

**MODEL KEBERLANJUTAN SISTEM SOSIAL-EKOLOGI DAN
AKUAKULTUR CERDAS IKLIM BERBASIS SILVOFISHERY PADA
LANDSKAP HUTAN MANGROVE NANGA SIRA, KABUPATEN SUMBAWA**

***SUSTAINABILITY MODEL OF SOCIAL-ECOLOGICAL SYSTEM AND
CLIMATE-SMART AQUACULTURE BASED ON SILVOFISHERY IN THE
NANGA SIRA MANGROVE LANDSCAPE, SUMBAWA REGENCY***

Erma Hadi Suryani^{1*}, Dahlanuddin¹

¹Program Studi Pertanian Berkelanjutan, Pascasarjana Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

*Email penulis korespondensi: irmasumbawa009@gmail.com

Abstrak

Integrasi pelestarian mangrove dan budidaya akuakultur (silvofishery) di kawasan pesisir Desa Penyaring, Kabupaten Sumbawa, menghadapi tantangan transisi teknologi dan sinkronisasi kelembagaan. Penelitian ini bertujuan menganalisis peran institusi tingkat desa (BUMDes dan POKDARWIS) dalam adopsi Climate-Smart Aquaculture (CSA) melalui kerangka Social-Ecological System (SES) Ostrom, mengukur dampak teknologi bertenaga surya dan pendederan benur, memetakan kendala teknis, ekonomi, dan sosial, serta merumuskan rekomendasi lintas pemangku kepentingan. Pendekatan yang digunakan adalah kualitatif-sintesis melalui Systematic Literature Review (SLR) dengan protokol PRISMA terhadap publikasi terkini dan dokumen kebijakan. Hasil sintesis menunjukkan bahwa keselarasan aktor lokal dalam kerangka SES merupakan prasyarat keberhasilan transfer teknologi CSA yang berujung pada resolusi triple win, yaitu peningkatan produktivitas tambak (berdasarkan data sekunder kawasan) dari 0,4 ton menjadi 1 ton per hektar, dekarbonisasi operasional melalui energi surya, pelestarian ekosistem pesisir, dan revitalisasi kearifan lokal (Basiru dan Lar). Kendala literasi tata kelola, tingginya biaya infrastruktur silvofishery, dan konflik tata ruang menuntut kolaborasi strategis pemerintah, swasta, dan akademisi. Penelitian ini menyumbang model keterpaduan multisektor berbasis konservasi yang memadukan kerangka kelembagaan SES dengan teknologi akuakultur presisi pada lanskap mangrove.

Kata Kunci: Silvofishery, Sistem Sosial-Ekologi, Climate-Smart Aquaculture, Kearifan Lokal, Mangrove

Abstract

The integration of mangrove conservation and aquaculture (silvofishery) in the coastal area of Penyaring Village, Sumbawa Regency, faces challenges of technological transition and institutional synchronization. This study aims to analyze the role of village-level institutions (BUMDes and POKDARWIS) in the adoption of Climate-Smart Aquaculture (CSA) through Ostrom's Social-Ecological System (SES) framework, to measure the impact of solar-powered technology and shrimp nursery ponds, to map technical, economic, and social constraints, and to formulate cross-stakeholder recommendations. A qualitative-synthesis approach was applied through a Systematic Literature Review (SLR) using the PRISMA protocol on recent publications and policy documents. The synthesis shows that alignment among local actors within the SES framework is a prerequisite for successful CSA technology transfer, leading to a triple-win outcome: increased pond productivity from 0.4 to 1 tonne per hectare, operational decarbonization through solar energy, coastal ecosystem conservation, and the revitalization of local wisdom (Basiru and Lar). Constraints in governance literacy, high silvofishery infrastructure costs, and spatial conflicts require strategic collaboration among government, the private sector, and academia. This study contributes a conservation-based multisector integration model combining the SES institutional framework with precision aquaculture technology.

Keywords: Silvofishery, Social-Ecological System, Climate-Smart Aquaculture, Local Wisdom, Mangrove

PENDAHULUAN

Kawasan pesisir secara global menghadapi tekanan antropogenik yang masif, di mana transisi penggunaan lahan memicu degradasi lingkungan. Mangrove tergolong salah satu hutan tropis dengan simpanan karbon tertinggi (Donato et al., 2011), tetapi tutupannya terus menyusut di Asia Tenggara akibat alih fungsi lahan menjadi tambak (Friess et al., 2019; Richards & Friess, 2016). Paradigma ekstraktif melepaskan simpanan karbon biru (*blue carbon*) dan mengeliminasi habitat asuhan (*nursery grounds*) yang esensial bagi perikanan. Sebagai resolusi adaptif, sistem pertanian terintegrasi pesisir atau wanamina (*silvofishery*) memadukan kelestarian mangrove dengan keuntungan finansial dari perikanan payau serta terbukti menurunkan emisi sekaligus menjaga keuntungan usaha (Uddin et al., 2025).

Di Indonesia, salah satu lokus penerapan konsep keberlanjutan ini berada di Dusun Omo dan Pulau Nanga Sira, Desa Penyaring, Kecamatan Moyo Utara, Kabupaten Sumbawa. Wilayah ini memadukan tiga dimensi penting, yaitu kawasan ekowisata mangrove yang menjadi habitat *Ceriops decandra*, penetapan wilayah sebagai sasaran Proyek Strategis Nasional (PSN) revitalisasi tambak, serta injeksi teknologi *Climate-Smart Aquaculture* (CSA) berskala masif (Hikmahyanti et al., 2025).

Secara teoretis, kajian ini menggunakan kerangka *Social-Ecological System* (SES) yang dikembangkan Ostrom (2009) dan disempurnakan menjadi kerangka yang lebih operasional oleh McGinnis dan Ostrom (2014), yang menekankan interdependensi antara unit ekologi dan sistem sosial serta peran interaksi kelembagaan lokal dan partisipasi pengelola sumber daya (*resource actors*). Konsep wanamina yang mengintegrasikan petak tambak dengan mangrove sebagai biofilter alami berevolusi menjadi CSA yang menargetkan *triple win*, yakni peningkatan produktivitas, penguatan resiliensi, dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Pada saat yang sama, status *Ceriops decandra* sebagai spesies Hampir Terancam Punah (*Near Threatened*) menurut IUCN (2023) menegaskan urgensi tata ruang konservasi yang ketat di kawasan ini.

