sehingga menekan tingkat stres lingkungan pada induk. Pencatatan harian yang konsisten terkait performa pakan, riwayat penyakit, dan dinamika kualitas air sangat membantu deteksi dini gejala infeksi patogen.

Interaksi antara kondisi fisiologis induk (inang), keberadaan agen patogen berupa bakteri, virus, maupun parasit, serta kualitas lingkungan pemeliharaan yang menurun merupakan tiga faktor yang saling memengaruhi timbulnya penyakit infeksius pada populasi

induk. Ketidakseimbangan pada salah satu faktor—misalnya penurunan kualitas air akibat akumulasi amonia dari sisa pakan—dapat menjadi pemicu munculnya wabah penyakit meskipun agen patogen sudah lama berada di lingkungan budi daya tanpa menimbulkan gejala klinis. Oleh karena itu, manajemen biosekuriti yang efektif tidak dapat berdiri sendiri, melainkan harus terintegrasi dengan manajemen nutrisi dan manajemen kualitas air yang telah dibahas pada subbab sebelumnya.

4. Menuju Sertifikasi CPIB dan CKIB

Sebagai langkah lanjutan dari penerapan biosekuriti internal, unit pembenihan idealnya mengarahkan pengembangan kelembagaannya menuju sertifikasi Cara Pembenihan Ikan yang Baik (CPIB) untuk instalasi produksi benih, serta Cara Karantina Ikan yang Baik (CKIB) untuk instalasi karantina induk maupun benih yang didatangkan dari luar lokasi. Kedua sertifikasi ini berfungsi sebagai jaminan mutu yang diakui secara nasional, sekaligus menjadi nilai tambah kompetitif bagi unit pembenihan rakyat ketika bermitra dengan balai benih pemerintah maupun memasarkan benih ke wilayah lain. Studi implementasi biosekuriti pada perusahaan importir ikan koi menunjukkan bahwa kepatuhan terhadap standar semacam ini berkorelasi dengan menurunnya kejadian wabah penyakit serta meningkatnya kepercayaan mitra usaha (Syah, 2025), sebuah pelajaran yang relevan pula bagi unit pembenihan ikan konsumsi berskala lebih kecil. Manajemen induk perikanan yang komprehensif merupakan prasyarat mutlak bagi produksi benih unggul secara berkelanjutan. Integrasi empat aspek yang telah diuraikan menghasilkan beberapa simpulan operasional berikut.

- 1. Seleksi Genetik.** Pengelolaan populasi pembiakan yang memiliki ukuran populasi efektif (*effective population size* atau N_e) memadai menjadi salah satu langkah penting untuk mencegah terjadinya *inbreeding*. Upaya ini dapat dilakukan melalui persilangan antar-galur sehingga keragaman genetik induk tetap terjaga. Selain itu, Kementerian Kelautan dan Perikanan pada 2024 menegaskan bahwa pengelolaan induk harus mengacu pada hierarki klasifikasi induk nasional, yang terdiri atas Induk Penjenis, Induk Dasar, dan Induk Unggul. Penerapan sistem tersebut, didukung dengan pengelolaan genetik yang baik sebagaimana ditunjukkan dalam uji coba yang dilakukan oleh Syahputra dan rekan-rekannya pada 2016, menjadi dasar penting untuk mempertahankan mutu genetik induk sekaligus menghasilkan benih yang berkualitas secara berkelanjutan.

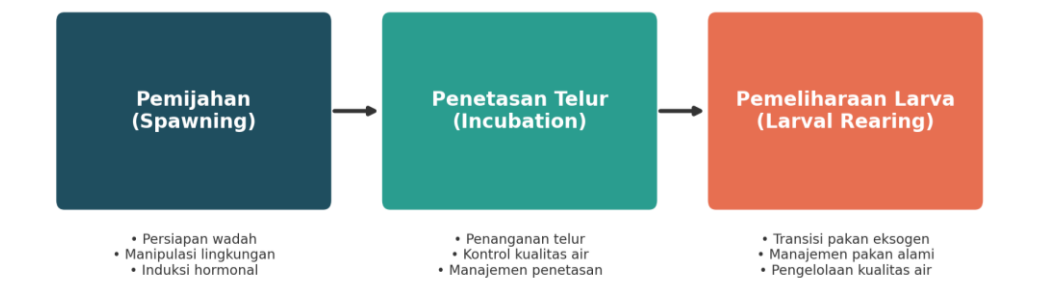
2. **Kecukupan Nutrisi.** Kebutuhan nutrisi induk harus dipenuhi secara optimal untuk menunjang keberhasilan reproduksi. Berbagai uji coba menunjukkan bahwa pakan dengan kandungan protein sekitar 31% hingga 36% mampu mendukung proses pematangan gonad. Tahapari melalui uji coba yang dilakukan pada 2019 juga menunjukkan bahwa suplementasi vitamin E memberikan manfaat yang lebih besar apabila disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing spesies. Temuan tersebut diperkuat oleh uji coba milik Tarigan dan rekan-rekannya pada 2017 serta Lestari dan rekan-rekannya pada 2024, yang menunjukkan bahwa dosis vitamin E berkisar antara 225 hingga 500 mg/kg pakan berperan dalam merangsang sekresi hormon gonadotropin sekaligus melindungi lipid pada oosit dari kerusakan oksidatif. Dampaknya, proses vitelogenesis berlangsung lebih cepat, kualitas telur meningkat, dan produksi larva menjadi lebih tinggi.
3. **Pilihan Sistem Reproduksi.** Pemilihan metode pemijahan sebaiknya disesuaikan dengan karakteristik reproduksi setiap spesies ikan. Uji coba yang dilakukan oleh Khairunnisa dan Mujtahidah pada 2022 menunjukkan bahwa metode semi-alami umumnya mampu menghasilkan waktu pemijahan yang lebih terkendali serta fekunditas yang lebih tinggi dibandingkan pemijahan alami. Namun, hasil yang berbeda dilaporkan Cahyanti dan rekan-rekannya pada 2021 terhadap ikan gabus, di mana pemijahan alami justru memberikan derajat penetasan telur yang lebih baik, meskipun memerlukan waktu ovulasi dan penetasan yang lebih lama. Temuan tersebut menunjukkan bahwa tidak ada satu metode yang paling unggul untuk semua komoditas, sehingga pemilihannya perlu mempertimbangkan karakteristik biologis spesies yang dibudidayakan.
4. **Proteksi Kesehatan dan Biosekuriti.** Keberhasilan pengendalian penyakit di unit pembenihan sangat bergantung pada penerapan biosekuriti yang menyeluruh. Kementerian Kelautan dan Perikanan dalam pedomannya pada 2019 menekankan pentingnya tiga pilar utama biosekuriti, yaitu isolasi dan karantina, pengendalian lalu lintas orang maupun peralatan, serta penerapan sanitasi yang sesuai dengan standar Cara Karantina Ikan yang Baik (CKIB). Penerapan ketiga prinsip tersebut, yang didukung penggunaan sistem resirkulasi tertutup, juga dinilai Syah dalam uji cobanya pada 2025 sebagai strategi yang efektif untuk memutus rantai penularan penyakit, baik melalui transmisi horizontal maupun vertikal.

Berdasarkan simpulan tersebut, unit pembenihan nasional direkomendasikan untuk mulai mengadopsi sistem penandaan (*tagging*) individu pada induk guna mempermudah pelacakan silsilah genetik dan mencegah perkawinan sekerabat yang tidak disengaja. Pengayaan pakan komersial dengan vitamin E dan HUFA esensial perlu disesuaikan secara presisi dengan fase perkembangan gonad dan spesies yang dipelihara, tidak disamaratakan antarkomoditas. Terakhir, pengelola panti benih didorong untuk meningkatkan status sertifikasi instalasi mereka ke tingkat Cara Pembenihan Ikan yang Baik (CPIB) dan CKIB sebagai jaminan mutu produk benih sebar yang didistribusikan kepada masyarakat pembudidaya.

BAB 4 SISTEM PEMBENIHAN (*HATCHERY*) IKAN

Keberhasilan usaha akuakultur nasional sangat ditentukan oleh ketersediaan benih yang bermutu tinggi, seragam, serta dapat dipasok secara berkelanjutan sepanjang tahun. Kegiatan pembenihan (*hatchery*) menempati posisi paling strategis sekaligus paling rawan dalam rantai produksi budidaya, sebab pada tahap ini organisme akuatik berada pada fase kehidupan paling awal dengan organ tubuh yang belum sempurna dan sangat peka terhadap perubahan kondisi lingkungan. Oleh sebab itu, pengelola *hatchery* dituntut memiliki pemahaman yang menyeluruh mengenai biologi reproduksi induk, teknik pengelolaan kualitas air, dinamika perkembangan embrio, hingga strategi pemberian pakan pada fase larva.

Secara garis besar, rangkaian kegiatan pembenihan dapat dipilah menjadi tiga subsistem yang saling berkaitan, yaitu pemijahan (*spawning*), penetasan telur (*incubation*), dan pemeliharaan larva (*larval rearing*). Ketiga subsistem tersebut berjalan secara berurutan namun saling memengaruhi; kegagalan pada satu tahap akan berdampak langsung terhadap keberhasilan tahap berikutnya. Uraian berikut membahas ketiga subsistem tersebut secara komprehensif dengan merujuk pada temuan-temuan uji coba terapan yang telah dipublikasikan pada jurnal-jurnal perikanan nasional.



Gambar 11 Alur Tahapan Sistem Pembenihan (*Hatchery*) Ikan Meliputi Pemijahan, Penetasan Telur, dan Pemeliharaan Larva

A. Pemijahan (*Spawning*)

Pemijahan merupakan proses pengeluaran sel telur (*oosit*) oleh induk betina dan sel sperma oleh induk jantan yang selanjutnya mengalami pembuahan, baik secara eksternal maupun internal. Berdasarkan tingkat campur tangan manusia, metode pemijahan pada sistem budi daya terkontrol dapat dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu pemijahan alami (*natural spawning*)

yang sepenuhnya mengandalkan perilaku reproduksi alami induk, pemijahan semi-buatan (*induced spawning*) yang memadukan rangsangan hormon atau manipulasi lingkungan tanpa tindakan pengurutan, serta pemijahan buatan (*artificial spawning*) yang melibatkan teknik pengurutan (*stripping*) gamet secara manual. Perbandingan berbagai metode pemijahan menunjukkan bahwa teknik yang digunakan akan berpengaruh langsung terhadap keberhasilan reproduksi dan efisiensi produksi benih. Saat uji coba milik Ihwan dan rekan-rekannya pada 2022 terhadap ikan mas (*Cyprinus carpio*) menunjukkan bahwa setiap metode menghasilkan tingkat pembuahan dan performa produksi yang berbeda. Oleh karena itu, pemilihan metode pemijahan sebaiknya tidak hanya mempertimbangkan hasil yang ingin dicapai, tetapi juga disesuaikan dengan skala usaha serta karakteristik biologis induk yang digunakan.

1. Persiapan Wadah Pemijahan

Persiapan wadah pemijahan ditujukan untuk menciptakan kondisi biosekuriti yang optimal sekaligus meminimalkan tekanan fisik (stres) pada induk sehingga proses pelepasan gamet dapat berlangsung normal. Setiap komoditas memerlukan desain, ukuran, dan penanganan wadah yang berbeda menyesuaikan perilaku pemijahan alaminya.

Persiapan wadah pemijahan merupakan tahap penting yang menentukan keberhasilan proses reproduksi ikan. Pada ikan koi (*Cyprinus carpio*), Hendriana dan rekan-rekannya melalui uji cobanya pada tahun 2021 menjelaskan bahwa kolam pemijahan perlu dipersiapkan melalui penyurutan air, pembersihan dinding kolam dari lumut dan *biofouling*, pencucian sistem filtrasi, serta pengisian air baru sebelum induk ditebar. Uji coba tersebut juga menunjukkan bahwa kebersihan wadah dan kesiapan induk sangat berpengaruh terhadap derajat pembuahan dan derajat penetasan telur.

Persiapan wadah pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dilakukan dengan prosedur yang sedikit berbeda. Iskandar dan rekan-rekannya pada 2021 menjelaskan bahwa kolam pemijahan semi-permanen perlu dikeringkan untuk memutus siklus hidup patogen, diikuti perbaikan pematang, pengapuran menggunakan kapur tohor (CaO) untuk memperbaiki kondisi tanah, serta pemupukan organik guna merangsang pertumbuhan plankton sebagai pakan alami. Menurut mereka, penerapan prosedur tersebut secara konsisten mampu mendukung peningkatan performa benih, termasuk pada strain unggul seperti nila Sultana.

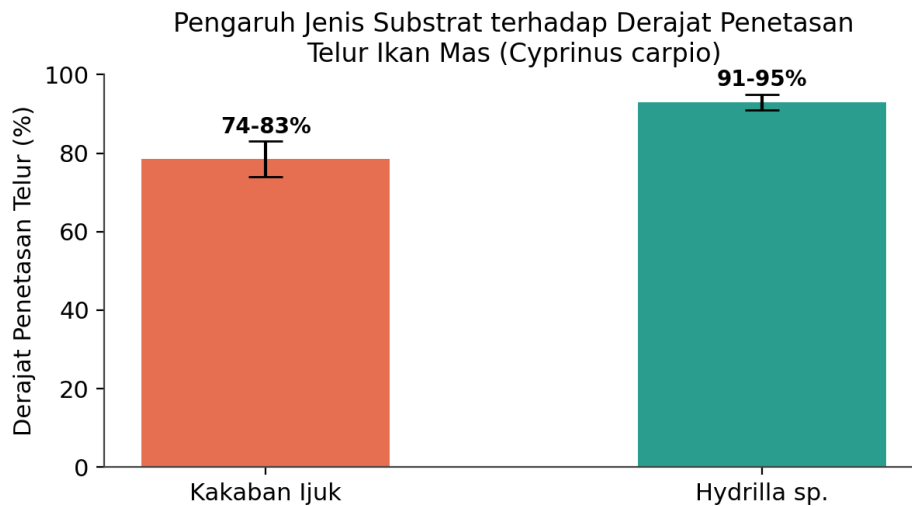
Sementara itu, pada komoditas laut seperti bawal bintang (*Trachinotus blochii*), Putra dalam uji cobanya pada 2018 menjelaskan bahwa induk dipelihara di dalam bak berbahan fiber atau beton berbentuk bulat yang terlebih dahulu disterilkan menggunakan disinfektan berbahan dasar klorin. Setelah proses sterilisasi selesai, bak harus dibilas hingga bersih agar tidak

menyisakan residu yang dapat membahayakan kulit maupun insang induk. Selain kesiapan wadah, kondisi induk yang telah matang gonad juga menjadi syarat utama sebelum dilakukan induksi hormon untuk pemijahan.

Pada spesies yang menghasilkan telur bersifat adhesif, ketersediaan substrat penempel telur menjadi salah satu faktor yang menentukan keberhasilan penetasan. Selama ini, kakaban berbahan ijuk kelapa banyak digunakan karena mudah diperoleh dan relatif ekonomis. Namun, Berdasarkan uji coba yang dilakukan oleh Sinjal pada 2011 menunjukkan bahwa jenis substrat memberikan pengaruh yang nyata terhadap keberhasilan perkembangan telur ikan mas. Dalam uji coba tersebut, penggunaan tanaman air *Hydrilla* sp. menghasilkan derajat penetasan sekitar 91% hingga 95%, lebih tinggi dibandingkan kakaban ijuk yang hanya mencapai 74% hingga 83%. Menurut Sinjal, keunggulan *Hydrilla* sp. diduga berasal dari permukaan daunnya yang lebih fleksibel sebagai tempat melekatnya telur, serta kemampuannya berfotosintesis sehingga menghasilkan oksigen terlarut di sekitar telur selama proses inkubasi.

Tabel 9 Perbandingan Karakteristik Wadah dan Substrat Pemijahan pada Beberapa Komoditas Akuakultur

Spesies Ikan	Jenis Wadah	Substrat / Perlakuan Khusus
Ikan Koi (<i>Cyprinus carpio</i>)	Kolam beton, disurutkan & dibersihkan sebelum diisi air baru	Tanpa substrat khusus, mengandalkan kebersihan wadah
Ikan Nila (<i>Oreochromis niloticus</i>) Strain Sultana	Kolam semi-permanen, dikeringkan, dikapur, dipupuk organik	Plankton alami hasil pemupukan
Bawal Bintang (<i>Trachinotus blochii</i>)	Bak fiber/beton bulat, disterilkan dengan disinfektan klorin	Telur pelagis (melayang di kolom air)
Ikan Mas (<i>Cyprinus carpio</i>)	Akuarium/kolam dengan substrat penempel	Kakaban ijuk vs <i>Hydrilla</i> sp.



Gambar 12 Perbandingan Derajat Penetasan Telur Ikan Mas pada Substrat Kakaban Ijuk vs. *Hydrilla* sp.

2. Manipulasi Lingkungan (Suhu dan Fotoperiode)

Manipulasi lingkungan memanfaatkan kepekaan organ sensorik ikan terhadap perubahan sinyal biofisik di habitat alaminya untuk merangsang jalur hormonal endogen melalui poros hipotalamus-hipofisis-gonad. Pendekatan ini umumnya berfokus pada tiga parameter utama, yaitu fluktuasi suhu air, perubahan ketinggian atau debit aliran air, dan rekayasa fotoperiode (durasi pencahayaan).

Pada ikan kakap putih (*Lates calcarifer*), teknik manipulasi ketinggian air banyak diterapkan untuk menirukan fenomena pasang surut laut yang menjadi pemicu alami pemijahan. Volume air bak diturunkan pada pagi hari untuk menyimulasikan kondisi surut sehingga air lebih hangat oleh paparan sinar matahari, kemudian air baru dialirkan secara cepat pada siang hari untuk menyimulasikan kondisi pasang yang menurunkan suhu secara mendadak. Manipulasi lingkungan melalui perubahan suhu dan tekanan hidrostatik secara berulang diketahui mampu merangsang proses reproduksi ikan secara alami. Prajayanti dan rekan-rekannya dalam uji coba tahun 2023 menunjukkan bahwa perlakuan tersebut dapat memicu pelepasan hormon gonadotropin sehingga induk memijah secara lebih serempak. Hal tersebut didukung dengan uji coba milik Wulandari dan rekan-rekannya pada 2025 terhadap kakap putih *strain* lokal dan *strain* Australia, yang memperlihatkan bahwa manipulasi pasang surut memberikan pengaruh nyata terhadap tingkat fertilisasi maupun keberhasilan penetasan telur pada kedua *strain* tersebut.

Selain suhu, pengaturan lama penyinaran atau fotoperiode juga dapat dimanfaatkan untuk mengendalikan siklus reproduksi ikan secara lebih terarah. Pertiwi melalui uji cobanya

pada 2024 menunjukkan bahwa penggunaan pencahayaan buatan dengan fotoperiode yang terkontrol mampu mempercepat proses rematurasi testis pada ikan cupang jantan (*Betta splendens*), sehingga induk dapat kembali siap memijah dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan kondisi pencahayaan alami.

Penerapan manipulasi cahaya juga memberikan hasil yang menjanjikan pada udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). Renitasari dan rekan-rekannya melakukan uji coba pada 2021 untuk menunjukkan bahwa pencahayaan buatan mampu menggeser aktivitas perkawinan yang semula berlangsung pada malam hari menjadi siang hari, tanpa menurunkan keberhasilan reproduksi. Bahkan, tingkat penetasan telur yang dihasilkan mencapai rata-rata 88%. Temuan tersebut menunjukkan bahwa rekayasa pencahayaan tidak hanya membantu menyinkronkan waktu pemijahan, tetapi juga dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan produksi benih.

3. Induksi Hormonal

Ketika manipulasi lingkungan saja tidak memberikan hasil yang konsisten akibat ketidakseimbangan hormon internal induk, aplikasi induksi hormonal secara eksogen menjadi langkah yang umum ditempuh untuk memicu pematangan akhir oosit dan ovulasi. Hormon komersial seperti Ovaprim, yang merupakan kombinasi analog *Salmon Gonadotropin-Releasing Hormone* (sGnRHa) dengan domperidone sebagai antagonis dopamin, bekerja dengan menduduki reseptor GnRH pada hipofisis anterior sekaligus memblokir efek penghambatan dopamin sehingga sekresi *Luteinizing Hormone* (LH) meningkat tajam dan mempercepat pematangan gamet.

Penyuntikan hormon lazimnya dilakukan secara intramuskular pada otot punggung induk dengan sudut kemiringan jarum tertentu agar hormon terdistribusi secara optimal ke jaringan target. Ketepatan dosis menjadi faktor penentu keberhasilan; dosis yang terlalu rendah tidak mampu menginduksi ovulasi seluruh oosit di dalam ovarium karena ambang batas hormonal minimal belum tercapai, sedangkan dosis yang berlebihan berpotensi memicu stres sistemik pada induk serta menurunkan viabilitas telur yang dihasilkan.

Induksi hormon banyak diterapkan untuk meningkatkan keberhasilan pemijahan buatan pada berbagai komoditas perikanan. Pada ikan lele dumbo (*Clarias gariepinus*), penggunaan hormon Ovaprim dengan dosis yang tepat terbukti mampu menekan angka kematian induk setelah proses *stripping*, sekaligus meningkatkan kelangsungan hidup larva. Proses pemijahan juga berlangsung relatif cepat, dengan waktu laten sekitar sembilan jam setelah penyuntikan dan derajat penetasan telur yang tinggi. Sementara itu, Ningrum dan rekan-rekannya melalui uji coba pada 2019 menunjukkan bahwa penyuntikan Ovaprim pada ikan wader pari (*Rasbora*

argyrotaenia) mampu meningkatkan derajat pembuahan karena kandungan *Gonadotropin-Releasing Hormone* (GnRH) merangsang ovulasi oosit matang secara serempak. Meskipun demikian, peningkatan tersebut tidak selalu diikuti oleh kenaikan derajat penetasan telur.

Hasil yang tidak kalah baik juga dilaporkan pada bawal bintang, salah satu komoditas laut bernilai ekonomi tinggi. Berdasarkan hasil uji coba yang dilakukan pada tahun 2018 menunjukkan bahwa penyuntikan hormon menggunakan preparat komersial secara berkala mampu menghasilkan waktu laten pemijahan yang lebih seragam. Kondisi ini memudahkan pengelolaan produksi benih dan memungkinkan kegiatan pembenihan dilakukan secara lebih konsisten sepanjang tahun tanpa terlalu bergantung pada siklus reproduksi alami.

Tabel 10 Perbandingan Aplikasi Induksi Hormonal pada Beberapa Spesies Ikan Budidaya

Spesies Target	Hormon yang Digunakan	Hasil Utama
Lele Dumbo (<i>Clarias gariepinus</i>)	Ovaprim (sGnRHa + domperidone)	Waktu laten $\pm$ 9 jam; daya tetas telur tinggi; kelangsungan hidup larva meningkat
Wader Pari (<i>Rasbora argyrotaenia</i>)	Ovaprim dosis bertingkat	Derajat pembuahan meningkat nyata; pengaruh terhadap daya tetas tidak signifikan
Bawal Bintang (<i>Trachinotus blochii</i>)	Hormon komersial (disuntikkan berkala)	Waktu laten pemijahan relatif seragam antarperlakuan

B. Penetasan Telur (*Incubation*)

Penetasan telur merupakan masa kritis perkembangan embrio di luar tubuh induk hingga larva berhasil keluar dari cangkang korion. Selama periode ini, kelangsungan hidup embrio sepenuhnya bergantung pada cadangan kuning telur internal serta kestabilan parameter kualitas air media penetasan.

1. Penanganan Telur dan Pengendalian Jamur

Segera setelah pemijahan berlangsung, pemisahan telur yang terbuahi dari telur yang mati perlu dilakukan secepat mungkin. Telur yang terbuahi umumnya berbentuk bulat sempurna, berwarna bening transparan, dan bersifat melayang di kolom air, sedangkan telur yang gagal terbuahi akan tampak keruh atau putih susu akibat koagulasi protein kuning telur serta cenderung mengendap di dasar wadah. Telur mati harus segera diangkat untuk mencegah penurunan kualitas air akibat pembusukan bahan organik sekaligus menghambat penyebaran infeksi jamur oportunistik.

