

Kurniati Umrah Nur

**SISTEM AKUAKULTUR TERPADU
KONSEP, DESAIN, DAN OPERASIONAL**

Akuakultur modern tidak lagi cukup dibangun di atas logika produksi tunggal. Tantangan keterbatasan air, tingginya biaya energi, penurunan kualitas lingkungan, tuntutan efisiensi, serta kebutuhan pangan yang terus meningkat menuntut lahirnya pendekatan baru yang lebih cerdas, lebih terintegrasi, dan lebih berkelanjutan. Buku ini hadir untuk menjawab kebutuhan tersebut melalui pembahasan menyeluruh tentang sistem akuakultur terpadu sebagai salah satu arah penting masa depan budidaya perikanan.

Disusun secara sistematis, buku ini mengulas prinsip dasar, desain, komponen biologis dan teknis, kualitas air, nutrisi, biofiltrasi, operasional sistem, kesehatan ikan dan tanaman, otomasi, efisiensi sumber daya, analisis ekonomi, hingga studi kasus internasional dan prospek pengembangannya di Indonesia. Pembaca diajak memahami bahwa sistem terpadu bukan sekadar menggabungkan ikan dengan tanaman atau komponen lain, tetapi membangun hubungan fungsional antarsubsistem agar air, nutrisi, energi, dan biomassa dapat dimanfaatkan secara lebih efisien dan bernilai.

Keunggulan buku ini terletak pada kemampuannya menjembatani teori dan praktik. Konsep-konsep ilmiah dijelaskan dengan bahasa akademik yang jelas dan mudah dipahami, sehingga cocok digunakan oleh mahasiswa, dosen, peneliti, penyuluh, praktisi, maupun pelaku usaha budidaya.

Selain menampilkan perkembangan mutakhir seperti aquaponik, IMTA, biofloc, RAS, sensor, dan sistem cerdas, buku ini juga menempatkan pembahasan dalam konteks tropis dan kebutuhan nyata pengembangan akuakultur di Indonesia.



ISBN 978-623-85633-91-1



9

786238

563944



Diterbitkan oleh:

IAIN Parepare Nusantara Press
Jl. Amal Bakti No. 8, Soreang, Parepare,
Sulawesi Selatan 91131
Email: publikasi@iainpare.ac.id
Website: ip2m.iainpare.ac.id

Kurniati Umrah Nur

**SISTEM AKUAKULTUR TERPADU
KONSEP, DESAIN, DAN OPERASIONAL**



IPN PRESS
2026



IAIN PAREPARE
NUSANTARA PRESS

Kurniati Umrah Nur

**SISTEM
AKUAKULTUR
TERPADU**

KONSEP, DESAIN, DAN OPERASIONAL



SISTEM AKUAKULTUR TERPADU

KONSEP, DESAIN, DAN
OPERASIONAL

Kurniati Umrah Nur, M.AppSc(ME)Hons.



Penerbit IPN Press

2026



SISTEM AKUAKULTUR TERPADU: Konsep, Desain, dan Operasional

Penulis

Kurniati Umrah Nur, M.AppSc(ME)Hons.

Editor

Muhammad Haramain

Desain Sampul

Muhammad Haramain

Layout

Muhammad Ihsan

Copyright IPN Press,
ISBN : 978-623-8563-94-4
430 hlm 15,5 cm x 23 cm
Cetakan I, Mei 2026

Diterbitkan oleh:
IAIN Parepare Nusantara Press
Jalan Amal Bakti No. 08 Soreang
Kota Parepare, Sulawesi Selatan 91132

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan
apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.
Dicetak oleh IAIN Parepare Nusantara Press, Parepare.