Permasalahan utama yang menjadi fokus penelitian adalah bagaimana kerangka tata kelola institusi tingkat desa, yaitu Badan Usaha Milik Desa (BUMDes) dan Kelompok Sadar Wisata (POKDARWIS), memengaruhi tingkat adopsi teknologi CSA pada sistem *silvofishery* Nanga Sira jika dianalisis melalui pendekatan SES Ostrom. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengonstruksi peta interaksi aktor kelembagaan lokal dalam pengelolaan kawasan wanamina terpadu; (2) menyintesis secara kuantitatif dampak teknologi CSA, khususnya pendederan benur (*nursery pond*) dan transisi panel surya, terhadap *Survival Rate* (SR) dan reduksi emisi; serta (3) mengidentifikasi kendala teknis, ekonomi, dan sosial sekaligus merumuskan strategi rekomendasi lintas aktor.

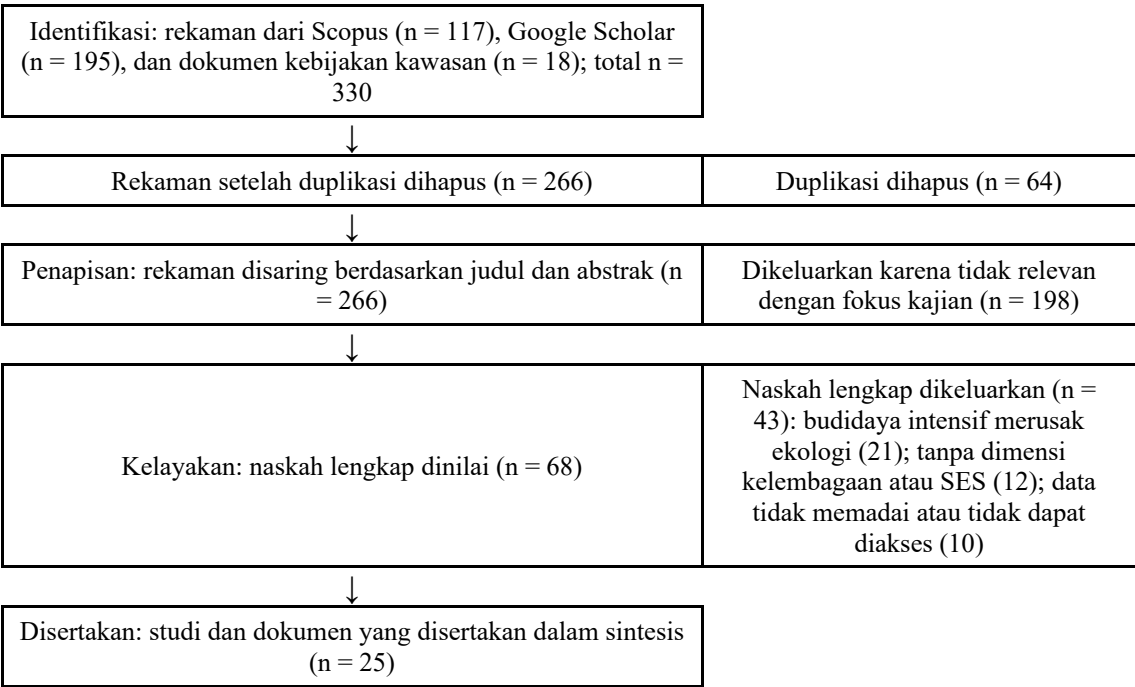
Kebaruan penelitian terletak pada pengintegrasian kerangka kelembagaan SES dengan implementasi presisi CSA pada lokus spesifik yang sedang bertransisi dari tambak tradisional menuju sistem cerdas iklim, dengan turut menyertakan perlindungan kearifan lokal *Basiru* (gotong royong) dan integrasi silvopastura untuk menyelamatkan padang penggembalaan komunal (*Lar*). Mengingat keterbatasan waktu pengumpulan data, ruang lingkup penelitian dibatasi pada sintesis literatur tanpa uji kualitas air lapangan, dengan fokus pada relasi antaraktor pengelola lokal (BUMDes dan POKDARWIS) serta evaluasi teknologi energi surya fotovoltaik dan *nursery pond*. Manfaat penelitian adalah tersedianya rumusan model tata kelola dan peta jalan implementasi yang dapat menjadi rujukan pengembangan pertanian berkelanjutan berbasis konservasi di kawasan pesisir.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi desain kualitatif-sintesis melalui pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR). Proses penjarangan dan ekstraksi data diatur berdasarkan pedoman protokol PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Pendekatan tinjauan sistematis serupa telah terbukti efektif dalam memetakan perkembangan keilmuan akuakultur cerdas iklim (Mdoe et al., 2025). Sumber data berupa data sekunder yang berasal dari publikasi ilmiah serta dokumen laporan pemerintah terkait pengembangan kawasan.

Data dalam penelitian ini dibedakan menjadi dua tingkatan agar klaim kuantitatif tidak rancu. Pertama, data sintesis ilmiah, yaitu temuan dari korpus literatur *peer-review* yang lolos seleksi PRISMA, digunakan untuk membangun kerangka konseptual dan menilai mekanisme umum, misalnya pengaruh fase pendederan terhadap *Survival Rate*. Kedua, data sekunder lapangan kawasan, yaitu angka spesifik lokasi yang bersumber dari dokumen program PSN, laporan pemerintah desa, pemberitaan, dan kajian terdahulu di Desa Penyaring. Penulis tidak melakukan pengumpulan data primer dan tidak melaksanakan uji kualitas air atau pengukuran lapangan langsung, sehingga seluruh angka spesifik lokasi seperti produktivitas tambak, *Survival Rate*, suhu dan oksigen terlarut perairan, serta luas konflik tata ruang merupakan data sekunder yang dikutip sebagaimana dilaporkan sumber aslinya, bukan hasil pengukuran penulis. Triangulasi dilakukan dengan mengonfrontasikan data sekunder lapangan tersebut terhadap temuan korpus literatur untuk menilai konsistensinya.