Ancaman patogen utama pada fase inkubasi adalah serangan jamur *Saprolegnia* sp. yang tumbuh subur pada telur mati dan dapat menyebar dengan cepat menyelimuti telur sehat di sekitarnya, sehingga menghambat respirasi embrio dan memicu kematian massal. Pengendalian jamur secara ramah lingkungan tanpa bahan kimia berbahaya seperti malachite green dapat dilakukan melalui pemanfaatan bahan nabati. Penggunaan bahan alami sebagai pengendali jamur mulai banyak diterapkan dalam kegiatan pembenihan karena dinilai lebih ramah lingkungan. Kadir dan rekan-rekannya melakukan uji coba pada tahun 2023 untuk menunjukkan bahwa perendaman telur ikan nila menggunakan ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) pada konsentrasi tertentu mampu menekan prevalensi serangan jamur hingga di bawah 13%. Perlakuan tersebut juga menghasilkan daya tetas telur lebih dari 93% dan tingkat kelangsungan hidup larva di atas 87%. Efektivitas daun kelor berasal dari kandungan tanin, polifenol, dan flavonoid yang mampu merusak protein penyusun dinding sel jamur serta menghambat pertumbuhan hifa tanpa merusak membran korion telur.

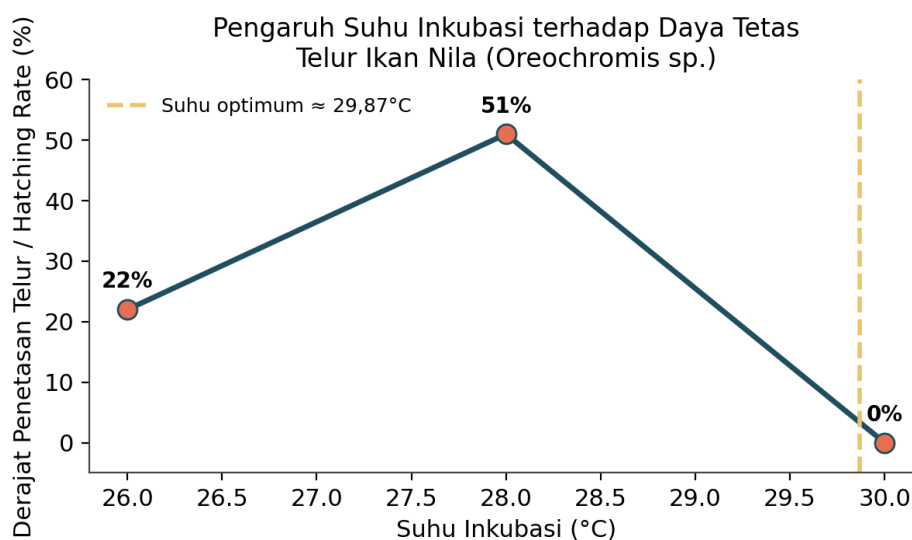
Potensi serupa juga ditemukan pada ekstrak daun bunga tahi ayam (*Tagetes erecta* L.). Diana dan rekan-rekannya melakukan uji coba pada tahun 2017 untuk melaporkan bahwa bahan nabati ini efektif mengendalikan serangan *Saprolegnia* sp. pada telur ikan tawes (*Puntius javanicus*), dengan daya tetas mencapai lebih dari 95% pada konsentrasi yang optimal. Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa bahan nabati lokal memiliki prospek yang baik sebagai alternatif fungisida sintesis, terutama untuk mendukung kegiatan pembenihan skala rakyat yang lebih aman dan berkelanjutan.

2. Kontrol Kualitas Air Selama Penetasan

Embrio yang berkembang di dalam telur sangat peka terhadap fluktuasi kualitas air, terutama suhu dan derajat keasaman (pH). Suhu merupakan salah satu faktor yang paling menentukan keberhasilan perkembangan embrio selama proses penetasan. Dalam uji coba yang dilakukan oleh Rustadi pada 2002 menunjukkan bahwa hubungan antara suhu air dan daya tetas telur nila merah (*Oreochromis* sp.) membentuk pola tertentu, dengan kisaran suhu terbaik berada pada

29-30°C. Pada suhu sekitar 26°C embrio masih dapat berkembang, tetapi daya tetasnya relatif rendah. Keberhasilan penetasan meningkat ketika suhu mendekati 28°C, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat menghambat perkembangan embrio. Kondisi ekstrem tersebut diduga berkaitan dengan kerusakan protein penyusun sel embrio sehingga proses perkembangan tidak dapat berlangsung secara normal.

Selain suhu, derajat keasaman (pH) air juga berperan penting dalam menentukan keberhasilan penetasan. Berdasarkan uji coba yang dilakukan oleh Altiara dan rekan-rekannya pada 2016 menjelaskan bahwa pH memengaruhi keseimbangan ion serta aktivitas enzim korionase yang membantu melunakkan cangkang telur menjelang menetas. Air yang terlalu asam dapat mengganggu proses osmoregulasi dan menghambat kerja enzim tersebut, sedangkan media dengan pH mendekati netral hingga sedikit basa cenderung mempercepat waktu penetasan sekaligus meningkatkan daya tetas telur.



Gambar 13 Pengaruh Suhu Inkubasi Terhadap Daya Tetas Telur Ikan Nila

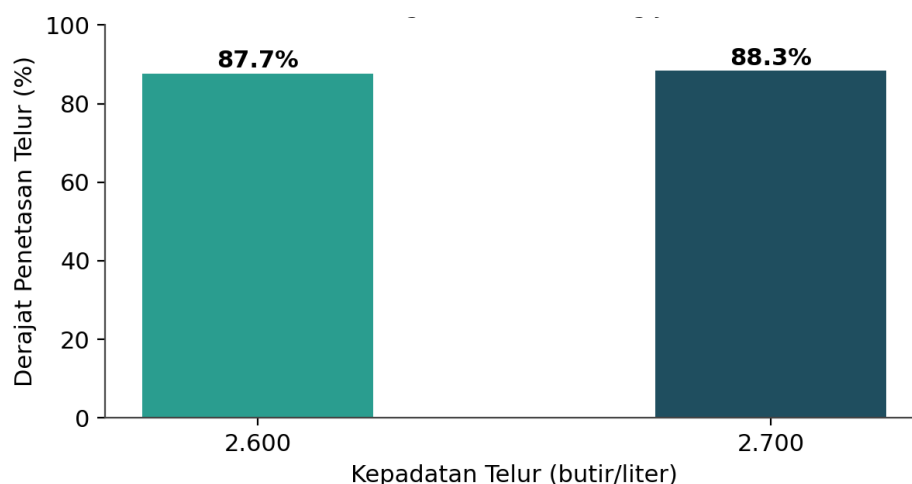
3. Manajemen Kepadatan dan Sistem Penetasan

Manajemen operasional penetasan telur berfokus pada optimasi padat tebar telur per satuan volume wadah serta pemanfaatan rekayasa hidrodinamika air. Kepadatan telur selama proses penetasan perlu dikendalikan agar setiap embrio memperoleh ruang dan oksigen yang cukup untuk berkembang. Alfath dan rekan-rekannya pada 2020 menunjukkan bahwa padat tebar yang terlalu tinggi pada wadah statis menyebabkan telur saling berhimpitan sehingga pasokan oksigen ke permukaan korion berkurang. Kondisi tersebut juga mempercepat penyebaran jamur dari satu telur ke telur lainnya, yang pada akhirnya dapat menurunkan keberhasilan penetasan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, unit pembenihan modern banyak menggunakan corong penetasan atau *Zoug jar*. Anton dan rekan-rekannya pada 2024 menjelaskan bahwa sistem ini memanfaatkan aliran air vertikal dari bawah ke atas dengan debit yang diatur secara presisi sehingga telur tetap melayang, tidak saling menempel, dan memperoleh suplai oksigen secara merata. Dengan metode tersebut, telur ikan nila tetap dapat ditebarkan dalam kepadatan yang relatif tinggi tanpa mengurangi keberhasilan penetasan, bahkan mampu menghasilkan derajat penetasan lebih dari 87%, lebih baik dibandingkan sistem penetasan statis konvensional.

Tabel 11 Pengaruh Kepadatan Telur dan Metode Inkubasi terhadap Keberhasilan Penetasan

Spesies	Metode Inkubasi	Kepadatan Telur	Derajat Penetasan (HR)
Ikan Tawes (<i>Puntius javanicus</i>)	Wadah statis	Bervariasi, kepadatan rendah lebih baik	Menurun seiring kenaikan kepadatan
Ikan Nila (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Corong penetasan (<i>zoug jar</i>)	2.600 butir/liter	87,7%
Ikan Nila (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Corong penetasan (<i>zoug jar</i>)	2.700 butir/liter	88,3%



Gambar 14 Derajat Penetasan Telur Ikan Nila pada Sistem Corong Penetasan/Zoug Jar

C. Pemeliharaan Larva

Pemeliharaan larva merupakan tahapan paling menantang dalam manajemen pembenihan karena pada fase ini terjadi perubahan morfologi, anatomi, fisiologi, serta perilaku makan larva dari bersifat pasif menjadi aktif mencari mangsa.

1. Transisi dari Pakan Endogen ke Pakan Eksogen

Segera setelah menetas, larva belum dapat langsung mencari makan dari lingkungan karena organ mulut dan mata belum berkembang sempurna. Pada fase ini larva mengandalkan cadangan energi internal berupa kuning telur (*yolk sac*) dan butiran minyak (*oil globule*) yang dibawa sejak menetas. Cadangan nutrisi yang berasal dari kuning telur hanya mampu menopang kebutuhan larva pada beberapa hari pertama setelah menetas. Aslianti dan rekan-rekannya melalui uji cobanya pada 2012 menjelaskan bahwa setelah cadangan tersebut habis, larva harus mulai beralih ke pakan dari luar atau memasuki fase pakan eksogen.

Peralihan dari pakan endogen ke pakan eksogen merupakan salah satu tahap paling kritis dalam pemeliharaan larva karena sering menjadi periode dengan tingkat kematian tertinggi di *hatchery*. Setiawati dan Yunus pada 2006 menjelaskan bahwa keberhasilan fase ini sangat dipengaruhi oleh tingkat perkembangan saluran pencernaan dan enzim pencernaan larva. Apabila pakan yang diberikan terlalu besar atau sulit dicerna sebelum organ pencernaan berkembang sempurna, risiko kerusakan pada mukosa usus akan meningkat. Oleh karena itu, pemberian pakan mikro yang sesuai dengan bukaan mulut dan mudah dicerna menjadi langkah penting untuk meningkatkan kelangsungan hidup larva pada fase awal pemeliharaan.

2. Manajemen Pakan Alami dan Pakan Buatan

Untuk mengatasi keterbatasan fungsional saluran pencernaan larva, pengelolaan pakan perlu menerapkan strategi pemberian pakan alami secara berurutan sesuai dengan ukuran bukaan mulut larva. Pada fase awal pemberian pakan, rotifera (*Brachionus plicatilis*) menjadi pilihan yang paling banyak digunakan karena ukurannya sesuai dengan bukaan mulut larva, pergerakannya relatif lambat, serta memiliki kandungan nutrisi yang memadai. Setiawati dan Yunus melakukan uji coba pada 2006 untuk menjelaskan bahwa ketersediaan rotifera di dalam bak pemeliharaan perlu dipantau setiap hari. Kepadatan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan konsumsi oksigen, terutama pada malam hari, sehingga berpotensi mengganggu kondisi lingkungan pemeliharaan.

Seiring bertambahnya ukuran larva dan berkembangnya kemampuan penglihatan, jenis pakan alami umumnya dialihkan ke naupli *Artemia salina*. Ananda dan Gusriansyah pada 2023 menjelaskan bahwa pakan ini mengandung pigmen astaxanthin yang berperan dalam

meningkatkan kecerahan warna tubuh sekaligus mendukung aktivitas larva. Sebelum diberikan, naupli *Artemia* sebaiknya dipisahkan terlebih dahulu dari cangkangnya agar tidak menimbulkan gangguan pada saluran pencernaan larva.

Memasuki fase pascalarva, pakan buatan mulai diperkenalkan secara bertahap dalam bentuk mikropellet berkadar protein tinggi sebagai pengganti pakan alami. Aslianti dan rekan-rekannya pada 2012 menunjukkan bahwa penggunaan pakan komersial berprotein tinggi yang diberikan secara terjadwal mampu mempercepat pertumbuhan panjang larva ikan bandeng (*Chanos chanos*). Selain itu, kualitas larva juga dipengaruhi oleh kondisi induknya. Hadijah dan rekan-rekannya pada 2017 serta Ruliaty pada 2023 melaporkan bahwa induk yang memperoleh pakan dengan formulasi nutrisi berkualitas mampu menghasilkan telur dan larva dengan performa yang lebih baik.

3. Pengelolaan Kualitas Air pada Bak Larva

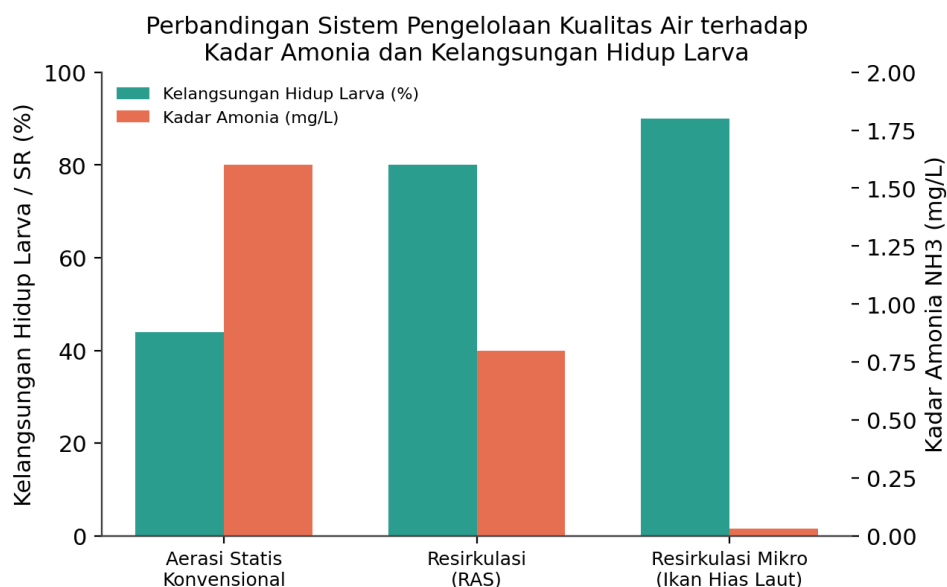
Sisa pakan yang tidak termakan, feses larva, serta jasad pakan alami yang mati akan terakumulasi di dasar bak pemeliharaan dan mengalami dekomposisi organik yang mengonsumsi oksigen terlarut dalam jumlah besar sekaligus memicu peningkatan senyawa amonia bebas. Menjaga kualitas air merupakan salah satu kunci utama dalam pemeliharaan larva. Adnan dan rekan-rekannya melakukan uji coba pada tahun 2022 untuk menjelaskan bahwa penumpukan amonia dapat bersifat toksik bagi larva, menyebabkan kerusakan pada jaringan insang, mengganggu proses metabolisme, serta menurunkan daya tahan tubuh sehingga meningkatkan risiko kematian.

Untuk mencegah penumpukan sisa pakan dan bahan organik, dasar bak perlu disiphon secara berkala. Pada pemeliharaan larva ikan laut, Adnan dan rekan-rekannya pada 2022 menjelaskan bahwa penyiphonan umumnya dilakukan setiap beberapa hari sekali dengan menghentikan aerasi untuk sementara. Cara ini memberi kesempatan bagi larva untuk bergerak ke lapisan air bagian atas sehingga tidak ikut tersedot selama proses pembersihan berlangsung.

Selain pembersihan rutin, pergantian air juga perlu disesuaikan dengan karakteristik dan tingkat sensitivitas spesies yang dipelihara. Astuti dan rekan-rekannya pada 2023 menunjukkan bahwa penggunaan *Recirculating Aquaculture System* (RAS) mampu menjaga kualitas air lebih stabil dibandingkan sistem aerasi statis. Melalui proses filtrasi biologis, bakteri nitrifikasi di dalam sistem ini mengubah amonia menjadi nitrat yang relatif lebih aman bagi larva. Kondisi tersebut membantu menekan angka kematian sekaligus mendukung produksi benih secara lebih efisien dan berkelanjutan.

Tabel 12 Perbandingan Sistem Pengelolaan Kualitas Air terhadap Kelangsungan Hidup Larva

Jenis Sistem Pengelolaan Air	Karakteristik Utama	Kelangsungan Hidup Larva (SR)
Aerasi statis konvensional	Akumulasi amonia relatif tinggi tanpa filtrasi biologis	Rendah dibanding sistem resirkulasi
<i>Recirculating Aquaculture System</i> (RAS)	Filtrasi biologis mengonversi amonia menjadi nitrat	Meningkat signifikan dibanding sistem statis



Gambar 15 Ilustrasi Perbandingan Sistem Pengelolaan Kualitas Air Terhadap Kelangsungan Hidup Larva

Keberhasilan pembenihan ikan tidak ditentukan oleh satu tahapan saja, melainkan oleh keterpaduan pengelolaan sejak proses pemijahan hingga pemeliharaan larva. Uji coba yang dilakukan oleh Ihwan dan rekan-rekannya pada tahun 2022 menunjukkan bahwa keberhasilan pemijahan dipengaruhi oleh pemilihan metode yang sesuai, sedangkan Prajayanti dan rekan-rekannya pada 2023 membuktikan bahwa manipulasi lingkungan, seperti perubahan pasang surut, dapat merangsang pemijahan secara lebih serempak.

Memasuki tahap penetasan, pengelolaan telur menjadi faktor yang tidak kalah penting. Anton dan rekan-rekannya pada 2024 menunjukkan bahwa penggunaan corong penetasan mampu meningkatkan keberhasilan penetasan melalui sirkulasi air yang lebih baik. Di sisi lain, Kadir dan rekan-rekannya pada 2023 melaporkan bahwa pemanfaatan bahan nabati sebagai disinfektan efektif menekan serangan jamur *Saprolegnia* sp. tanpa mengganggu perkembangan embrio.

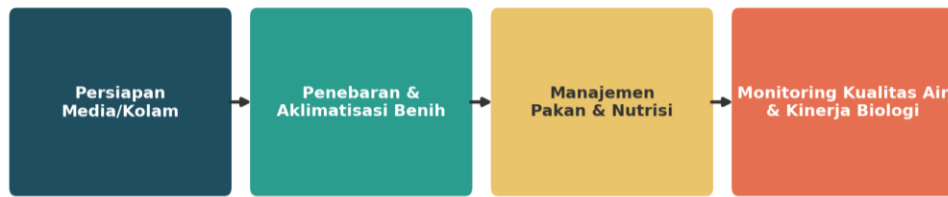
Pada fase pemeliharaan larva, keberhasilan produksi sangat ditentukan oleh pemberian pakan yang sesuai dengan perkembangan larva serta pengelolaan kualitas air yang stabil. Setiawati dan Yunus pada 2006 menekankan pentingnya pemberian pakan alami secara bertahap sesuai perkembangan organ pencernaan larva, sedangkan Astuti dan rekan-rekannya pada 2023 menunjukkan bahwa penerapan *Recirculating Aquaculture System* (RAS) mampu menjaga kualitas air tetap stabil sehingga meningkatkan kelangsungan hidup larva. Seluruh tahapan tersebut saling berkaitan dan menjadi fondasi penting dalam membangun sistem pembenihan yang produktif, efisien, dan berkelanjutan.

BAB 5 PENDEDERAN (*NURSERY*) MENENTUKAN MASA DEPAN BENIH

Fase pendederan atau *nursery* merupakan tahapan transisi yang menjembatani fase pembenihan (*hatchery*) dengan fase pembesaran (*grow-out*) dalam siklus produksi akuakultur. Fase pendederan menjadi tahap penting yang menjembatani masa transisi benih dari larva menuju ikan muda yang lebih siap dipelihara di kolam pembesaran. Lestari dan Syukriah melakukan uji coba pada tahun 2020 menjelaskan bahwa pemindahan benih secara langsung ke kolam pembesaran tanpa melalui proses adaptasi sering menyebabkan tingginya angka kematian. Kondisi tersebut terjadi karena organ pencernaan, sistem osmoregulasi, dan sistem imun benih belum berkembang secara sempurna sehingga belum mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungan.

Untuk mengurangi risiko tersebut, benih umumnya dipelihara terlebih dahulu pada fase pendederan selama sekitar 20 hingga 50 hari. Firdausi dan Mubarak melalui uji coba mereka pada 2021 menunjukkan bahwa tahapan ini mampu meningkatkan tingkat kelangsungan hidup benih secara signifikan dibandingkan penebaran langsung ke kolam pembesaran. Selama periode tersebut, organ tubuh dan kemampuan adaptasi benih terus berkembang, meskipun menurut Lestari dan Syukriah pada 2020 benih masih tergolong rentan terhadap serangan penyakit maupun perubahan kualitas air. Oleh karena itu, Nurtyas dan rekan-rekannya pada 2025 menekankan pentingnya pengelolaan pendederan secara menyeluruh, mulai dari persiapan media, pengaturan padat tebar, pemberian pakan, hingga pemantauan kualitas air dan pertumbuhan secara rutin.

Dari sisi ekonomi, fase pendederan juga berperan sebagai tahapan untuk menekan risiko produksi. Putra dan rekan-rekannya pada 2023 menunjukkan bahwa penerapan prinsip *continuous improvement* pada pendederan udang vaname intensif mampu meningkatkan tingkat kelangsungan hidup dan efisiensi penggunaan pakan. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa keberhasilan pada fase pendederan tidak hanya menentukan kualitas benih, tetapi juga berpengaruh terhadap efisiensi biaya dan keberhasilan produksi pada tahap pembesaran berikutnya.



Gambar 16 Alur Tahapan Manajemen Pendederan (*Nursery*) Ikan Meliputi Persiapan Media, Penebaran Benih, Manajemen Pakan, dan *Monitoring*

A. Rekayasa dan Penyiapan Media Pendederan

Penyiapan wadah pemeliharaan merupakan langkah preventif mendasar yang bertujuan memutus siklus patogen, menetralkan senyawa toksik sisa siklus budi daya sebelumnya, serta merangsang produktivitas pakan alami di dalam kolam. Sistem pendederan dapat diterapkan pada kolam tanah, kolam beton, kolam terpal, maupun bak terkontrol, dengan perlakuan persiapan yang berbeda-beda sesuai karakteristik wadah.

Pada kolam tanah atau semi-permanen, langkah awal yang harus dilakukan adalah pencangkulan dan pembalikan tanah dasar kolam untuk memperbaiki struktur aerasi tanah, mempercepat dekomposisi bahan organik, serta menguapkan gas beracun seperti hidrogen sulfida dan amonia yang terperangkap di dalam sedimen. Setelah pembalikan tanah, pengeringan dilakukan di bawah terik matahari selama beberapa hari hingga permukaan tanah retak, yang efektif mengeliminasi organisme predator dan kompetitor sekaligus mematikan spora parasit yang bersembunyi di dalam tanah. Untuk kolam beton, proses pengeringan dilakukan lebih singkat, cukup untuk menghilangkan sisa bau disinfektan yang bersifat racun bagi benih, dan pembersihan dilakukan menggunakan sikat serta aliran air untuk meluruhkan lumut dan bahan organik yang berpotensi menjadi sarang patogen.

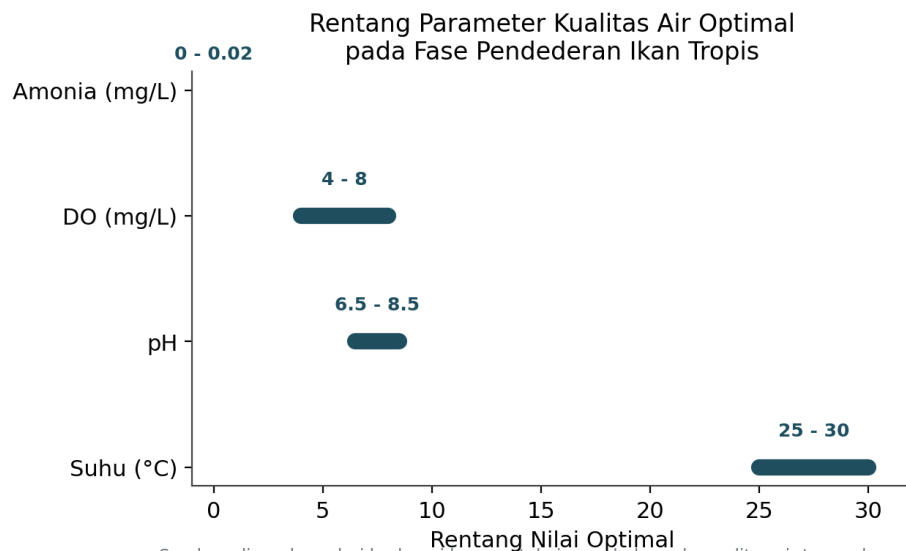
Setelah kolam dibersihkan, tahap berikutnya adalah pengapuran untuk mensterilkan media, menekan keberadaan bibit penyakit, serta menstabilkan pH tanah dan air. Iskandar dan rekan-rekannya pada 2021 menjelaskan bahwa dosis kapur harus disesuaikan dengan kondisi lahan. Pada tanah yang bersifat sangat asam, seperti tanah sulfat masam, kebutuhan kapur umumnya lebih tinggi agar pH air tetap stabil. Tahap ini kemudian dilanjutkan dengan pemupukan menggunakan pupuk organik maupun anorganik guna merangsang pertumbuhan plankton sebagai sumber pakan alami bagi benih pada fase awal pemeliharaan.

