

MANAJEMEN BUDIDAYA UDANG VANAME BERKELANJUTAN BERBASIS PENDEKATAN SOSIAL, EKONOMI, EKOLOGI, INSTITUSI, DAN TEKNOLOGI: STUDI KASUS DI UJUNG GENTENG, SUKABUMI

Kasful Anwar^{1*}, Donwil Panggabean¹, Albert Gamot Malau¹, Mulyadi¹, dan Anis Khairunnisa²

¹Magister Manajemen Perikanan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Terbuka, Tangerang Selatan 15437, Banten, Indonesia

²Program Studi Pengolahan Hasil Laut, Politeknik Kelautan dan Perikanan Jembrana, Jembrana 82215, Bali, Indonesia

(Naskah diterima: 19 Mei 2025; Revisi final: 20 Agustus 2025; Disetujui publikasi: 20 Agustus 2025)

ABSTRAK

Keberlanjutan pengelolaan akuakultur merupakan aspek krusial untuk memastikan produktivitas jangka panjang dan kesehatan lingkungan. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi status keberlanjutan budidaya udang vaname (*Penaeus vannamei*) di kawasan Ujung Genteng, Sukabumi, melalui pendekatan multidimensi yang mencakup dimensi sosial, ekonomi, ekologi, institusional, dan teknologi. Metode yang digunakan adalah *Rapid Appraisal for Fisheries* (RAPFISH) berbasis pendekatan *multi-dimensional scaling* (MDS) yang dimodifikasi untuk memasukkan dimensi teknologi serta validasi melalui ulangan Monte Carlo sebanyak 25 kali. Hasil menunjukkan dimensi teknologi memperoleh skor tertinggi (77,325), mengindikasikan "sangat berkelanjutan", sementara dimensi lainnya, termasuk sosial (59,237), ekonomi (68,236), ekologi (61,856), dan institusional (60,215), dikategorikan sebagai "cukup berkelanjutan". Dimensi sosial, ekonomi, ekologi, dan institusional memiliki atribut sensitif, berpotensi meningkatkan status keberlanjutan dari cukup berkelanjutan menjadi berkelanjutan hingga sangat berkelanjutan, yang meliputi semangat gotong royong dan hubungan dengan pemerintah (sosial), tujuan pemasaran dan penyerapan tenaga kerja (ekonomi), tingkat pemanfaatan lahan dan kualitas air tambak (ekologi) serta skala usaha dan kemitraan kelembagaan (institusional). Penekanan juga diberikan pada integrasi teknologi canggih seperti sistem *nanobubble*, pemberi pakan otomatis, energi surya, dan pemantauan *real-time* berbasis IoT. Inovasi-inovasi ini menunjukkan potensi signifikan dalam meningkatkan kadar oksigen terlarut, efisiensi pakan serta pengurangan biaya operasional, yang berkontribusi pada pertumbuhan udang yang lebih baik dan penurunan tingkat kematian. Temuan ini menegaskan pentingnya pendekatan holistik yang mengombinasikan kemajuan teknologi, keterlibatan komunitas, dan dukungan institusional untuk mencapai praktik akuakultur yang berkelanjutan. Rekomendasi untuk penelitian mendatang mencakup pengujian aplikasi yang lebih luas di berbagai lingkungan akuakultur serta pengembangan teknologi adaptif untuk menghadapi tantangan yang muncul di sektor budidaya udang.

KATA KUNCI: akuakultur; keberlanjutan; manajemen; RAPFISH; udang vaname

*Korespondensi: Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Terbuka, Tangerang Selatan 15437, Banten, Indonesia
Email: kasful@ecampus.ut.ac.id

ABSTRACT: Sustainable Whiteleg Shrimp Farming Management Based on Social, Economic, Ecological, Institutional, and Technological Dimensions: A Case Study in Ujung Genteng, Sukabumi

*Sustainability in aquaculture management is essential to ensure long-term productivity and environmental health. This study evaluates the sustainability status of whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei*) farming in Ujung Genteng, Sukabumi, using a multidimensional approach covering social, economic, ecological, institutional, and technological dimensions. The Rapid Appraisal for Fisheries (RAPFISH) method, based on multi-dimensional scaling (MDS) and modified to include technology, was applied with 25 Monte Carlo iterations for validation. Results indicate that the technological dimension achieved the highest score (77.325), categorized as "highly sustainable", while other dimensions, including social (59.237), economic (68.236), ecological (61.856), and institutional (60.215), were considered "moderately sustainable". Sensitive attributes in social, economic, ecological, and institutional dimensions have the potential to improve sustainability status from moderately sustainable become sustainable to highly sustainable, including community cooperation and government relations (social), market orientation and employment absorption (economic), land use intensity and pond water quality (ecological), as well as business scale and institutional partnerships (institutional). The study highlights the role of advanced technologies such as nanobubble systems, automatic feeders, solar energy, and IoT-based real-time monitoring. These innovations can enhance dissolved oxygen levels, improve feed efficiency, reduce operational costs, and ultimately support better shrimp growth and lower mortality rates. Overall, the findings emphasize the importance of a holistic approach combining technological innovation, community involvement, and institutional support to achieve sustainable aquaculture. Future research is recommended to expand applications across diverse aquaculture environments and to develop adaptive technologies for emerging challenges in shrimp farming.*

KEYWORDS: aquaculture; management; RAPFISH; sustainability; whiteleg shrimp

PENDAHULUAN

Budidaya udang merupakan salah satu sektor perikanan yang memiliki potensi besar dalam mendorong pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Salah satu kawasan yang memiliki potensi besar dalam pengembangan budidaya udang adalah Kabupaten Sukabumi. Namun, seiring dengan meningkatnya aktivitas budidaya, tantangan terhadap keberlanjutan sektor ini juga semakin kompleks. Beberapa masalah utama yang dihadapi oleh petani tambak kawasan Ujung Genteng, Sukabumi, mencakup kualitas hidup dan pendapatan masyarakat yang rendah, penurunan kualitas lingkungan akibat limbah tambak, tingginya biaya operasional serta rendahnya adopsi teknologi modern yang dapat meningkatkan

produktivitas secara efisien dan ramah lingkungan.

Dalam menghadapi tantangan tersebut, pengelolaan keberlanjutan menjadi kunci utama untuk memastikan kelangsungan produksi budidaya udang tanpa mengorbankan aspek sosial, ekonomi, dan ekologi. Pengelolaan yang optimal dan berkelanjutan melibatkan pemahaman yang mendalam terhadap berbagai faktor yang memengaruhi keberhasilan tambak udang, termasuk pendekatan sosial, ekonomi, ekologi, kebijakan regulasi, dan teknologi. Dengan menggabungkan pendekatan-pendekatan ini, diharapkan sistem budidaya udang dapat mencapai keseimbangan antara produktivitas, kesejahteraan masyarakat serta kelestarian lingkungan.

Teknologi memainkan peran yang semakin

penting dalam optimalisasi pengelolaan tambak udang. Inovasi seperti *nanobubble*, *automatic feeder*, *solar energy*, dan *internet of things* (IoT) menawarkan solusi yang efektif untuk mengatasi berbagai tantangan dalam budidaya udang. Teknologi *nanobubble*, misalnya, mampu meningkatkan kadar oksigen terlarut di dalam air, sehingga meningkatkan kualitas lingkungan tambak dan kesehatan udang (Tari & Ramasre, 2024). Sementara itu, *automatic feeder* membantu mengoptimalkan pemberian pakan, sehingga mengurangi pemborosan dan biaya pakan (Fernandes & Dmello, 2025). Penggunaan energi surya (*solar energy*) juga memberikan alternatif sumber energi yang lebih efisien dan ramah lingkungan serta mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil. Pendekatan manajemen lingkungan berbasis probiotik dan bioflok juga memiliki potensi besar dalam mendukung keberlanjutan budidaya udang vaname. Teknologi probiotik berfungsi untuk meningkatkan kualitas air melalui kompetisi mikroba, sehingga dapat menekan pertumbuhan bakteri patogen seperti *Vibrio* spp., serta memperbaiki kesehatan udang dan efisiensi pakan (Kewcharoen & Srisapoome, 2019). Sementara sistem bioflok memungkinkan pemanfaatan bahan organik berupa sisa pakan dan feses menjadi sumber protein tambahan, yang secara signifikan dapat meningkatkan efisiensi pemeliharaan, menekan limbah, dan memperbaiki kualitas air (Khanjani & Sharifinia, 2020). Selain itu, pemanfaatan IoT dalam memantau kondisi tambak secara *real-time* dapat membantu petani mengambil keputusan yang lebih cepat dan tepat, berdasarkan data lingkungan dan kondisi tambak (Prapti *et al.*, 2021).

Pentingnya integrasi berbagai teknologi tersebut dalam sistem budidaya udang modern tidak hanya berdampak pada peningkatan efisiensi operasional, tetapi juga memperkuat aspek keberlanjutan yang melibatkan dimensi sosial, ekonomi, dan ekologi. Selain itu, kepatuhan terhadap kebijakan dan regulasi yang berlaku dalam sektor perikanan, baik di tingkat lokal maupun nasional, harus menjadi perhatian utama dalam pengelolaan

tambak udang untuk menjaga kesinambungan ekosistem dan keberlanjutan produksi dalam jangka panjang.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan mengembangkan strategi pengelolaan keberlanjutan tambak udang di kawasan Ujung Genteng, Sukabumi, dengan mengintegrasikan pendekatan sosial, ekonomi, ekologi, regulasi kebijakan, dan teknologi. Dengan pendekatan holistik ini, diharapkan tambak udang kawasan Ujung Genteng, Sukabumi, tidak hanya mampu mencapai produktivitas yang optimal, tetapi juga berkontribusi terhadap kesejahteraan sosial dan perlindungan lingkungan secara berkelanjutan.