Tahapan operasional PRISMA mencakup empat langkah. Pertama, identifikasi dilakukan melalui penelusuran basis data akademik (Google Scholar dan Scopus) serta dokumen PSN di Sumbawa, menggunakan kata kunci "*silvofishery* atau wanamina", "*Social-Ecological System Ostrom*", "*Climate-Smart Aquaculture*", "kearifan lokal *Basiru Lar* Sumbawa", dan "kendala tambak Penyaring", dengan rentang publikasi 2019–2026. Penelusuran basis data dilakukan pada Maret 2026. Kedua, penapisan (*screening*) dilakukan untuk mengeliminasi duplikasi dan menyeleksi abstrak, dengan mengeluarkan literatur yang hanya berfokus pada budidaya intensif yang merusak ekologi. Ketiga, kelayakan (*eligibility*) dinilai melalui kajian naskah penuh untuk memperoleh data *Survival Rate* (SR), margin produktivitas, interaksi aktor, kearifan lokal, serta isu teknis dan tata ruang. Untuk menjaga objektivitas, penilaian kelayakan dilakukan secara independen oleh tiga penilai dengan sudut pandang berbeda, yaitu peneliti (relevansi metodologis), akademisi (ketepatan teoretis), dan fasilitator masyarakat (keterterapan kontekstual di lapangan). Tingkat kesepakatan antar-penilai diukur menggunakan Fleiss' kappa (Fleiss, 1971) dan menghasilkan nilai sebesar 0,72 yang tergolong substansial (Landis & Koch, 1977); setiap ketidaksepakatan diselesaikan melalui diskusi hingga tercapai konsensus. Keempat, ekstraksi dan analisis dilakukan secara deskriptif untuk merumuskan efektivitas institusi SES Ostrom, mengukur dampak CSA, dan menyusun peta jalan serta rekomendasi pemangku kepentingan. Ringkasan jumlah rekaman pada setiap tahap seleksi disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir seleksi literatur berdasarkan protokol PRISMA
Sumber: hasil seleksi penulis (2026).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil sintesis literatur dan dokumen kebijakan menunjukkan keterpaduan antara kondisi biofisik kawasan, tata kelola kelembagaan lokal, dan intervensi teknologi cerdas iklim di Desa Penyaring. Pembahasan diuraikan menurut kondisi eksisting lanskap, orkestrasi kelembagaan, kinerja teknologi, dinamika kearifan lokal, identifikasi kendala, model ekonomi sirkular, analisis keberlanjutan model, peta jalan, hingga strategi rekomendasi. Ringkasan temuan kunci hasil sintesis literatur pada tiap aspek kajian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sintesis Hasil Tinjauan Literatur Sistematis (SLR)

Aspek Kajian	Temuan Kunci Hasil Sintesis	Rujukan
Degradasi mangrove, karbon biru, dan keanekaragaman hayati	Mangrove menyimpan karbon tropis tertinggi, tetapi tutupannya menyusut akibat konversi tambak; paradigma ekstraktif melepaskan karbon biru serta menghilangkan habitat asuhan perikanan dan spesies mangrove langka.	Donato et al. (2011); Friess et al. (2019); Richards & Friess (2016); Sidik et al. (2023); IUCN (2023)
<i>Silvofishery</i> sebagai solusi adaptif	Integrasi mangrove–tambak payau (<i>silvofishery</i>) menurunkan emisi sekaligus menjaga keuntungan usaha; keberhasilannya menuntut keseimbangan cermat antara ekonomi dan konservasi mangrove.	Uddin et al. (2025); Utomo et al. (2025); Mustafa et al. (2024)
Tata kelola sosial-ekologis (SES) dan kelembagaan desa	Kerangka SES menekankan interdependensi unit ekologi dan sosial; keselarasan antaraktor menjadi prasyarat keberhasilan pengelolaan, sementara kapasitas adaptif kawasan pesisir ditentukan oleh kekuatan kelembagaan lokal dan peran BUMDes yang transparan serta partisipatif.	Ostrom (2009); McGinnis & Ostrom (2014); Ferro-Azcona et al. (2019); Kania et al. (2021); Revida et al. (2023); Hikmahyanti et al. (2025)

Aspek Kajian	Temuan Kunci Hasil Sintesis	Rujukan
Teknologi akuakultur cerdas iklim (CSA) dan energi terbarukan	Perlakuan fase pendederan (misalnya probiotik) memperbaiki sintasan larva udang <i>Litopenaeus vannamei</i> serta menopang kenaikan produktivitas tambak; pemanfaatan energi surya dan integrasi fotovoltaik–kolam (<i>aquavoltaics</i>) mendukung dekarbonisasi operasional yang layak secara teknis dan ekonomi.	Wang et al. (2020); Mdoe et al. (2025); Vo et al. (2021); Imani et al. (2023); Samawa Rea (2025)
Kearifan lokal: <i>Basiru</i> dan silvopastura <i>Lar</i>	Tradisi gotong royong <i>Basiru</i> direvitalisasi sebagai instrumen tata kelola konservasi; pemanfaatan serasah mangrove sebagai pakan silvopastura menyelamatkan padang penggembalaan <i>Lar</i> .	Sumarlin et al. (2022); Pertiwi (2014)
Kendala ekonomi, iklim, dan tata ruang	Biaya modal (<i>capex</i>) <i>silvofishery</i> yang tinggi dan risiko iklim menghambat adopsi; kapasitas adaptasi rumah tangga petambak berkaitan dengan ketahanan pangan, sementara konflik tata ruang pesisir akibat permukiman, perkebunan, dan tambak yang melanggar sempadan masih nyata.	Do & Ho (2022); Toiba et al. (2024); Pebrianti (2021)
Pembiayaan karbon biru dan keberlanjutan jangka panjang	Strategi pembiayaan karbon biru perlu memperhitungkan risiko permanensi tutupan mangrove yang membayangi sebagian besar kawasan mangrove di Asia Tenggara.	Kwan et al. (2025)

Sumber: hasil sintesis penulis (2026) atas 25 sumber yang disertakan dalam sintesis; rujukan metodologis (Fleiss, 1971; Landis & Koch, 1977) berada di luar korpus tinjauan

Kondisi Eksisting Lanskap Penelitian

Kawasan Desa Penyaring secara geografis terletak di pesisir Kecamatan Moyo Utara dengan luas wilayah administratif mencapai 2.678 Ha dan merupakan desa terluas di kecamatan tersebut. Kawasan ini memadukan ekosistem mangrove, zona akuakultur, serta padang penggembalaan komunal.