Pada sistem pendederan intensif, kualitas media air biasanya ditingkatkan melalui proses sterilisasi menggunakan disinfektan, seperti klorin aktif atau senyawa monopersulfat. Firdausi dan Mubarak dalam uji coba mereka pada tahun 2021 menunjukkan bahwa langkah

ini membantu memastikan air bebas dari patogen sebelum benih ditebar. Setelah itu, pengisian air dilakukan secara bertahap. Menurut Nurtyas dan rekan-rekannya pada 2025, kedalaman air pada awal pemeliharaan dibuat relatif rendah agar benih lebih mudah memperoleh oksigen dan pakan. Seiring pertumbuhan benih, volume air kemudian ditambah secara bertahap untuk menyesuaikan dengan ukuran tubuh dan kemampuan berenangannya.

Tabel 13 Perbandingan Parameter Persiapan Media Pendederan pada Kolam Tanah dan Bak Terkontrol

Parameter Persiapan	Kolam Tanah / Semi-Permanen	Bak Beton / Kontrol Intensif
Metode Pengeringan	Penjemuran matahari hingga tanah retak (beberapa hari)	Penjemuran singkat untuk menghilangkan sisa disinfektan
Tujuan Mekanis	Pembalikan tanah dasar untuk memperbaiki aerasi sedimen	Penyikatan fisik dengan air mengalir
Sterilisasi/Pengapuran	Kapur tohor atau dolomit sesuai keasaman tanah	Klorinasi atau senyawa disinfektan komersial
Pemupukan	Pupuk organik dan/atau anorganik untuk pakan alami	Umumnya tidak diaplikasikan (fokus pakan buatan)
Pengisian Air Awal	Bertahap, dangkal pada awal penebaran	Bertahap, disertai kontrol parameter kualitas air



Gambar 17 Rentang Parameter Kualitas Air Optimal pada Fase Pendederan Ikan Tropis

B. Dinamika Penebaran Benih dan Adaptasi Fisiologis

1. Seleksi Kualitas dan Padat Penebaran

Penebaran benih pada wadah pendederan menuntut kecermatan tinggi karena merupakan fase adaptasi pertama benih terhadap ekosistem baru. Sebelum ditebar, benih harus melalui seleksi kualitas yang ketat untuk memastikan hanya individu sehat dan seragam yang dimasukkan ke dalam kolam. Ciri benih yang sehat meliputi bentuk tubuh utuh tanpa cacat fisik, warna cerah, gerakan aktif melawan arus, serta respons makan yang tinggi. Keceragaman ukuran benih melalui kegiatan pemisahan ukuran (*grading*) sangat penting dilakukan sejak awal pendederan, sebab ketidakseragaman ukuran akan memperbesar ketimpangan konsumsi pakan dan memicu kanibalisme, terutama pada spesies karnivora seperti kakap putih, yang berdampak pada penurunan tajam angka kelangsungan hidup.

Padat penebaran (*stocking density*) merupakan parameter pembatas utama yang menentukan kapasitas daya dukung media budi daya sekaligus efisiensi pemanfaatan ruang. Kepadatan tebar yang terlalu tinggi berdampak pada penurunan ketersediaan oksigen terlarut, peningkatan akumulasi amonia dari sisa metabolisme, serta peningkatan gesekan fisik antarindividu yang memicu luka dan infeksi. Sebaliknya, padat tebar yang terlalu rendah menyebabkan inefisiensi ruang dan pemborosan biaya produksi. Penentuan padat tebar ideal harus disesuaikan dengan karakteristik komoditas, ukuran benih, dan tingkat teknologi wadah yang digunakan.

2. Prosedur Aklimatisasi

Aklimatisasi merupakan prosedur wajib untuk mencegah stres termal dan osmotik pada benih akibat perbedaan karakteristik fisika-kimia air antara wadah transportasi dengan kolam pendederan. Benih yang mengalami perubahan suhu atau pH secara mendadak akan mengalami gangguan regulasi ionik di dalam sel tubuh, peningkatan pelepasan hormon kortisol, serta penurunan imunitas yang sering berujung pada kematian beberapa hari setelah penebaran.

Langkah aklimatisasi umumnya dilakukan dengan mengapungkan kantong plastik wadah benih di atas permukaan air kolam selama beberapa menit hingga suhu di dalam kantong setara dengan suhu air kolam, dilanjutkan dengan memasukkan air kolam sedikit demi sedikit ke dalam kantong untuk menyamakan parameter kimia air, sebelum akhirnya benih dibiarkan berenang keluar secara mandiri. Perendaman singkat dalam larutan antiseptik ringan turut direkomendasikan pada beberapa komoditas untuk membersihkan parasit eksternal yang menempel pada tubuh benih sebelum dilepas ke kolam pendederan.

Tabel 14 Perbandingan Padat Tebar Benih pada Beberapa Komoditas dan Sistem Pendederan

Komoditas Budidaya	Jenis Wadah/Sistem	Karakteristik Padat Tebar
Ikan Nila (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Kolam semi-intensif	Ditingkatkan bertahap sesuai ukuran benih
Ikan Kakap Putih (<i>Lates calcarifer</i>)	Bak fiber terkontrol dengan aerasi	Disesuaikan standar teknis pendederan intensif
Ikan Kerapu Cantang (<i>Epinephelus fuscoguttatus-lanceolatus</i>)	Bak beton dengan sirkulasi air	Disesuaikan ukuran benih dan kapasitas bak
Udang Vaname (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	Tambak intensif (<i>nursery</i>)	Dioptimalkan melalui pendekatan perbaikan berkelanjutan (<i>Kaizen</i>)

C. Manajemen Kesehatan dan Pengendalian Penyakit pada Fase Pendederan

Pengendalian Ektoparasit dan Risiko Penyakit

Kepadatan benih yang tinggi dalam ruang terbatas serta kondisi fisiologis benih yang belum sepenuhnya stabil menjadikan fase pendederan sangat rentan terhadap serangan patogen oportunistik, terutama ektoparasit dan jamur yang menyerang organ luar seperti kulit, sirip, dan

insang. Sumber penyakit dapat berasal dari kualitas air yang menurun akibat akumulasi bahan organik maupun dari benih itu sendiri yang membawa agen infeksius sejak fase pembenihan.

Pendekatan pengendalian penyakit yang ramah lingkungan semakin banyak dikembangkan sebagai alternatif fungisida sintetis. Pemanfaatan ekstrak bahan nabati seperti daun kelor (*Moringa oleifera*), yang terbukti efektif menekan serangan jamur *Saprolegnia* sp. pada tahap penetasan telur, berpotensi diadaptasi pula pada fase pendederan awal untuk mengurangi risiko infeksi sekunder pascatransportasi benih. Selain itu, praktik biosekuriti dasar seperti disinfeksi peralatan bersama antarkolam, karantina benih baru, serta pemantauan visual gejala klinis secara rutin merupakan langkah pencegahan yang jauh lebih efisien dan murah dibandingkan penanganan wabah yang telah terlanjur meluas.

D. Pengelolaan Pakan dan Nutrisi Spesifik Fase Pendederan

Penyediaan pakan berkualitas tinggi dengan teknik pemberian yang presisi merupakan kunci utama pertumbuhan cepat pada fase pendederan, sekaligus menyerap komponen biaya operasional terbesar dalam kegiatan budidaya. Nutrisi pakan yang tidak seimbang tidak hanya menghambat laju pertumbuhan somatik benih, tetapi juga memperlemah sistem kekebalan tubuh dan memperlambat perkembangan organ dalam.

Pada fase pendederan, kebutuhan protein benih relatif lebih tinggi dibandingkan fase pembesaran karena pertumbuhan jaringan tubuh berlangsung sangat cepat. Tahapari dan Suhenda melalui uji cobanya pada tahun 2009 menjelaskan bahwa benih memerlukan pasokan asam amino dalam jumlah cukup untuk mendukung pembentukan otot dan perkembangan organ. Oleh sebab itu, pemberian pakan lebih efektif dilakukan dalam jumlah sedikit tetapi dengan frekuensi yang lebih sering. Pola ini lebih sesuai dengan kapasitas saluran pencernaan benih yang masih terbatas, sekaligus mampu meningkatkan pemanfaatan protein dan menekan nilai konversi pakan. Pada benih ikan patin pasupati, frekuensi pemberian pakan lima kali sehari terbukti menghasilkan pertumbuhan terbaik dengan efisiensi pakan yang lebih tinggi dibandingkan frekuensi yang lebih rendah.

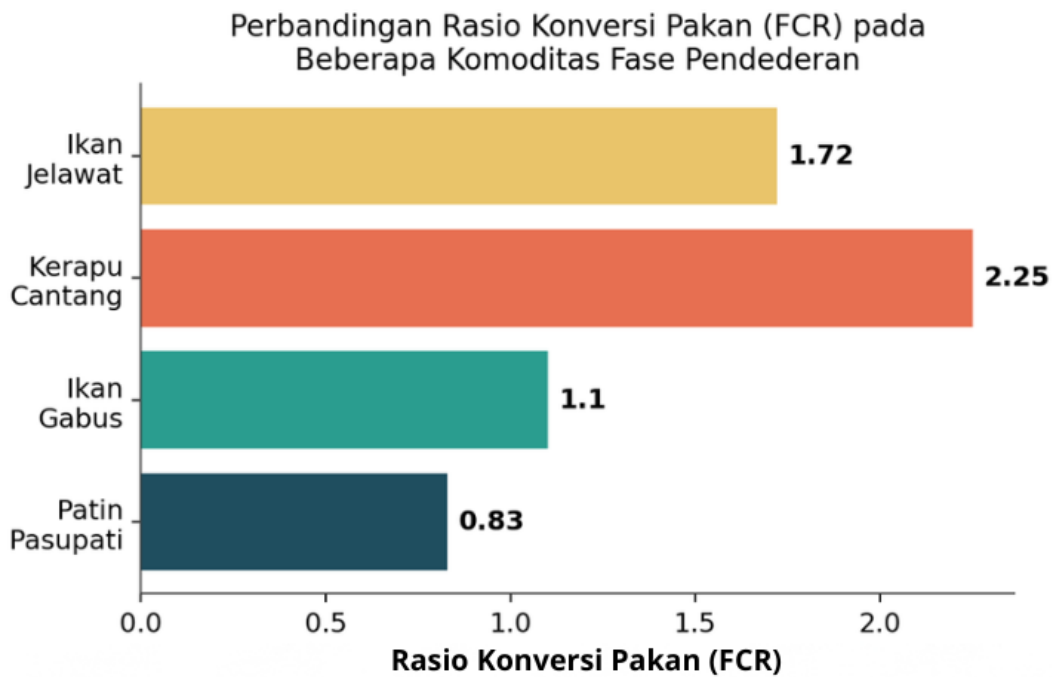
Pola pemberian pakan juga perlu disesuaikan dengan karakteristik setiap spesies. Akbar dan rekan-rekannya pada 2020 menunjukkan bahwa pada pendederan ikan gabus (*Channa striata*), pemberian pakan sebanyak 7% dari bobot tubuh dengan frekuensi empat kali sehari menghasilkan pertumbuhan panjang dan bobot yang paling baik. Namun, perlakuan tersebut tidak selalu memberikan tingkat kelangsungan hidup tertinggi, sehingga penentuan jumlah dan frekuensi pakan perlu mempertimbangkan keseimbangan antara pertumbuhan dan sintasan benih. Untuk mendukung performa benih, Firdausi dan Mubarak pada 2021 juga melaporkan

bahwa pakan dapat diperkaya dengan bahan tambahan, seperti vitamin C untuk meningkatkan daya tahan tubuh serta bahan pengikat nutrisi agar penyerapan pakan menjadi lebih efisien.

Dalam praktik sehari-hari, pelet umumnya ditebarkan secara merata di seluruh permukaan kolam agar setiap benih memperoleh kesempatan makan yang sama. Cara ini juga membantu mengurangi penumpukan sisa pakan di dasar kolam yang dapat membusuk, menurunkan kualitas air, dan akhirnya mengganggu pertumbuhan maupun kesehatan benih.

Tabel 15 Perbandingan Strategi Pemberian Pakan pada Beberapa Komoditas Fase Pendederan

Komoditas	<i>Feeding Rate</i>	Frekuensi Harian	Hasil Kinerja Biologi
Ikan Patin Pasupati	8% dari bobot tubuh	5 kali sehari	FCR sangat rendah (0,83); kelangsungan hidup tinggi
Ikan Gabus (<i>Channa striata</i>)	7% dari bobot tubuh	4 kali sehari	Pertumbuhan berat & panjang mutlak tertinggi
Kerapu Cantang	Disesuaikan biomassa	Bertahap sesuai ukuran benih	SR di atas 85% dengan monitoring rutin



Gambar 18 Perbandingan Rasio Konversi Pakan (FCR) pada Beberapa Komoditas Fase Pendederan

E. Monitoring Kualitas Air, Laju Pertumbuhan, dan Evaluasi Kelangsungan Hidup

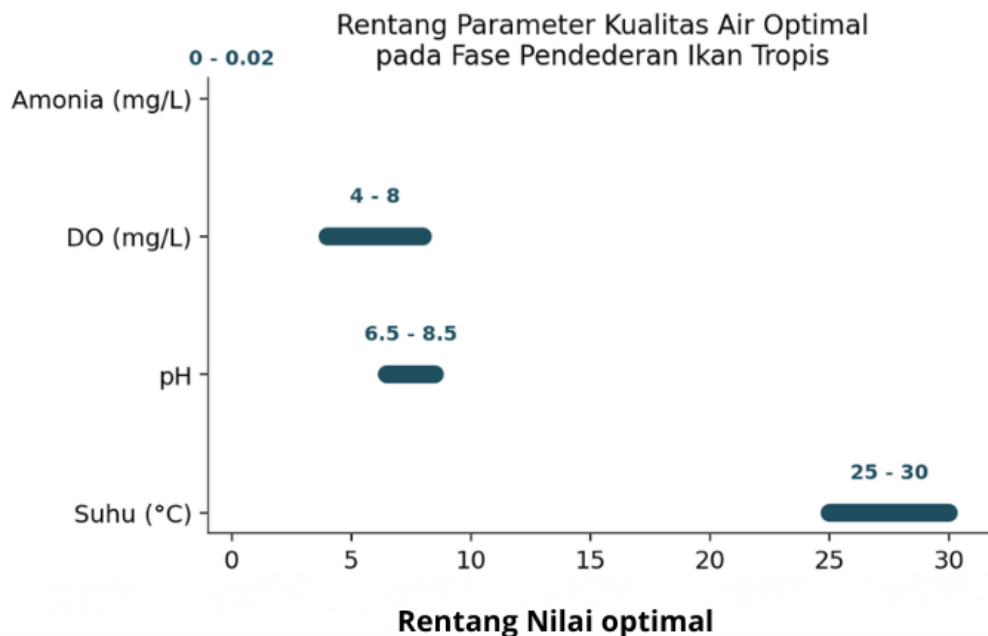
Pemantauan parameter lingkungan dan evaluasi berkala terhadap indikator biologi benih merupakan pilar utama dalam pengendalian risiko kegagalan operasional pendederan. Benih pada fase ini memiliki toleransi fisiologis yang sempit terhadap cekaman kualitas air, sehingga fluktuasi parameter fisika-kimia yang melebihi ambang toleransi akan secara cepat mengganggu stabilitas tubuh benih dan meningkatkan kerentanannya terhadap penyakit.

1. Pemantauan Parameter Fisika-Kimia Air

Pengukuran kualitas air dilakukan secara berkala menggunakan instrumen seperti termometer digital, pH meter, dan DO meter. Suhu air mengontrol laju metabolisme basal dan aktivitas enzimatik pencernaan benih, dengan kisaran optimal untuk sebagian besar komoditas tropis berada pada rentang 25-30°C. Oksigen terlarut merupakan faktor pembatas kelangsungan hidup benih; kadar DO wajib dipertahankan di atas ambang minimal untuk menunjang respirasi aerobik dan efisiensi penyerapan pakan.

Nilai pH air yang ideal berkisar antara 6,5 hingga 8,5, karena kondisi yang terlalu asam dapat mengikis lendir protektif epitel kulit benih, sedangkan kondisi terlalu basa memperbesar konsentrasi gas amonia bebas yang bersifat racun. Untuk menjaga kebersihan dasar wadah dari akumulasi feses dan sisa pakan yang berpotensi menghasilkan amonia, kegiatan penyiponan dasar kolam harus dikombinasikan dengan pergantian air harian dalam persentase tertentu dari

total volume wadah. Pada budi daya intensif komoditas bernilai tinggi, penerapan teknologi *Recirculating Aquaculture System* (RAS) semakin banyak digunakan karena mampu menjaga kestabilan parameter air melalui filtrasi biologis yang mengonversi amonia menjadi senyawa nitrat yang jauh lebih aman bagi benih.



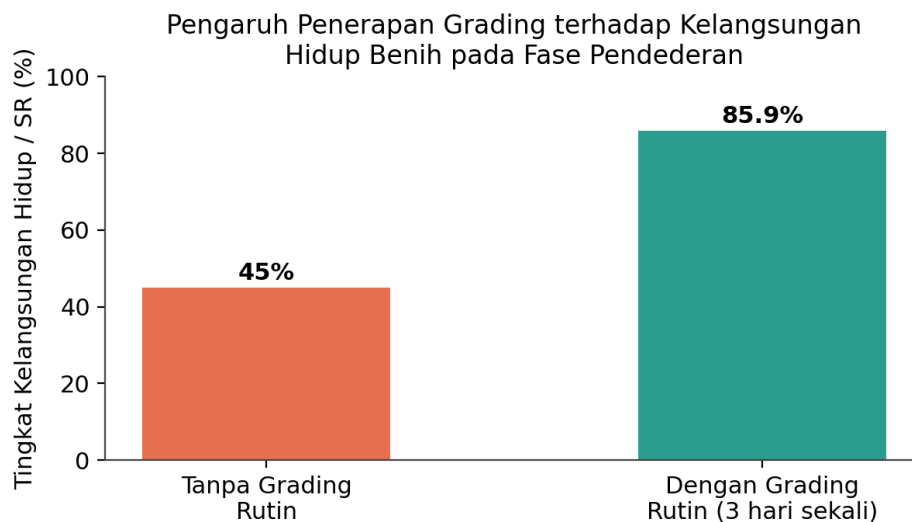
Gambar 19 Rentang Parameter Kualitas Air Optimal pada Fase Pendederan Ikan Tropis

2. Pengukuran Kinerja Biologi Benih

Evaluasi kinerja biologi benih dilakukan melalui sampling periodik yang umumnya dijalankan setiap 7 hingga 10 hari sekali. Parameter utama yang dianalisis meliputi Tingkat Kelangsungan Hidup (*Survival Rate*/SR), Pertumbuhan Berat dan Panjang Mutlak, Laju Pertumbuhan Spesifik (*Specific Growth Rate*/SGR), serta Rasio Konversi Pakan (*Feed Conversion Ratio*/FCR) yang dihitung menggunakan formulasi baku ilmu perikanan.

Tingkat Kelangsungan Hidup merefleksikan efisiensi sistem proteksi lingkungan kolam pendederan, dihitung dari perbandingan jumlah benih yang hidup pada akhir masa pemeliharaan terhadap jumlah benih yang ditebar pada awal periode. Pertumbuhan mutlak dihitung dari selisih bobot dan panjang rata-rata individu pada akhir dan awal pemeliharaan, sedangkan Laju Pertumbuhan Spesifik menggambarkan persentase pertambahan berat harian rata-rata benih selama durasi pemeliharaan tertentu. Rasio Konversi Pakan dianalisis untuk mengukur efisiensi asimilasi pakan menjadi biomassa serta meminimalkan pemborosan biaya pakan.

Penerapan *monitoring* biologi yang tidak disiplin, seperti keterlambatan proses *grading*, dapat berakibat fatal terhadap penurunan nilai kelangsungan hidup benih. Pada pendederan intensif kakap putih tanpa sistem pemisahan ukuran yang rutin, persaingan pakan yang tidak merata dan kanibalisme menyebabkan tingkat kelangsungan hidup merosot tajam. Sebaliknya, pada manajemen pendederan yang menerapkan *grading* secara berkala serta didukung kontrol kualitas air yang optimal, nilai kelangsungan hidup benih dapat dipertahankan pada kisaran di atas 85%.



Gambar 20 Pengaruh Penerapan *Grading* Rutin Terhadap Kelangsungan Hidup Benih pada Fase Pendederan

Fase pendederan (*nursery*) merupakan satu kesatuan sistem ekologis dan mekanis yang saling berinteraksi secara kausalitas, di mana kegagalan pada satu tahapan persiapan akan memicu rantai efek domino yang mengganggu seluruh indikator kinerja biologi benih. Tanah dasar kolam yang tidak dikeringkan secara tuntas dapat menyisakan gas toksik dan spora ektoparasit; ketika air dimasukkan dan benih ditebar, akumulasi senyawa tersebut dapat mengiritasi jaringan insang, menurunkan kadar hemoglobin darah, dan melemahkan sistem imun benih. Dalam kondisi imun yang lemah, benih menjadi sangat sensitif terhadap perubahan suhu air, dan jika padat penebaran yang diterapkan terlalu tinggi tanpa pasokan aerasi memadai, keterbatasan ruang gerak dan oksigen terlarut akan memicu stres hipoksia kronis yang menurunkan nafsu makan serta efisiensi pemanfaatan pakan.

Sebaliknya, keberhasilan pendederan dapat dicapai melalui integrasi teknologi dan kedisiplinan pengelolaan operasional harian. Berdasarkan kajian teknis budi daya perikanan kontemporer, beberapa rekomendasi taktis dapat diuraikan sebagai berikut: (1) sterilisasi menyeluruh media pendederan menggunakan kapur pertanian atau disinfektan komersial untuk memutus siklus patogen; (2) prosedur aklimatisasi bertahap yang dikombinasikan dengan

perendaman antiseptik ringan sebelum benih ditebar; (3) pemberian pakan berprotein tinggi dengan frekuensi presisi sesuai kapasitas lambung benih; (4) pemisahan ukuran (*grading*) secara periodik untuk meminimalkan kanibalisme dan menjamin keadilan konsumsi pakan; serta (5) sanitasi dasar wadah dan pergantian air yang konsisten, didukung oleh teknologi resirkulasi pada skala budi daya intensif. Integrasi menyeluruh atas kelima aspek tersebut merupakan fondasi utama keberhasilan produktivitas dan efisiensi ekonomi industri pendederan ikan.

BAB 6 PENGELOLAAN KESEHATAN IKAN DAN BIOSEKURITI DI PEMBENIHAN

Peningkatan aktivitas akuakultur intensif di Indonesia memunculkan tantangan besar dalam pengelolaan kesehatan biota air. Pada sistem pembenihan (*hatchery*), tingginya padat tebar serta ketergantungan pada *input* eksternal sering kali menciptakan ketidakseimbangan ekologis yang memicu munculnya penyakit. Timbulnya penyakit pada komoditas perikanan tidak terjadi secara tunggal, melainkan merupakan hasil interaksi dinamis antara inang yang rentan, patogen yang virulen, dan kondisi lingkungan yang terdegradasi. Konsep interaksi tiga faktor ini pertama kali dikemukakan oleh Snieszko (1973) dan hingga kini masih menjadi kerangka acuan utama dalam epidemiologi penyakit ikan, yang menegaskan bahwa penyakit hanya akan berkembang apabila kondisi lingkungan mendukung replikasi patogen atau melemahkan sistem imun inang. Oleh karena itu, pengelolaan kesehatan ikan modern harus bergeser dari tindakan kuratif yang reaktif menuju strategi preventif yang terintegrasi melalui penerapan biosekuriti yang ketat dan sanitasi lingkungan yang komprehensif.