Kata Pengantar

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga buku ini dapat disusun dan dihadirkan sebagai salah satu ikhtiar akademik untuk memperkaya khazanah ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang teknologi dan manajemen sistem akuakultur terpadu. Buku ini lahir dari kesadaran bahwa dunia perikanan budidaya sedang berada pada titik perubahan yang sangat penting. Di satu sisi, kebutuhan terhadap pangan akuatik terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk, perubahan pola konsumsi, dan tuntutan pemenuhan gizi masyarakat. Di sisi lain, sektor budidaya menghadapi tekanan yang tidak ringan, seperti keterbatasan air, tingginya biaya energi, penurunan kualitas lingkungan, meningkatnya tuntutan efisiensi produksi, serta kebutuhan untuk menghadirkan sistem yang lebih tahan terhadap perubahan iklim dan gejolak ekonomi. Dalam konteks inilah sistem akuakultur terpadu muncul bukan sekadar sebagai alternatif teknis, tetapi sebagai arah baru yang lebih menjanjikan bagi masa depan produksi pangan akuatik.

Buku ini disusun dengan keyakinan bahwa pengembangan akuakultur modern tidak lagi cukup bertumpu pada logika produksi tunggal yang linear. Budidaya masa kini menuntut pendekatan yang lebih terintegrasi, lebih efisien, dan lebih bertanggung jawab terhadap lingkungan. Sistem akuakultur terpadu menawarkan kerangka yang memungkinkan air, nutrien, energi, dan biomassa dimanfaatkan secara lebih cermat melalui hubungan timbal balik antar komponen produksi, baik antara ikan dan tanaman, ikan dan mikroba, maupun antara komponen fed species dan extractive species dalam sistem multistrofik. Dengan demikian, sistem terpadu bukan hanya berbicara tentang bagaimana meningkatkan hasil, tetapi juga tentang bagaimana mengurangi kehilangan sumber daya, memulihkan nilai dari residu, dan membangun sistem budidaya yang lebih cerdas serta berkelanjutan.



Buku ini hadir untuk menjawab kebutuhan akan sumber rujukan yang komprehensif, sistematis, dan mudah dipahami oleh mahasiswa, dosen, peneliti, praktisi, penyuluh, serta pelaku usaha budidaya. Materi di dalamnya disusun dengan pendekatan akademik yang tetap berupaya menjaga keterbacaan, sehingga dapat menjadi jembatan antara teori dan praktik. Pembahasan dimulai dari prinsip dasar sistem akuakultur terpadu, pengelolaan kualitas air, biofiltrasi, nutrisi, desain dan operasional sistem, kesehatan organisme, otomasi dan sensor, efisiensi sumber daya, analisis ekonomi, studi kasus internasional, hingga prospek pengembangan di masa depan. Dengan susunan seperti ini, buku diharapkan tidak hanya berguna sebagai bahan ajar, tetapi juga sebagai pegangan konseptual dan praktis dalam merancang, mengevaluasi, dan mengembangkan sistem budidaya terpadu di berbagai konteks.

Penyusunan buku ini juga didorong oleh kebutuhan untuk menghadirkan rujukan yang lebih relevan bagi konteks tropis, termasuk Indonesia. Banyak literatur mengenai aquaponik, IMTA, RAS, biofloc, dan model integrasi lainnya berkembang pesat di tingkat global, tetapi tantangan di lapangan menunjukkan bahwa setiap sistem selalu memerlukan adaptasi sesuai kondisi lokal. Iklim tropis, ketersediaan air, akses energi, karakter lahan, pemilihan spesies lokal, struktur pasar, dan kapasitas teknologi menjadi faktor yang sangat menentukan keberhasilan implementasi di Indonesia. Oleh karena itu, buku ini tidak hanya menyajikan sintesis konsep dan temuan internasional, tetapi juga berupaya mengarahkan pembaca untuk melihat kemungkinan penerapannya secara lebih kritis, kontekstual, dan realistis.

Lebih jauh, buku ini disusun dengan semangat bahwa akuakultur tidak dapat dipisahkan dari agenda besar pembangunan berkelanjutan. Sistem budidaya yang efisien air, hemat nutrisi, tangguh terhadap perubahan lingkungan, dan mampu menghasilkan lebih dari satu bentuk nilai ekonomi merupakan kebutuhan mendesak pada masa sekarang. Dalam perspektif ini, sistem akuakultur terpadu memiliki posisi yang sangat strategis,