Hutan mangrove di Nanga Sira membentang hingga 80 hektar, dengan 40 hektar di antaranya diresmikan sebagai kawasan Ekowisata Bahari pada 22 Januari 2024 dan dilengkapi jalur titian (*tracking*) sepanjang 750 meter. Berdasarkan data kawasan, kualitas perairannya tergolong ideal (suhu 28,5–29,4°C; oksigen terlarut hingga 10,8 mg/L) dan menjadi habitat spesies langka *Cerriops decandra* serta *Scyphiphora hydrophyllacea*. Berdampingan dengan ekosistem mangrove tersebut, terdapat sentra pertambakan seluas 194–200 hektar yang merupakan PSN Revitalisasi Tambak Udang sejak 2023; setelah revitalisasi melalui perbaikan saluran *inlet* sepanjang 6 kilometer dan pintu air otomatis (*flap gates*), produktivitas meningkat dari 0,4 ton/Ha menjadi rata-rata 1 ton/Ha (Samawa Rea, 2025).

Pada sektor pertanian dan peternakan, Desa Penyaring merupakan kantong populasi sapi *Hisar* (Sapi Sumbawa) yang dilepasliarkan di padang rumput komunal (*Lar*). Susu sapi ini menopang 11 unit Industri Kecil Menengah (IKM) rumahan pembuat permen susu, seperti UD Riskika. Seluruh aktivitas tersebut ditopang oleh infrastruktur kawasan yang mencakup peningkatan ruas jalan Sebewe–Penyaring melalui program PISEW Kementerian PUPR (April 2026), Bendungan Penyaring, serta Saluran Irigasi Inpres No. 2 Tahun 2025 di Moyo Utara. Adapun krisis pasokan air bersih PDAM di Dusun Omo yang hanya mengalir seminggu sekali diatasi secara inovatif melalui fasilitas destilasi air laut bertenaga surya dari Universitas Samawa.

Orkestrasi Kelembagaan Lokal melalui SES Ostrom

Kawasan pesisir Nanga Sira menunjukkan transformasi melalui sinkronisasi pemerintah desa (BUMDes) dan POKDARWIS. Diversifikasi ekonomi wisata berperan

sebagai sabuk pengaman ekonomi sehingga, dengan insentif pariwisata, aktor lokal secara sadar menjaga mangrove yang semula dipandang sekadar pelindung ombak menjadi aset komunal bernilai ekonomi. Keselarasan antaraktor ini, dalam kerangka SES (McGinnis & Ostrom, 2014), menjadi prasyarat keberhasilan pengelolaan sumber daya bersama, mengingat kapasitas adaptif dan resiliensi sosial-ekologis kawasan pesisir sangat ditentukan oleh kekuatan kelembagaan lokal (Ferro-Azcona et al., 2019). BUMDes telah terbukti menjadi instrumen kewirausahaan desa yang mendorong kemandirian ekonomi masyarakat (Kania et al., 2021), khususnya bila tata kelolanya berpijak pada pengembangan desa wisata yang transparan, partisipatif, dan akuntabel (Revida et al., 2023).

Kinerja Teknologi Pendederan dan Implementasi CSA

PT Venambak Kail Dipantara yang didukung BPD LH memperkenalkan inovasi CSA pada lahan 2 hektar di Dusun Omo. Bibit udang (PL 8–10) diaklimatisasi di bak *nursery pond* selama 25 hari hingga mencapai ukuran kebal (>PL 20). Berdasarkan dokumen implementasi CSA kawasan, benur ini dilaporkan menaikkan *Survival Rate* (SR) sebesar 10–20% secara absolut, yang memicu lonjakan panen hingga 1 ton/Ha. Angka peningkatan sintasan ini sejalan dengan temuan korpus literatur bahwa perlakuan pada fase pendederan, seperti pemberian probiotik, secara signifikan memperbaiki perkembangan dan sintasan larva udang *Litopenaeus vannamei* (Wang et al., 2020).

Penekanan Jejak Karbon dan Biofiltrasi Ekologis

Penggunaan aerator robotik dan pelontar pakan otomatis bertenaga panel surya menekan emisi karbon operasional dengan menghilangkan pembakaran bahan bakar fosil. Pemanfaatan energi surya pada akuakultur memiliki potensi besar untuk dekarbonisasi operasional (Vo et al., 2021), termasuk melalui integrasi pembangkit fotovoltaik dengan kolam budidaya atau *aquavoltaics* yang terbukti layak secara teknis dan ekonomi (Imani et al., 2023). Sabuk mangrove Nanga Sira berfungsi sebagai instalasi pengolahan air limbah (IPAL) alami yang mengunci unsur hara sekaligus menjadi *blue carbon sink*, mengingat mangrove menyimpan karbon dalam jumlah besar (Donato et al., 2011) dan kini menjadi tumpuan paradigma konservasi pesisir di Indonesia (Sidik et al., 2023).

Dinamika Kearifan Lokal

Transformasi kawasan berinteraksi erat dengan kearifan lokal masyarakat Sumbawa, khususnya tradisi *Basiru* dan pengelolaan padang *Lar*.

Tradisi Basiru

Arus transaksional mengancam tradisi kerja sama tanpa pamrih (*Basiru*) dalam pengelolaan lahan dan acara adat. Semangat *Basiru* direvitalisasi melalui program penanaman propagul mangrove dan pemeliharaan fasilitas *tracking* ekowisata sehingga gotong royong berfungsi sebagai instrumen tata kelola (Sumarlin et al., 2022).

Tradisi Lar

Alih fungsi lahan dan kemarau ekstrem menyebabkan padang *Lar* mengering serta mengancam pasokan susu bagi 11 IKM permen susu. Sistem silvopastura mangrove diterapkan dengan memanfaatkan serasah daun mangrove sebagai pakan hijauan yang kandungan bahan kering (*dry matter*) dan protein kasarnya (*crude protein*) aman bagi lambung ternak sapi, sehingga menyelamatkan tradisi *Lar* (Pertiwi, 2014).

Identifikasi Kendala Teknis, Ekonomi, dan Sosial

Meskipun model keberlanjutan telah dirancang, tinjauan literatur menemukan serangkaian kendala struktural yang menjadi hambatan dalam penerapannya di lapangan.