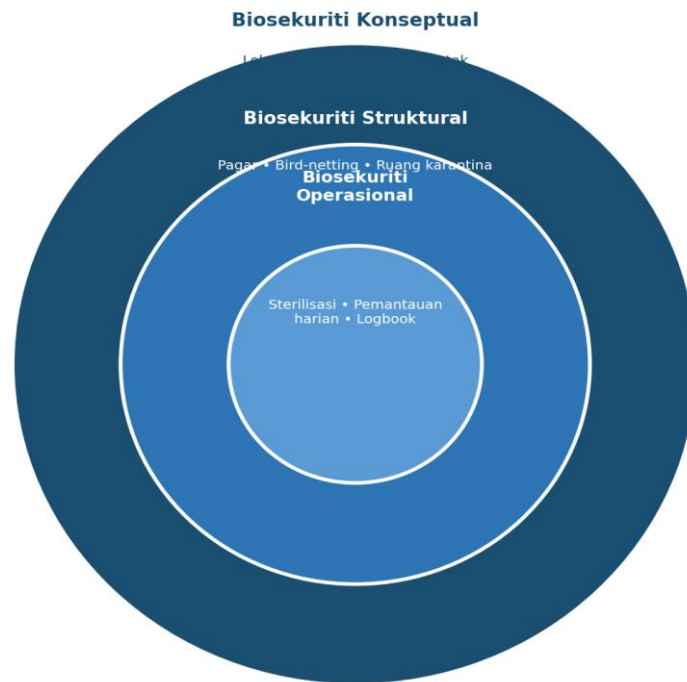
Aktivitas budi daya perikanan nasional, baik untuk komoditas konsumsi maupun ikan hias, memiliki nilai ekonomi strategis yang tinggi. Sebagai gambaran, industri ikan hias seperti ikan koi (*Cyprinus carpio*) menyumbang kontribusi signifikan terhadap produksi ikan hias nasional, sehingga keberlanjutan mutunya sangat bergantung pada penerapan biosekuriti yang konsisten di tingkat unit pembenihan. Untuk melindungi aset ekonomi tersebut, Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) terus mendorong standardisasi unit pembenihan melalui sertifikasi Cara Pembenihan Ikan yang Baik (CPIB) dan Cara Budidaya Ikan yang Baik (CBIB). Pengelolaan kesehatan ikan sejak tahap *hatchery* menjadi fondasi penting bagi keberhasilan produksi akuakultur. Perkembangannya kini juga didukung oleh penerapan biosekuriti berbasis digital. Badan Karantina Indonesia (Barantin) pada 2025, misalnya, mulai memperkuat sistem sertifikasi kesehatan ikan secara elektronik sebagai bagian dari kerja sama internasional untuk meningkatkan ketertelusuran, mempercepat proses sertifikasi, dan memperkuat pengawasan terhadap lalu lintas komoditas perikanan. Langkah ini menunjukkan bahwa pengendalian penyakit tidak lagi hanya dilakukan di tingkat unit pembenihan, tetapi telah menjadi bagian dari sistem biosekuriti yang terintegrasi dari tingkat nasional hingga internasional.

A. Prinsip Dasar Biosekuriti di *Hatchery*

Biosekuriti didefinisikan sebagai serangkaian tindakan terencana dan sistematis yang dirancang untuk mencegah masuknya agen penyakit ke dalam unit budi daya (eksklusi) dan mencegah penyebaran patogen ke area yang belum terinfeksi (inklusi atau penahanan). Dalam konteks operasional pembenihan, keberhasilan implementasi biosekuriti sangat bergantung pada tiga komponen utama, yaitu isolasi, pengendalian lalu lintas (*traffic control*), dan sanitasi.

Isolasi merupakan langkah awal untuk menciptakan batas fisik antara populasi ikan yang dipelihara dengan potensi pembawa penyakit eksternal. Tindakan ini mencakup penataan tata letak fasilitas pembenihan yang memisahkan zona basah dan zona kering, serta menjaga jarak aman dari permukiman atau unit budi daya lain untuk mengurangi risiko transmisi patogen secara horizontal. Salah satu inovasi isolasi air yang sangat direkomendasikan adalah penerapan sistem resirkulasi air (*Recirculating Aquaculture System/RAS*), yang mampu menyaring, mengolah, dan menggunakan kembali air media pemeliharaan secara terkontrol sehingga membatasi interaksi langsung dengan air alam bebas yang berpotensi membawa agen penyakit.

Pengendalian lalu lintas mengatur pergerakan personel, kendaraan, peralatan, dan biota air di dalam fasilitas. Setiap individu atau kendaraan yang memasuki area produksi wajib melalui protokol disinfeksi yang ketat, seperti melewati bak pencelup kaki (*footbath*) berisi larutan disinfektan, pembasuh tangan, dan bak pencelup roda menggunakan kalium permanganat atau klorin. Berdasarkan tingkat penerapannya, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 21, manajemen biosekuriti dapat dikelompokkan menjadi tiga tingkatan yang saling melengkapi.



Gambar 21 Tiga Tingkatan Manajemen Biosekuriti pada Unit Pembenihan Ikan

Biosekuriti Konseptual: Berfokus pada pemilihan lokasi pembenihan yang strategis, pemanfaatan sumber air bebas cemaran, dan desain tata letak bangunan guna meminimalkan risiko kontaminasi silang.

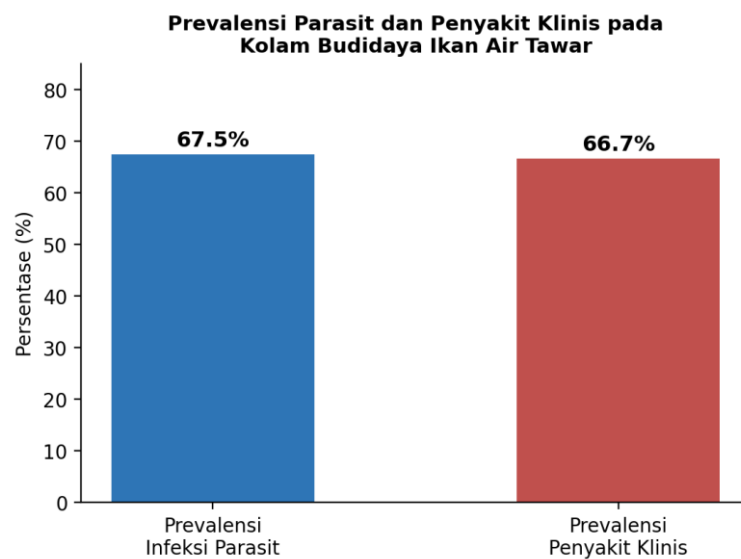
Biosekuriti Struktural: Meliputi pembangunan infrastruktur pelindung, seperti pagar pembatas, pemasangan jaring pelindung hama (*bird-netting*) di atas kolam untuk mencegah vektor mekanis seperti burung liar, dan penyediaan ruang karantina khusus.

Biosekuriti Operasional: Merupakan prosedur higienis harian yang dilakukan oleh personel, termasuk sterilisasi rutin wadah dan peralatan, pemantauan kesehatan harian, serta pencatatan berkala dalam *logbook* operasional.

Keberhasilan biosekuriti di *hatchery* juga sangat ditentukan oleh jaminan mutu *input* biologi. Benih yang ditebar harus bersertifikat bebas patogen spesifik (*Specific Pathogen Free/SPF*) dan diperoleh dari unit pembenihan yang telah terakreditasi CPIB sesuai standar nasional SNI 8035:2019. Selain itu, integrasi aspek Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) bagi pembudi daya turut menunjang keberlanjutan operasional, karena perlindungan tenaga kerja berbanding lurus dengan kedisiplinan penerapan sanitasi di lapangan. Sistem ketertelusuran (*traceability*) yang didukung pencatatan harian yang konsisten menjadi instrumen penting untuk memitigasi penyebaran penyakit secara cepat di tingkat regional maupun internasional melalui karantina perbenihan.

B. Identifikasi Penyakit Umum (Parasiter, Bakteri, Jamur)

Identifikasi penyakit secara akurat dan tepat waktu merupakan pilar krusial dalam meminimalkan mortalitas massal di *hatchery*. Patogen yang menyerang komoditas perikanan air tawar dan laut secara garis besar diklasifikasikan ke dalam golongan parasit, bakteri, dan jamur. Di Indonesia, prevalensi serangan penyakit akuatik sangat dinamis; studi epidemiologi di beberapa daerah menunjukkan tingkat prevalensi parasit pada kolam budi daya air tawar dapat mencapai 67,5%, dengan prevalensi penyakit klinis sebesar 66,7%, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 22. Angka ini menegaskan tingginya risiko kerugian ekonomi apabila identifikasi patogen terlambat dilakukan.



Gambar 22 Prevalensi Infeksi Parasit dan Penyakit Klinis pada Kolam Budi Daya Ikan Air Tawar

1. Penyakit Parasiter

Penyakit parasiter umumnya disebabkan oleh ektoparasit yang menginfeksi organ luar seperti kulit, sirip, dan insang. Kelompok protozoa seperti *Trichodina* sp. sering ditemukan pada benih ikan nila, mas, dan patin. Parasit ini memiliki organ penempel berbentuk piringan berdentit yang merusak jaringan epidermis insang saat bergerak memutar, menyebabkan produksi lendir berlebih, iritasi kulit, dan penurunan fungsi pernapasan. Ektoparasit lain yang sangat berbahaya adalah *Ichthyophthirius multifiliis*, penyebab penyakit bintik putih. Parasit ini menembus lapisan epitel kulit dan insang, membentuk kista putih yang memicu perilaku ikan menggosokkan tubuh ke dinding wadah dan berenang megap-megap di permukaan air akibat kerusakan lamela insang.

Selain protozoa, golongan cacing monogenea seperti *Dactylogyrus* sp. dan *Gyrodactylus* sp. kerap menginfeksi benih. *Dactylogyrus* sp. memiliki bintik mata (*eye spot*)

dan jangkar pengait yang menempel pada filamen insang, sedangkan *Gyrodactylus* sp. tidak memiliki bintik mata dan dominan menginfeksi lendir kulit serta sirip. Parasit krustasea seperti *Argulus* sp. dan *Lernaea* sp. juga menyebabkan luka tusukan fisik yang memicu pendarahan dan infeksi sekunder oleh bakteri.

2. Penyakit Bakteri

Infeksi bakteri pada budi daya ikan sering kali bersifat akut dan menyebabkan kematian massal dalam waktu singkat. Bakteri oportunistik yang paling dominan menyerang ikan air tawar di Indonesia adalah *Aeromonas hydrophila*, agensia penyebab penyakit *Motile Aeromonas Septicemia* (MAS). Bakteri Gram-negatif berbentuk batang pendek dan motil ini menghasilkan toksin ekstraseluler berupa hemolisin, kitinase, dan lesitinase yang mendegradasi jaringan inang secara sistemik. Gejala klinis ikan yang terinfeksi meliputi pembengkakan rongga perut (*dropsy*), mata menonjol (*exophthalmia*), luka borok pada permukaan tubuh, nekrosis pada sirip, serta pendarahan hebat di sekitar organ dalam seperti hati dan ginjal. Bakteri patogen lainnya mencakup *Edwardsiella* sp. yang menyebabkan abses bernanah pada otot dan pembengkakan organ dalam, serta *Vibrio* sp. yang dominan menyerang komoditas payau dan laut seperti udang vaname (*Litopenaeus vannamei*).

3. Penyakit Jamur

Penyakit jamur umumnya bersifat oportunistik dan menyerang ikan yang mengalami luka fisik akibat penanganan yang kasar atau kualitas air yang buruk. Jamur *Saprolegnia* sp. dan *Achlya* sp. merupakan penyebab saprolegniasis, ditandai dengan munculnya benang halus mirip kapas berwarna putih hingga abu-abu pada kulit, sirip, atau telur ikan yang gagal menetas. Jamur sistemik seperti *Branchiomyces* sp. menyerang pembuluh darah di dalam insang, menghambat sirkulasi darah, dan menyebabkan jaringan insang membusuk serta berwarna pucat, sehingga ikan mati lemas akibat hipoksia.

Untuk mengonfirmasi jenis patogen yang menyerang, laboratorium *hatchery* perlu melakukan diagnosis secara berkala. Isolasi bakteri patogen umumnya menggunakan metode penanaman sampel organ target, seperti ginjal atau limpa, pada media agar spesifik yang diinkubasi sebelum diidentifikasi lebih lanjut. Tabel 16 merangkum golongan patogen utama, organ target, gejala klinis, serta metode diagnosis yang umum diterapkan di unit pembenihan.

Tabel 16 Ringkasan Golongan Patogen, Organ Target, Dan Gejala Klinis Utama Pada Ikan Budidaya

Golongan	Spesies Patogen	Organ Target	Gejala Klinis Utama
Parasit	<i>Trichodina sp.</i>	Kulit, insang	Lendir berlebih, iritasi kulit, gerakan lambat
Parasit	<i>Ichthyophthirius multifiliis</i>	Kulit, epitel insang	Bintik putih, menggosokkan badan, megap-megap
Parasit	<i>Dactylogyrus sp.</i>	Filamen insang	Kerusakan lamela, mukus berlebih
Parasit	<i>Gyrodactylus sp.</i>	Kulit, sirip, lendir	Luka mikro, sirip robek, tanpa bintik mata
Bakteri	<i>Aeromonas hydrophila</i>	Organ dalam, kulit, ginjal	<i>Dropsy</i> , <i>exophthalmia</i> , <i>ulcer</i> , hemoragi sistemik
Bakteri	<i>Edwardsiella sp.</i>	Otot, ginjal, limpa	Abses bernanah, luka pada jaringan otot
Bakteri	<i>Vibrio sp.</i>	Hepatopankreas, kulit	Tubuh kemerahan, nekrosis hepatopankreas
Jamur	<i>Saprolegnia sp.</i>	Kulit, sirip, telur	Selaput putih mirip kapas, kegagalan tetas
Jamur	<i>Branchiomyces sp.</i>	Pembuluh darah insang	Insang pucat, nekrosis, asfiksia

C. Tindakan Preventif dan Kuratif

Manajemen kesehatan ikan yang berkelanjutan menitikberatkan pada tindakan preventif sebagai benteng pertahanan utama, sementara tindakan kuratif diterapkan secara selektif dan bertanggung jawab guna menghindari efek samping negatif terhadap biota maupun lingkungan.

1. Tindakan Preventif

Pencegahan penyakit dilakukan melalui peningkatan sistem imun nonspesifik ikan dan penciptaan lingkungan budi daya yang tidak mendukung perkembangan patogen. Salah satu metode preventif yang paling efektif adalah vaksinasi, yang merangsang pembentukan antibodi spesifik tanpa menimbulkan patogenisitas. Untuk mengoptimalkan penyerapan vaksin pada fase benih, metode infiltrasi hiperosmotik melalui perendaman dalam media bersalinitas

rendah dapat diterapkan. Perendaman benih lele sangkuriang (*Clarias gariepinus*) dalam salinitas 6 ppt sebelum divaksinasi memicu regulasi osmotik sel yang memperlebar permeabilitas membran mukosa, sehingga meminimalkan hambatan mekanis penyerapan antigen dan menghasilkan titer antibodi serta tingkat kelangsungan hidup relatif (*Relative Percent Survival/RPS*) yang tinggi setelah diuji tantang dengan bakteri virulen.

Selain vaksinasi, penggunaan probiotik menjadi alternatif biologis yang ramah lingkungan. Probiotik seperti *Bacillus megaterium* PTB 1.4 dan *Pediococcus pentosaceus* E2211 pada dosis masing-masing 0,5% terbukti mampu mempertahankan kelangsungan hidup ikan lele di atas 87% selama uji tantang dengan *Aeromonas hydrophila*, melalui mekanisme pengecualian kompetitif (*competitive exclusion*), produksi senyawa antibakteri, serta peningkatan respons imun seluler seperti aktivitas fagositik dan lisozim.

Pendekatan preventif lainnya adalah pemanfaatan imunostimulan alami berbasis tanaman herbal (fitoterapi), yang dianjurkan karena tidak memicu resistensi bakteri patogen dan relatif aman bagi konsumen. Daun ketapang (*Terminalia catappa* L.) mengandung senyawa tanin, *flavonoid*, dan fenol yang terbukti menghambat pertumbuhan *A. hydrophila* secara *in vitro* sekaligus meningkatkan sintasan benih. Tanaman lempuyang (*Zingiber zerumbet*) mengandung senyawa zerumbon dan terpenoid yang berfungsi sebagai imunostimulan nonspesifik untuk meningkatkan aktivitas fagositosis leukosit ikan, sementara alisin pada bawang putih (*Allium sativum*) dan kurkumin pada kunyit (*Curcuma longa*) bertindak sebagai agen antimikroba alami yang efektif menekan populasi bakteri *Vibrio spp.*

2. Tindakan Kuratif

Tindakan kuratif dilakukan apabila populasi ikan telah menunjukkan gejala klinis infeksi patogen. Ketika ditemukan indikasi penyakit, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah segera mengisolasi atau mengarantina wadah budi daya yang terdampak agar penularan tidak menyebar ke unit pemeliharaan lainnya. Standar Nasional Indonesia (BSN) tahun 2019 menegaskan bahwa tindakan ini merupakan bagian penting dari penerapan biosekuriti, karena mampu memutus jalur penyebaran patogen sekaligus memudahkan proses pemantauan dan penanganan pada ikan yang terinfeksi. Selain isolasi fisik, teknisi pembenihan perlu mengaktifkan sistem pelaporan penyakit dini (*early warning system*) agar langkah penanganan darurat dapat dirumuskan secara komprehensif.

Pengobatan harus dilakukan menggunakan bahan kimia atau obat ikan yang telah terdaftar resmi di KKP dengan mematuhi dosis anjuran guna menghindari akumulasi residu kimia. Penggunaan antibiotik sintetis harus dibatasi secara ketat atau diganti dengan

perendaman ekstrak herbal dosis tinggi, seperti rebusan daun ketapang, guna meminimalkan risiko resistensi antimikroba di ekosistem perairan. Tabel 17 membandingkan karakteristik tindakan preventif dan kuratif dari sisi metode, tujuan, bahan yang digunakan, dampak lingkungan, dan biaya operasional.

Tabel 17 Perbandingan Tindakan Preventif dan Kuratif dalam Manajemen Kesehatan Ikan

Aspek Manajemen	Tindakan Preventif (Pencegahan)	Tindakan Kuratif (Pengobatan)
Metode utama	Vaksinasi, probiotik pakan, imunostimulan herbal, biosekuriti operasional	Karantina wadah, aplikasi obat berizin, fitoterapi dosis tinggi
Tujuan	Meningkatkan sistem imun ikan, mencegah masuknya patogen	Menghentikan mortalitas aktif, mengeliminasi patogen dari inang
Bahan yang digunakan	Vaksin <i>A. hydrophila</i> , <i>Bacillus spp.</i> , ekstrak daun ketapang	Larutan disinfektan terdaftar, ekstrak herbal pekat, garam medis
Dampak lingkungan	Sangat rendah, menjaga keseimbangan mikroba menguntungkan	Sedang hingga tinggi jika menggunakan antibiotik sintetik
Biaya operasional	Lebih ekonomis dalam jangka panjang (mencegah gagal panen massal)	Lebih mahal, memerlukan penanganan intensif per wadah produksi

D. Manajemen Sanitasi Lingkungan

Sanitasi lingkungan merupakan bagian penting dalam pengelolaan unit pembenihan karena bertujuan menjaga kondisi wadah dan media pemeliharaan tetap bersih serta tidak mendukung perkembangan patogen. Menurut BSN pada 2019, sanitasi yang tidak dilakukan secara konsisten akan menyebabkan sisa pakan dan feses menumpuk di dasar wadah. Seiring waktu, bahan organik tersebut terurai menjadi amonia bebas yang bersifat toksik, sehingga dapat merusak jaringan insang, mengganggu kesehatan ikan, dan menurunkan keberhasilan produksi benih.

1. Sterilisasi Wadah, Media, dan Peralatan

Sebelum memulai siklus produksi baru di *hatchery*, sterilisasi menyeluruh terhadap seluruh wadah pemeliharaan dan peralatan kerja mutlak dilakukan. Prosedur sterilisasi air media diawali dengan pengisian air bersih ke dalam tandon filter, diikuti aplikasi serbuk kaporit dengan kadar tertentu disertai aerasi kuat selama 24 jam untuk mengoksidasi mikroorganisme patogen; sisa klorin aktif kemudian dinetralkan secara kimiawi menggunakan larutan natrium tiosulfat sebelum air dialirkan ke bak pemeliharaan larva.

Sterilisasi wadah beton atau serat kaca (*fiberglass*) dilakukan dengan mencuci bersih seluruh permukaan menggunakan deterjen, menyikat dinding kolam, membilas dengan air tawar, dan mengeringkannya di bawah sinar matahari langsung untuk memutus siklus hidup spora jamur dan kista parasit. Peralatan operasional berukuran besar disterilisasi melalui metode perendaman dalam kaporit berkonsentrasi tinggi selama 30 hingga 60 menit, sementara peralatan kecil seperti seser, ember, dan selang aerasi disterilisasi menggunakan klorin cair atau autoklaf untuk mencegah kontaminasi silang secara mekanis antarwadah budidaya.

Hygiene perorangan turut diatur secara ketat dalam pedoman operasional sanitasi. Penerapan biosekuriti juga bergantung pada kedisiplinan personel yang bekerja di unit pembenihan. Pedoman yang diterbitkan BPPMHKP pada 2024 mewajibkan setiap petugas menggunakan alat pelindung diri, seperti sepatu bot dan pakaian kerja khusus, selama berada di area produksi. Selain itu, aktivitas seperti merokok, makan, dan minum di area pemeliharaan tidak diperbolehkan karena berpotensi menjadi sumber kontaminasi. Sebelum menangani ikan atau media pemeliharaan, setiap petugas juga harus mencuci tangan menggunakan sabun disinfektan untuk mengurangi risiko perpindahan patogen antarkolam maupun antarwadah budidaya.

2. Pemeliharaan Kualitas Air dan Manajemen Larva

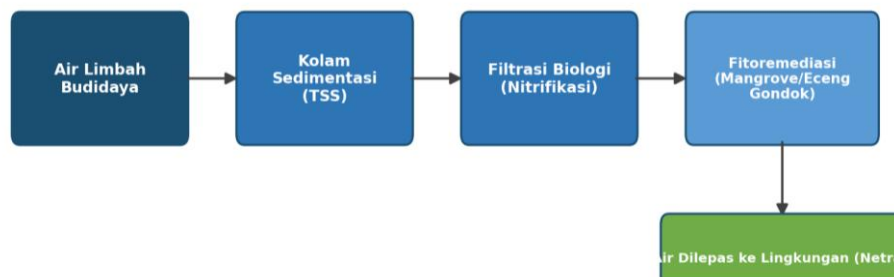
Selama fase pemeliharaan larva, kualitas air harus dipertahankan dalam kondisi yang stabil agar benih tidak mengalami stres dan dapat tumbuh secara optimal. BSN melalui standar yang diterbitkan pada 2019 merekomendasikan beberapa parameter penting, antara lain suhu air sekitar 25-30°C, pH 7,9-8,5, oksigen terlarut di atas 5,0 mg/L, serta kadar amonia tidak melebihi 0,01 mg/L. Pengendalian parameter tersebut menjadi langkah penting untuk menjaga kesehatan larva sekaligus meningkatkan tingkat kelangsungan hidup selama masa pemeliharaan.

Untuk mencegah penurunan kualitas air akibat akumulasi sisa pakan alami, seperti sisa tetasan *Artemia* sp. atau cacing sutra (*Tubifex* sp.), penyiponan dasar wadah secara hati-hati

wajib dilakukan secara berkala. Penggunaan probiotik secara berkala pada air media juga sangat disarankan untuk menguraikan senyawa nitrogen beracun menjadi senyawa yang lebih aman bagi benih. Sebelum dilakukan penyortiran (*grading*) ukuran, benih ikan wajib dipuasakan selama 12 hingga 24 jam untuk menurunkan laju metabolisme dan mencegah muntah yang dapat memperburuk kualitas air media sortir.

3. Pengelolaan Limbah Operasional (IPAL)

Unit pembenihan yang bertanggung jawab wajib memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang memadai dan efektif. Pembuangan air sisa siphoning dan air pemeliharaan tanpa pengolahan langsung ke badan air umum dapat memicu eutrofikasi dan menyebarkan agen penyakit ke populasi liar, yang pada akhirnya dapat menginfeksi kembali sumber air masuk (*intake*) hatchery, Gambar 23 menyajikan alur umum IPAL pada unit pembenihan.



Gambar 23 Alur Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada Unit Pembenihan

Desain IPAL yang ideal mengintegrasikan sistem sedimentasi fisik untuk mengendapkan padatan tersuspensi, proses filtrasi biologi memanfaatkan bakteri nitrifikasi untuk mengubah amonia menjadi nitrat, serta unit fitoremediasi menggunakan tanaman air seperti eceng gondok atau vegetasi mangrove untuk menyerap unsur hara berlebih sebelum air buangan dilepas kembali ke lingkungan eksternal. Sebagai contoh, model IPAL tiga kolam yang diterapkan oleh Balai Perikanan Budidaya Air Payau memanfaatkan kolam pengendapan, kolam vegetasi mangrove, dan kolam ikan-rumput laut untuk menurunkan kandungan nutrisi limbah secara signifikan.