Revolusi industri 4.0 saat ini telah menyebabkan perubahan besar-besaran (disrupsi) yang sangat luar biasa dan mendorong pergeseran hebat (*great shifting*) pada berbagai sektor dan sendi kehidupan, tak terkecuali pada sektor perikanan. Kondisi ini merupakan tantangan sekaligus peluang baru bagi sektor perikanan Indonesia untuk mengejawantahkan gejala-gejala disrupsi tersebut agar dapat mewujudkan suatu pengelolaan sumber daya dan potensi perikanan yang berkelanjutan (*sustainable fisheries management*), peningkatan produktivitas, dan peningkatan kesejahteraan seluruh *stakeholder* pada sektor perikanan dalam menghadapi tantangan global ke depan. Lahirnya era industri 4.0 ini seyogyanya mampu memberikan solusi terhadap berbagai tantangan pada sektor perikanan serta mengatasi ketimpangan yang masih ada hingga saat ini pada sektor perikanan tersebut. Sektor perikanan khususnya pada sub-sektor perikanan budidaya harus segera mengambil bagian dalam era revolusi industri 4.0 ini, salah satunya adalah dengan inovasi teknologi tepat guna dan inovasi instrumen yang dapat diterapkan dan diimplementasikan secara masif, antara lain adalah dengan pemanfaatan teknologi *nanobubble*, sistem pemberian pakan secara otomatis (*automatic feeder*), energi hijau baru terbarukan (*solar energy*), dan IoT. Teknologi seperti benih unggul, manajemen pakan, dan sistem bioflok telah terbukti

efektif dalam meningkatkan produktivitas. Namun demikian, integrasi dengan teknologi pendukung seperti *nanobubble* untuk oksigenasi, *automatic feeder* untuk efisiensi pakan, dan pemanfaatan energi surya untuk keberlanjutan energi, merupakan strategi lanjutan untuk mengoptimalkan produktivitas tambak secara menyeluruh. Untuk menjawab tantangan era industri 4.0 dan memanfaatkan peluangnya pada sektor perikanan, maka perlu dilakukan suatu penelitian komprehensif dengan memanfaatkan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) yang diharapkan dapat memberikan nilai tersendiri dan bermanfaat bagi *stakeholder* sektor perikanan budidaya tambak udang serta bagi khalayak luas. Penelitian ini berusaha menjawab tantangan tersebut, dengan melakukan pengamatan langsung pada budidaya tambak super intensif untuk melihat kombinasi dan integrasi penggunaan dari teknologi *automatic feeder*, *nanobubble*, *solar energy*, dan IoT.

Urgensi penelitian ini adalah dapat memberikan dan menghadirkan informasi dan inovasi terbaru teknologi tepat guna yaitu E-FARM yang mampu meningkatkan produktivitas petambak udang dalam usaha budidaya mereka. E-FARM merupakan teknologi digital berbasis aplikasi yang dirancang untuk memfasilitasi manajemen budidaya secara terintegrasi. Melalui fitur-fitur *monitoring* dan pencatatan data *real-time*, E-FARM mendukung pengambilan keputusan berbasis data, bukan hanya sebagai alat bantu analisis, tetapi sebagai sistem manajemen produksi secara digital (Sabran & Rusfian, 2023). Instrumen E-FARM ini diharapkan dapat dikomersialisasikan ke tahap yang lebih luas pada masyarakat pembudidaya udang.

Salah satu metode yang banyak digunakan untuk menilai keberlanjutan sistem perikanan dan akuakultur adalah *Rapid Appraisal for Fisheries* (RAPFISH). Metode ini memiliki kelebihan berupa fleksibilitas dalam penggunaan indikator multidimensi, kemampuan menghasilkan penilaian cepat berbasis persepsi ahli serta kemudahan dalam visualisasi status keberlanjutan melalui analisis

multi-dimensional scaling (MDS). Selain itu, RAPFISH dinilai efisien dalam mengidentifikasi atribut sensitif yang paling berpengaruh terhadap keberlanjutan, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam perumusan strategi intervensi kebijakan (Farid *et al.*, 2024; Safitri *et al.*, 2024). Keunggulan-keunggulan ini menjadikan RAPFISH sebagai metode yang relevan dan adaptif dalam menganalisis sistem akuakultur yang kompleks, termasuk budidaya udang vaname berbasis teknologi tinggi. Hasil penelitian ini merupakan salah satu model penelitian yang memberikan kontribusi baru pada pengembangan IPTEK dan diharapkan memberikan solusi yang tepat terkait peningkatan hasil budidaya tambak udang dalam meningkatkan ekonomi dan budidaya berkelanjutan pada pelaku usaha.

BAHAN DAN METODE

Rancangan Percobaan

Penelitian dilakukan dengan metode kuantitatif dan kualitatif, sehingga penelitian ini dapat digolongkan sebagai penelitian campuran. Secara kuantitatif, penelitian dilakukan untuk menguji dugaan adanya pengaruh beberapa parameter penelitian (dimensi), dalam hal ini terkait dengan keberlanjutan usaha. Sementara penelitian kualitatif dilakukan untuk mengeksplorasi dan mendeskripsikan keberlanjutan usaha tersebut.

Baik untuk penelitian kuantitatif atau penelitian kualitatif, metode survei digunakan untuk pengumpulan datanya. Menurut Sugiyono (2014), metode survei dilakukan untuk memperoleh data penelitian, baik yang terjadi sekarang atau sebelumnya, terkait dengan pendapat, perilaku, keyakinan, dan sifat yang berkaitan juga dengan variabel, dengan menggunakan sampel dari kelompok populasi tertentu. Dalam penelitian ini, metode survei yang digunakan adalah melalui observasi dengan bantuan kuesioner, dengan tujuan agar fakta-fakta di lapangan dapat terjangkau dan terhimpun dengan baik. Penelitian diawali

dengan melakukan identifikasi masalah berupa adanya berkelanjutan atau tidak yang ditunjang oleh beberapa faktor yang mendukung, sehingga diduga permasalahannya ada pada faktor tersebut yang kemudian dikelompokkan ke dalam dimensi-dimensi keberlanjutan, dianalisis dengan RAPFISH. Tahap selanjutnya adalah pengumpulan data, yang berupa data sekunder dan data primer. Data yang terkumpul kemudian dilakukan pengolahan berupa tabulasi yang kemudian dimasukkan ke dalam alat analisis RAPFISH modifikasi sehingga diperoleh nilai atau status keberlanjutan masing-masing dimensi serta atribut sensitifnya (Silvia & Muhsoni, 2024).

Sumber Informasi

Pada penelitian ini digunakan 35 responden yang terdiri atas pelaku usaha (*stakeholder*), peneliti atau akademisi, Dinas Perikanan atau instansi terkait, dan penyuluh perikanan. Penentuan responden didasarkan pada tujuan atau pertimbangan tertentu (*purposive sampling*) berupa pengetahuan dan kepakaran atau keahlian yang dimiliki terkait budidaya tambak udang pada umumnya.

Instrumen Percobaan

Penggunaan instrumen penelitian yang tepat sangat memengaruhi proses pengumpulan data penelitian dari sumber informasi yang digunakan. Proses pengumpulan data penelitian dilakukan dengan instrumen berupa kuesioner, melalui wawancara langsung sekaligus melakukan observasi. Sebelumnya responden atau sumber informasi diberikan penjelasan tentang penelitian yang dilakukan termasuk penjelasan terkait kuesioner dan cara pengisiannya. Pembuatan kuesioner mengacu pada Farid *et al.* (2024) serta Silvia dan Muhsoni (2024) dengan didasarkan pada kebutuhan data yang nantinya akan dilakukan analisis. Untuk memastikan instrumen benar-benar dapat digunakan, instrumen penelitian juga dilakukan pengujian, untuk menilai reliabilitas dan validitasnya.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan secara langsung melalui lembaran kuesioner. Teknis pengumpulan datanya dilengkapi dengan observasi lapangan, terutama untuk responden yang merupakan pelaku usaha budidaya udang, guna memperoleh data kontekstual dan memperkuat hasil survei. Kuesioner penelitian RAPFISH untuk analisis keberlanjutan dengan sampel berupa responden yang ditentukan berdasarkan tujuan atau pertimbangan tertentu (*purposive sampling*) berupa pengetahuan dan keahlian yang dimiliki terkait kegiatan perikanan pada umumnya. Melalui teknik ini, diperoleh sebanyak 35 orang responden yang terdiri atas beragam latar belakang (Tabel 1).

Analisis Data

Analisis keberlanjutan kawasan budidaya tambak udang dilakukan dengan menggunakan analisis multidimensi melalui *multi-dimensional scaling* (MDS), dengan metode RAPFISH modifikasi dari Farid *et al.* (2024) serta Silvia dan Muhsoni (2024). Pada penelitian ini, modifikasi RAPFISH dilakukan dalam beberapa aspek, yaitu: (1) penambahan dimensi teknologi sebagai aspek penting dalam budidaya udang vaname di era industri 4.0; (2) penyusunan ulang indikator atau atribut dalam setiap dimensi berdasarkan hasil studi literatur, observasi lapangan, dan masukan pakar; serta (3) penggunaan perangkat lunak RAPFISH berbasis Microsoft Excel yang diadaptasi untuk mengolah 100 atribut dari lima dimensi dengan validasi hasil menggunakan ulangan Monte Carlo sebanyak 25 kali. Modifikasi ini dimaksudkan agar metode RAPFISH lebih sesuai menggambarkan kondisi keberlanjutan spesifik kawasan tambak udang super intensif di Ujung Genteng, Sukabumi. Setiap atribut mempunyai indikator yang tidak sama satu dengan lainnya, didasarkan pada hasil kajian pustaka, observasi, dan wawancara. Indikator ini yang menjadi dasar bagi responden dalam memberikan skor pada setiap atribut dimensi. Pemberian skor pada setiap atribut

Tabel 1. Karakteristik responden RAPFISH untuk analisis keberlanjutan budidaya udang di Ujung Genteng, Sukabumi

Table 1. Respondent characteristics of RAPFISH to determine the sustainability of shrimp farming in Ujung Genteng, Sukabumi

No	Kategori responden <i>Respondent characteristics</i>	Jumlah responden (orang) <i>Number of respondents (ind)</i>
1	Pelaku usaha aktif di kawasan Ujung Genteng, Sukabumi <i>Active aquaculture practitioners in Ujung Genteng, Sukabumi</i>	20
2	Peneliti lembaga riset dan akademisi di bidang akuakultur <i>Researchers from research institutions and academic scholars in aquaculture</i>	4
3	Penyuluh perikanan Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Sukabumi <i>Fisheries extension officers from the Department of Marine and Fisheries Sukabumi Regency</i>	3
4	Aparatur Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Sukabumi <i>Officials of the Department of Marine and Fisheries Sukabumi Regency</i>	5
5	Dinas Lingkungan Hidup <i>Environmental Agency</i>	2
6	Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang <i>Public Works and Spatial Planning Agency</i>	1
Total		35

(skoring), selain merupakan penilaian sendiri, responden dapat juga melakukannya dengan mencocokkan fakta di lapangan dengan kriteria pada tiap indikatornya.

Analisis data kemudian dilakukan dengan menggunakan Microsoft Excel yang di dalamnya sudah dipautkan (*add-in*) dengan program RAPFISH modifikasi. Setiap data yang didapat diberi nilai yang merepresentasikan kondisi sumberdaya tersebut. Hasilnya menunjukkan tingkat keberlanjutan di setiap aspek yang dianalisis dalam skala 0 hingga 100% (Nababan *et al.*, 2017). Apabila sistem yang diteliti memiliki nilai indeks melebihi 75% maka pengembangan tersebut dianggap berkelanjutan (*sustainable*), sedangkan jika kurang dari 75% maka sistem tersebut dikategorikan belum berkelanjutan (*unsustainable*). Pada tahap selanjutnya, dilakukan analisis sensitivitas untuk mengetahui atribut yang paling berpengaruh terhadap indeks keberlanjutan di lokasi penelitian. Pengaruh dari setiap atribut diamati melalui perubahan “Root Mean Square” (RMS) ordinasi, terutama pada sumbu X atau skala *sustainability* (Alder *et al.*, 2000). Semakin tinggi nilai perubahan RMS akibat hilangnya suatu

atribut tertentu, maka semakin besar pula peran atribut tersebut dalam membentuk nilai indeks keberlanjutan pada skala *sustainability*, atau semakin sensitif atribut tersebut dalam menentukan tingkat keberlanjutan pengelolaan. Indeks keberlanjutan menyimpulkan masing-masing dimensi tergolong kategori tidak berkelanjutan (0-25), kurang berkelanjutan (> 25-50), cukup berkelanjutan (> 50-75), atau sangat berkelanjutan (> 75-100) (Erwina *et al.*, 2016; Muhsoni *et al.*, 2021).