Kendala Teknis dan Lingkungan

Anggota POKDARWIS dan warga pada awalnya memiliki literasi ekologis dan manajerial yang minim; mereka umumnya hanya mengetahui fungsi mangrove sebagai

penahan abrasi tanpa menyadari potensi produk olahan maupun fungsi bio-kritis lainnya. Selain itu, Dusun Omo mengalami kelangkaan air bersih akut yang memengaruhi sanitasi warga dan higienitas pekerja tambak. Praktik *silvofishery* juga menuntut presisi pemilihan jenis dan kepadatan mangrove agar ketersediaan plankton bagi udang terjamin tanpa menyebabkan kematian akibat kanopi yang terlalu rimbun.

Kendala Ekonomi dan Permodalan

Konstruksi tambak “empang parit” (*silvofishery*) membutuhkan biaya modal (*capex*) yang lebih tinggi dibandingkan tambak tradisional sehingga kurang menarik bagi petambak miskin tanpa subsidi pemerintah. Tingginya biaya sekaligus risiko iklim diketahui menjadi penghambat utama adopsi praktik adaptif pada petambak (Do & Ho, 2022), sementara kapasitas adaptasi rumah tangga petambak di Indonesia berkaitan erat dengan ketahanan pangan mereka (Toiba et al., 2024). Studi pada hutan lindung di Indonesia juga menegaskan bahwa keberhasilan *silvofishery* menuntut keseimbangan cermat antara keberlanjutan ekonomi dan konservasi mangrove (Utomo et al., 2025; Mustafa et al., 2024). Pada sisi hilir, 11 IKM permen susu rata-rata dikelola dengan tingkat pendidikan rendah, skala operasional mikro, serta literasi yang minim terkait manajemen usaha, pencatatan keuangan, dan strategi investasi modern.

Kendala Sosial dan Konflik Tata Ruang

Padang penggembalaan komunal (*Lar*) terus mengalami alih fungsi menjadi permukiman dan perkebunan karena status perlindungannya lemah dan belum ada Peraturan Daerah khusus yang melindungi status hukum tanahnya. Berdasarkan analisis kesesuaian lahan, pesisir Desa Penyaring masih didera konflik tata ruang yang parah, tercatat 1,42 Ha permukiman ilegal di bawah radius 100 meter dari sempadan pantai, 30,88 Ha perkebunan, serta 12,21 Ha perairan tambak yang mengekspansi kawasan lindung pesisir (Pebrianti, 2021).

Model Siklus Ekonomi Sirkular dan Terintegrasi

Potensi multidimensi di Desa Penyaring saling berputar membentuk ekosistem ekonomi sirkular (*circular economy*) yang terdiri atas enam fase berurutan, sebagaimana dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Fase Siklus Ekonomi Sirkular Terintegrasi Desa Penyaring

Fase	Aktivitas Kunci
Fase 1 – Jantung Ekologi	Kelestarian mangrove 40 Ha di Nanga Sira memfasilitasi pengendapan sedimen dan menyediakan <i>nursery ground</i> yang kaya nutrisi.
Fase 2 – Suplai ke Tambak	Air laut jernih dimanfaatkan oleh tambak bersistem CSA di Dusun Omo sehingga panen udang warga meningkat.
Fase 3 – Restorasi <i>Basiru</i>	Melalui tolong-menolong (<i>Basiru</i>), pembudidaya menanam mangrove baru di tandon air.
Fase 4 – Penyelamat <i>Lar</i>	Dedaunan mangrove dipanen sebagai pakan ternak sapi <i>Hisar</i> saat padang <i>Lar</i> mengering.
Fase 5 – Hilirisasi Mikro	Sapi ternutrisi memproduksi susu yang diolah 11 IKM (UD Riskika), menggerakkan ekonomi perempuan.
Fase 6 – Muara Ekowisata	Mangrove, tambak surya, dan sentra permen susu dirangkum dalam ekowisata, menghasilkan perputaran kas bagi POKDARWIS dan BUMDes.

Sumber: hasil sintesis penulis (2026)

Analisis Keberlanjutan Model Keterpaduan

Aspek Lingkungan (Planet)

Pada aspek lingkungan, model keterpaduan ini bekerja melalui mekanisme penguncian karbon dan biofiltrasi alami. Sabuk mangrove yang dipertahankan tidak hanya menahan abrasi, tetapi juga menyimpan karbon dalam jumlah besar (Donato et al., 2011) sehingga memperkuat posisi kawasan sebagai penyerap karbon biru yang kini menjadi paradigma konservasi pesisir di Indonesia (Sidik et al., 2023). Substitusi pembakaran bahan bakar fosil oleh aerator dan pelontar pakan bertenaga surya, yang terbukti layak secara teknis dan ekonomi (Vo et al., 2021; Imani et al., 2023), menekan jejak karbon operasional tambak, sementara perakaran mangrove meremediasi limbah amonia sesuai prinsip nirlimbah sehingga kualitas perairan tetap terjaga. Keterpaduan ini sekaligus melindungi habitat spesies langka seperti *Ceriops decandra* yang berstatus Hampir Terancam (IUCN, 2023); meskipun demikian, keberlanjutan jasa karbonnya tetap bergantung pada permanensi tutupan mangrove yang masih rentan di kawasan Asia Tenggara (Kwan et al., 2025).

Aspek Ekonomi (Profit)

Pada aspek ekonomi, nilai tambah model bersumber dari peningkatan produktivitas sekaligus diversifikasi pendapatan. Perbaikan teknik pendederan menurunkan kematian larva dan menaikkan sintasan (Wang et al., 2020), yang sejalan dengan kenaikan produktivitas tambak pascarevitalisasi dari 0,4 menjadi 1 ton/Ha (Samawa Rea, 2025). Aliran pendapatan tidak bertumpu pada satu komoditas, melainkan berputar melalui rantai sirkular dari udang, susu sapi dan industri permen, hingga retribusi ekowisata, sehingga risiko kegagalan satu sektor dapat diredam. Keberhasilan ekonomi semacam ini menuntut keseimbangan cermat antara keuntungan dan konservasi sebagaimana ditunjukkan pada hutan lindung lain di Indonesia (Utomo et al., 2025; Mustafa et al., 2024), dan kelembagaan desa seperti BUMDes berperan menjaga keberlanjutan finansialnya (Kania et al., 2021). Hambatan terbesarnya adalah biaya modal *silvofishery* yang tinggi dan paparan risiko iklim (Do & Ho, 2022), yang berkaitan langsung dengan ketahanan pangan rumah tangga petambak (Toiba et al., 2024).