Selain IPAL cair, konsep pengelolaan limbah nir-sampah (*zero fish waste*) dapat diterapkan dengan memanfaatkan endapan limbah padat organik dari kolam sedimentasi untuk dikeringkan dan diolah menjadi pupuk organik tanaman, sehingga meminimalkan dampak degradasi lingkungan di sekitar kawasan hatchery. Pengelolaan kesehatan ikan dan implementasi biosekuriti di unit pembenihan merupakan suatu sistem pertahanan berlapis yang saling terintegrasi. Keberhasilan produksi benih berkualitas tinggi tidak lagi bertumpu pada

intervensi kimiawi kuratif yang reaktif, melainkan pada ketelitian penerapan protokol biosekuriti konseptual, struktural, dan operasional sejak dini. Pemahaman mendalam mengenai siklus hidup dan patofisiologi agen penyakit parasiter, bakterial, serta jamur memungkinkan teknisi *hatchery* melakukan diagnosis dini secara akurat.

Transisi menuju metode preventif yang berkelanjutan, melalui program vaksinasi terarah dengan teknik infiltrasi hiperosmotik, pemanfaatan probiotik fungsional, dan fitoterapi berbasis bahan alami seperti daun ketapang, terbukti mampu meminimalkan risiko wabah penyakit tanpa mengorbankan keamanan pangan dan kelestarian ekosistem. Manajemen sanitasi yang ketat terhadap media, wadah, dan peralatan, yang didukung oleh pengelolaan limbah operasional melalui sistem IPAL yang efektif, menjadi kunci utama dalam mewujudkan industri pembenihan nasional yang produktif, berdaya saing global, dan ramah lingkungan.

BAB 7 MENGELOLA USAHA PEMBENIHAN YANG MENGUNTUNGKAN

A. Mengapa Aspek Ekonomi Penting?

Keberlanjutan industri akuakultur modern tidak hanya bertumpu pada penguasaan aspek teknis-biologis reproduksi biota air, melainkan juga pada ketajaman manajemen administrasi dan analisis ekonomi. Sektor pembenihan (*hatchery*) dikenal sebagai fase produksi dengan tingkat ketidakpastian biologis yang tinggi, sensitif terhadap fluktuasi iklim, rentan terhadap serangan patogen, serta membutuhkan pengelolaan modal kerja yang dinamis. Salah satu studi kasus pada unit pembenihan ikan nila menunjukkan bahwa usaha pembenihan dapat memberikan keuntungan yang menjanjikan apabila dikelola secara profesional. Dengan investasi awal sekitar Rp37 juta dan biaya produksi sekitar Rp121 juta, unit usaha tersebut mampu menghasilkan penerimaan sekitar Rp258 juta sehingga memperoleh laba bersih lebih dari Rp137 juta dalam satu siklus produksi. Capaian tersebut menunjukkan bahwa potensi keuntungan dalam usaha pembenihan tidak hanya ditentukan oleh besarnya modal yang ditanamkan, tetapi juga oleh penerapan tata kelola administrasi yang tertib, pencatatan keuangan yang akurat, serta perencanaan finansial yang dilakukan secara cermat.

Penggabungan sistem pencatatan produksi yang tertib dengan perhitungan finansial yang akurat merupakan komponen penting dalam meminimalkan risiko usaha sekaligus menjaga tingkat profitabilitas. Berbagai penerapan standar Cara Pembenihan Ikan yang Baik (CPIB) pada unit pembenihan menunjukkan bahwa kepatuhan terhadap prosedur operasional dan administrasi mampu meningkatkan kinerja produksi secara nyata dibandingkan kondisi sebelum standar tersebut diterapkan. Hal ini menegaskan bahwa administrasi yang dikelola secara sistematis tidak hanya berfungsi sebagai pemenuhan persyaratan, tetapi juga menjadi faktor yang berkontribusi langsung terhadap peningkatan produktivitas, efisiensi operasional, dan keberlanjutan usaha pembenihan ikan.

Pembahasan pada bab ini membedah secara menyeluruh empat pilar utama administrasi dan analisis ekonomi usaha pembenihan ikan, yaitu: (1) sistem pencatatan produksi (*logbook*) dan standardisasi CPIB, (2) analisis komponen biaya produksi, (3) pemodelan kelayakan finansial dan proyeksi laba-rugi, serta (4) formulasi strategi pemasaran dan optimasi saluran distribusi benih. Sintesis keempat pilar tersebut disusun berdasarkan temuan riset terkini yang dipublikasikan pada jurnal-jurnal terindeks Sinta, dengan tujuan memberikan pedoman operasional yang aplikatif bagi pengelola unit pembenihan rakyat maupun balai benih pemerintah.

B. Pencatatan Produksi (*Logbook*) dan Standardisasi CPIB

Pencatatan produksi harian (*logbook*) merupakan basis data administrasi operasional yang berfungsi sebagai instrumen pengendalian mutu, alat pemantauan harian, dan jaminan keamanan produksi. Tujuan utama dokumentasi ini adalah melacak kinerja pertumbuhan biota, menghitung estimasi biomassa, menentukan dosis pakan harian secara akurat, serta memantau fluktuasi kualitas air media pemeliharaan. Data yang direkam harus bersifat teliti, objektif, dan sistematis agar dapat menjadi dasar pengambilan keputusan taktis oleh manajer operasional.

Di Indonesia, setiap unit pembenihan diwajibkan menerapkan standar *Cara Pembenihan Ikan yang Baik* (CPIB) sesuai Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 35/PERMEN-KP/2016. Standar ini menjadi pedoman dalam penyelenggaraan pembenihan agar proses produksi berlangsung secara aman, bermutu, dan ramah lingkungan. Penerapan CPIB tidak hanya berkaitan dengan aspek teknis, tetapi juga mencakup pengelolaan sanitasi, kesehatan ikan, keamanan pangan, hingga kelestarian lingkungan.

Penerapan Cara Pembenihan Ikan yang Baik (CPIB) telah menunjukkan manfaat nyata dalam meningkatkan kinerja unit pembenihan. Salah satu studi lapangan memperlihatkan bahwa penerapan CPIB secara konsisten mampu meningkatkan performa produksi, terutama melalui penguatan aspek keamanan pangan dan pengelolaan lingkungan yang lebih baik. Namun, kajian yang sama juga menunjukkan bahwa unit pembenihan yang belum menerapkan standar tersebut secara menyeluruh masih menghadapi kesenjangan antara mutu layanan yang diberikan dengan harapan pengguna. Temuan ini menegaskan bahwa keberhasilan implementasi CPIB tidak hanya bergantung pada tersedianya regulasi, tetapi juga memerlukan pembinaan, evaluasi, dan perbaikan berkelanjutan agar standar dapat diterapkan secara optimal pada berbagai unit pembenihan.

Parameter Operasional dalam Pencatatan CPIB

Aplikasi praktis pencatatan operasional harian dalam skema CPIB umumnya mencakup empat kelompok parameter. **Pertama**, manajemen pemijahan dan ovulasi, meliputi pencatatan berat induk, tingkat kematangan gonad, dosis hormon stimulasi, waktu pemijahan, hingga derajat penetasan telur. **Kedua**, pemeliharaan larva dan biosekuriti, mencakup padat penebaran larva serta dosis pemberian pakan alami secara berkala. **Ketiga**, kalkulasi kebutuhan pakan harian berdasarkan bobot biomassa dan rasio pemberian pakan (*feeding rate*) yang umumnya berkisar

antara 3% hingga 10% tergantung stadia ukuran benih. **Keempat**, pemantauan toleransi fisik-kimia lingkungan seperti suhu, pH, oksigen terlarut, dan kadar amonia media pemeliharaan.

Disiplin pencatatan yang dipadukan dengan penerapan biosekuriti ketat terbukti mampu menekan tingkat kegagalan produksi secara signifikan. Sebagai ilustrasi kuantitatif hubungan tersebut, unit pembenihan lele Sangkuriang di salah satu Perusahaan pembenihan di Jawa Barat yang menerapkan pencatatan produksi disiplin selama satu tahun (lima siklus) berhasil mencapai tingkat kelangsungan hidup (*Survival Rate*) larva rata-rata sebesar 97%. Capaian sintasan yang tinggi semacam ini menjadi fondasi utama bagi keberhasilan kalkulasi finansial pada tahap produksi berikutnya, karena volume benih yang dapat dijual berbanding lurus dengan tingkat sintasan larva yang dicapai.

C. Menghitung Biaya Produksi

Analisis ekonomi usaha pembenihan memerlukan pemisahan yang jelas antara komponen investasi awal dengan pengeluaran operasional berkala selama siklus produksi. Total biaya produksi (*Total Cost/TC*) merupakan penjumlahan dari biaya tetap (*Fixed Cost/FC*) dan biaya variabel (*Variable Cost/VC*), dirumuskan sebagai $TC = FC + VC$.

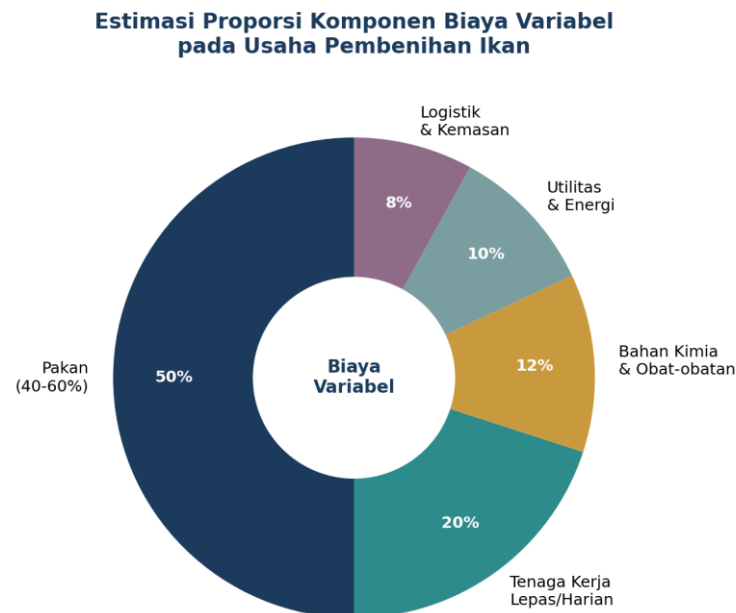
1. Biaya Tetap (*Fixed Cost*)

Biaya tetap merupakan pengeluaran yang nilainya relatif tidak berubah meskipun volume produksi benih mengalami kenaikan atau penurunan dalam jangka pendek. Dengan kata lain, biaya ini tetap harus dikeluarkan meski kegiatan produksi sedang berkurang atau bahkan berhenti sementara. Komponen biaya tetap umumnya meliputi penyusutan berbagai sarana dan prasarana produksi, seperti kolam, bak pemeliharaan, sistem aerasi, pompa, dan generator, serta amortisasi induk yang memiliki masa produktif terbatas. Selain itu, biaya sewa lahan, pajak, dan gaji tenaga kerja tetap juga termasuk ke dalam kelompok biaya ini. Dalam salah satu uji coba lapangan pada 2024 di sebuah unit pembenihan ikan nila, tercatat bahwa investasi awal sebesar Rp37.490.000 dialokasikan untuk pembangunan fasilitas produksi, pengadaan induk, dan berbagai peralatan operasional. Nilai investasi tersebut kemudian dihitung sebagai biaya penyusutan sesuai umur ekonomis masing-masing aset.

2. Biaya Variabel (*Variable Cost*)

Biaya variabel merupakan pengeluaran operasional yang besarnya berubah secara proporsional mengikuti volume produksi benih dalam satu periode. Komponen utama biaya variabel meliputi biaya pakan (pelet, cacing sutra, kutu air, dan pakan formulasi mikro), biaya

benih awal dan hormon pemijahan, upah tenaga kerja lepas harian, bahan kimia dan obat-obatan penunjang kesehatan air, biaya utilitas dan energi, serta biaya logistik dan kemasan. Di antara komponen tersebut, pakan secara konsisten dilaporkan sebagai komponen biaya variabel terbesar, umumnya menyerap 40% hingga 60% dari total anggaran operasional, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 24.



Gambar 24 Estimasi Proporsi Komponen Biaya Variabel pada Usaha Pembenihan Ikan Air Tawar

Pemahaman mendalam mengenai perilaku biaya tetap dan biaya variabel memiliki implikasi manajerial yang krusial. Pada usaha pembenihan skala industri dengan porsi biaya tetap besar akibat mekanisasi tinggi, efisiensi ekonomi hanya dapat dicapai dengan memproduksi benih dalam volume maksimal guna menekan biaya tetap rata-rata per ekor benih (*economies of scale*). Sebaliknya, apabila biaya variabel—terutama pakan—mengalami lonjakan harga, manajer keuangan harus mencari formulasi pakan substitusi atau mengoptimalkan manajemen *feeding rate* agar tidak melampaui batas anggaran yang dapat mengancam likuiditas usaha.

D. Menilai Kelayakan Usaha

Analisis kelayakan finansial bertujuan memproyeksikan potensi keuntungan, mengukur efisiensi penggunaan modal kerja, dan menilai tingkat pengembalian investasi pada unit pembenihan ikan. Keberlanjutan finansial usaha dievaluasi menggunakan seperangkat indikator utama yang saling melengkapi.

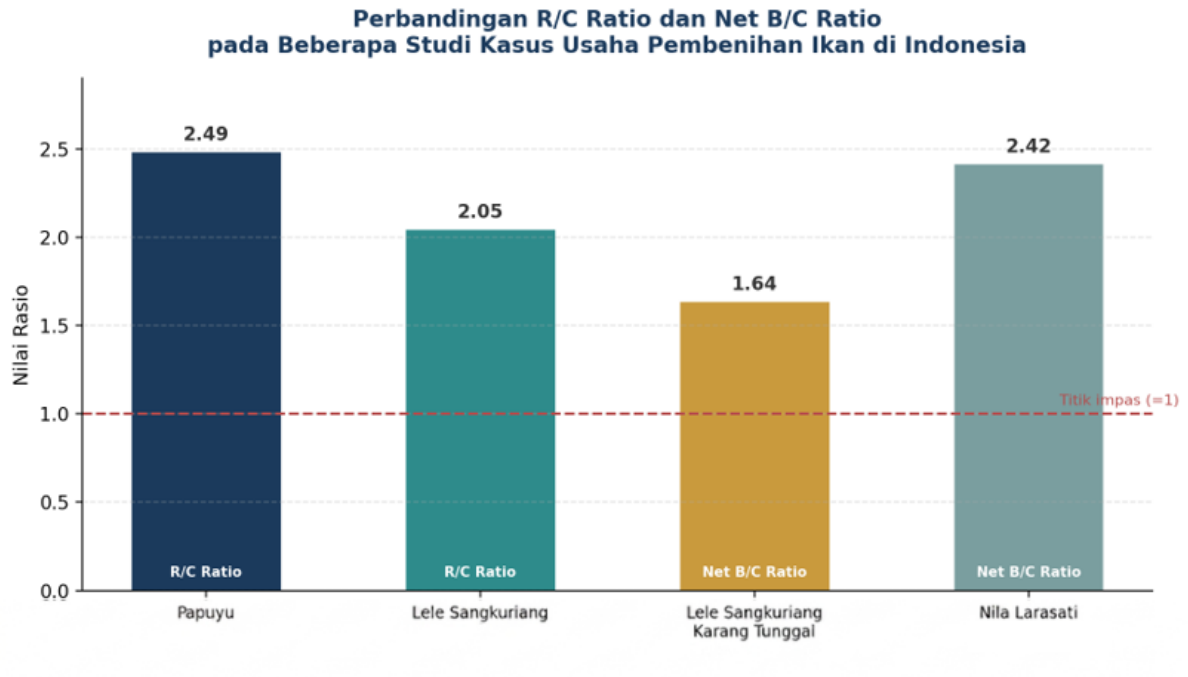
1. Perhitungan Laba Rugi dan R/C Ratio

Laba bersih (π) merupakan selisih positif antara penerimaan total (*Total Revenue*/TR) dengan biaya total produksi (TC), atau $\pi = TR - TC$. Penerimaan total diperoleh dengan mengalikan volume benih yang berhasil dipanen dan terjual (Q) dengan harga jual per ekor benih di pasar (P), atau $TR = Q \times P$. Unit usaha dinyatakan memperoleh laba apabila TR lebih besar dari TC, dan mengalami kerugian jika sebaliknya.

Revenue-Cost Ratio (R/C Ratio) merupakan indikator kelayakan finansial yang membandingkan total penerimaan kotor dengan total biaya produksi yang telah dialokasikan, dirumuskan sebagai $R/C = TR / TC$. Kriteria keputusan kelayakan usaha menetapkan bahwa jika $R/C > 1$, usaha dinyatakan layak dijalankan karena menghasilkan keuntungan secara efisien; jika $R/C = 1$, usaha berada pada titik impas ekonomi; dan jika $R/C < 1$, usaha dinyatakan tidak layak diusahakan. Perbandingan nilai R/C Ratio dan Net B/C Ratio dari beberapa studi kasus pembenihan ikan air tawar di Indonesia disajikan pada Tabel 18 dan Gambar 25.

Tabel 18 Perbandingan Kelayakan Finansial dalam Studi Kasus Usaha Pembenihan Ikan Air Tawar di Indonesia

Studi Kasus	Laba Bersih	Indikator Kelayakan
Pembenihan Ikan Papuyu	Data agregat tahunan	R/C Ratio = 2,49
Pembenihan Lele Sangkuriang	Rp172.524.014 /tahun	R/C Ratio = 2,05
Pembenihan Lele Sangkuriang	Data tidak dipublikasikan rinci	Net B/C Ratio = 1,64
Pembenihan Nila Larasati	Rp137.473.000 /periode	Net B/C Ratio = 2,42; IRR 50,58%



Gambar 25 Perbandingan R/C Ratio dan Net B/C Ratio pada Beberapa Studi Kasus Usaha Pembenihan Ikan

Seluruh studi kasus pada Tabel 18 menunjukkan nilai rasio kelayakan di atas satu, yang mengindikasikan bahwa usaha pembenihan ikan air tawar skala rumah tangga hingga menengah di Indonesia secara umum menguntungkan apabila dikelola dengan disiplin administrasi dan pengendalian biaya yang memadai. Variasi nilai rasio antarstudi mengindikasikan bahwa tingkat profitabilitas dipengaruhi oleh komoditas, skala usaha, teknologi wadah budidaya, dan efisiensi manajemen pakan yang diterapkan masing-masing unit pembenihan.

2. Break-Even Point (BEP) dan Payback Period (PP)

Analisis *Break-Even Point* (BEP) digunakan untuk mengetahui titik ketika total penerimaan telah mampu menutup seluruh biaya produksi, sehingga usaha tidak lagi mengalami kerugian maupun memperoleh keuntungan. Dalam praktiknya, BEP umumnya dihitung dalam dua bentuk, yaitu berdasarkan jumlah produksi untuk menentukan minimal volume benih yang harus dihasilkan, dan berdasarkan harga jual untuk mengetahui harga terendah yang masih mampu menutup seluruh biaya operasional. Uji coba lapangan yang dilakukan oleh Ardyanti dan rekan-rekannya pada 2023 di sebuah unit pembenihan lele Sangkuriang menunjukkan nilai BEP produksi sebesar 529.402 ekor benih dari tujuh ukuran produk, dengan nilai BEP penjualan mencapai Rp154.471.262.

Selain BEP, kelayakan usaha juga dapat dinilai melalui *Payback Period* (PP), yaitu indikator yang menunjukkan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan seluruh investasi awal dari keuntungan bersih yang diperoleh. Semakin singkat nilai PP dibandingkan umur ekonomis usaha, semakin cepat modal dapat kembali dan semakin rendah risiko investasi. Dalam uji coba lapangan yang dilakukan Kartika Sari dan rekan-rekannya pada 2024 di sebuah unit pembenihan ikan nila, investasi awal tercatat dapat kembali dalam waktu sekitar 2,2 tahun. Nilai tersebut jauh lebih cepat dibandingkan batas kelayakan usaha yang umumnya menggunakan acuan lima tahun, sehingga menunjukkan bahwa usaha pembenihan tersebut layak untuk dikembangkan.

3. *Net Present Value* (NPV) dan *Internal Rate of Return* (IRR)

Net Present Value (NPV) merupakan salah satu indikator yang digunakan untuk menilai kelayakan investasi dengan membandingkan nilai sekarang dari seluruh arus kas yang akan diterima dengan besarnya investasi yang dikeluarkan. Suatu usaha umumnya dinilai layak apabila menghasilkan NPV bernilai positif, yang menunjukkan bahwa investasi mampu memberikan keuntungan setelah memperhitungkan faktor waktu dan tingkat suku bunga. Dalam uji coba lapangan yang dilakukan Kartika Sari dan rekan-rekannya pada 2024 di sebuah unit pembenihan ikan nila, diperoleh nilai NPV sebesar Rp53.418.844. Uji coba yang sama juga mencatat *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 50,58%, jauh lebih tinggi daripada tingkat suku bunga acuan sebesar 10,5% yang digunakan dalam analisis. Hasil tersebut menunjukkan bahwa usaha pembenihan memiliki prospek finansial yang baik dan layak untuk dikembangkan. Selain itu, nilai IRR yang jauh melampaui tingkat suku bunga juga mengindikasikan bahwa usaha pembenihan skala kecil hingga menengah memiliki kemampuan yang cukup baik dalam menghadapi potensi kenaikan biaya modal pada masa mendatang.

Dinamika ekosistem perbenihan sering kali dihadapkan pada ketidakpastian harga *input* produksi dan fluktuasi harga pasar benih. Oleh karena itu, uji kelayakan finansial idealnya dilengkapi dengan analisis sensitivitas untuk memproyeksikan batas toleransi daya tahan bisnis terhadap guncangan ekonomi makro, misalnya skenario kenaikan biaya operasional produksi yang dikombinasikan dengan penurunan harga jual atau volume penjualan benih akibat melimpahnya pasokan pada musim puncak panen. Unit pembenihan yang mampu mempertahankan nilai *R/C Ratio* tetap di atas satu dan NPV tetap positif di bawah tekanan skenario ekstrem tersebut dapat dikategorikan memiliki ketahanan finansial (*financial resilience*) yang baik.

E. Strategi Pemasaran Terpadu dan Optimasi Saluran Distribusi Benih

Pemasaran dalam agribisnis perikanan merupakan rangkaian perencanaan, penentuan harga, promosi, dan pendistribusian produk secara strategis demi memenuhi kebutuhan konsumen aktual maupun potensial. Bauran pemasaran (*marketing mix*) menjadi instrumen taktis yang dikonseptualisasikan melalui pendekatan 4P, yaitu *Product* (produk), *Price* (harga), *Place* (saluran distribusi), dan *Promotion* (promosi).

1. Formulasi Bauran Pemasaran Benih

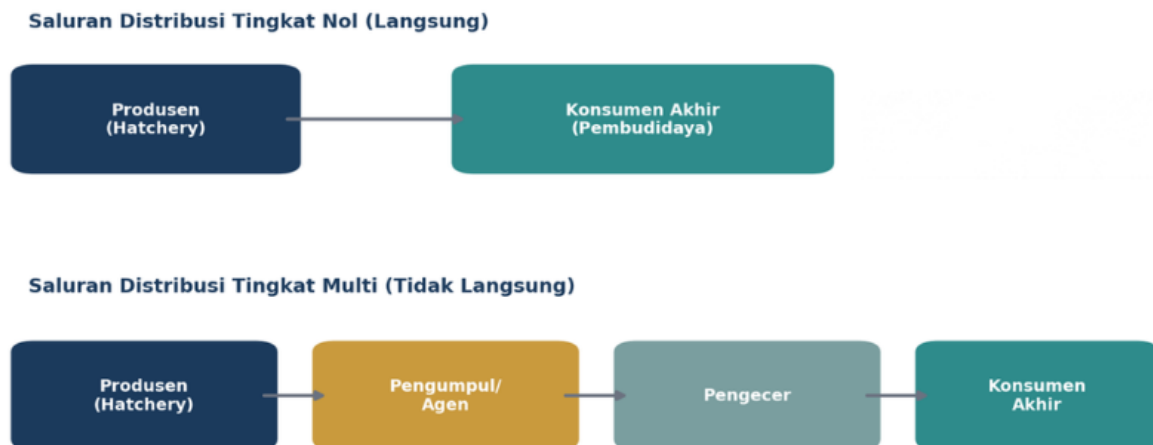
Dari sisi produk, benih ikan harus memiliki mutu genetik tinggi (bebas inbreeding), lincah, seragam dalam klasifikasi ukuran standar, serta memiliki jaminan sertifikasi mutu resmi. Dari sisi harga, penetapan dapat didasarkan pada metode akumulasi biaya operasional (*cost-plus pricing*), harga pasar kompetitor (*going-rate pricing*), maupun persepsi nilai subjektif pembeli. Permintaan benih ikan di pasar umumnya bersifat inelastis dalam jangka pendek; pada awal musim tanam serempak, pembudi daya pembesaran cenderung tetap membeli benih meskipun harga mengalami lonjakan karena keterbatasan pasokan biologis.