HASIL DAN BAHASAN

Penentuan status keberlanjutan tambak udang di kawasan Ujung Genteng, Sukabumi, Jawa Barat, dilakukan menggunakan metode RAPFISH. Metode ini melibatkan penilaian (skoring) terhadap berbagai atribut yang terkait dengan empat dimensi utama: sosial, ekonomi, ekologi, kelembagaan, dan teknologi. Status keberlanjutan budidaya tambak udang ditentukan berdasarkan rentang nilai yang diperoleh dari analisis ordinasi RAPFISH pada masing-masing dimensi.

Pendekatan Dimensi Sosial

Pendekatan dimensi sosial, termasuk dalam keterlibatan komunitas lokal dan struktur kelembagaan yang mendukung. Menurut Okeyo *et al.* (2015), partisipasi masyarakat dalam pengambilan keputusan yang berkaitan dengan pengelolaan tambak dapat memperkuat keberlanjutan usaha tersebut. Atribut yang digunakan dalam mengevaluasi dimensi sosial yaitu pengetahuan masyarakat tentang dampak keberadaan kawasan tambak udang Ujung Genteng, Sukabumi, di antaranya tingkat pendidikan, konflik sosial, partisipasi masyarakat dalam pengelolaan kawasan terhadap kerusakan sumberdaya oleh masyarakat. Dimensi sosial terdiri atas 14 atribut, diperoleh nilai modus penilaian (skor) dari semua responden untuk setiap atributnya pada Gambar 2.

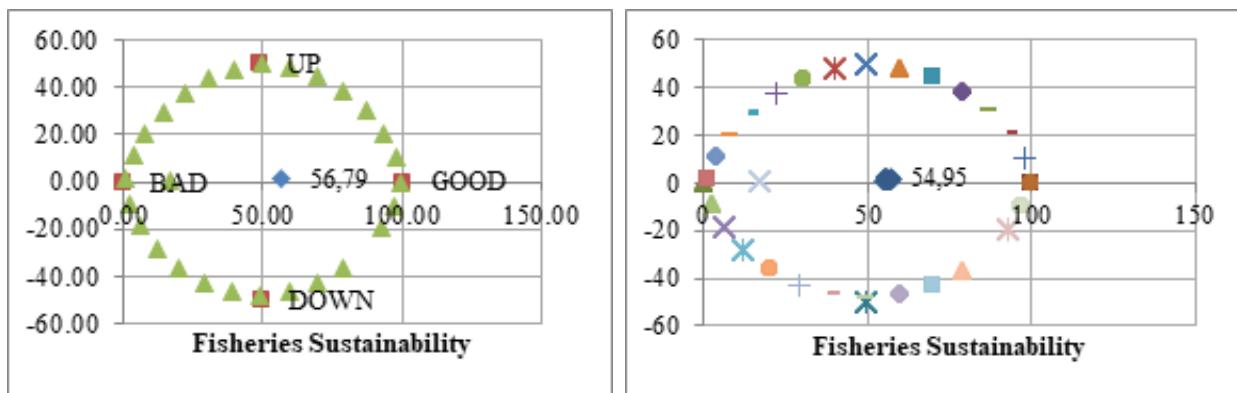
Berdasarkan hasil analisis terhadap atribut tersebut diperoleh nilai keberlanjutan dimensi sosial dengan status keberlanjutan adalah cukup dengan nilai indeks berdasarkan nilai indeks yang dikonfirmasi oleh keberlanjutan (*RapScore*) dengan nilai 59,3, Monte Carlo dengan nilai 59,1, *Squared Correlation* (RSQ) dengan nilai 95,2, *stress* dengan nilai 0,139 serta *Rapscore*-Monte Carlo dengan nilai 0,159 yang berada di antara nilai indeks keberlanjutan dimensi ekologi dan dimensi ekonomi. Nilai *stress* sama dengan dimensi ekonomi, yaitu 0,139 dengan RSQ yang sedikit lebih tinggi, yaitu 95,55%. Kedua nilai tersebut menunjukkan bahwa nilai indeks keberlanjutan (*Rapscore*) valid dan stabil dapat dilihat dari hasil analisis skor RAPFISH (*Rapscore*) dan Monte Carlo pada dimensi sosial pada Gambar 1. Hal itu diperkuat dengan analisis Monte Carlo yang memperlihatkan hasil berupa bagan sebar yang semuanya dengan 25 kali ulangan yang menempel sekitar nilai indeks keberlanjutan. Kestabilan (reliabilitas) dan kevalidan (validitas) tersebut juga dapat menjadi indikasi bahwa atribut dimensi sosial yang dipilih sudah sesuai.

Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai indeks keberlanjutan untuk dimensi sosial adalah cukup berkelanjutan dengan nilai

56,79% (skala *sustainability* 0-100, dan nilai indeks < 50). Berdasarkan kriteria Kavanagh dan Pitcher (2004), hal ini memperlihatkan bahwa status berkelanjutan untuk dimensi sosial dari keberadaan kawasan tambak udang Ujung Genteng, Sukabumi, termasuk ke dalam kategori cukup berkelanjutan. Persepsi dan partisipasi adalah unsur perilaku manusia yang memengaruhi tindakan seseorang (Pratiwi *et al.*, 2019). Berdasarkan hasil kuesioner, diketahui bahwa peran serta masyarakat dalam meningkatkan kehidupan sosial masih sangat rendah di kawasan tambak udang Ujung Genteng, Sukabumi. Keterlibatan aktif masyarakat dalam kehidupan sosial sangat penting dan perlu ditingkatkan. Pada dimensi sosial juga terdiri atas 14 atribut memperlihatkan sebaran nilai pengaruh (*leverage*) atribut terhadap indeks keberlanjutan dimensi dapat dilihat pada hasil analisis *leveraging* pada Gambar 2.

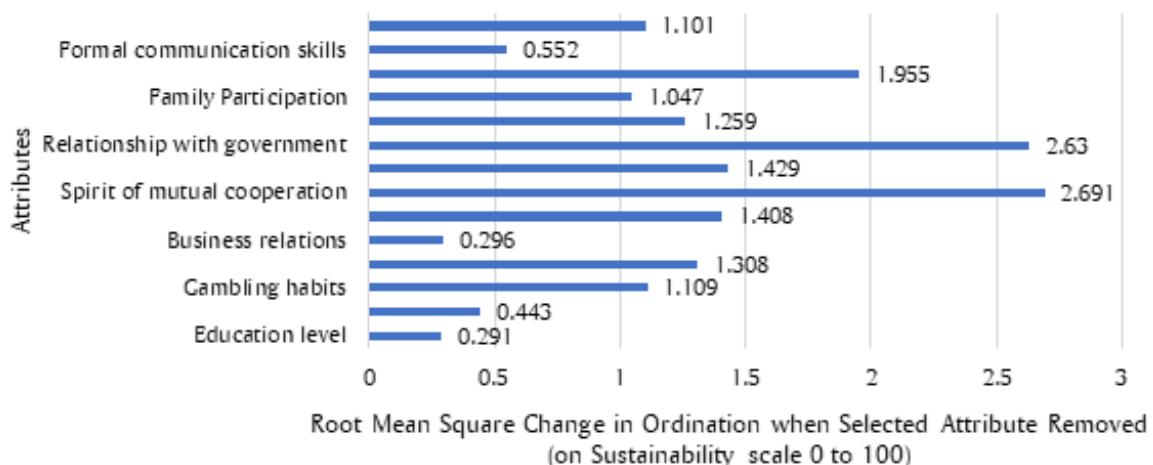
Keeratan hubungan masyarakat dengan semangat gotong royong mempunyai nilai yang sangat signifikan sebesar 2,691, selanjutnya hubungan dengan pemerintah sebesar 2,630 berada di urutan kedua. Hal ini dapat memengaruhi cara berpikir dan bertindak dalam membuat keputusan terutama terkait dengan pemanfaatan sumberdaya di sekitarnya. Rendahnya tingkat pendidikan dengan nilai sebesar 0,291 dapat menjadi hambatan dalam partisipasi masyarakat untuk mengelola pranata sosial. Tingkat pendidikan masyarakat memainkan peran penting dalam meningkatkan kesadaran dan pemahaman mereka tentang pentingnya pengelolaan kawasan budidaya berkelanjutan bagi kehidupan, di samping semangat gotong royong yang tinggi.

Masyarakat dengan tingkat pendidikan yang lebih tinggi cenderung memiliki pengetahuan yang lebih baik mengenai fungsi dan manfaat sosial, meningkatnya aktivitas dan jumlah orang yang ingin memanfaatkan sumberdaya berpotensi menimbulkan konflik dalam penggunaannya. Selanjutnya, nilai terendah pada atribut tingkat pendidikan sebesar 0,291. Hal ini, membuktikan betapa pentingnya menjalin mitra usaha dengan berbagai *stakeholder* di bidang perikanan,



Gambar 1. Hasil analisis skor RAPFISH Ordination (Rapscore) (kiri) dan RAPFISH Ordination Monte Carlo Scatter Plot pada dimensi sosial (kanan) budidaya *Penaeus vannamei* di Kawasan Ujung Genteng, Sukabumi

Figure 1. Results of RAPFISH Ordination score (Rapscore) analysis (left) and RAPFISH Ordination Monte Carlo Scatter Plot for the social dimension (right) of *Penaeus vannamei* culture in Ujung Genteng, Sukabumi



Gambar 2. Analisis leveraging (sensitivitas) dimensi sosial dengan pendekatan RAPFISH pada budidaya *Penaeus vannamei* di kawasan Ujung Genteng, Sukabumi

Figure 2. Leveraging (sensitivity) analysis of the social dimension using the RAPFISH approach on *Penaeus vannamei* culture in Ujung Genteng, Sukabumi

manfaatnya belum optimal karena pada dasarnya pelaku usaha cenderung cepat merasa puas dan memiliki kemampuan komunikasi formal yang rendah, sehingga belum mampu memanfaatkan berbagai peluang, terutama pada dimensi sosial sehingga keberlanjutannya belum maksimal (hanya cukup).