Aspek Sosial (People)

Pada aspek sosial, kekuatan model terletak pada pelebagaan modal sosial dan kearifan lokal ke dalam tata kelola. Keselarasan antara BUMDes, POKDARWIS, dan pembudidaya dalam kerangka sistem sosial-ekologis menjadi prasyarat keberhasilan pengelolaan sumber daya bersama (Ostrom, 2009; McGinnis & Ostrom, 2014), dan kapasitas adaptif kawasan sangat ditentukan oleh kekuatan kelembagaan lokal tersebut (Ferro-Azcona et al., 2019). Tradisi gotong royong *Basiru* diformalkan menjadi instrumen perawatan fasilitas pesisir dan penanaman mangrove (Sumarlin et al., 2022), sementara penyelamatan padang *Lar* melalui pakan silvopastura menjaga keberlangsungan tradisi peternakan setempat (Pertiwi, 2014). Tata kelola yang transparan dan partisipatif memperkuat legitimasi sosial model (Revida et al., 2023), selaras dengan dinamika sistem sosial-ekologi yang teramati pada kawasan mangrove Nanga Sira (Hikmahyanti et al., 2025). Penanganan air bersih melalui destilasi air laut bertenaga surya turut memberdayakan kesehatan dasar warga Dusun Omo.

Kendala Pengembangan

Kendala pengembangan model bersifat lintas dimensi dan saling berkaitan. Secara teknis, praktik *silvofishery* menuntut presisi pemilihan jenis dan kepadatan mangrove agar kanopi tidak mematikan udang, sementara kelangkaan air bersih di Dusun Omo menekan higienitas operasional. Secara ekonomi, kebutuhan biaya modal yang lebih tinggi dibanding tambak tradisional membuat adopsi sulit tanpa subsidi, terlebih di tengah

paparan risiko iklim (Do & Ho, 2022) yang menggerus ketahanan pangan rumah tangga (Toiba et al., 2024). Secara sosial dan spasial, lemahnya status hukum padang *Lar* dan konflik tata ruang pesisir — tercatat 1,42 Ha permukiman, 30,88 Ha perkebunan, dan 12,21 Ha tambak yang melanggar kawasan lindung (Pebrianti, 2021) — mengancam keberlanjutan lahan, sehingga replikasi model menuntut keseimbangan ekonomi-konservasi yang ketat (Utomo et al., 2025; Mustafa et al., 2024).

Strategi Pengembangan Model

Pengembangan model keterpaduan ini menuntut strategi yang menempatkan kelembagaan lokal sebagai motor penggerak sekaligus penjaga keberlanjutan. Strategi pertama adalah penguatan tata kelola kolaboratif antaraktor dalam kerangka sistem sosial-ekologis, dengan memformalkan peran BUMDes dan POKDARWIS sebagai simpul koordinasi sumber daya bersama (McGinnis & Ostrom, 2014) yang transparan dan partisipatif (Revida et al., 2023), sebab kapasitas adaptif kawasan sangat bergantung pada kekuatan kelembagaan tersebut (Ferro-Azcona et al., 2019). Strategi ini diperkuat dengan pelebagaan kearifan lokal *Basiru* sebagai instrumen gotong royong dalam konservasi dan perawatan kawasan (Sumarlin et al., 2022).

Strategi kedua diarahkan pada hilirisasi dan penguatan rantai nilai agar nilai tambah tidak berhenti pada produksi primer. Pengembangan unit pengolahan dan penyimpanan, penguatan industri permen susu, serta integrasi produk ke dalam paket ekowisata membentuk rantai sirkular yang meredam risiko ketergantungan pada satu komoditas; keberhasilan model sejenis ditentukan oleh keseimbangan cermat antara keuntungan ekonomi dan konservasi (Utomo et al., 2025; Mustafa et al., 2024), dengan BUMDes sebagai penjaga keberlanjutan finansialnya (Kania et al., 2021). Strategi ketiga adalah replikasi dan peningkatan skala adopsi CSA dan *silvofishery* berbasis insentif, mengingat tingginya biaya modal dan paparan risiko iklim menjadi penghambat utama adopsi (Do & Ho, 2022) yang berkaitan dengan ketahanan pangan rumah tangga petambak (Toiba et al., 2024); pengikatan petambak melalui skema bantuan benur bersyarat dan kontrak penanaman propagul dapat mempercepat adopsi sekaligus menjaga tutupan mangrove.

Strategi keempat menekankan pengamanan ekologis dan pembiayaan berkelanjutan sebagai fondasi jangka panjang. Perlindungan tutupan mangrove dan habitat spesies langka (IUCN, 2023) perlu dipadukan dengan substitusi energi surya untuk menekan emisi (Vo et al., 2021; Imani et al., 2023) serta penyiapan kawasan menuju skema pembiayaan karbon biru, dengan catatan bahwa strateginya harus memperhitungkan risiko permanensi tutupan mangrove yang masih membayangi kawasan Asia Tenggara (Kwan et al., 2025). Keseluruhan strategi tersebut ditopang oleh penguatan kapasitas dan literasi ekologis-manajerial aktor lokal agar transisi dari tambak tradisional menuju sistem cerdas iklim berlangsung berkelanjutan.

Peta Jalan Lima Tahun Implementasi

Operasionalisasi model disusun dalam peta jalan (*roadmap*) lima tahun yang terbagi atas tiga tahap.

Tahap I: Konsolidasi Kelembagaan dan Uji Coba Teknologi (Tahun 1)

Tahap ini menargetkan penerbitan Peraturan Desa zonasi perlindungan habitat flora langka di Nanga Sira dan penyusunan peta penyelesaian konflik lahan di sempadan, pelatihan manajerial pariwisata bagi BUMDes dan POKDARWIS dengan roh budaya *Basiru*, serta pencapaian titik impas operasional pada pilot project 2 hektar tambak CSA bertenaga surya sebagai sekolah lapang petambak.