Keberhasilan pemasaran benih ikan tidak hanya ditentukan oleh kualitas produk, tetapi juga oleh kemampuan unit pembenihan dalam menyusun strategi pemasaran yang tepat. Uji coba langsung di lapangan yang Rizal dan rekan-rekannya lakukan pada tahun 2019 di sebuah unit pembenihan ikan patin menunjukkan bahwa penyusunan strategi pemasaran perlu mempertimbangkan faktor internal dan eksternal secara bersamaan. Beberapa aspek yang berpengaruh meliputi mutu benih yang dihasilkan, kemudahan akses distribusi, serta kuatnya jaringan kemitraan dengan pembudi daya pembesaran sebagai pasar utama. Di samping itu, kegiatan promosi pada unit pembenihan saat ini umumnya dilakukan melalui berbagai saluran secara terpadu. Pemanfaatan media sosial, keikutsertaan dalam pameran perikanan, promosi langsung melalui penyuluhan atau kunjungan lapangan, serta pemeliharaan hubungan jangka panjang dengan pelanggan menjadi pendekatan yang banyak diterapkan untuk memperluas pasar sekaligus meningkatkan kepercayaan konsumen terhadap kualitas benih yang diproduksi.

2. Analisis Saluran Distribusi dan Efisiensi Pemasaran

Saluran distribusi benih didefinisikan sebagai rantai organisasi yang saling terkait dalam mengalirkan benih dari unit penetasan (*hatchery*) ke kolam pembesaran akhir. Penanganan logistik benih hidup menuntut kecepatan tinggi karena keterbatasan daya tahan fisik benih. Sebelum diangkut, benih umumnya dipuasakan (deprivasi pakan) selama 12 hingga 24 jam

untuk menurunkan laju metabolisme, guna mencegah akumulasi amonia dari ekskresi benih di dalam media kantong kemasan plastik beroksigen. Terdapat dua pola saluran distribusi benih ikan yang umum diidentifikasi dalam industri akuakultur nasional, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 26.



Gambar 26 Dua Pola Utama Saluran Distribusi Benih Ikan: Tingkat Nol (Langsung) dan Tingkat Multi (Tidak Langsung)

Saluran distribusi tingkat nol tidak menggunakan perantara niaga; penjualan terjadi secara langsung di lokasi balai benih kepada petani pembesar lokal. Pola ini dinilai memiliki efisiensi pemasaran yang sangat tinggi karena memperkecil risiko kematian benih selama pengangkutan dan memangkas biaya margin perantara. Sebaliknya, saluran distribusi tingkat multi memanfaatkan jasa perantara niaga untuk menjangkau basis konsumen yang secara geografis terisolir. Rantai penyaluran yang terlalu panjang cenderung menurunkan *margin* keuntungan produsen dan meningkatkan risiko mortalitas benih akibat guncangan selama transportasi.

Efisiensi suatu saluran pemasaran dapat dinilai melalui indeks Efisiensi Pemasaran (Ep), yaitu perbandingan antara total biaya pemasaran dengan nilai produk yang dipasarkan. Semakin kecil nilai Ep, semakin efisien saluran distribusi yang digunakan. Secara umum, saluran pemasaran dikategorikan efisien apabila nilai Ep berada pada kisaran 0% hingga 50%, sedangkan nilai di atas 50% menunjukkan bahwa biaya pemasaran relatif terlalu tinggi dibandingkan nilai produk yang dipasarkan. Dalam uji coba lapangan yang dilakukan Isnain dan rekan-rekannya pada 2024 di sebuah balai benih ikan, penerapan saluran distribusi langsung dari produsen kepada konsumen menghasilkan nilai Ep sebesar 1,85%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemangkasan mata rantai distribusi mampu menekan biaya pemasaran

secara signifikan, sehingga menjadi salah satu strategi yang efektif untuk meningkatkan efisiensi pemasaran benih ikan.

3. Formulasi Matriks SWOT dan Penentuan Posisi Kuadran

Untuk merumuskan program pemasaran strategis jangka panjang, unit pembenihan lazim menggunakan analisis komprehensif matriks *Internal Factor Evaluation* (IFE) dan *External Factor Evaluation* (EFE) guna memetakan kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman usaha. Analisis SWOT banyak digunakan untuk mengidentifikasi posisi strategis suatu unit pembenihan dengan mengevaluasi faktor internal dan eksternal yang memengaruhi kinerja usaha. Dalam uji coba lapangan yang dilakukan Alya dan rekan-rekannya pada 2024 di sebuah balai benih ikan air tawar, salah satu kekuatan utama yang ditemukan adalah kemampuan menghasilkan benih dengan mutu fisik yang baik. Sebaliknya, keterbatasan variasi jenis benih yang dipasarkan masih menjadi kelemahan yang perlu diperbaiki agar daya saing usaha semakin meningkat.

Dari sisi eksternal, uji coba tersebut juga menunjukkan bahwa peluang terbesar berasal dari terbukanya pasar baru di berbagai wilayah pengembangan budidaya. Namun, peluang tersebut diiringi dengan meningkatnya persaingan dari unit pembenihan swasta yang menawarkan harga lebih kompetitif. Temuan ini menegaskan bahwa keberhasilan usaha pembenihan tidak hanya bergantung pada kualitas benih yang dihasilkan, tetapi juga pada kemampuan pelaku usaha dalam memperluas pasar, melakukan diversifikasi produk, dan menyusun strategi bersaing yang tepat. Melalui analisis kuadran koordinat dari total skor matriks IFE dan EFE, posisi kompetitif unit pembenihan dapat dipetakan ke dalam empat wilayah kuadran strategis sebagaimana disajikan pada Gambar 27.

**Matriks Kuadran Posisi Strategis IFE-EFE
Unit Pembenihan Ikan**



Gambar 27 Matriks Kuadran Posisi Strategis IFE-EFE untuk Perumusan Strategi Pemasaran Unit Pembenihan Ikan

Kuadran I (koordinat positif-positif) menunjukkan posisi bisnis yang prima dan menguntungkan, sehingga strategi agresif seperti penetrasi pasar dan perluasan kapasitas produksi sangat direkomendasikan. Kuadran II (koordinat positif-negatif) menunjukkan kekuatan internal yang kokoh namun menghadapi hambatan eksternal besar, sehingga strategi diferensiasi produk dan peningkatan loyalitas pelanggan lebih tepat diterapkan. Kuadran III (koordinat negatif-positif) menunjukkan peluang eksternal melimpah namun terkendala kelemahan internal, sehingga fokus utama diarahkan pada pembenahan manajemen dan teknologi produksi. Kuadran IV (koordinat negatif-negatif) menunjukkan posisi kritis yang menuntut strategi defensif, seperti efisiensi biaya radikal atau divestasi aset yang tidak produktif. Berdasarkan hasil pemetaan pada studi BBI Genteng, kombinasi kekuatan mutu produk dengan peluang perluasan pasar mengarahkan unit tersebut pada posisi strategis yang relatif menguntungkan, sehingga strategi pengembangan pasar dan diversifikasi produk menjadi rekomendasi utama.

Sistem manajemen administrasi dan analisis ekonomi pada usaha pembenihan ikan merupakan satu kesatuan fungsional yang menentukan tingkat keberhasilan bisnis di industri

akuakultur. Penerapan *logbook* pencatatan operasional harian yang disiplin, merujuk pada standardisasi CPIB, terbukti krusial untuk menjaga konsistensi kualitas biologis benih dan meningkatkan kinerja produksi hingga 19%. Melalui pemisahan struktur biaya yang akurat antara biaya tetap dan biaya variabel, pengelola pembenihan dapat melakukan kalkulasi ambang batas kritis titik impas produksi dan harga secara presisi untuk menghindari kerugian finansial.

Berbagai uji coba lapangan yang dibahas pada bab ini menunjukkan bahwa usaha pembenihan ikan air tawar memiliki prospek ekonomi yang baik apabila dikelola secara profesional. Uji coba oleh Heriyanto dan rekan-rekannya pada 2020, Ardyanti dan rekan-rekannya pada 2023, Elena dan rekan-rekannya pada 2023, serta Kartika Sari dan rekan-rekannya pada 2024 sama-sama melaporkan nilai *R/C Ratio* maupun *Net B/C Ratio* di atas satu. Hasil tersebut menandakan bahwa usaha pembenihan, baik dalam skala rumah tangga maupun menengah, layak dikembangkan selama didukung oleh pengelolaan administrasi dan pencatatan keuangan yang baik. Dari sisi pemasaran, uji coba yang dilakukan oleh Isnan dan rekan-rekannya pada 2024 juga menunjukkan bahwa saluran distribusi yang lebih singkat mampu meningkatkan efisiensi pemasaran secara signifikan, dengan nilai efisiensi di bawah 2%, jauh lebih rendah daripada batas efisiensi yang umum digunakan. Berdasarkan berbagai temuan tersebut, terdapat beberapa langkah praktis yang dapat diterapkan oleh pelaku usaha pembenihan ikan, yaitu:

- 1. Migrasi Sistem Administrasi.** Mengalihkan pencatatan produksi dari metode manual berbasis kertas menuju platform digital (*e-logbook*) untuk mempercepat akurasi pelaporan data dan mendukung proses sertifikasi CPIB secara lebih efisien.
- 2. Optimalisasi Biaya Variabel.** Menerapkan biosekuriti ketat dan pengelolaan air berbasis probiotik guna mendongkrak tingkat kelangsungan hidup larva, yang secara langsung akan menurunkan nilai BEP harga benih di bawah harga pasar rata-rata.
- 3. Penguatan Saluran Distribusi Langsung.** Memprioritaskan strategi pemasaran langsung (distribusi tingkat nol) untuk menjaga kualitas benih tetap prima hingga ke tangan konsumen akhir, menekan indeks efisiensi pemasaran, serta mengoptimalkan margin keuntungan produsen tanpa terdistorsi oleh perantara niaga yang terlalu panjang.
- 4. Pemanfaatan Analisis SWOT Berkala.** Melakukan pemetaan posisi kuadran IFE-EFE secara periodik untuk menyesuaikan strategi pemasaran dengan dinamika persaingan pasar benih ikan yang terus berkembang.

BAB 8 MASA DEPAN PRODUKSI BENIH IKAN

Keberlanjutan usaha pembenihan ikan air tawar sangat ditentukan oleh kemampuan pelaku usaha dalam mengevaluasi kinerja produksi secara berkala serta mengadopsi inovasi teknologi yang relevan. Evaluasi produksi merupakan bagian penting dari pengelolaan pembenihan, bukan sekadar kegiatan pencatatan setelah satu siklus produksi selesai. Fauzan dan rekan-rekannya dalam uji coba pada 2023 menunjukkan bahwa proses evaluasi berfungsi sebagai alat manajemen untuk menilai kinerja setiap tahapan produksi. Melalui evaluasi yang dilakukan secara berkala, berbagai kendala dapat diidentifikasi sejak proses seleksi induk, pemijahan, penetasan, pemeliharaan larva, hingga fase pendederan. Hasil evaluasi tersebut kemudian menjadi dasar dalam menyusun langkah perbaikan agar kualitas benih, efisiensi produksi, dan tingkat keberhasilan pada siklus berikutnya terus meningkat. Tanpa evaluasi yang terukur, upaya perbaikan mutu benih akan bersifat reaktif dan tidak berbasis data, sehingga sulit direplikasi secara konsisten pada siklus produksi berikutnya.

Di sisi lain, tekanan pasar domestik dan global menuntut unit pembenihan untuk terus berinovasi, baik dari sisi genetik benih yang dihasilkan maupun efisiensi proses produksinya. Perkembangan bioteknologi dalam bidang akuakultur menghadirkan berbagai inovasi yang dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas unit pembenihan. Mulai dari program pemuliaan genetik hingga penerapan sistem otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT), berbagai teknologi tersebut kini semakin mudah diadopsi oleh *hatchery* skala kecil maupun menengah. Uji coba Pamungkassari dan rekan-rekannya pada 2023 menunjukkan bahwa pemanfaatan inovasi ini tidak hanya mampu meningkatkan produktivitas, tetapi juga membantu mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintetis, sehingga mendukung produksi benih yang lebih aman, ramah lingkungan, dan berkelanjutan. Bab ini membahas metode evaluasi keberhasilan produksi benih ikan secara kuantitatif, faktor-faktor penentu keberhasilannya, serta inovasi teknologi terkini yang dapat diterapkan untuk mendorong transformasi unit pembenihan menuju sistem yang lebih presisi dan berkelanjutan.

Secara umum, evaluasi dan inovasi produksi benih tidak dapat dipandang sebagai dua aktivitas yang terpisah. Data hasil evaluasi kinerja pada siklus produksi sebelumnya menjadi masukan utama untuk menentukan jenis inovasi yang paling relevan diterapkan pada siklus berikutnya, baik berupa penyesuaian padat tebar, penggantian sumber genetik induk, maupun adopsi teknologi otomasi baru. Siklus umpan balik (*feedback loop*) semacam ini menjadi ciri khas manajemen produksi modern yang berbasis bukti (*evidence-based management*),

sebagaimana telah banyak diterapkan pada sektor akuakultur komersial berskala menengah hingga besar di berbagai wilayah Indonesia.

A. Mengukur Keberhasilan Produksi Benih

Keberhasilan produksi benih dapat dinilai melalui sejumlah indikator kinerja yang diukur secara konsisten pada setiap siklus produksi. Menurut hasil uji coba milik Fauzan dan rekan-rekannya pada 2023, penggunaan indikator kuantitatif memungkinkan pembudi daya membandingkan hasil produksi dari waktu ke waktu maupun dengan unit pembenihan lain secara lebih objektif. Dalam uji coba lapangan tersebut, sebuah unit pembenihan ikan koi berhasil mencatat tingkat pembuahan (*fertilization rate*/FR) sebesar 90,71%, daya tetas (*hatching rate*/HR) sebesar 82,93%, serta tingkat kelangsungan hidup benih hingga umur 45 hari mencapai 91,75%. Capaian tersebut dapat dijadikan acuan atau *benchmark* bagi unit pembenihan lain dalam mengevaluasi efektivitas pengelolaan produksi dan menyusun strategi perbaikan pada siklus berikutnya.

Keberhasilan pemeliharaan benih umumnya diukur melalui beberapa indikator utama yang menggambarkan performa biologis dan efisiensi produksi. Salah satunya adalah tingkat kelangsungan hidup (*survival rate*/SR), yaitu persentase benih yang mampu bertahan hidup hingga akhir periode pemeliharaan. Rumus perhitungan SR yang masih banyak digunakan mengacu pada Effendie dalam publikasinya tahun 2002, dengan membandingkan jumlah ikan pada akhir pemeliharaan terhadap jumlah ikan saat awal penebaran. Selain itu, efisiensi penggunaan pakan dinilai melalui *Feed Conversion Ratio* (FCR), yaitu perbandingan antara total pakan yang diberikan dengan pertambahan biomassa ikan. Uji coba milik Riana dan rekan-rekannya pada 2019 menjelaskan bahwa semakin rendah nilai FCR, semakin efisien pakan dimanfaatkan untuk menghasilkan pertumbuhan. Berbagai indikator tersebut menjadi dasar evaluasi dalam menilai keberhasilan produksi benih pada setiap siklus pemeliharaan. Rangkuman indikator beserta formulasi perhitungannya disajikan pada Tabel 19.

Laju pertumbuhan spesifik atau *Specific Growth Rate* (SGR) turut menjadi indikator pelengkap yang penting, terutama untuk membandingkan performa pertumbuhan antarwadah maupun antarperlakuan dalam suatu uji coba produksi. Nilai SGR dihitung berdasarkan logaritma natural dari bobot akhir dan bobot awal biota dibagi dengan lama waktu pemeliharaan, sehingga mampu menggambarkan laju pertumbuhan harian secara relatif meskipun bobot awal antarindividu bervariasi. Penggunaan kombinasi indikator SR, FCR, dan SGR secara simultan memberikan gambaran yang jauh lebih komprehensif dibandingkan hanya mengandalkan satu parameter tunggal, karena ketiganya merepresentasikan dimensi

keberhasilan produksi yang berbeda, yaitu kelangsungan hidup, efisiensi pakan, dan kecepatan pertumbuhan.

Tabel 19 Indikator Utama Evaluasi Keberhasilan Produksi Benih Ikan

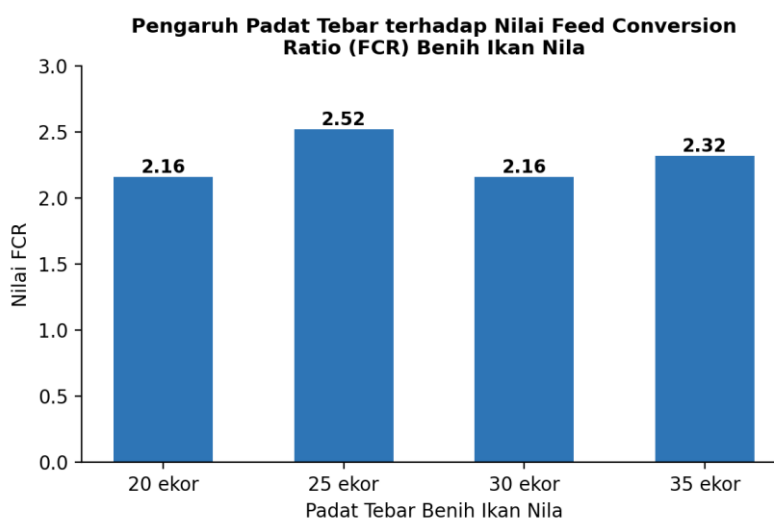
Indikator	Formulasi/Definisi	Interpretasi
<i>Fertilization Rate</i> (FR)	(Jumlah telur terbuahi / Jumlah telur total) x 100%	Menilai keberhasilan proses pembuahan pada pemijahan
<i>Hatching Rate</i> (HR)	(Jumlah telur menetas / Jumlah telur terbuahi) x 100%	Menilai kualitas inkubasi dan kondisi media penetasan
<i>Survival Rate</i> (SR)	(Nt / N0) x 100%	Menilai tingkat kelangsungan hidup benih selama pemeliharaan
<i>Feed Conversion Ratio</i> (FCR)	Jumlah pakan diberikan / Pertambahan bobot biomassa	Menilai efisiensi konversi pakan menjadi biomassa ikan
<i>Specific Growth Rate</i> (SGR)	$[(\ln W_t - \ln W_0) / t] \times 100\%$	Menilai laju pertumbuhan harian benih secara relatif

B. Faktor Penentu Keberhasilan Produksi

Keberhasilan produksi benih ditentukan oleh banyak faktor yang saling berkaitan, mulai dari mutu induk, kepadatan tebar, manajemen pakan, hingga kestabilan kualitas air. Uji coba Riana dan rekan-rekannya pada 2019 menunjukkan bahwa padat tebar yang terlalu tinggi dapat meningkatkan persaingan antarbenih dalam memperoleh ruang, oksigen, dan pakan. Kondisi tersebut tidak hanya menghambat pertumbuhan, tetapi juga menurunkan efisiensi pemanfaatan pakan. Di sisi lain, Gustiano dan rekan-rekannya pada 2020 menegaskan bahwa faktor genetik induk turut memengaruhi performa keturunan. Karena itu, evaluasi produksi sebaiknya tidak hanya berfokus pada kondisi lingkungan pemeliharaan, tetapi juga memperhatikan asal-usul dan kualitas genetik induk yang digunakan pada setiap siklus pemijahan.

Faktor nutrisi juga memiliki peran yang tidak kalah penting. Riana dan rekan-rekannya pada 2019 menjelaskan bahwa pakan dengan kandungan protein yang kurang memadai atau jadwal pemberian yang tidak konsisten dapat memicu perbedaan ukuran benih dalam satu populasi. Ketimpangan ukuran tersebut meningkatkan risiko kanibalisme, terutama pada spesies yang bersifat karnivora maupun omnivora agresif. Oleh sebab itu, evaluasi produksi akan memberikan hasil yang lebih akurat apabila data pertumbuhan benih dianalisis bersamaan

dengan catatan pemberian pakan, sehingga hubungan antara pola pemeliharaan dan hasil produksi dapat terlihat secara lebih jelas.



Gambar 28 Pengaruh Padat Tebar Terhadap Nilai *Feed Conversion Ratio* (FCR) Benih Ikan Nila

Terdapat hasil uji coba pada tahun 2019 terhadap benih ikan nila menunjukkan bahwa nilai *Feed Conversion Ratio* (FCR) paling efisien diperoleh pada padat tebar 20 dan 30 ekor per wadah uji. Sebaliknya, padat tebar 25 ekor menghasilkan nilai FCR yang lebih tinggi, menandakan pemanfaatan pakan kurang optimal. Temuan yang disajikan pada Gambar 28 tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara kepadatan tebar dan efisiensi pakan tidak selalu bersifat linier. Oleh karena itu, penentuan padat tebar ideal sebaiknya didahului dengan uji coba dalam skala terbatas agar dapat disesuaikan dengan kondisi dan sistem pemeliharaan yang digunakan.

Selain kepadatan tebar, kestabilan kualitas air juga menjadi faktor penting dalam mendukung pertumbuhan benih. Berdasarkan panduan yang dipublikasikan Dejeefish pada 2024, suhu ideal untuk pemeliharaan ikan nila berada pada kisaran 25-30°C dengan fluktuasi harian tidak lebih dari 3°C agar benih terhindar dari stres. Kadar nitrit pun perlu dipantau secara rutin karena akumulasinya dapat mengganggu kemampuan darah mengikat oksigen, terutama pada wadah dengan kepadatan tinggi. Di samping itu, kualitas genetik induk tetap menjadi fondasi utama keberhasilan produksi, sehingga program pemuliaan yang terencana mampu meningkatkan performa benih secara berkelanjutan.

Seluruh faktor tersebut akan lebih mudah dievaluasi apabila didukung oleh sistem pencatatan produksi yang tertib. Uji coba yang dilakukan oleh Fauzan dan rekan-rekannya pada 2023 menekankan pentingnya pencatatan harian mengenai penggunaan pakan, angka kematian, serta hasil pemantauan kualitas air. Data yang terdokumentasi dengan baik

memungkinkan teknisi *hatchery* mengenali kecenderungan perubahan performa sejak dini, sehingga tindakan perbaikan dapat segera dilakukan sebelum masalah berkembang menjadi kegagalan produksi yang lebih besar. Tanpa pencatatan yang konsisten, proses evaluasi hanya bersifat melihat ke belakang dan sulit dimanfaatkan sebagai dasar pengambilan keputusan pada siklus produksi berikutnya.

Manajemen Data dan Ketertelusuran Produksi

Salah satu perkembangan penting dalam praktik evaluasi produksi modern adalah penerapan sistem ketertelusuran (*traceability*) yang mendokumentasikan seluruh riwayat produksi benih, mulai dari asal-usul induk, tanggal pemijahan, hingga catatan kualitas air harian sepanjang siklus pemeliharaan. Sistem semacam ini tidak hanya bermanfaat untuk kepentingan evaluasi internal, tetapi juga menjadi persyaratan penting bagi *hatchery* yang menargetkan pasar ekspor atau kemitraan dengan distributor benih bersertifikat.

Digitalisasi pencatatan produksi, baik melalui aplikasi spreadsheet sederhana maupun sistem manajemen basis data yang lebih kompleks, memungkinkan analisis tren performa antarsiklus dilakukan secara lebih cepat dan akurat dibandingkan pencatatan manual berbasis kertas. Ketersediaan data historis yang terstruktur juga menjadi prasyarat penting apabila *hatchery* ingin mengembangkan model prediktif berbasis kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) di masa mendatang untuk mengestimasi hasil panen berdasarkan pola data produksi sebelumnya.

C. Inovasi Bioteknologi dalam Produksi Benih

Inovasi bioteknologi dalam produksi benih ikan berkembang pesat seiring meningkatnya kebutuhan akan benih unggul yang tumbuh cepat, tahan penyakit, dan memiliki keseragaman ukuran yang tinggi. Dua pendekatan utama yang banyak diterapkan di Indonesia adalah program pemuliaan genetik melalui seleksi famili serta rekayasa pembalikan kelamin (*sex reversal*) menggunakan bahan alami.