Herdiansyah (2019) menyatakan bahwa konflik sosial dapat timbul karena keterbatasan sumberdaya yang ada sementara kebutuhan akan sumberdaya terus meningkat. Namun,

berdasarkan wawancara dengan masyarakat setempat, diketahui bahwa belum ada konflik sosial antarpelaku budidaya tambak yang terjadi. Hasil penilaian atribut sensitif dimensi sosial lima besar, dapat dilihat pada Tabel 2. Dari hasil analisis lima besar atribut sensitif dimensi sosial berdasarkan besaran nilai RMS, komunikasi sosial merupakan hal yang sangat fundamental dibutuhkan sesama *stakeholder*. Hal ini sejalan dengan pendapat Lutfi (2018), bahwa salah satu cara untuk menghubungkan

kebutuhan, perasaan, dan pikiran seseorang dengan pihak lain adalah melalui komunikasi. Peningkatan partisipasi masyarakat, penguatan forum komunikasi, serta pelibatan aktif dalam pengambilan keputusan telah terbukti efektif memperkuat modal sosial dalam sistem akuakultur (Savari *et al.*, 2024). Dengan meningkatnya indikator-indikator tersebut, maka indeks sosial secara keseluruhan berpeluang naik ke kategori berkelanjutan.

Pendekatan Dimensi Ekonomi

Keterlibatan dalam sisi ekonomi, menurut riset Agus dan Susilo (2017) menunjukkan bahwa budidaya tambak berkelanjutan dapat meningkatkan pendapatan masyarakat lokal melalui penggunaan teknologi yang lebih efisien. Dimensi ekonomi juga merupakan dimensi yang memengaruhi keberlanjutan budidaya tambak udang. Atribut (indikator) yang diperkirakan memberikan pengaruh terhadap tingkat keberlanjutan dimensi ekonomi terdiri atas 14 atribut (Gambar 4).

Hasil analisis menunjukkan bahwa dimensi ekonomi berada pada status cukup berkelanjutan dengan nilai *RapScore* sebesar 68,236, nilai Monte Carlo sebesar 67,264, *Squared Correlation* (RSQ) sebesar 95,33, nilai *stress* 0,137, serta selisih antara *RapScore* dan

Monte Carlo sebesar 0,972. Dengan demikian, keberlanjutan usaha budidaya tambak udang dapat lebih ditingkatkan lagi dari dimensi ekonominya. Hal tersebut dapat diyakini dengan 25 kali ulangan pada analisis Monte Carlo yang hasilnya berupa bagan sebar yang menumpuk (stabil) di sekitar nilai indeks keberlanjutannya. Skor RAPFISH (*Rapscore*) dan bagan sebar (*scatter plot*) Monte Carlo untuk dimensi ekonomi dapat dilihat pada Gambar 3.

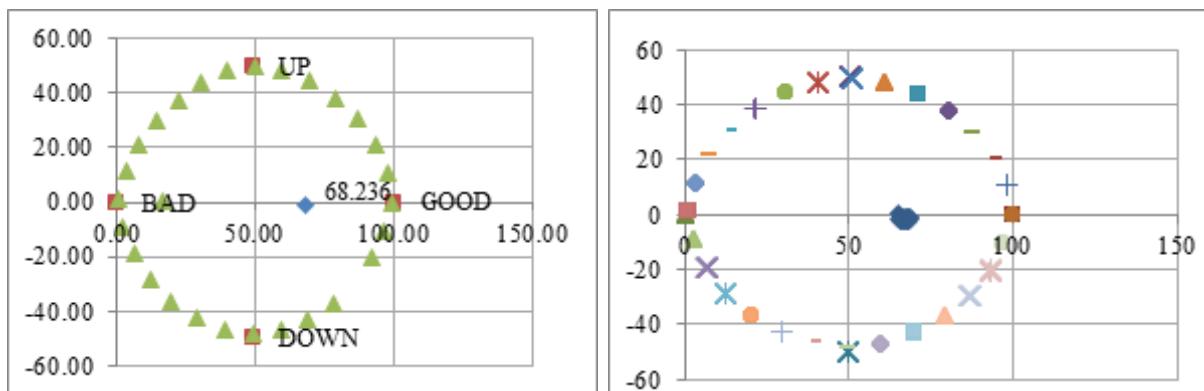
Hasil analisis berkelanjutan dari keberadaan kawasan tambak udang Ujung Genteng, Sukabumi, terhadap dimensi ekonomi masyarakat menunjukkan nilai indeks dengan kategori cukup berkelanjutan sebesar 68,236% (Gambar 3). Nilai indeks keberlanjutan dimensi ekonomi lebih besar 11,446% dibanding nilai indeks keberlanjutan dimensi sosial. Nilai indeks keberlanjutan dimensi ekonomi juga lebih besar dari 50 yang memiliki arti bahwa dimensi ekonomi pada pengelolaan keberadaan kawasan tambak udang Ujung Genteng, Sukabumi, tergolong kategori cukup berkelanjutan.

Berdasarkan hasil kuesioner di kawasan tambak udang Ujung Genteng, Sukabumi, menghasilkan model dan penentuan atribut dimensi yang digunakan sudah tepat, sementara dari hasil analisis *leveraging* didapatkan sebaran nilai sensitivitas (*leverage*)

Tabel 2. Lima besar atribut sensitif dimensi sosial berdasarkan analisis RAPFISH budidaya *Penaeus vannamei* di Ujung Genteng, Sukabumi

Table 2. Top five sensitive attributes of the social dimension based on RAPFISH analysis in *Penaeus vannamei* culture in Ujung Genteng, Sukabumi

No	Atribut dimensi Dimension attributes	Leverage (RMS)
1	Semangat gotong royong <i>Spirit of mutual cooperation</i>	2,691
2	Hubungan dengan pemerintah <i>Relationship with government</i>	2,630
3	Minat meningkatkan usaha <i>Interest in improving business</i>	1,955
4	Kedekatan pelaku usaha <i>Proximity among farmers</i>	1,429
5	Tren jumlah pembudidaya <i>Trend in the number of farmers</i>	1,408



Gambar 3. Hasil analisis skor RAPFISH Ordination (*Rapscore*) (kiri) dan RAPFISH Ordination Monte Carlo *Scatter Plot* pada dimensi ekonomi (kanan) budidaya *Penaeus vannamei* di kawasan Ujung Genteng, Sukabumi

Figure 3. Results of RAPFISH Ordination score (*Rapscore*) analysis (left) and RAPFISH Ordination Monte Carlo scatter plot for the economic dimension (right) of *Penaeus vannamei* culture in Ujung Genteng, Sukabumi



Gambar 4. Analisis *leveraging* (sensitivitas) dimensi ekonomi dengan pendekatan RAPFISH pada budidaya *Penaeus vannamei* di kawasan Ujung Genteng, Sukabumi

Figure 4. Leveraging (sensitivity) analysis of the economic dimension using the RAPFISH approach in *Penaeus vannamei* culture in Ujung Genteng, Sukabumi

dari 14 atribut dimensi ekonomi yang sudah ditetapkan. Selain itu diperoleh juga hasil analisis *leveraging* berupa sebaran nilai unkit (sensitivitas) dari setiap atribut pada hasil analisis *leveraging* (sensitivitas) dimensi ekonomi dapat dilihat pada Gambar 4.

Berdasarkan hasil wawancara dan kuesioner, dimensi ekonomi memberikan manfaat ekonomis secara optimal bagi masyarakat pesisir karena pemanfaatan yang dilakukan secara langsung tergolong tinggi.

Kawasan pesisir merupakan gambaran dimensi ekonomi dari nilai justifikasi atau estimasi dari nilai pengelolaan kawasan budidaya tambak udang Ujung Genteng, Sukabumi. Lima besar atribut sensitif dimensi ekonomi meliputi tujuan pemasaran (2,821), penyerapan tenaga kerja (2,706), penerimaan keuntungan (2,703), alternatif pekerjaan (2,655), dan penerimaan relatif (2,625), untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3. Hal ini menunjukkan bahwa sistem ekonomi dalam budidaya udang masih

belum optimal dari sisi efisiensi distribusi dan margin keuntungan. Menurut Olaganathan dan Mun (2017), keterbatasan akses pasar dan ketergantungan pada jalur distribusi tradisional menyebabkan nilai tambah dari komoditas udang kurang maksimal. Kebutuhan hidup yang semakin meningkat juga dapat memengaruhi keberlanjutan usaha budidaya tambak udang. Salah satu alasan pelaku usaha tidak lagi menjalankan aktivitas usahanya karena telah habisnya modal usaha untuk memenuhi kebutuhan lain (Azari & Wirdanengsih, 2022). Oleh karena itu, intervensi seperti penguatan koperasi pemasaran, pengembangan produk olahan, dan kemitraan dagang strategis dapat secara langsung memperbaiki skor atribut tersebut dan mendorong dimensi ekonomi ke level berkelanjutan.

Pendekatan Dimensi Ekologi

Perkembangan sektor budidaya tambak udang sangat tergantung pada habitat lingkungan yang mendukung. Hal ini juga menjadi syarat utama dalam pemilihan lokasi budidaya tambak udang sebagai daya dukung ekologi. Dimensi ekologi dalam kegiatan usaha budidaya tambak dapat menjadi faktor pendorong dan penghambat. Hal senada diungkapkan Pearce dan Turner (1991) bahwa lingkungan merupakan penentu utama bagi keberlanjutan usaha, di mana dengan memberikan prioritas pada perlindungan lingkungan, maka keberlanjutan menjadi baik (kuat). Dimensi ekologi terdiri dari 12 atribut yang berhubungan dengan kondisi bahan baku, pemasaran, dan aspek lingkungan lainnya (Gambar 6).

Indeks keberlanjutan untuk dimensi ekologi dari adanya kawasan tambak udang Ujung Genteng, Sukabumi, yang ditampilkan pada Gambar 5 adalah sebesar 61,856%, dengan skala *sustainability* 0-100 dan nilai indeks < 50 . Hal ini menunjukkan bahwa status berkelanjutan dari kawasan tambak udang Ujung Genteng, Sukabumi, berdasarkan dimensi ekologinya adalah cukup berkelanjutan. Nilai indeks keberlanjutan dimensi ekologi lebih besar

5,07% dibanding indeks keberlanjutan dimensi sosial, namun lebih rendah 6,38% dibanding nilai keberlanjutan dimensi ekonomi.