karena ia mempertemukan dimensi produksi, lingkungan, teknologi, ekonomi, dan kebijakan dalam satu kerangka yang utuh. Buku ini karena itu tidak hanya dimaksudkan sebagai penjelasan teknis mengenai sistem terpadu, tetapi juga sebagai undangan intelektual untuk memikirkan kembali arah pengembangan akuakultur yang lebih bertanggung jawab, inovatif, dan berkeadilan.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberi inspirasi, data, gagasan, dan dorongan intelektual dalam proses penyusunan buku ini. Terima kasih juga kepada para peneliti dan praktisi di berbagai negara yang karya-karyanya menjadi fondasi penting bagi pengembangan wacana sistem akuakultur terpadu, serta kepada lingkungan akademik yang terus menumbuhkan semangat untuk menghubungkan ilmu dengan kebutuhan nyata masyarakat.

Akhirnya, penulis berharap buku ini dapat memberi manfaat yang luas, tidak hanya bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan pembelajaran di perguruan tinggi, tetapi juga bagi penguatan praktik budidaya perikanan yang lebih efisien, produktif, dan berkelanjutan. Semoga buku ini menjadi bagian kecil dari ikhtiar bersama untuk membangun masa depan akuakultur Indonesia yang lebih tangguh, berdaya saing, dan berpihak pada keberlanjutan sumber daya.

Parepare, Agustus 2026

Penulis



Daftar Isi

Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	vi
BAB I	1
Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang Pengembangan Sistem Akuakultur Terpadu	1
1.2 Tantangan Akuakultur Konvensional	5
1.3 Paradigma Efisiensi Sumber Daya dan Ekonomi Sirkular.....	9
1.4 Posisi Sistem Akuakultur Terpadu dalam Pembangunan Pangan Berkelanjutan	13
1.5 Tujuan, Ruang Lingkup, dan Sistematika Buku	17
BAB II	21
Dasar-Dasar Sistem Akuakultur Terpadu	21
2.1 Definisi dan Karakteristik Sistem Terpadu	21
2.2 Prinsip Integrasi Biologis, Teknis, dan Ekologis	25
2.3 Aliran Air, Energi, Bahan Organik, Nitrogen, dan Fosfor.....	29
2.4 Hubungan Trofik dalam Sistem Budidaya	32
2.5 Keunggulan dan Keterbatasan Sistem Terpadu	36
BAB III Ragam Model Sistem Akuakultur Terpadu	41
3.1 Recirculating Aquaculture System (RAS).....	41
3.2 Aquaponik	45
3.3 Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA)	48
3.4 Integrated Aquaculture-Agriculture Systems (IAAS).....	52
3.5 FLOCponics dan Sistem Multi-loop	56
3.6 Model Berbasis Kolam, Tangki, dan Pesisir	60



3.7 Perbandingan Karakteristik Antar Model.....	64
BAB IV	71
Komponen Utama dan Infrastruktur Sistem	71
4.1 Unit Pemeliharaan Ikan dan Biota Akuatik	71
4.2 Unit Tanaman, Alga, atau Organisme Ekstraktif	74
4.4 Filtrasi Mekanik	81
4.5 Filtrasi Biologis.....	85
4.6 Aerasi, Oksigenasi, dan Degassing	88
4.7 Penanganan Lumpur dan Limbah Padat	92
4.8 Sistem Perpipaan, Kontrol, dan Utilitas	95
BAB V	99
Kualitas Air sebagai Inti Operasional.....	99
5.1 Parameter Fisika, Kimia, dan Biologi Air	99
5.2 Oksigen Terlarut, Karbon Dioksida, dan Alkalinitas	102
5.3 Amonia, Nitrit, Nitrat, dan Dinamika Nitrogen	106
5.5 Suhu, Salinitas, pH, dan Implikasinya	114
5.6 Interaksi Kualitas Air dengan Kesehatan dan Performa Organisme	117
BAB VI	122
Prinsip Desain Sistem	122
6.1 Penentuan Tujuan Produksi dan Skala Usaha	122
6.2 Pemilihan Spesies Utama dan Spesies Pendukung	125
6.3 Kesesuaian Biologis antar Komponen	128
6.4 Neraca Massa Air dan Nutrien	132
6.5 Hidrodinamika Wadah dan Laju Alir.....	135
6.6 Kapasitas Biofilter dan Unit Remediasi	138
6.7 Desain Modular dan Fleksibilitas Sistem.....	141