1. Seleksi Genetik dan Program Pemuliaan

Perkembangan program pemuliaan genetik telah menghasilkan berbagai varietas ikan nila unggul yang memiliki pertumbuhan lebih cepat dan kemampuan adaptasi yang lebih baik terhadap lingkungan budidaya. Ath-thar dan Gustiano pada 2010 melaporkan bahwa beberapa varietas nasional, seperti Nila BEST, Nila Nirwana, dan Nila Merah NIFI, merupakan hasil seleksi yang dirancang untuk meningkatkan produktivitas pembenihan. Proses tersebut

umumnya dilakukan melalui seleksi famili, yaitu membandingkan performa pertumbuhan dari sejumlah kelompok keturunan yang dipelihara secara terpisah. Arifin dan rekan-rekannya pada 2009 menjelaskan bahwa famili dengan nilai respons seleksi dan heritabilitas terbaik kemudian dipilih sebagai sumber induk bagi generasi berikutnya. Pendekatan serupa juga diterapkan dalam program *Genetically Improved Farmed Tilapia* (GIFT) yang, menurut Eknath dan Hulata pada 2009, terbukti mampu meningkatkan laju pertumbuhan ikan nila secara nyata setelah melalui beberapa generasi seleksi.

Arah pemuliaan tidak hanya difokuskan pada pertumbuhan, tetapi juga pada peningkatan kemampuan ikan beradaptasi terhadap lingkungan yang lebih beragam. Gustiano dan rekan-rekannya pada 2020 menunjukkan bahwa populasi nila merah hasil seleksi famili memiliki nilai heritabilitas bobot tubuh yang tergolong sedang hingga tinggi ketika diuji pada media bersalinitas 25-45 ppt. Temuan tersebut membuka peluang pengembangan budi daya nila di kawasan payau maupun pesisir. Agar program seleksi berjalan secara berkelanjutan, pencatatan performa induk dan keturunannya perlu dilakukan secara sistematis dari satu generasi ke generasi berikutnya, sehingga pengelolaan basis data digital menjadi bagian penting dalam mendukung program pemuliaan modern.

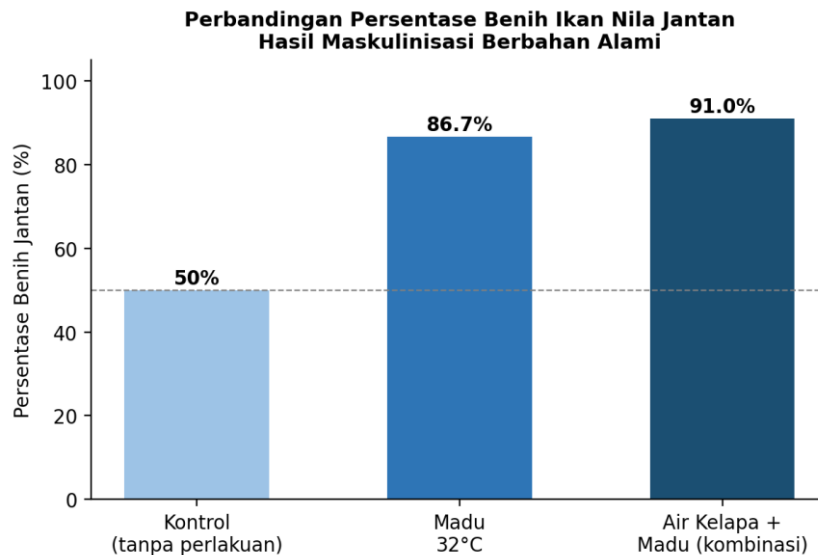
Selain mengandalkan seleksi berdasarkan penampilan fisik, teknologi pemuliaan kini juga memanfaatkan pendekatan molekuler untuk mempercepat identifikasi induk unggul. Menurut Gustiano dan rekan-rekannya pada 2020, penggunaan penanda genetik (*genetic marker*) dan analisis kromosom memungkinkan calon induk dengan sifat unggul dikenali sejak usia dini tanpa harus menunggu hasil pengujian lapangan selama beberapa generasi. Pendekatan ini membuat proses seleksi menjadi lebih cepat, lebih akurat, dan lebih efisien dalam menghasilkan populasi benih yang berkualitas.

2. Maskulinisasi Berbahan Alami

Salah satu inovasi yang banyak dikembangkan dalam pembenihan ikan nila adalah produksi benih monoseks jantan karena memiliki laju pertumbuhan lebih cepat dibandingkan betina, sehingga waktu pemeliharaan dapat dipersingkat dan hasil panen menjadi lebih optimal. Pamungkassari dan rekan-rekannya pada 2023 menjelaskan bahwa teknologi ini telah menjadi strategi penting untuk meningkatkan produktivitas budi daya nila di berbagai skala usaha.

Selama bertahun-tahun, proses maskulinisasi umumnya dilakukan menggunakan hormon sintetik 17α -metiltestosteron. Namun, penggunaannya kini semakin dibatasi karena dikhawatirkan meninggalkan residu yang berpotensi membahayakan keamanan pangan serta mencemari lingkungan perairan. Tomaso dan rekan-rekannya pada 2021 mencatat bahwa

kebijakan Kementerian Kelautan dan Perikanan mendorong pengurangan penggunaan hormon tersebut sekaligus mendorong pengembangan metode maskulinisasi yang lebih aman dan ramah lingkungan sebagai alternatif bagi industri pembenihan.



Gambar 29 Perbandingan Persentase Benih Ikan Nila Jantan Hasil Maskulinisasi Berbahan Alami

Seiring meningkatnya perhatian terhadap keamanan pangan dan keberlanjutan lingkungan, berbagai bahan alami mulai dikembangkan sebagai alternatif dalam proses maskulinisasi ikan nila. Uji coba yang dilakukan oleh Odara dan rekan-rekannya pada 2015 menunjukkan bahwa madu mengandung senyawa *chrysin* yang mampu menghambat kerja enzim aromatase, sehingga diferensiasi gonad larva lebih banyak mengarah pada pembentukan kelamin jantan. Hasil Tomaso dan rekan-rekannya pada 2021 memperlihatkan bahwa perendaman larva dalam larutan madu pada suhu 32°C mampu menghasilkan populasi jantan hingga 86,7%. Sementara itu, Wulandari dan rekan-rekannya pada 2023 melaporkan bahwa kombinasi madu dan air kelapa memberikan hasil yang lebih tinggi karena adanya efek sinergis dari kandungan fitohormon kedua bahan tersebut. Perbandingan efektivitas berbagai perlakuan tersebut disajikan pada Gambar 29.

Penggunaan bahan alami menawarkan sejumlah keunggulan, antara lain biaya yang lebih terjangkau, bahan baku yang mudah diperoleh, serta risiko residu yang jauh lebih rendah dibandingkan hormon sintetis. Meski demikian, Odara dan rekan-rekannya pada 2015 menegaskan bahwa keberhasilan metode ini masih dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti suhu inkubasi, umur larva saat perlakuan, dan lama perendaman. Karena itu, prosedur operasional perlu distandarkan agar hasilnya konsisten ketika diterapkan pada skala produksi.

Di sisi lain, Pamungkassari dan rekan-rekannya pada 2023 menjelaskan bahwa metode konvensional menggunakan hormon 17 α -metiltestosteron masih mampu menghasilkan persentase ikan jantan di atas 95% pada kondisi optimal. Oleh sebab itu, pengembangan teknik maskulinisasi berbahan alami saat ini terus diarahkan untuk mendekati tingkat efektivitas tersebut, namun tetap mengedepankan aspek keamanan pangan dan kelestarian lingkungan. Rangkuman berbagai pendekatan inovasi maskulinisasi beserta prinsip kerja dan hasil utamanya disajikan pada Tabel 20.

Tabel 20 Perbandingan Jenis Inovasi Produksi Benih Ikan Beserta Prinsip Kerja Dan Capaian Utamanya

Jenis Inovasi	Prinsip Kerja	Contoh Aplikasi	Capaian Utama
Seleksi genetik famili	Pemeliharaan famili terpisah, seleksi berdasarkan respons dan heritabilitas	Nila BEST, Nirwana, Merah NIFI	Pertumbuhan lebih cepat dan seragam
Maskulinisasi bahan alami	Perendaman larva dalam madu/air kelapa mengandung fitohormon	Benih nila monoseks jantan	Persentase jantan 86,7%–91%
<i>Monitoring</i> IoT	Sensor pH/suhu/DO terhubung mikrokontroler dan aplikasi seluler	Kolam nila, akuarium, sistem akuaponik	Deteksi dini penyimpangan kualitas air
RAS terintegrasi sensor	Filtrasi dan resirkulasi air otomatis dengan pemantauan real-time	Budi daya ikan koi bernilai ekonomis tinggi	Efisiensi penggunaan air dan stabilitas kualitas

3. Probiotik dan Pakan Fungsional

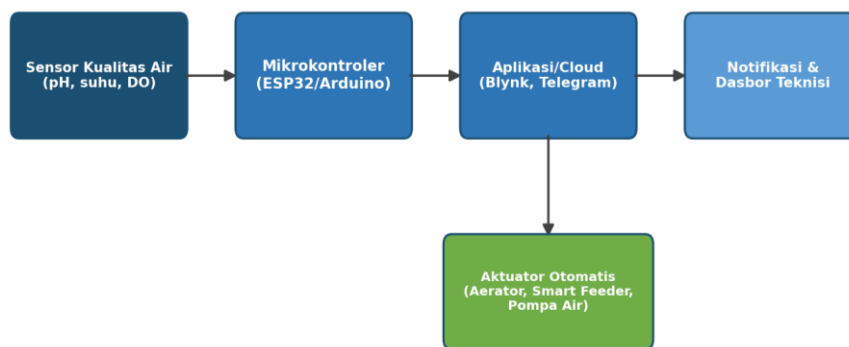
Selain rekayasa genetik dan manipulasi hormonal, inovasi produksi benih turut berkembang pada aspek nutrisi fungsional melalui pemanfaatan probiotik dan bahan pakan tambahan alami. Suplementasi probiotik pada pakan larva terbukti meningkatkan efisiensi pencernaan serta memperkuat sistem imun non-spesifik benih sejak fase awal kehidupan, sehingga menurunkan tingkat mortalitas akibat infeksi oportunistik pada masa kritis pascapenetasan.

Inovasi di bidang nutrisi juga semakin banyak dimanfaatkan untuk meningkatkan keberhasilan pembenihan. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah penggunaan pakan fungsional, yaitu pakan yang diperkaya dengan bahan alami, ekstrak herbal, maupun asam amino tertentu guna mendukung kesehatan dan performa benih. Uji coba Riana dan rekan-rekannya pada 2019 menunjukkan bahwa penambahan asam amino pada pakan buatan mampu menekan perilaku kanibalisme pada spesies yang rentan, seperti lobster air tawar dan beberapa jenis ikan predator. Perlakuan tersebut tidak hanya meningkatkan tingkat kelangsungan hidup, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan benih pada uji laboratorium.

Temuan tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan nutrisi tidak lagi sekadar berorientasi pada pemenuhan kebutuhan gizi, melainkan juga menjadi bagian dari strategi pengendalian perilaku dan peningkatan kesehatan ikan. Dengan demikian, pengembangan pakan fungsional melengkapi berbagai inovasi lain, seperti pemuliaan genetik dan teknologi reproduksi, dalam mendukung sistem pembenihan yang lebih produktif, efisien, dan berkelanjutan.

D. Digitalisasi dan Otomasi Produksi (*Smart Aquaculture*)

Transformasi digital pada sektor pembenihan ikan turut mendorong penerapan konsep akuakultur presisi (*precision aquaculture*), yaitu pendekatan produksi yang memanfaatkan sensor, data real-time, dan otomasi untuk mengoptimalkan pengambilan keputusan operasional harian. Sistem pemantauan kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) memungkinkan teknisi memantau parameter seperti suhu, pH, dan kadar oksigen terlarut secara jarak jauh melalui aplikasi seluler tanpa harus melakukan pengukuran manual berulang kali. Pendekatan ini secara signifikan mengurangi beban kerja teknisi yang sebelumnya harus melakukan pengecekan manual berkali-kali dalam sehari, sekaligus meminimalkan risiko keterlambatan deteksi penurunan kualitas air yang dapat berujung pada kematian massal benih, khususnya pada fase larva yang sangat sensitif terhadap fluktuasi lingkungan.



Gambar 30 Alur Sistem *Smart Hatchery* Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Perkembangan teknologi digital mendorong lahirnya konsep *smart hatchery*, yaitu sistem pembenihan yang memanfaatkan sensor dan perangkat otomatis untuk membantu mengelola produksi secara lebih efisien. Uji coba Setiawan dan rekan-rekannya pada 2024 menunjukkan bahwa integrasi *smart feeder* dengan sistem pemantauan kualitas air berbasis mikrokontroler mampu memberikan peringatan dini ketika parameter lingkungan berada di luar batas aman. Melalui sistem tersebut, data dari berbagai sensor diproses secara real time dan dapat diteruskan ke perangkat pengendali seperti aerator maupun pompa air. Alur kerja teknologi ini ditampilkan pada Gambar 30.

Digitalisasi juga berkembang melalui penerapan *Recirculating Aquaculture System* (RAS) yang dipadukan dengan teknologi *Internet of Things* (IoT). Lembang dan Kuing pada 2022 melaporkan bahwa kombinasi kedua teknologi tersebut mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air pada budi daya ikan hias, termasuk ikan koi, sekaligus menjaga kestabilan parameter kualitas air selama proses pemeliharaan. Selain mengurangi kebutuhan tenaga kerja, sistem ini menghasilkan rekaman data produksi yang dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi kinerja dan menyusun strategi budi daya pada siklus berikutnya.

Keunggulan lain dari sistem berbasis IoT adalah kemampuannya mempercepat respons terhadap kondisi darurat. Setiawan dan rekan-rekannya pada 2024 menjelaskan bahwa ketika sensor mendeteksi penurunan oksigen terlarut atau perubahan kualitas air yang berpotensi membahayakan benih, sistem dapat segera mengirimkan notifikasi melalui aplikasi seperti Blynk atau Telegram. Dengan informasi yang diterima secara langsung, teknisi dapat segera mengaktifkan aerator cadangan atau melakukan tindakan korektif lainnya tanpa harus menunggu pemeriksaan di lokasi. Respons yang cepat seperti ini sangat penting, terutama pada fase larva yang memiliki tingkat sensitivitas tinggi terhadap perubahan kualitas air.

E. Tantangan dan Arah Pengembangan

Meskipun potensinya besar, adopsi inovasi bioteknologi dan digitalisasi pada unit pembenihan skala kecil dan menengah di Indonesia masih menghadapi berbagai kendala struktural, di antaranya keterbatasan modal investasi awal, minimnya literasi teknologi digital di kalangan pembudidaya, serta ketergantungan pada komponen elektronik impor untuk perangkat sensor IoT. Pendampingan teknis dari lembaga riset dan penyuluhan perikanan, seperti Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan Kementerian Kelautan dan Perikanan, menjadi kunci penting untuk mempercepat difusi inovasi ini ke tingkat pembudi daya akar rumput.

Seiring berkembangnya berbagai inovasi di bidang pembenihan, tantangan yang dihadapi tidak lagi sebatas pada penguasaan teknologi, tetapi juga pada penyusunan prosedur operasional yang baku. Uji coba Wulandari dan rekan-rekannya pada 2023 menunjukkan bahwa efektivitas metode maskulinisasi berbahan alami masih bervariasi karena dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi bahan, suhu perlakuan, serta lama perendaman yang digunakan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa setiap unit pembenihan perlu melakukan pengujian dan penyesuaian sebelum teknologi tersebut diterapkan secara luas dalam skala produksi.

Tantangan serupa juga dijumpai pada penerapan teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT). Selain mempertimbangkan biaya investasi, keandalan sensor dalam penggunaan jangka panjang menjadi faktor yang tidak dapat diabaikan, terutama ketika perangkat harus beroperasi di lingkungan tropis yang lembap dan bersifat korosif. Oleh karena itu, keberhasilan adopsi teknologi tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan sistem yang digunakan, tetapi juga oleh kesiapan infrastruktur, pemeliharaan perangkat, serta kemampuan teknisi dalam mengoperasikan dan mengkalibrasi peralatan secara rutin. Ke depan, kombinasi antara program pemuliaan genetik berkelanjutan, metode sex reversal berbahan alami yang ramah lingkungan, suplementasi nutrisi fungsional, dan otomasi berbasis data akan menjadi empat pilar utama transformasi industri pembenihan ikan nasional menuju sistem produksi yang lebih presisi, efisien, dan berdaya saing global.

Evaluasi keberhasilan produksi benih ikan yang dilakukan secara konsisten melalui indikator kuantitatif seperti FR, HR, SR, dan FCR memungkinkan pelaku usaha *hatchery* mengidentifikasi titik lemah dalam proses produksinya secara objektif dan berbasis data. Faktor padat tebar, kualitas induk, dan kestabilan parameter kualitas air terbukti saling berkaitan dalam menentukan efisiensi produksi secara keseluruhan.

Inovasi bioteknologi, mulai dari program pemuliaan genetik yang menghasilkan varietas unggul nasional hingga metode maskulinisasi berbahan alami yang ramah lingkungan, memberikan alternatif yang lebih berkelanjutan dibandingkan pendekatan konvensional

berbasis hormon sintetik. Di sisi lain, digitalisasi melalui sistem pemantauan berbasis IoT dan otomasi pemberian pakan mempercepat transisi unit pembenihan menuju konsep akuakultur presisi yang lebih efisien. Sinergi antara evaluasi kinerja berbasis data dan adopsi inovasi teknologi yang berkelanjutan akan menjadi fondasi utama bagi peningkatan daya saing industri pembenihan ikan nasional di masa depan.

Pada akhirnya, transformasi unit pembenihan ikan skala kecil dan menengah menuju sistem produksi yang lebih presisi tidak dapat dicapai secara instan, melainkan memerlukan proses bertahap yang dimulai dari penguatan budaya pencatatan data harian yang konsisten. Begitu fondasi data tersebut terbangun, adopsi inovasi lanjutan seperti seleksi genetik terarah, otomasi berbasis IoT, maupun analisis prediktif berbasis kecerdasan buatan akan jauh lebih mudah diimplementasikan secara efektif dan memberikan dampak nyata terhadap produktivitas serta keberlanjutan usaha pembenihan ikan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningrum, D. R., Prayitno, S. B., & Sarjito, S. (2022). Pemanfaatan fitoterapi berbasis tanaman herbal untuk pengendalian penyakit pada budidaya ikan: Tinjauan literatur. *Jurnal Sains Akuakultur Tropis*, 6(2), 45–56.
- Adnan, N., Amrullah, S. H., & Hamka, H. (2022). Teknik pemeliharaan induk ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) di Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Takalar, Sulawesi Selatan. *Filogeni: Jurnal Mahasiswa Biologi*, 2(3), 69–75.
- Afriani, D. T. (2016). Peranan pembenihan ikan dalam usaha budidaya ikan. *Jurnal Warta*, 49, 1–9.
- Agustinus, Hardi, E. H., & Saptiani, G. (2023). Teknik pemijahan buatan pada ikan patin siam (*Pangasianodon hypophthalmus*) di Balai Benih Ikan Gohong Pulang Pisau. *Jurnal Ilmu Hewani Tropika*, 12(1), 1–7.
- Akbar, C., Utomo, D. S. C., Hudaidah, S., & Setyawan, A. (2020). Manajemen waktu dan jumlah pemberian pakan dalam meningkatkan pertumbuhan dan sintasan ikan gabus, *Channa striata* (Bloch, 1793). *Journal of Aquatropica Asia*, 5(1), 1–8.
- Alfath, R., Grandiosa, R., & Buwono, I. D. (2020). Pengaruh tingkat kepadatan telur yang berbeda terhadap embriogenesis, lama waktu penetasan, dan derajat penetasan telur ikan tawes. *Jurnal Sains Akuakultur Tropis*, 4(2), 129–138.
- Altiaara, M., Muslim, & Yulisman. (2016). Persentase penetasan telur ikan gabus (*Channa striata*) pada pH air yang berbeda. *Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia*, 4(2), 140–151.
- Alya, A. R., Aini, D. N., Hardiyanti, D., Hulid, M., & Sari, Y. P. (2024). Strategi pemasaran benih ikan dari Kantor Balai Benih Ikan Air Tawar Desa Genteng Kecamatan Genteng. *Gudang Jurnal Multidisiplin Ilmu*, 2(12), 1–10.
- Ananda, R., & Gusriansyah, G. (2023). Pemeliharaan larva abalon dengan pemberian jenis pakan berbeda. *South East Asian Water Resources Managements*, 2(2), 56–61.
- Andriani, R., Abdullah, N., Muchdar, F., & Marus, I. (2023). Pengkayaan vitamin E pada pakan komersial untuk peningkatan kematangan gonad ikan nila. *Journal of Fish Nutrition*, 3(1), 1–7.
- Andriyanto, S., Rahayu, D. R. U. S., & Kismiyati. (2020). Identifikasi bakteri patogen dan parasit penyebab penyakit pada ikan toman (*Channa micropeltes*). *Media Akuakultur*, 15(2), 89–96.

- Anton, A., Kurniaji, A., & Rahmina, R. (2024). Derajat penetasan telur ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang diinkubasi dengan kepadatan berbeda menggunakan inkubator sederhana (zoug jar). *Jurnal Salamata*, 6(1), 13–21.
- Ardyanti, R., Nindarwi, D. D., Sari, L. A., & Sari, P. D. W. (2023). Revenue cost analysis pada usaha pembenihan ikan lele Sangkuriang sebagai evaluasi profit DT Farm Group Jawa Barat. *Jurnal Agriuma*, 5(2), 62–73. <https://doi.org/10.31289/agri.v5i2.9305>
- Arfah, H., Melati, & Setiawati, M. (2013). Suplementasi vitamin E dengan dosis berbeda pada pakan terhadap kinerja reproduksi induk betina ikan komet (*Carassius auratus*). *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 12(1), 14–18.
- Arifin, O. Z., Ath-thar, M. H. F., & Gustiano, R. (2009). Aplikasi rekayasa genetik pada ikan budidaya. *Media Akuakultur*, 4(1), 1–8.
- Ariyanto, D., Haryadi, J., Palimirmo, F. S., Suharyanto, & Himawan, Y. (2023). Ketahanan ikan mas hibrida Majalaya $\times$ Sutisna terhadap infeksi *Aeromonas hydrophila* dan cekaman lingkungan abiotik. *Jurnal Riset Akuakultur*, 18(1), 1–10.
- Aryani, N., Efawani, & Nofrizal. (2004). Prevalensi parasit dan penyakit ikan air tawar yang dibudidayakan di Kota/Kabupaten Kupang. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 9(2), 112–120.
- Aslianti, T., Nasukha, A., & Priyono, A. (2012). Peningkatan kualitas dan produksi benih ikan bandeng, *Chanos chanos* Forsskal melalui perbaikan manajemen pemeliharaan larva. *Prosiding Indoaqua–Forum Inovasi Teknologi Akuakultur*, 117–125.
- Astuti, D. A., Setiawan, B. D., & Pramono, H. (2023). Pengaruh suplementasi vitamin E terhadap profil hormon reproduksi lobster air tawar (*Cherax quadricarinatus*). *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 22(1), 45–57.
- Ath-thar, M. H. F., & Gustiano, R. (2010). Riset perbaikan genetik ikan nila melalui salinitas. *Media Akuakultur*, 5(1), 1–7.
- Badan Karantina Indonesia. (2025). *Perkuat biosekuriti dan digitalisasi: Barantin dan NFQS Korea Selatan tanda tangani MRA dan LoI E-Cert*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Badan Pengendalian dan Pengawasan Mutu Hasil Kelautan dan Perikanan. (2024). *Keputusan Kepala BPPMHKP Nomor 32 Tahun 2024 tentang Pedoman Sanitasi dan Higiene Unit Pembenihan*. Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 8035:2019 tentang cara pembenihan ikan yang baik*. Badan Standardisasi Nasional.
- Boyd, C. E. (2015). *Water quality: An introduction* (2nd ed.). Springer.