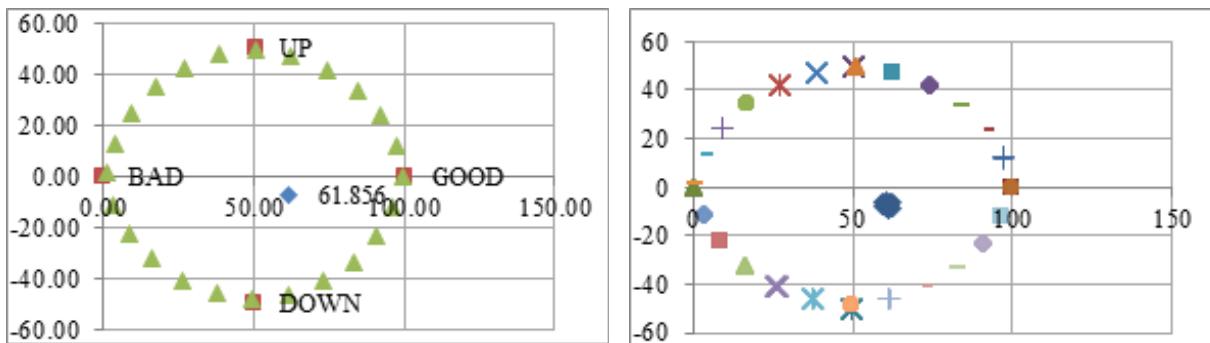
Pertumbuhan penduduk yang tinggi dan pesatnya kegiatan pembangunan di wilayah pesisir laut serta kebutuhan lahan yang semakin meningkat, menyebabkan tekanan ekologis terhadap wilayah pesisir, utamanya pengembangan tambak udang.. Pemanfaatan wilayah pesisir tidak hanya meliputi eksploitasi sumberdaya pesisir seperti mangrove, hasil laut, maupun ekosistem terkait, tetapi juga meningkat pada perubahan fungsi lahan (Syamsu *et al.*, 2018). Peralihan tata guna menjadi kawasan pemukiman, pariwisata, industri, dan aktivitas lainnya yang berlebihan, berisiko menyebabkan kerusakan ekologi dan menurunkan daya dukung kawasan budidaya (Ligate *et al.*, 2018).

Hasil analisis *leveraging* (sensitivitas) dimensi ekologi mendapatkan atribut tingkat pemanfaatan lahan dengan nilai paling tinggi sebesar 3,431, berturut turut diikuti oleh kualitas air tambak sebesar 3,359, kepadatan tebar sebesar 2,820, tingkat pencemaran sebesar 2,792, dan kesesuaian lahan sebesar 2,499. Oleh karena itu, untuk mendukung kegiatan budidaya yang ramah lingkungan, diperlukan pelestarian ekosistem mangrove. Kegiatan ini sangat bermanfaat bagi lingkungan budidaya karena sistem perakaran mangrove dapat meningkatkan kadar oksigen dalam air tambak, yang sangat penting untuk pertumbuhan ikan dan udang. Selain itu, daun yang gugur dari mangrove api-api (*Avicennia* sp.) akan diurai oleh mikroba, menjadi pakan organik yang sangat baik bagi udang dan ikan. Kawasan perbatasan tambak dan sawah; untuk mencegah intrusi air laut ke lahan pertanian padi, perlu ditanam mangrove jenis tanjang (*Bruguiera gymnorhiza*). Jenis mangrove ini mampu tumbuh dengan baik di tanah lempung yang sedikit padat. Selain itu, mangrove juga dapat menyerap dan mengurangi salinitas air, sehingga sangat efektif sebagai pembatas alami antara kawasan tambak dan sawah. Ketebalan vegetasi mangrove di area ini harus disesuaikan dengan kondisi lahan yang ada.

Tabel 3. Lima besar atribut sensitif dimensi ekonomi berdasarkan analisis RAPFISH budidaya *Penaeus vannamei* di Ujung Genteng, Sukabumi

Table 3. Top five sensitive attributes of the economic dimension based on RAPFISH analysis in *Penaeus vannamei* culture in Ujung Genteng, Sukabumi

No	Atribut dimensi Dimension attributes	Leverage (RMS)
1	Tujuan pemasaran <i>Marketing objectives</i>	2,821
2	Penyerapan tenaga kerja <i>Labor absorption</i>	2,706
3	Penerimaan keuntungan <i>Profit achievement</i>	2,703
4	Alternatif pekerjaan <i>Alternative jobs</i>	2,655
5	Penerimaan relatif <i>Relative income</i>	2,625

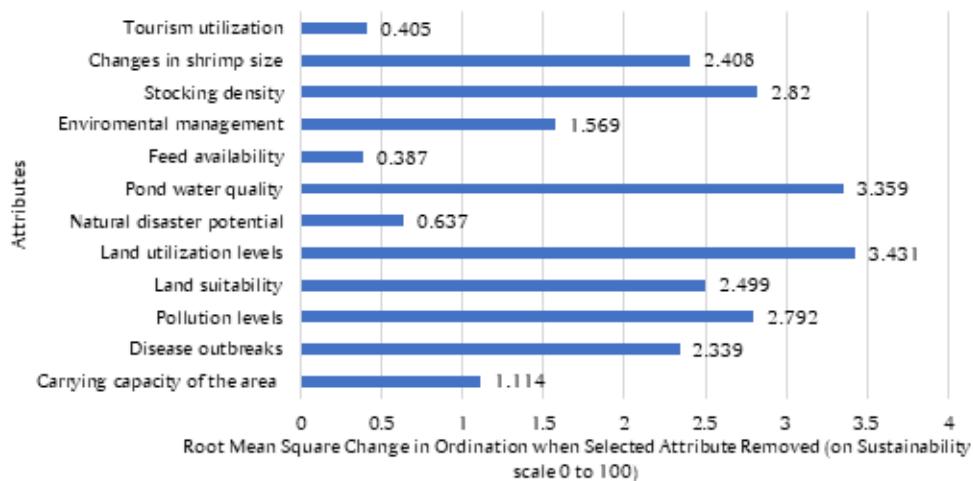


Gambar 5. Hasil analisis skor RAPFISH *Ordination (Rapscore)* (kiri) dan RAPFISH *Ordination Monte Carlo Scatter Plot* pada dimensi ekologi (kanan) budidaya *Penaeus vannamei* di kawasan Ujung Genteng, Sukabumi

Figure 5. Results of the RAPFISH Ordination score (Rapscore) analysis (left) and RAPFISH Ordination Monte Carlo Scatter Plot for the ecological dimension (right) of *Penaeus vannamei* culture in Ujung Genteng, Sukabumi

Dimensi ekologi termasuk dalam kategori cukup berkelanjutan. Lima besar atribut sensitif dimensi ekologi meliputi tingkat pemanfaatan lahan (3,431), kualitas air tambak (3,359), kepadatan tebar (2,820), tingkat pencemaran (2,792), dan keseuaian lahan (2,499) (Tabel 4). Nilai RMS ini menandakan bahwa praktik pemanfaatan ruang dan manajemen kualitas air tambak memiliki pengaruh besar terhadap skor keberlanjutan. Pemanfaatan lahan yang belum sesuai daya dukung lingkungan dan tidak adanya zonasi tambak berkontribusi terhadap tekanan ekosistem pesisir. Demikian

pula, kualitas air tambak yang fluktuatif akibat kepadatan tebar tinggi dan limbah pakan menyebabkan penurunan produktivitas serta peningkatan risiko penyakit. Oleh karena itu, diperlukan perumusan strategi guna meningkatkan status keberlanjutan dimensi ekologi. Perlu pula diperhatikan atribut sensitif dalam dimensi ekologi pada pemanfaatan sumberdaya mangrove yang tidak berlandaskan kepentingan ekologis dapat mengancam keberlanjutan ekosistem. Pertumbuhan penduduk yang tinggi diikuti dengan pesatnya kegiatan pembangunan di



Gambar 6. Analisis leveraging (sensitivitas) dimensi ekologi dengan pendekatan RAPFISH pada budidaya *Penaeus vannamei* di kawasan Ujung Genteng, Sukabumi

Figure 6. Leveraging (sensitivity) analysis of the ecological dimension using the RAPFISH approach in *Penaeus vannamei* culture in Ujung Genteng, Sukabumi

wilayah pesisir dengan berbagai peruntukan meningkatkan tekanan ekologis terhadap ekosistem pesisir, khususnya ekosistem mangrove. Upaya perbaikan melalui teknologi *nanobubble* dan sistem bioflok, seperti yang disarankan oleh Tari dan Ramasre (2024), terbukti mampu meningkatkan kadar oksigen, menekan limbah organik, dan memperbaiki efisiensi pakan. Jika intervensi ini dijalankan secara konsisten, dimensi ekologi berpotensi naik menjadi berkelanjutan.

Pendekatan Dimensi Kelembagaan

Dimensi kelembagaan merupakan dimensi penting yang digunakan untuk melakukan analisis keberlanjutan pengembangan kawasan budidaya tambak udang. Kelembagaan, dari segi prosesnya, dapat diartikan sebagai upaya dalam membangun pola interaksi antara pelaku usaha, sehingga kegiatan usahanya dapat berjalan. Sementara dari sisi tujuannya, kelembagaan dimaksudkan agar efisiensi dapat terjadi melalui jalur sosial dan politik antara pelaku usaha dan pemerintah sebagai pemegang struktur kekuasaan (Pearce & Turner, 1991). Oleh karena itu, dimensi kelembagaan juga penting untuk turut dianalisis sebagai salah satu dimensi keberlanjutan usaha, yang

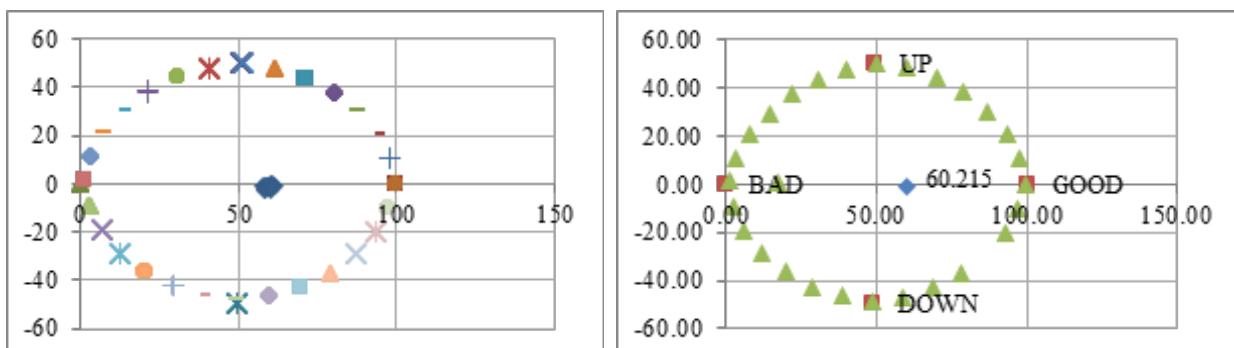
berdasarkan beberapa pengertian tersebut, diuraikan ke dalam 14 atribut seperti dapat dilihat pada Gambar 8.

Hasil analisis RAPFISH modifikasi pada dimensi ekologi menunjukkan bahwa status keberlanjutannya bernilai cukup, karena nilai indeks keberlanjutan (61,856) berada pada rentang 50-75 (Erwina *et al.*, 2016). Nilai indeks dan interpretasinya tersebut dapat dijamin tingkat kebenarannya, karena pada saat dilakukan pengulangan sebanyak 25 kali, nilainya tidak jauh berubah. Hal itu ditunjukkan oleh bagan sebaran Monte Carlo berupa data yang berkumpul di sekitar nilai indeks tersebut sebesar 60,981. Tingkat kebenaran model dan pemilihan atribut yang digunakan juga dapat dipastikan dari nilai RSQ sebesar 95,22. Hasil analisis menunjukkan bahwa model yang digunakan sudah baik, karena nilai stress-nya kecil, yaitu 0,137 lebih kecil dari batas atas untuk nilai stress sebesar 0,25 (Erwina *et al.*, 2016). Sementara dari nilai RSQ yang berada di sekitar 95% menandakan bahwa selain model yang digunakan mempunyai ketepatan yang mendekati 100%, di mana standar minimalnya adalah 80% (Fauzi & Anna, 2005), standar minimal dan interpretasi yang sama juga berlaku pada pemilihan atributnya. Dengan kata lain, atribut yang dipilih sudah dapat menjelaskan hampir 100%.