Tahap II: Integrasi Lintas Sektor dan Ekspansi Partisipatif (Tahun 2–3)

Tahap ini mereplikasi adopsi CSA ke 50% dari 200 hektar lahan PSN dengan mengikat petambak melalui kontrak penanaman propagul di tandon air, mengesahkan standar nutrisi silvopastura limbah mangrove untuk penyelamatan padang *Lar*, serta memodernisasi peralatan dan pelatihan bisnis bagi 11 IKM pengolahan permen susu.

Tahap III: Kemandirian Sirkular dan Hilirisasi Makro (Tahun 4–5)

Tahap akhir berfokus pada penyelesaian pembangunan *cold storage* atau *processing plant* untuk menyerap produksi udang, pendaftaran mangrove wanamina Desa Penyaring ke bursa Perdagangan Karbon Biru (*blue carbon credit trading*) — dengan catatan bahwa strategi pembiayaan karbon biru perlu memperhitungkan risiko permanensi tutupan mangrove yang membayangi sebagian besar kawasan di Asia Tenggara (Kwan et al., 2025) — serta peresmian Desa Penyaring sebagai kawasan rujukan pertanian berkelanjutan berbasis ekonomi sirkular tanpa limbah.

Rekomendasi Pemangku Kepentingan

Berdasarkan strategi dan sintesis kendala yang teridentifikasi, dirumuskan rekomendasi operasional bagi masing-masing pemangku kepentingan.

Pemerintah Daerah dan Pusat

Pemerintah perlu segera menertibkan 12,21 Ha perairan tambak dan 30,88 Ha perkebunan yang melanggar batas ekosistem lindung pesisir, mendesak penerbitan Peraturan Daerah khusus yang memproteksi padang penggembalaan komunal (*Lar*), serta menyediakan skema bantuan modal, pinjaman berbunga rendah, dan fasilitas *cold storage* untuk menyokong petambak dengan biaya *capex silvofishery* yang tinggi.

Masyarakat (BUMDes dan POKDARWIS)

Pengurus POKDARWIS perlu proaktif mengikuti bimbingan teknis untuk mengubah paradigma bahwa mangrove bukan sekadar penahan abrasi melainkan aset ekowisata dan penghasil produk non-kayu bernilai ekonomi, sekaligus mempertahankan budaya *Basiru* sebagai hukum tak tertulis dalam merawat fasilitas pesisir dan menjaga desa dari penebangan liar.

Sektor Swasta dan NGO

Perusahaan swasta didorong memperluas program bantuan benur unggulan bersyarat agar adopsi panel surya dan *nursery pond* merata, serta menyalurkan program tanggung jawab sosial dalam bentuk pelatihan manajemen usaha mikro, pengemasan (*packaging*), dan akses pasar bagi kelompok wanita tani dan IKM permen susu.

Institusi Akademik dan Peneliti

Akademisi perlu melanjutkan riset kesesuaian antara jenis mangrove spesifik dan komoditas perikanan agar tutupan kanopi tidak mematikan udang, merumuskan standardisasi dosis ransum dedaunan mangrove (silvopastura) yang aman secara klinis bagi sapi *Hisar*, serta menggalakkan program pengabdian masyarakat seperti instalasi destilasi air laut tenaga surya untuk mengatasi kelangkaan fasilitas dasar warga pesisir.

KESIMPULAN DAN SARAN

Orkestrasi kelembagaan BUMDes dan POKDARWIS dalam kerangka SES Ostrom terbukti menjadi prasyarat keberhasilan adopsi akuakultur cerdas iklim sekaligus menghidupkan kembali tradisi gotong royong (*Basiru*) dan meredam konflik pengelolaan sumber daya. Intervensi teknologi *nursery pond* dan panel surya berhasil mereduksi emisi serta melipatgandakan produktivitas tambak dari 0,4 ton menjadi 1 ton per hektar sehingga menciptakan resolusi *triple win*. Walaupun terkendala tingginya biaya infrastruktur, rendahnya literasi tata kelola, dan sengketa tata ruang yang mencaplok zona

lindung, Desa Penyaring memiliki kapasitas untuk mensinergikan ekowisata, biofiltrasi mangrove, dan silvopastura menjadi satu model keterpaduan pesisir berbasis konservasi.

Disarankan agar pemerintah daerah menertibkan pelanggaran sempadan pantai dan menerbitkan regulasi perlindungan padang *Lar*, sektor swasta memperluas bantuan benur unggulan dan inkubasi bisnis IKM, serta institusi akademik melanjutkan riset kesesuaian spesies mangrove dan standardisasi pakan silvopastura.

Beberapa arah penelitian lanjutan direkomendasikan untuk menguatkan dan memperluas temuan ini. Pertama, validasi berbasis data primer melalui pengukuran langsung kualitas air, *Survival Rate*, dan produktivitas tambak di Nanga Sira dan Dusun Omo untuk menguji angka yang pada kajian ini masih bersumber dari data sekunder. Kedua, kuantifikasi simpanan *blue carbon* dan reduksi emisi melalui pengukuran stok karbon mangrove serta audit energi operasi akuakultur bertenaga surya guna menakar klaim *triple win* secara empiris. Ketiga, studi longitudinal atas dinamika kelembagaan SES, terutama laju adopsi teknologi dan pola interaksi aktual antara BUMDes, POKDARWIS, dan pembudidaya. Keempat, analisis kelayakan tekno-ekonomi yang lebih rinci atas konstruksi empang parit *silvofishery* dan model ekonomi sirkular dengan data biaya dan pendapatan riil. Kelima, studi komparatif antarlokasi untuk menguji keteralihan (*transferability*) model keterpaduan ini ke kawasan pesisir lain. Secara metodologis, penilaian antar-penilai yang telah diterapkan dalam kajian ini dapat dilengkapi pada studi berikutnya dengan instrumen penilaian kualitas studi (*risk of bias*) yang baku untuk semakin memperkuat ketelitian seleksi literatur.