- Cahyanti, W., Subagja, J., & Arifin, O. Z. (2021). Performa reproduksi dan larva ikan gabus (*Channa striata* Blkr) dengan beberapa teknik pemijahan. *Jurnal Riset Akuakultur*, 16(2), 95–104.
- Cahyono, B. (2001). *Budidaya ikan di perairan umum*. Kanisius.
- Dana, D., Sumantadinata, K., & Taufik, P. (2002). Infeksi *Trichodina* sp. pada benih ikan air tawar dan penanggulangannya. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 1(1), 25–31.
- David, F. R. (2006). *Strategic management: Concepts and cases* (10th ed.). Prentice Hall.
- Dejeefish. (2024). *Faktor yang memengaruhi survival rate pada pembesaran ikan nila*. Pusat Benih Ikan.
- Dewi, A. F. (2024). Hydrolysed fish peptide, turmeric and garlic powder supplementation to reducing *Vibrio* bacteria in *Litopenaeus vannamei*. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(2), 210–219.
- Diana, F., Rahmatia, S., & Diansyah, S. (2017). Pengendalian jamur *Saprolegnia* sp. pada telur ikan tawes (*Puntius javanicus*) menggunakan ekstrak daun bunga tahi ayam (*Tagetes erecta* L.). *Jurnal Perikanan Tropis*, 4(2), 101–113.
- Direktorat Jenderal Perikanan Budi Daya. (2025). *Rencana strategis Direktorat Jenderal Perikanan Budi Daya tahun 2025–2029*. Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia.
- Effendi, H. (2003). *Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan*. Kanisius.
- Effendie, M. I. (2002). *Metode biologi perikanan*. Yayasan Pustaka Nusantara.
- Eknath, A. E., & Hulata, G. (2009). Use and exchange of genetic resources of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Reviews in Aquaculture*, 1(3–4), 197–213. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2009.01017.x>
- Elena, M., Haqiqiansyah, G., & Darmansyah, O. (2023). Analisis kelayakan finansial usaha pembenihan ikan lele Sangkuriang (*Clarias gariepinus*) di Desa Karang Tunggal Kecamatan Tenggarong Seberang. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(1), 4229–4235. <https://doi.org/10.31004/jptam.v7i1.5913>
- Elinah, E., & Sandisasmita, P. (2024). Pengaruh penggunaan sistem resirkulasi akuakultur (RAS) terhadap kualitas air dan produksi ikan. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*, 7(3), 9388–9393. <https://doi.org/10.31004/jrpp.v7i3.31258>
- Fahman, M. (2019). *Analisis kesesuaian lahan untuk pengembangan kawasan perkotaan berkelanjutan di Kabupaten Sampang* [Skripsi, Universitas Brawijaya]. Repository Universitas Brawijaya.

- Fauzan, A. L., et al. (2024). Analisis produksi dan distribusi pembenihan ikan koi (*Cyprinus carpio*) berdasarkan sebaran kualitas seleksi di Omah Koi Farm Indonesia. *Berita Biologi*.
- Fauzan, Nurdin, M. S., & Marimba. (2023). Sistem evaluasi dan manajemen produksi benih ikan koi (*Cyprinus carpio*) di Omah Koi Farm Indonesia. *Octopus: Jurnal Ilmu Perikanan*, 12(2), 88–97.
- Fauzzia, M., Rahmawati, I., & Widiasta, I. N. (2013). Penyisihan amoniak dan kekeruhan pada sistem resirkulasi budidaya kepiting dengan teknologi membran biofilter. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2(2), 155–161.
- Firdausi, S. L. Y., & Mubarak, A. S. (2021). Manajemen pendederan ikan kerapu cantang (*Epinephelus fuscoguttatus-lanceolatus*) pada bak beton di Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Kabupaten Situbondo, Provinsi Jawa Timur. *Journal of Marine and Coastal Science*, 10(3), 129–140.
- Ghazalee, F. S., Hashim, R., & Ramli, N. (2019). Potensi tanaman lempuyang (*Zingiber zerumbet*) sebagai imunostimulan pada ikan. *Jurnal Veteriner dan Ilmu Peternakan*, 5(1), 33–40.
- Ghufran, M. (2007). *Budi daya perairan buku kesatu*. Citra Aditya Bakti.
- Gupta, S., et al. (2024). Recent developments in recirculating aquaculture systems: A review. *Aquaculture Research*, 2024, Article 6096671. <https://doi.org/10.1155/are/6096671>
- Gustiano, R., Kusmini, I. I., & Arifin, O. Z. (2020). Identifikasi kromosom ikan nila (*Oreochromis niloticus*) strain merah Jatimbulan dan Larasati yang diambil dari lokasi berbeda. *Jurnal Riset Akuakultur*, 15(2), 65–74.
- Hadijah, S., Aslianti, T., & Priyono, A. (2017). Kebutuhan nutrisi dan manajemen pakan induk ikan bandeng (*Chanos chanos*). *South East Asian Aquaculture*, 2(1), 12–18.
- Hamdani, H., Zahidah, & Herawati, T. (2024). Identifikasi ektoparasit monogenea pada komoditas ikan air tawar di sentra pembenihan. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 14(1), 55–63.
- Hamka, M. S., Meryandini, A., Widanarni, & Kurniaji, A. (2021). Efek probiotik *Bacillus megaterium* PTB 1.4 dan *Pediococcus pentosaceus* E2211 terhadap respons imun dan kelangsungan hidup ikan lele (*Clarias* sp.) selama uji tantang *Aeromonas hydrophila*. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 5(3), 567–577. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2021.005.03.9>
- Hasan, H., Farida, F., & Suherman, S. (2016). Pemijahan ikan biawan (*Helostoma temminckii*) secara semi buatan dengan rasio jantan yang berbeda terhadap fertilisasi, daya tetas

- telur, dan sintasan larva. *Jurnal Ruaya: Jurnal Penelitian dan Kajian Ilmu Perikanan dan Kelautan*, 4(1), 1–8.
- Hendriana, A., Fajar, R., Andri, I., Munawar, A. S., & Lugina, D. (2021). Metode pembenihan ikan koi *Cyprinus carpio* dalam menghasilkan benih berkualitas di Mizumi Koi Farm, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 2(1), 17–26.
- Heriyanto, H., et al. (2020). Analisis kelayakan usaha pembenihan ikan papuyu (*Anabas testudineus*) di Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Sosek Kelautan dan Perikanan*, 15(1), 45–56.
- Himawan, Y., Syahputra, K., & Ariyanto, D. (2017). Performa pembesaran ikan mas Rajadanu (*Cyprinus carpio*) generasi ketiga hasil seleksi "walkback". *Jurnal Riset Akuakultur*, 12(2), 121–129.
- Hu, Y., Chen, Q., Chen, J., Chen, W., Wang, J., Lin, H., Chen, G., Xiao, J., Lin, H., Feng, W., & Wang, J. (2025). From broodstock to progeny: Genetic variation in captive-bred F1 *Bahaba taipingensis* and its relevance to conservation release programs. *Diversity*, 17(10), Article 676. <https://doi.org/10.3390/d17100676>
- Ihwan, R., Renitasari, D. P., Saridu, S. A., Usman, Z., Kurniaji, A., & Rahman, S. (2022). Studi komparasi performa pemijahan induk ikan mas (*Cyprinus carpio*) menggunakan metode pemijahan alami, semi buatan, dan buatan. *Intek Akuakultur*, 6(2), 112–129.
- Iskandar, A., Nurfauliyah, I., Hendriana, A., & Darmawangsa, G. M. (2021). Manajerial dan analisa usaha pembenihan ikan nila strain Sultana (*Oreochromis niloticus*) untuk meningkatkan performa benih ikan. *Jurnal Kemaritiman: Indonesian Journal of Maritime*, 2(1), 50–67.
- Iskandar, R., Subandiyono, & Pinandoyo. (2024). Evaluasi kualitas benih hasil induksi hormonal dengan mengimplementasikan Cara Pembenihan Ikan yang Baik. *Jurnal Perikanan Universitas Muhammadiyah Gresik*, 12(1), 40–49.
- Isnan, M. I. H., Juwanda, M., & Utami, S. N. (2024). Efisiensi pemasaran benih ikan nila pada Balai Benih Ikan (BBI) Desa Malahayu Kabupaten Brebes. *Universitas Veteran Bangun Nusantara Journal of Agribusiness, Social and Economic*, 4(2), 1–9. <https://doi.org/10.32585/jase.v4i2.5576>
- Kadir, I., Patang, & Ernawati. (2023). Pengaruh ekstrak daun kelor untuk mencegah jamur *Saprolegnia* sp. pada telur ikan nila. *Jurnal Lemuru: Jurnal Ilmu Perikanan dan Kelautan Indonesia*, 5(3), 423–435.
- Kartika Sari, Mahyuddin, T., & Supritiswendi. (2024). Analisis kelayakan finansial usaha pembenihan ikan nila Larasati (*Oreochromis niloticus*) studi kasus usaha Bapak Malik

- di Desa Kotalintang Aceh Tamiang. *Grafting: Jurnal Ilmiah Ilmu Pertanian*, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.35457/grafting.v14i1.3247>
- Kasmir, & Jakfar. (2009). *Studi kelayakan bisnis* (5th ed.). Kencana Prenada Media Group.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. (2016). *Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 35 Tahun 2016 tentang Pembenihan Ikan*.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. (2018). *Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan tentang usaha pembudidayaan ikan dengan Cara Pembenihan Ikan yang Baik (CPIB) dan Cara Budidaya Ikan yang Baik (CBIB)*.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. (2024). Menteri Trenggono berhasil tingkatkan produksi perikanan budi daya 13,6% di 2024. <https://kkp.go.id/news/news-detail/menteri-trenggono-berhasil-tingkatkan-produksi-perikanan-budi-daya-136-di-2024-vQq0.html>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. (2024). *Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 21 Tahun 2024 tentang Sistem Perbenihan Ikan Nasional*.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2016). *Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 35/PERMEN-KP/2016 tentang Cara Pembenihan Ikan yang Baik*. Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2019). *Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 9/PERMEN-KP/2019 tentang Instalasi Karantina Ikan*. Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2021). *Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 29 Tahun 2021 tentang Sistem Ketertelusuran dan Logistik Ikan Nasional*. Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2024). *Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2024 tentang Sistem Perbenihan Ikan Nasional*. Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia.
- Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. (2015). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2015 tentang Penetapan Garis Sempadan Sungai dan Garis Sempadan Danau*.
- Khairuman, & Amri, K. (2003). *Membuat kolam ikan*. AgroMedia Pustaka.
- Khairuman, & Amri, K. (2008). *Peluang usaha dan teknik budidaya nila*. AgroMedia Pustaka.
- Khairunnisa, & Mujtahidah, T. (2022). Studi pengamatan pemijahan metode semi alami parameter fekunditas, pembuahan, daya tetas telur dan sintasan larva ikan koi (*Cyprinus*

- carpio*) di Desa Perbarakan, Deli Serdang. *AQUACOASTMARINE: Journal of Aquatic and Fisheries Sciences*, 1(1), 1–6. <https://doi.org/10.32734/jafs.v1i1.8610>
- Khoo, L., Dennis, P. M., & Lewbart, G. A. (1998). Rhabdovirus infection in goldfish (*Carassius auratus*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 29(3), 249–255.
- Kismiyati, Rahayu, D. R. U. S., & Kusnoto. (2016). Identifikasi bakteri *Vibrio* spp. dan *Edwardsiella* spp. pada komoditas perikanan payau. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 8(1), 15–22.
- Kordi, K. M. G. H. (2010). *Budi daya perairan buku kesatu* (2nd ed.). Citra Aditya Bakti.
- Lembang, M. S., & Kuing, L. (2022). Efektivitas pemanfaatan sistem resirkulasi akuakultur (RAS) terhadap kualitas air dalam budidaya ikan koi (*Cyprinus rubrofasciatus*). *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 12(2), 105–112. <https://doi.org/10.24319/jtpk.12.105-112>
- Lestari, B., Syarif, A. F., Permatasari, S., & Kurniawan, A. (2024). Kinerja reproduksi ikan seluang (*Brevibora dorsiocellata*) dengan suplementasi vitamin E dalam pakan. *Journal of Aquatropica Asia*, 9(2), 92–100.
- Lestari, D. F., & Syukriah, S. (2020). Manajemen stres pada ikan untuk akuakultur berkelanjutan. *JAMI: Jurnal Ahli Muda Indonesia*, 1(1), 96–105.
- Li, J., et al. (2023). A review of influencing factors on a recirculating aquaculture system: Environmental conditions, feeding strategies, and disinfection methods. *Journal of the World Aquaculture Society*.
- Lukman, L., Yuliana, Y., & Rahmayati, R. (2021). Penerapan fungsi manajemen perencanaan pembenihan ikan mas (*Cyprinus carpio* L) di Instalasi Pengembangan Ikan Air Tawar (IPIAT) Lajoa Kabupaten Soppeng. *Agrokompleks*, 21(2), 11–16.
- Lusiastuti, A. M. (2022). *Inovasi pengembangan vaksin untuk budidaya ikan air tawar berkelanjutan*. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).
- Ningrum, D. R. K., Budi, D. S., & Sulmartiwi, L. (2019). Induksi pemijahan ikan wader pari (*Rasbora argyrea*) menggunakan OvaprimTM dengan dosis berbeda. *Depik Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 8(2), 117–124.
- Nurhayati, Thaib, A., & Irmayani. (2018). Efektifitas penambahan vitamin E dalam ransum pakan terhadap tingkat kematangan gonad induk ikan cupang (*Betta splendens*). *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 5(1), 19–22.
- Nurtyas, N. V., Harijono, T., Nazran, & Shofa, S. (2025). Teknik pendederan ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) pada bak fiber glass di PT Suri Tani Pemuka Karangtekok, Situbondo, Jawa Timur. *Jurnal Bisnis Mahasiswa*, 5(3), 1466–1476.

- Odara, S. S., Watung, J. C., & Sinjal, H. J. (2015). Maskulinisasi larva ikan nila (*Oreochromis niloticus*) melalui penggunaan madu dengan konsentrasi berbeda. *Jurnal Budidaya Perairan*, 3(2), 1–6. <https://doi.org/10.35800/bdp.3.2.2015.8320>
- Pamungkassari, A. T., Febriani, D., & Verdian, A. H. (2023). Maskulinisasi ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan menggunakan larutan madu (*Apis mellifera* Linneus). *Jurnal Ilmiah Perikanan*, 4(1), 1–7.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Bidang Kelautan dan Perikanan*.
- Pertiwi, R. P. C. (2024). *Evaluasi siklus reproduksi ikan cupang (Betta splendens) di bawah rejim fotoperiod: Kontribusi dalam peningkatan produksi budidaya* [Disertasi doktoral, Universitas Diponegoro].
- Prajayanti, V. T. F., Prama, E. A., Arif, G. N., & Pietoyo, A. (2023). Pengaruh pasang surut pada pembenihan ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) secara alami. *Buletin Teknik Litkayasa Akuakultur*, 10(2), 85–89.
- Putra, A., Ilham, I., Rukmono, D., Aini, S., Larasati, R. F., & Suriadin, H. (2023). Peningkatan produktivitas budidaya udang vaname sistem intensif melalui pendekatan Kaizen. *Sains Akuakultur Tropis: Indonesian Journal of Tropical Aquaculture*, 7(2), 153–174.
- Putra, W. K. A. (2018). Kajian pemijahan ikan bawal bintang (*Trachinotus blochii*) secara induksi hormonal. *Intek Akuakultur*, 2(1), 54–62.
- Radiarta, I. N., Erlania, & Haryadi, H. (2018). Analisis kesesuaian dan daya dukung perairan untuk pengembangan budidaya rumput laut di Kabupaten Simeulue, Aceh. *Jurnal Segara*, 14(2), 79–90.
- Rangkuti, F. (2019). *Analisis SWOT: Teknik membedah kasus bisnis* (25th ed.). PT Gramedia Pustaka Utama.
- Renitasari, D. P., Yunarty, Y., & Asma, S. (2021). Percepatan waktu pemijahan induk udang vaname dengan metode manipulasi lingkungan. *Jurnal Airaha*, 10(2), 202–212.
- Riana, M., Isma, M. F., & Syahril, M. (2019). Pengaruh perbedaan padat tebar terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup benih ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Median*, 11(2), 45–55.
- Rizal, A., et al. (2019). Analisis strategi pemasaran benih ikan patin (*Pangasius* sp.) di Pembenihan Ikan Farm Ita, Jakarta Selatan. *Jurnal Akuatika Indonesia*, 4(1), 17–23. <https://doi.org/10.24198/jaki.v4i1.23485>

- Rozi, A., Ramadhani, F., & Pratama, D. (2025). Penerapan Recirculating Aquaculture System (RAS) pada kolam bundar budidaya ikan nila. *Bima Abdi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 5(1), 200–210.
- Ruliaty, L. (2023). Kaji terap pengkayaan pakan induk ikan bandeng (*Chanos chanos* Forsskal) untuk meningkatkan performa hasil pembenihan. *Jurnal Ilmu Perikanan dan Kelautan*, 5(2), 265–279.
- Rustadi. (2002). Pengaruh suhu air terhadap daya tetas telur dan perkembangan larva nila merah (*Oreochromis* sp.). *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 4(2), 22–29.
- Samsundari, S., & Wirawan, G. A. (2013). Analisis penerapan biofilter dalam sistem resirkulasi terhadap mutu kualitas air budidaya ikan sidat. *Jurnal Gamma*, 8(2), 100–108.
- Sarjito, Haditomo, A. H. C., & Prayitno, S. B. (2013). *Buku pengantar parasit dan penyakit ikan*. Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Sau, F., Sarma, M., & Trilaksani, W. (2017). Penerapan Cara Pembenihan Ikan yang Baik dalam meningkatkan kinerja UMKM pembenihan udang di Kabupaten Barru, Provinsi Sulawesi Selatan. *Manajemen IKM: Jurnal Manajemen Pengembangan Industri Kecil Menengah*, 12(1), 15–24. <https://doi.org/10.29244/mikm.12.1.15-24>
- Segal, B. (2008). Biosecurity in aquaculture: Principles and practice. *Journal of Applied Aquaculture*, 20(3), 155–170.
- Setiawan, A., Hendriana, A., Ramdan, Siknun, A. Z., Rayhan, Latifah, N. S., Azri, A. M., & Aganindra, R. K. (2024). Alat pemberian pakan ikan otomatis dan monitoring kualitas air berbasis IoT. *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*, 8(1), 215–221.
- Setiawati, S., & Yunus, Y. (2006). Penggunaan rotifer sebagai pakan alami pada pemeliharaan larva. *Jurnal Perikanan (Journal of Fisheries Sciences)*, 8(1), 135–141.
- Sinjal, H. (2011). Pengaruh substrat ijuk dan *Hydrilla* sp. terhadap derajat pembuahan dan penetasan telur ikan mas. *Jurnal Perikanan dan Kelautan Tropis*, 7(1), 32–35.
- Sinjal, H. (2014). Efektifitas Ovaprim terhadap lama waktu pemijahan, daya tetas telur, dan sintasan larva ikan lele dumbo, *Clarias gariepinus*. *E-Journal Budidaya Perairan*, 2(1), 14–21.
- Snieszko, S. F. (1973). The effects of environmental stress on outbreaks of infectious diseases of fishes. *Journal of Fish Biology*, 6(2), 197–208. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1974.tb04537.x>
- Stanton, W. J. (2019). *Fundamentals of marketing* (14th ed.). McGraw-Hill.
- Sumantadinata, K. (1981). *Pengembangbiakan ikan-ikan peliharaan di Indonesia*. Sastra Hdaya.

- Sumarni, S. (2018). Penerapan fungsi manajemen perencanaan pembenihan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) untuk menghasilkan benih ikan yang berkualitas. *Jurnal Gallung Tropika*, 7(3), 178–186.
- Sumolang, C., Kalesaran, O. J., & Mokolensang, J. F. (2025). Penerapan K3 dan biosecurity dalam budidaya ikan air tawar di Kampung Bunglawang, Kecamatan Tabukan Tengah. *VivaBio: Jurnal Vokasi Ilmu Biologi*, 6(1), 20–29.
- Susanto, H. (1996). *Beberapa metode pembenihan ikan air tawar*. Kanisius.
- Sutisna, D. H., & Sutarmanto, R. (1995). *Pembenihan ikan air tawar*. Kanisius.
- Suwarsito, & Mustafidah, H. (2011). Sistem pakar diagnosa penyakit ikan air tawar menggunakan metode forward chaining. *Jurnal Teknik Informatika*, 4(2), 88–97.
- Syah, R., Effendi, I., & Faizah, R. (2025). Strategi berbasis SWOT untuk meningkatkan biosekuriti pada perusahaan importir ikan koi. *Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 17(2), 145–158.
- Syahputra, K., Himawan, Y., Ariyanto, D., & Palimirmo, F. S. (2016). Pewarisan marka Cyca-DAB1*05 dan keragaman genetik ikan mas (*Cyprinus carpio*) strain Rajadanu tahan infeksi koi herpesvirus dan tumbuh cepat. *Jurnal Riset Akuakultur*, 11(2), 115–123.
- Tahapari, E. (2019). Penambahan vitamin E dalam pakan terhadap kualitas reproduksi induk ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Riset Akuakultur*, 14(4), 243–252. <https://doi.org/10.15578/jra.14.4.2019.243-252>
- Tampubolon, T. (2025). Kelola limbah tambak: Model IPAL tiga kolam pada Balai Perikanan Budidaya Air Payau. *Info Akuakultur*, 11(127), 10–15.
- Tarigan, N., Supriatna, I., Setiadi, M. A., & Affandi, R. (2017). Pengaruh vitamin E dalam pakan terhadap pematangan gonad ikan nilam (*Osteochilus hasselti*, CV). *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 19(1), 1–9.
- Tomasoa, A. M., Kalesaran, O. J., & Watung, J. C. (2021). Efektivitas perendaman madu dengan suhu berbeda terhadap maskulinisasi larva ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Ruaya*, 9(2), 30–37.
- Wibowo, A., Nugraha, D. S., & Sari, R. P. (2022). Sensitivitas larutan daun ketapang (*Terminalia catappa* L.) terhadap bakteri *Aeromonas hydrophila*. *Jurnal Perikanan Terapan*, 6(1), 71–79.
- Wulandari, L. F., Marantika, A. K., Wulandari, D., & Fain, H. (2025). Manipulasi lingkungan terhadap tingkat fertilisasi dan penetasan ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) strain lokal dan strain Australia. *Journal of Aquatropica Asia*, 10(1), 94–99.

- Wulandari, S., Prasetyo, D., & Handayani, T. (2023). Pengaruh kombinasi air kelapa dan madu terhadap maskulinisasi ikan nila (*Oreochromis niloticus*) melalui metode perendaman. *Jurnal Perikanan dan Kelautan Terapan*, 8(1), 22–31.
- Zornu, J., Oyih, M., Binde, M., Viglo, J., Agbekporu, H., Nkansa, M., Tavornpanich, S., Norheim, K., Brun, E., & Cudjoe, K. S. (2023). Stakeholder perspectives on the 2023 Ghana National Aquaculture Development Plan: An integration within the ecosystem approach framework. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 3(6), 459–471.
- Zubaidah, A., Sari, L. A., & Handajani, H. (2024). Efikasi vaksin *Aeromonas hydrophila* terhadap imunitas ikan lele sangkuriang (*Clarias gariepinus*) dengan metode infiltrasi hiperosmotik. *Jurnal Riset Akuakultur*, 19(1), 31–44.

PROFIL PENULIS



Dr. Ir. Agussyarif Hanafie, M.Si., C.Ed. lahir di Banjarmasin pada 18 Agustus 1964. Beliau merupakan akademisi di bidang akuakultur yang mengabdikan kariernya sebagai dosen tetap pada Program Studi Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Lambung Mangkurat sejak tahun 1990. Pendidikan sarjana ditempuh pada Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan, Universitas Lambung Mangkurat dan diselesaikan pada tahun 1989. Selanjutnya, beliau meraih gelar Magister Sains dari Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada pada tahun 2004, serta menyelesaikan pendidikan doktor pada Program Doktor Ilmu Pertanian, Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat pada tahun 2023.

Selama berkiprah di dunia pendidikan tinggi, Dr. Agussyarif Hanafie aktif dalam bidang pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat, khususnya pada bidang akuakultur, pembenihan ikan, reproduksi ikan, serta pengelolaan sumber daya perikanan. Berbagai karya ilmiah telah dipublikasikan pada jurnal nasional maupun internasional, serta menjadi rujukan dalam pengembangan ilmu dan praktik akuakultur di Indonesia. Profil akademiknya dapat ditelusuri melalui SINTA ID 6037259, Scopus ID 58766162500, dan ORCID ID 0009-0000-4012-3265. Selain menghasilkan berbagai publikasi ilmiah, beliau juga telah menerbitkan sejumlah buku referensi dan buku ajar di bidang akuakultur, di antaranya *Biologi Reproduksi dan Teknik Pembenihan Ikan*, *65 Karya Inovatif Universitas Lambung Mangkurat*, *Wirausaha Akuakultur di Lahan Basah*, *Rekayasa Akuakultur*, *Bunga Rampai Akuakultur*, *Akuakultur Terpadu di Lingkungan Lahan Basah*, *Tata Kelola Perbenihan Ikan*, dan *Genetika Populasi Ikan*. Melalui berbagai karya tersebut, beliau terus berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, peningkatan kualitas pendidikan tinggi, serta kemajuan sektor perikanan dan akuakultur di Indonesia.