Tabel 4. Lima besar atribut sensitif dimensi ekologi berdasarkan analisis RAPFISH budidaya *Penaeus vannamei* di Ujung Genteng, Sukabumi

Table 4. Top five sensitive attributes of the ecological dimension based on RAPFISH analysis in *Penaeus vannamei* culture in Ujung Genteng, Sukabumi

No	Atribut dimensi Dimension attributes	Leverage (RMS)
1	Tingkat pemanfaatan lahan <i>Land utilization levels</i>	3,431
2	Kualitas air tambak <i>Pond's water quality</i>	3,359
3	Kepadatan tebar <i>Stocking density</i>	2,820
4	Tingkat pencemaran <i>Pollution levels</i>	2,792
5	Kesesuaian lahan <i>Land suitability</i>	2,499



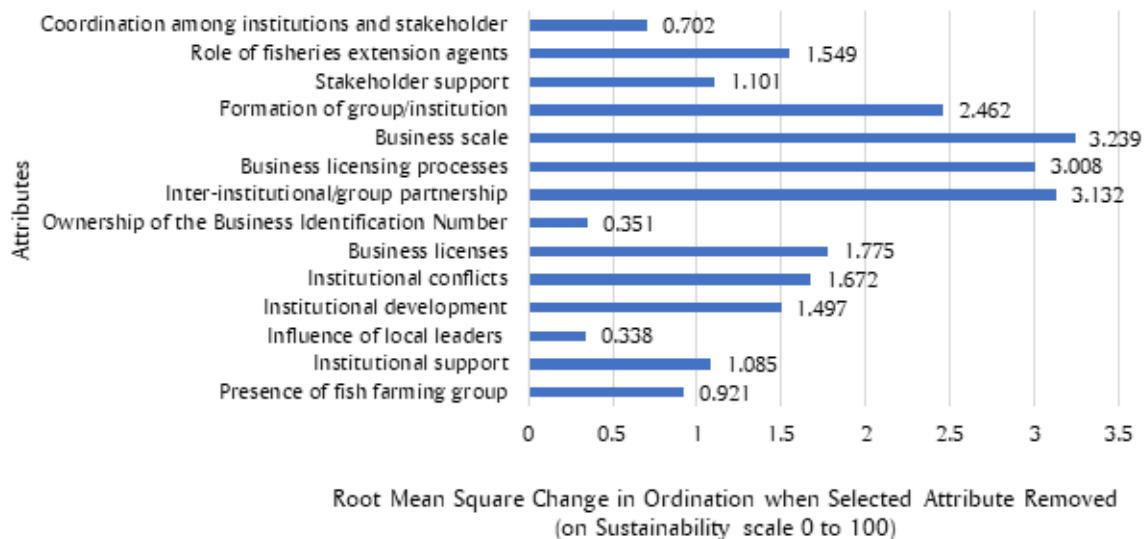
Gambar 7. Hasil analisis skor RAPFISH *Ordination (Rapscore)* (kiri) dan RAPFISH *Ordination Monte Carlo Scatter Plot* pada dimensi kelembagaan (kanan) budidaya *Penaeus vannamei* di kawasan Ujung Genteng, Sukabumi

Figure 7. The results of the RAPFISH Ordination score (*Rapscore*) analysis (left) and the RAPFISH Ordination Monte Carlo Scatter Plot for the institutional dimension (right) of *Penaeus vannamei* culture in Ujung Genteng, Sukabumi

Berdasarkan Gambar 7 diketahui bahwa indeks keberlanjutan untuk dimensi kelembagaan dari adanya kawasan tambak udang Ujung Genteng, Sukabumi, sebesar 60,215%. Hal ini menunjukkan bahwa status berkelanjutan dari kawasan tambak udang Ujung Genteng, Sukabumi, berdasarkan dimensi kelembagaan adalah cukup berkelanjutan. Nilai indeks keberlanjutan dimensi kelembagaan lebih besar 3,425% dibanding indeks keberlanjutan dimensi sosial, namun lebih kecil 8,021% dari indeks keberlanjutan dimensi ekonomi dan 1,641% dari indeks keberlanjutan dimensi

ekologi. Hasil analisis keberlanjutan dimensi kelembagaan pada Gambar 7 menunjukkan hasil yang berbeda dengan dimensi sosial, ekonomi, dan ekologi. Untuk itu, pengaruh (leverage) 14 atribut terhadap nilai indeks keberlanjutan dapat dilihat pada hasil analisis *leveraging* dimensi kelembagaan pada Gambar 8.

Berdasarkan hasil analisis *leveraging* (sensitivitas) dimensi kelembagaan terdapat atribut yang sensitif terhadap nilai indeks keberlanjutan dimensi kelembagaan, yaitu skala usaha sebesar 3,329 dan kemitraan antarlembaga atau kelompok sebesar 3,132.



Gambar 8. Analisis *leveraging* (sensitivitas) dimensi kelembagaan dengan pendekatan RAPFISH pada budidaya *Penaeus vannamei* di kawasan Ujung Genteng, Sukabumi

Figure 8. Leveraging (sensitivity) analysis of the institutional dimension using the RAPFISH approach in *Penaeus vannamei* culture in Ujung Genteng, Sukabumi

Selanjutnya, nilai atribut pengurusan izin usaha sebesar 3,008, pembentukan kelompok atau kelembagaan sebesar 2,462, dan izin usaha sebesar 1,775. Kawasan pesisir merupakan gambaran penting dalam pengelolaan dimensi kelembagaan berdasarkan nilai justifikasi atau estimasi dari nilai pengelolaan kawasan budidaya tambak udang Ujung Genteng, Sukabumi, yang tergolong dalam lima besar atribut sensitif untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.

Keberlanjutan dimensi kelembagaan didukung pula oleh peran penyuluhan perikanan yang efektif, serta kemudahan pengurusan izin usaha. Namun, karena kategori pelaku usaha dan skala usahanya tergolong dalam skala mikro dan belum berkelanjutan, serta tidak adanya peningkatan kelas kelompok, menjadikan kedua atribut teratas belum mampu untuk mendorong status keberlanjutan dimensi kelembagaan menjadi cukup seperti empat dimensi lain. Kondisi ini juga disebabkan oleh kurang optimalnya pemanfaatan peran penyuluhan perikanan dan penggunaan fasilitas perizinan usaha oleh pelaku usaha itu sendiri. Menurut Fitri *et al.* (2024), pengurusan perizinan merupakan kemampuan teknis

dari sebagian besar pelaku usaha sehingga belum dianggap perlu adanya izin usaha. Pada dasarnya kegiatan penyuluhan berawal dari adanya pemahaman pelaku usaha (masyarakat) terhadap masalah dan potensi yang ada, sehingga menimbulkan dorongan untuk menyelesaikan masalah dengan memanfaatkan potensi yang tersedia, termasuk hal terkait dengan aspek kelembagaan (Daulay *et al.*, 2023).

Pendekatan Dimensi Teknologi

Dimensi teknologi dalam pengembangan kawasan budidaya tambak udang sangat diperlukan dalam meningkatkan produktivitas nilai tambah. Teknologi terbaru seperti *nanobubble*, *automatic feeder*, energi surya, dan IoT telah terbukti memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan budidaya tambak. *Nanobubble*, yang meningkatkan oksigen terlarut dalam air, dapat mengurangi tingkat pencemaran dan meningkatkan kesehatan udang atau ikan yang dibudidayakan (Lee *et al.*, 2019). *Automatic feeder* memungkinkan distribusi pakan yang lebih efisien, yang berkontribusi

Tabel 5. Lima besar atribut sensitif dimensi kelembagaan berdasarkan analisis RAPFISH budidaya *Penaeus vannamei* di Ujung Genteng, Sukabumi

Table 5. Top five sensitive attributes of the institutional dimension based on RAPFISH analysis in *Penaeus vannamei* culture in Ujung Genteng, Sukabumi

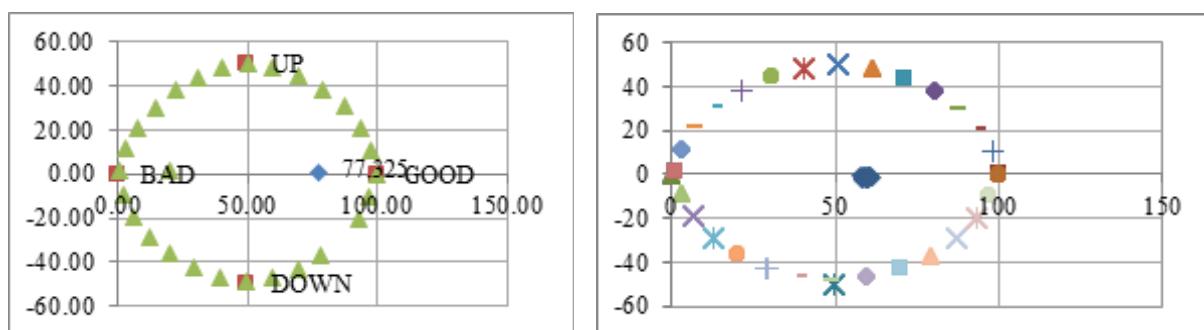
No	Atribut dimensi Dimension attributes	Leverage (RMS)
1	Skala usaha <i>Business scale</i>	3,329
2	Kemitraan antarlembaga atau kelompok <i>Inter-institutional or group partnership</i>	3,132
3	Pengurusan izin usaha <i>Business licensing processes</i>	3,008
4	Pembentukan kelompok atau kelembagaan <i>Formation of group or institution</i>	2,462
5	Izin usaha <i>Business licenses</i>	1,775

pada pengurangan terhadap pemborosan pakan dan pengelolaan kualitas air yang lebih baik (Soomro *et al.*, 2020). Penggunaan energi surya sebagai sumber energi terbarukan di tambak dapat mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang lebih mahal dan berdampak lingkungan (Irfan *et al.*, 2019). Penggunaan IoT untuk pemantauan kondisi tambak secara *real-time* juga sangat berpotensi untuk meningkatkan hasil budidaya dengan meminimalkan risiko dan kerugian (Sung *et al.*, 2021). Analisis terhadap dimensi teknologi menggunakan 14 atribut yang dapat dilihat pada Gambar 10.