DAFTAR PUSTAKA

- Do, H.-L., & Ho, T. Q. (2022). Climate change adaptation strategies and shrimp aquaculture: Empirical evidence from the Mekong Delta of Vietnam. *Ecological Economics*, 196, 107411. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107411>
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5), 293–297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- Ferro-Azcona, H., Espinoza-Tenorio, A., Calderón-Contreras, R., Ramenzoni, V. C., Gómez País, M. M., & Mesa-Jurado, M. A. (2019). Adaptive capacity and social-ecological resilience of coastal areas: A systematic review. *Ocean & Coastal Management*, 173, 36–51. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.01.005>
- Fleiss, J. L. (1971). Measuring nominal scale agreement among many raters. *Psychological Bulletin*, 76(5), 378–382. <https://doi.org/10.1037/h0031619>
- Friess, D. A., Rogers, K., Lovelock, C. E., Krauss, K. W., Hamilton, S. E., Lee, S. Y., Lucas, R., Primavera, J., Rajkaran, A., & Shi, S. (2019). The state of the world's mangrove forests: Past, present, and future. *Annual Review of Environment and Resources*, 44, 89–115. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033302>
- Hikmahyanti, H., Erlangga, H. R., Kautsari, N., Nikmah, N., Uzaman, B., Alamsyah, A., & Yusuf, Y. (2025). Analisis sistem sosial dan ekologi pada wisata hutan mangrove (Nanga Sira Island Mangrove Tracking) Desa Penyaring, Sumbawa. *Jurnal Kelautan dan Perikanan Indonesia*, 5(3), 163–180.
- Imani, M., Fakour, H., Lo, S.-L., Yuan, M.-H., Chen, C.-K., Mobasser, S., & Muangthai, I. (2023). Aquavoltaics feasibility assessment: Synergies of solar PV power generation and aquaculture production. *Water*, 15(5), 987. <https://doi.org/10.3390/w15050987>

- IUCN. (2023). *Ceriops decandra: Profil konservasi spesies (Near Threatened)*. IUCN Red List of Threatened Species.
- Kania, I., Anggadwita, G., & Alamanda, D. T. (2021). A new approach to stimulate rural entrepreneurship through village-owned enterprises in Indonesia. *Journal of Enterprising Communities: People and Places in the Global Economy*, 15(3), 432–450. <https://doi.org/10.1108/JEC-07-2020-0137>
- Kwan, V., Friess, D. A., Sarira, T. V., & Zeng, Y. (2025). Permanence risks limit blue carbon financing strategies to safeguard Southeast Asian mangroves. *Communications Earth & Environment*, 6, 57. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02035-4>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- McGinnis, M. D., & Ostrom, E. (2014). Social-ecological system framework: Initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society*, 19(2), 30. <https://doi.org/10.5751/ES-06387-190230>
- Mdoe, C. N., Mahonge, C. P., & Ngowi, E. E. (2025). Mapping the trends, knowledge production, and practices of climate-smart aquaculture scholarship: Empirical insights from bibliometric analysis. *Aquaculture*, 598, 741939. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741939>
- Mustafa, A., Tarunamulia, Ratnawati, E., Paena, M., Kamariah, Athirah, A., Asaf, R., Tahe, S., Hendrajat, E. A., & Tauhid, I. (2024). Exploring environmental condition of silvofishery pond to support the sustainability of mangrove management in Berau Regency, Indonesia. *Environmental Research Communications*, 6(9), 095008. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad6823>
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(5939), 419–422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Pebrianti. (2021). *Analisis kesesuaian penggunaan lahan terhadap fungsi kawasan di wilayah pesisir Desa Penyaring, Kecamatan Moyo Utara* [Skripsi, Universitas Muhammadiyah Mataram].
- Pertiwi, E. (2014). *Tinjauan nilai kearifan lokal sistem peternakan Lar di Kabupaten Sumbawa (Studi kasus Lar Badi dan Lar Gili Rakit)*. Universitas Diponegoro.
- Revida, E., Ismail, R., Lumbanraja, P., Trimurni, F., Sembiring, S. A. B., & Purba, S. (2023). Village owned enterprises governance (BUMDes) based on the tourism village development. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 18(10), 3341–3346. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.181034>
- Richards, D. R., & Friess, D. A. (2016). Rates and drivers of mangrove deforestation in Southeast Asia, 2000–2012. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(2), 344–349. <https://doi.org/10.1073/pnas.1510272113>
- Samawa Rea. (2025). Pasca revitalisasi, produksi tambak udang rakyat meningkat, Sumbawa butuh pabrik processing.
- Sidik, F., Lawrence, A., Wagey, T., Zamzani, F., & Lovelock, C. E. (2023). Blue carbon: A new paradigm of mangrove conservation and management in Indonesia. *Marine Policy*, 147, 105388. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105388>
- Sumarlin, S., Anton, A., & Ismiati, I. (2022). Analisis bentuk, pola pelaksanaan dan peran 'Basiru' dalam pembangunan pedesaan di Desa Selante Kabupaten Sumbawa. *Jurnal Ilmiah Membangun Desa dan Pertanian*, 7(6), 236–246.

- Toiba, H., Rahman, M. S., Nugroho, T. W., Priyanto, M. W., Noor, A. Y. M., & Shaleh, M. I. (2024). Understanding the link between climate change adaptation and household food security among shrimp farmers in Indonesia. *Marine Policy*, 165, 106206. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106206>
- Uddin, M. N., Khan, M. A., Nielsen, M., & Nielsen, R. (2025). The potential of integrated multi-trophic aquaculture as an alternative to traditional shrimp farming: A global review of environmental, economic and social sustainability. *Aquaculture Reports*, 45, 103122. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103122>
- Utomo, B., Sumarmi, Utaya, S., & Bachri, S. (2025). Economic and environmental sustainability in silvofishery of mangrove ecosystem in Ogan Komering Ilir Protected Forest, Ogan Komering Ilir Regency, Indonesia. *Agroforestry Systems*, 99(7), 207. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01305-6>
- Vo, T. T. E., Ko, H., Huh, J.-H., & Park, N. (2021). Overview of solar energy for aquaculture: The potential and future trends. *Energies*, 14(21), 6923. <https://doi.org/10.3390/en14216923>
- Wang, R., Guo, Z., Tang, Y., Kuang, J., Duan, Y., Lin, H., Jiang, S., Shu, H., & Huang, J. (2020). Effects on development and microbial community of shrimp *Litopenaeus vannamei* larvae with probiotics treatment. *AMB Express*, 10(1), 109. <https://doi.org/10.1186/s13568-020-01041-3>