6.8 Kriteria Desain untuk Efisiensi dan Keamanan Operasional	145
BAB VII	149
Desain Khusus Aquaponik	149
7.1 Sistem Coupled dan Decoupled	149
7.2 Raft, NFT, Media Bed, dan Sistem Terapung	152
7.3 Keseimbangan Produksi Ikan dan Serapan Tanaman	155
7.4 Manajemen Nutrien untuk Tanaman.....	159
7.5 Defisiensi Unsur Hara dan Strategi Koreksi.....	162
7.6 Pemilihan Tanaman Komersial dan Nonkonvensional.....	165
BAB VIII	170
Desain Khusus IMTA dan Integrasi Lanskap	170
8.1 Prinsip Pemilihan Organisme Trofik Berbeda	170
8.2 Integrasi Ikan, Moluska, Alga, dan Bioremediator	173
8.3 Skala Tangki, Kolam, dan Perairan Terbuka	177
8.4 Jarak, Arus, dan Konektivitas Ekologis	180
8.5 Potensi Mitigasi Limbah dan Pemulihan Ekosistem.....	183
8.6 Kendala Implementasi Komersial IMTA	187
BAB IX	192
Operasional Harian Sistem	192
9.1 Persiapan Awal dan Start-up Sistem	192
9.2 Penebaran dan Aklimatisasi	195
9.3 Manajemen Pakan dan Frekuensi Pemberian	198
9.4 Pengaturan Sirkulasi dan Pergantian Air.....	202
9.5 Pemeliharaan Filter dan Unit Tanaman	205
9.6 Pencatatan Data dan Log Operasional	209
9.7 Panen, Sortasi, dan Penanganan Pascapanen	212



BAB X	217
Kesehatan Ikan, Tanaman, dan Biosekuriti	217
10.1 Stres, Kesejahteraan, dan Indikator Perilaku	217
10.2 Penyakit Ikan dalam Sistem Resirkulasi	220
10.3 Gangguan Fisiologis pada Tanaman	224
10.4 Biosekuriti dan Sanitasi Sistem	228
10.5 Risiko Mikroba, Off-Flavor, dan Senyawa Toksik	231
10.6 Tindakan Pencegahan dan Respons Darurat	235
BAB XI	239
Otomasi, Sensor, dan Akuakultur Cerdas.....	239
11.1 Pemantauan Real-Time Kualitas Air	239
11.2 Sensor DO, CO ₂ , NH ₃ , H ₂ S, dan Parameter Lain	242
11.3 Computer Vision untuk Perilaku Makan dan Stres	246
11.5 Internet of Things (IoT), AI, dan Pengambilan Keputusan	253
11.6 Tantangan Digitalisasi pada Sistem Terpadu	257
BAB XII	261
Efisiensi Sumber Daya dan Keberlanjutan dalam Sistem Akuakultur Terpadu	261
12.1 Efisiensi Air, Energi, dan Pakan	261
12.2 Retensi Nitrogen dan Fosfor	264
12.4 Pendekatan Zero-Discharge	272
12.5 Life Cycle Assessment dan Jejak Lingkungan	276
12.6 Sistem Terpadu dalam Konteks Perubahan Iklim	280
BAB XIII	285
Analisis Ekonomi dan Kelayakan Usaha	285
13.1 Struktur Biaya Investasi	285
13.2 Biaya Operasional dan Faktor Dominan.....	289