Hasil analisis RAPFISH modifikasi pada dimensi kelembagaan (Gambar 9) menunjukkan bahwa status keberlanjutannya bernilai baik karena nilai indeks keberlanjutannya sebesar 77,325 berada pada rentang 50-75 (Fauzi & Anna, 2005). Nilai indeks dan interpretasinya tersebut dapat dijamin tingkat kebenarannya karena pada saat dilakukan pengulangan sebanyak 25 kali, nilainya tidak jauh berubah. Hal itu ditunjukkan oleh bagan sebaran Monte Carlo berupa data yang berkumpul di sekitar nilai indeks tersebut sebesar 75,187 (Erwina *et al.*, 2016). Tingkat kebenaran model dan pemilihan atribut yang digunakan juga dapat dipastikan dari nilai RSQ sebesar 95,39%. Hasil analisis menunjukkan bahwa model yang digunakan sudah baik, karena nilai *stress*-nya

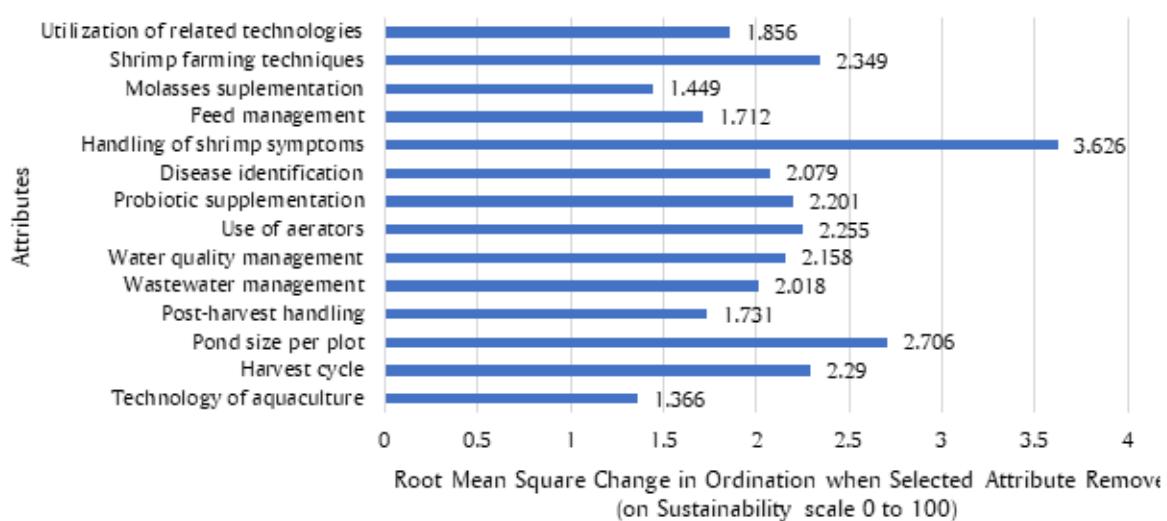
kecil, yaitu 0,136 lebih kecil dari batas atas untuk nilai *stress* sebesar 0,25 (Fauzi & Anna, 2005). Sementara dari nilai RSQ yang berada di sekitar 95% menandakan bahwa selain model yang digunakan mempunyai ketepatan yang mendekati 100%, di mana standar minimalnya adalah 80% (Fauzi & Anna, 2005). Standar minimal dan interpretasi yang sama juga berlaku pada pemilihan atributnya. Dengan kata lain, atribut yang dipilih sudah dapat menjelaskan hampir 100%.

Berdasarkan Gambar 9 diketahui bahwa indeks keberlanjutan untuk dimensi teknologi dari adanya kawasan tambak udang Ujung Genteng, Sukabumi, sebesar 77,325%. Hal ini menunjukkan bahwa status berkelanjutan dari kawasan tambak udang Ujung Genteng, Sukabumi, berdasarkan dimensi teknologi adalah cukup berkelanjutan. Nilai indeks keberlanjutan dimensi teknologi lebih besar dibanding indeks keberlanjutan dari dimensi sosial, ekonomi, ekologi, dan kelembagaan. Secara lebih rinci, indeks keberlanjutan dimensi teknologi lebih besar 20,535% dibanding indeks keberlanjutan dimensi sosial, lebih besar 9,089% dari indeks keberlanjutan dimensi ekonomi, lebih besar 15,469% dibanding indeks keberlanjutan dimensi ekologi, dan lebih besar 17,11% dibanding indeks keberlanjutan dimensi kelembagaan. Hasil analisis *leveraging* pada dimensi teknologi dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 9. Hasil analisis skor RAPFISH *Ordination* (*Rapscore*) (kiri) dan RAPFISH *Ordination Monte Carlo Scatter Plot* pada dimensi teknologi (kanan) budidaya *Penaeus vannamei* di kawasan Ujung Genteng, Sukabumi

Figure 9. Results of the RAPFISH Ordination score (*Rapscore*) analysis (left)) and RAPFISH Ordination Monte Carlo Scatter Plot for the technology dimension (right) of *Penaeus vannamei* culture in Ujung Genteng, Sukabumi



Gambar 10. Hasil analisis *leveraging* (sensitivitas) dimensi teknologi dengan pendekatan RAPFISH pada budidaya *Penaeus vannamei* di kawasan Ujung Genteng, Sukabumi

Figure 10. Leveraging (sensitivity) analysis of the technology dimension using the RAPFISH approach in *Penaeus vannamei* culture in Ujung Genteng, Sukabumi

Berdasarkan hasil analisis *leveraging* (sensitivitas) dimensi teknologi, terdapat lima atribut yang sensitif terhadap nilai indeks keberlanjutan dimensi teknologi, yaitu nilai atribut penanganan udang yang terindikasi sebesar 3,626, nilai atribut ukuran tambak per petak sebesar 2,706, nilai pengetahuan teknik budidaya tambak udang sebesar 2,349, nilai siklus panen sebesar 2,290, dan nilai atribut penggunaan kincir air sebesar 2,255 (Tabel 6). Dari lima atribut tersebut, berdasarkan modus skor responden, diperoleh satu atribut yang

masuk kriteria baik (*good*) dan empat atribut yang masuk kriteria buruk (*bad*).

Kriteria *good* terdapat pada atribut ke-1 di mana penanganan udang terindikasi, artinya dengan diketahui lebih awal gejala atau indikasi, maka tindakan preventif dan *treatment* akan cepat dilakukan dalam menjaga pembesaran udang. Untuk itu, keempat hal tersebut menjadi keunggulan dan peluang tersendiri, karena sebenarnya teknik penanganan udang terindikasi adalah informasi awal dalam keberhasilan budidaya pada tambak udang

Tabel 6. Lima besar atribut sensitif dimensi teknologi berdasarkan analisis RAPFISH budidaya *Penaeus vannamei* di Ujung Genteng, Sukabumi

Table 6. Top five sensitive attributes of the technology dimension based on RAPFISH analysis in *Penaeus vannamei* culture in Ujung Genteng, Sukabumi

No	Atribut dimensi <i>Dimension attributes</i>	Leverage (RMS)
1	Penanganan udang terindikasi <i>Handling of shrimp disease symptoms</i>	3,626
2	Ukuran tambak per petak <i>Pond size per plot</i>	2,706
3	Pengetahuan teknik budidaya tambak udang <i>Shrimp farming techniques knowledge</i>	2,349
4	Siklus panen <i>Harvest cycle</i>	2,290
5	Penggunaan kincir air <i>Use of paddle wheels</i>	2,255

dengan teknologi super intensif. Hal ini ditandai juga dengan ukuran tambak per petak atau luasan tambak udang yang menggunakan pengetahuan teknik tambak udang yang diisi dengan kepadatan tinggi serta memperhatikan siklus panen dan penggunaan kincir air. Tentunya atribut ini merupakan hal baru terhadap teknologi-teknologi yang dapat terus meningkatkan produktivitas tambak.

Hasil penelitian ini, juga menunjukkan sebuah inovasi yang mengintegrasikan teknologi *nanobubble*, *automatic feeder*, energi surya, dan IoT. Sistem *nanobubble* mampu secara signifikan meningkatkan kadar oksigen terlarut di dalam air tambak, yang pada gilirannya menjaga stabilitas kualitas air. Selain itu, sistem *automatic feeder* berfungsi memberikan pakan secara konsisten dan terukur, yang berkontribusi pada peningkatan efisiensi penggunaan pakan.

Penerapan teknologi *nanobubble* dan *automatic feeder* terbukti efektif dalam meningkatkan pertumbuhan udang serta mengurangi tingkat kematian yang disebabkan oleh infeksi bakteri *Vibrio* sp. Penggunaan sistem IoT memungkinkan *monitoring real-time* yang efisien, sehingga mempermudah pengambilan keputusan dalam pengelolaan tambak. Hasil pengamatan selama satu siklus produksi menunjukkan bahwa penggunaan teknologi dapat meningkatkan hasil panen

udang hingga 20% dibanding dengan metode konvensional. Selain itu, efisiensi energi dari penggunaan energi surya juga berhasil menekan biaya operasional hingga 15%.

Meskipun penerapan teknologi seperti *nanobubble*, *automatic feeder*, IoT, dan energi surya menunjukkan peningkatan produktivitas dan efisiensi tambak, tantangan utama terletak pada aksesibilitasnya. Teknologi ini lebih mudah diakses oleh petambak skala menengah dan besar yang memiliki sumberdaya dan dukungan kelembagaan, sedangkan petambak kecil masih menghadapi hambatan modal, literasi digital, dan minimnya pendampingan (Kumar *et al.*, 2018). Selain itu, otomatisasi tambak mengurangi kebutuhan tenaga kerja manual, terutama dalam aktivitas pemberian pakan dan pemantauan air, yang meskipun efisien, dapat berdampak sosial negatif jika tidak diimbangi dengan pelatihan ulang tenaga kerja lokal (Joffre *et al.*, 2018). Oleh karena itu, adopsi teknologi harus diikuti strategi inklusif seperti skema subsidi, pelatihan teknis, dan pemberdayaan masyarakat agar transformasi ini benar-benar berkelanjutan.

Ketersediaan teknologi budidaya di kawasan Ujung Genteng relatif terjamin melalui dukungan penyedia peralatan lokal, bantuan pemerintah daerah, dan kemitraan dengan perusahaan swasta yang menawarkan paket teknologi terpadu. Akses terhadap teknologi

tersebut umumnya diperoleh melalui pembelian langsung, skema kredit atau program hibah, meskipun biaya investasi awal masih menjadi kendala bagi sebagian pembudidaya (Kumar *et al.*, 2018). Penerapan teknologi otomatis seperti *autofeeder* dan sensor IoT tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga mengurangi kebutuhan tenaga kerja manual dalam pemberian pakan dan pemantauan kualitas air, yang selanjutnya menggeser peran tenaga kerja dari pekerjaan fisik menuju pengelolaan, pemeliharaan, dan analisis data produksi. Pergeseran ini mencerminkan tren modernisasi akuakultur yang menuntut peningkatan keterampilan sumberdaya manusia agar mampu mengoperasikan dan mengoptimalkan teknologi secara berkelanjutan (Kantal *et al.*, 2025).