13.3 Produktivitas, Pendapatan, dan Margin Usaha.....	293
13.4 Analisis Sensitivitas dan Risiko	297
13.5 Skala Rumah Tangga, Pendidikan, dan Komersial.....	301
13.6 Strategi Peningkatan Daya Saing Usaha.....	305
BAB XIV Studi Kasus dan Aplikasi pada Sistem Akuakultur Terintegrasi	310
14.1 Sistem RAS Ikan Intensif.....	310
14.2 Aquaponik Ikan dan Sayuran.....	313
14.3 IMTA Berbasis Laut.....	317
14.4 Integrasi Ikan-Padi dan Pertanian Lahan Kering	321
14.5 Sistem Terpadu di Wilayah Kering dan Semi-Kering	324
14.6 Pelajaran dari Studi Kasus Internasional	328
BAB XV	334
Prospek dan Arah Pengembangan	334
15.1 Sistem Terpadu sebagai Model Masa Depan	334
15.2 Teknologi Baru dan Inovasi Proses.....	337
15.3 Integrasi Energi Terbarukan	341
15.4 Pendekatan Ekonomi Sirkular dan Blue Economy	345
15.5 Dukungan Kebijakan, Pendidikan, dan Riset	349
15.6 Agenda Pengembangan di Indonesia	353
Glosarium	358
Daftar Pustaka	375
Tentang Penulis	417



BAB I

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang Pengembangan Sistem Akuakultur Terpadu

Perkembangan akuakultur modern menunjukkan bahwa peningkatan produksi tidak lagi dapat hanya mengandalkan perluasan lahan, penambahan padat tebar, atau intensifikasi pemberian pakan. Pendekatan semacam itu memang dapat menaikkan hasil dalam jangka pendek, tetapi sering diikuti oleh meningkatnya beban limbah, tingginya kebutuhan air, memburuknya kualitas lingkungan budidaya, serta bertambahnya risiko gangguan kesehatan ikan. Karena itu, perhatian ilmiah dan praktis kemudian bergeser pada bagaimana sistem budidaya dirancang agar lebih efisien dalam menggunakan sumber daya dan lebih cermat dalam mengelola residu produksi. Dari kebutuhan inilah sistem akuakultur terpadu berkembang sebagai salah satu jawaban paling penting dalam transformasi akuakultur kontemporer.

Secara mendasar, sistem akuakultur terpadu dibangun atas gagasan bahwa limbah dari satu komponen budidaya tidak harus diperlakukan sebagai keluaran akhir yang dibuang, melainkan dapat dialihkan menjadi masukan bagi komponen lain. Prinsip ini menjadi fondasi bagi berbagai model yang kini dikenal luas, seperti ***Integrated Multi-Trophic Aquaculture*** atau IMTA, akuaponik, bioflok, dan sistem resirkulasi. Estim menjelaskan bahwa IMTA merupakan pendekatan yang menghubungkan organisme dari tingkat trofik berbeda dalam satu kesatuan produksi sehingga hasil samping dari organisme budidaya utama dapat dimanfaatkan oleh organisme lain. Sejalan dengan itu, Lennard dan Goddek menempatkan aquaponik sebagai bentuk integrasi yang menghubungkan budidaya ikan dengan produksi tanaman melalui pemanfaatan air kaya nutrien. Dengan kerangka ini, sistem



budidaya tidak lagi dipahami sebagai unit tunggal, melainkan sebagai jaringan proses biologis dan teknis yang saling terkait (Estim, 2015; Lennard & Goddek, 2019).



Gambar 1.1 Skema dasar hubungan antara unit ikan, limbah nutrien, mikroorganisme, dan unit tanaman atau organisme ekstraktif

Jika ditinjau dari perkembangan historisnya, gagasan integrasi dalam budidaya sebenarnya bukan hal yang sepenuhnya baru. Berbagai praktik tradisional telah lama menunjukkan hubungan antara usaha perikanan dan pertanian, misalnya pemanfaatan air kolam untuk irigasi atau penggunaan limbah organik untuk meningkatkan produktivitas lahan. Namun, sistem akuakultur terpadu modern berbeda karena dibangun di atas dasar ilmiah yang lebih kuat. Integrasi kini tidak hanya dilakukan karena pertimbangan kebiasaan atau pengalaman lokal, tetapi berdasarkan pemahaman tentang aliran nutrien, neraca massa, fungsi mikroorganisme, efisiensi energi, dan desain hidrodinamika sistem. Danner dkk., misalnya, menunjukkan pentingnya perancangan sistem aquaponik yang terintegrasi dengan lingkungan budidaya modern, sementara Kalvakaalva dkk. menegaskan bahwa sistem decoupled aquaponics memerlukan pendekatan berbasis proses