Keberlanjutan dimensi teknologi dalam budidaya udang vaname juga dipengaruhi oleh penerapan padat tebar yang sesuai dengan kapasitas sistem. Padat tebar merupakan faktor teknis yang sangat menentukan efektivitas teknologi, karena memengaruhi kualitas air, tingkat *stress*, risiko penyakit serta efisiensi konversi pakan. Padat tebar yang terlalu tinggi berpotensi mengurangi kapasitas teknologi dalam menjaga kadar oksigen terlarut, meningkatkan akumulasi limbah organik, dan menurunkan laju pertumbuhan (Xu *et al.*, 2025). Sebaliknya, padat tebar yang terlalu rendah dapat mengurangi efisiensi penggunaan teknologi, sehingga investasi menjadi kurang optimal. Sementara itu, pada sistem super intensif yang memanfaatkan aerasi modern dan manajemen kualitas air secara *real-time*, kepadatan ≥ 500 ekor m^{-2} masih dapat dipertahankan dengan hasil baik, asalkan pengelolaan limbah dilakukan secara optimal (Mustafa *et al.*, 2023). Dengan demikian, integrasi teknologi berkelanjutan dengan penentuan padat tebar sesuai kapasitas teknis dan lingkungan tidak hanya memaksimalkan produktivitas, tetapi juga menjaga kualitas ekosistem budidaya dalam jangka panjang.

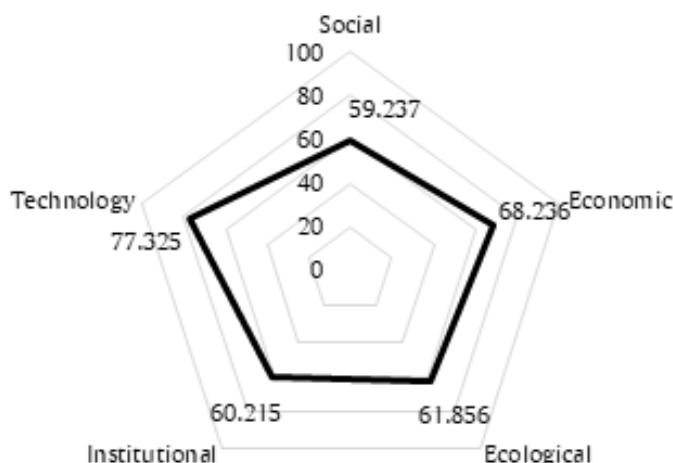
Optimalisasi Pengembangan Kawasan Budidaya Tambak Udang Ujung Genteng, Sukabumi

Optimalisasi pengembangan kawasan budidaya tambak yang efektif yang berlandaskan prinsip-prinsip pengelolaan lingkungan secara berkelanjutan, yaitu pengelolaan yang dilakukan secara terpadu (integral) dan menyeluruh (holistik) dari aspek-aspek lingkungan terkait yang mencakup aspek sosial, ekonomi, ekologi, kelembagaan, dan teknologi. Hasil analisis RAPFISH dari pengaruh masing-masing dimensi dalam menentukan tingkat keberlanjutan pengelolaan sumberdaya budidaya tambak berkelanjutan (Tabel 7) menunjukkan bahwa dimensi sosial dengan nilai 59,237, ekologi 61,856, ekonomi 68,236, dan kelembagaan 60,215 termasuk kategori cukup berkelanjutan, sedangkan dimensi teknologi dengan nilai 77,325 termasuk kategori baik berkelanjutan. Diagram *spider-web* keberlanjutan antardimensi yang diamati dapat dilihat pada Gambar 11.

Hal ini relevan dengan fakta yang ada di lapangan bahwa penggunaan teknologi dalam meningkatkan produktivitas kawasan budidaya tambak seperti sarana dan prasarana sangat diperlukan, yang ditandai dimensi teknologi memiliki nilai terbaik sebesar 77,325. Berdasarkan hasil analisis terhadap dimensi keberlanjutan, status keberlanjutan aspek ekonomi merupakan faktor yang paling dominan dan sekaligus menjadi faktor penentu status keberlanjutan dalam pengelolaan sumberdaya kawasan budidaya tambak udang Ujung Genteng, Sukabumi. Oleh karena itu, diperlukan optimalisasi pengembangan kawasan budidaya tambak udang pada pengelolaan dengan memprioritaskan dimensi-dimensi yang kurang berkelanjutan dan atribut-atribut sensitif dari setiap dimensi tersebut. Terdapat 10 atribut sensitif yang menjadi prioritas dalam menyusun strategi untuk meningkatkan keberlanjutan pengelolaan kawasan budidaya tambak.

Tabel 7. Nilai indeks keberlanjutan (MDS-RAPFISH) kawasan budidaya tambak udang
 Table 7. Sustainability index values (MDS-RAPFISH) of shrimp farming areas

No	Dimensi Dimension	Indeks keberlanjutan Sustainability index (Rapscore)	Monte Carlo	Status keberlanjutan Sustainability state	RSQ (%)	Stress	Rapscore - Monte Carlo
1	Sosial Social	59,237	59,078	Cukup Fair	95,2	0,139	0,159
2	Ekonomi Economic	68,236	67,264	Cukup Fair	95,33	0,137	0,972
3	Ekologi Ecological	61,856	60,981	Cukup Fair	95,22	0,137	0,875
4	Kelembagaan Institutional	60,215	59,511	Cukup Fair	95,34	0,136	0,704
5	Teknologi Technology	77,325	75,187	Baik Good	95,39	0,136	2,138



Gambar 11. Spider-web indeks keberlanjutan antardimensi dengan pendekatan RAPFISH pada budidaya *Penaeus vannamei* di kawasan Ujung Genteng, Sukabumi

Figure 11. Spider-web of sustainability index among dimensions using the RAPFISH approach in *Penaeus vannamei* culture in Ujung Genteng, Sukabumi

Analisis Keberlanjutan

Selain dinilai dari setiap dimensi, keberlanjutan juga dapat dinilai dari semua dimensi (multidimensi). Muhsoni *et al.* (2021) melakukan analisis keberlanjutan multidimensi dengan mengambil atribut yang paling tinggi nilai leverage-nya dari setiap dimensi dan memasukannya ke dalam RAPFISH. Hasil analisisnya menunjukkan bahwa keberlanjutan pengembangan kawasan budidaya tambak udang, dengan nilai indeks 49,95, kurang 0,05 untuk batas bawah kategori cukup. Nilai RSQ

di atas 80% dan nilai stress kurang dari 0,25 yang berarti model yang digunakan sudah sesuai. Sementara dari Monte Carlo diperoleh bagan sebar yang menumpuk pada nilai indeks sehingga dapat dikatakan bahwa nilai indeks tersebut valid. Berdasarkan hasil analisis leveraging, diperoleh bahwa atribut yang paling sensitif atau yang paling berpengaruh bagi keberlanjutan budidaya udang di tambak adalah atribut sosial seperti semangat gotong royong, hubungan dengan pemerintah, minat meningkatkan usaha, kedekatan antarpetambak serta tren jumlah petambak.

Berdasarkan hasil analisis keberlanjutan melalui RAPFISH, pengelolaan budidaya tambak udang (*Penaeus vannamei*) di kawasan Ujung Genteng, Sukabumi, belum berkelanjutan secara baik. Kategori keberlanjutannya secara umum tergolong cukup, bahkan dari dimensi kelembagaan dan secara multidimensi masih tergolong kurang. Hal tersebut didukung oleh tiga indikator (RSQ, stress, dan bagan sebar Monte Carlo). Untuk lebih meyakinkan, validitas hasil analisis juga dapat diukur dari selisih antara nilai indeks keberlanjutan dan nilai Monte Carlo, di mana semakin kecil selisihnya, maka semakin baik validitasnya (Tabel 8).

Dari Tabel 8, dapat dinilai bahwa selisih antara nilai indeks keberlanjutan hasil analisis MDS-RAP (RAPFISH) dan Monte Carlo sangat kecil, semuanya kurang dari 1. Menurut Ariandi dan Mukti (2023), jika selisih nilai indeks keberlanjutan hasil ordinasi (MDS) dan Monte Carlo kecil atau sekitar 1, maka nilai indeks tersebut dapat diterima. Kecilnya selisih atau perbedaan tersebut menunjukkan beberapa hal, yaitu relatif kecilnya kesalahan pada saat pembuatan skor pada atribut, relatif kecilnya pengaruh opini terhadap perbedaan pemberian skor, stabilnya hasil analisis setelah dilakukan

pengulangan, dan bebas dari kesalahan pada saat *input* data (Muhsoni *et al.*, 2021). Hal ini karena proses dan hasil analisis keberlanjutan penting untuk diyakini kebenaran (validitas) dan keandalannya (reliabilitas).

Pada dimensi teknologi, penggunaan teknologi *nanobubble* yang diterapkan dalam sistem budidaya tambak udang kawasan Ujung Genteng, Sukabumi, cukup efektif dalam menjaga kualitas air tambak. Dengan meningkatkan kadar oksigen terlarut dan menurunkan konsentrasi polutan, *nanobubble* mampu mengurangi risiko penyakit pada udang, terutama yang disebabkan oleh bakteri *Vibrio* sp. Teknologi ini menunjukkan potensi besar dalam mendukung keberlanjutan budidaya udang di masa depan.

Sistem pemberian pakan otomatis yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan pakan, tetapi juga membantu mengurangi *stress* pada udang yang dapat disebabkan oleh pemberian pakan yang tidak teratur. Pemberian pakan yang terukur dan konsisten membantu menjaga keseimbangan nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan optimal udang.

Integrasi teknologi dalam pengelolaan tambak, khususnya melalui penggunaan IoT, memberikan kemudahan dan efisiensi yang

Tabel 8. Perbandingan (perbedaan) nilai indeks hasil MDS-RAP dan Monte Carlo dengan pendekatan RAPFISH pada budidaya *Penaeus vannamei* di kawasan Ujung Genteng, Sukabumi

Table 8. Comparison (differences) of index values between MDS-RAP results and Monte Carlo using the RAPFISH approach in *Penaeus vannamei* culture in Ujung Genteng, Sukabumi

No	Dimensi <i>Dimension</i>	MDS-RAP	Monte Carlo	Selisih <i>Difference</i>
1	Sosial <i>Social</i>	54,29	54,07	0,22
2	Ekonomi <i>Economic</i>	52,89	53,31	0,42
3	Ekologi <i>Ecological</i>	57,17	56,30	0,87
4	Kelembagaan <i>Institutional</i>	44,89	45,59	0,70
5	Teknologi <i>Technology</i>	55,13	54,80	0,33
6	Multidimensi <i>Multidimensional</i>	49,95	49,93	0,02

signifikan. *Monitoring* sistem secara *real-time* memungkinkan pengelola tambak untuk melakukan kontrol dari jarak jauh, sehingga intervensi manual dapat diminimalkan. Selain itu, penggunaan energi surya sebagai sumberdaya menunjukkan bahwa sistem teknologi ini tidak hanya efisien tetapi juga ramah lingkungan, sejalan dengan tren menuju penggunaan energi terbarukan dalam berbagai sektor industri. Pengembangan tambak udang memiliki potensi besar untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat lokal dan kontribusi ekonomi daerah. Namun, untuk mencapai keberlanjutan, diperlukan pendekatan yang holistik yang mencakup aspek sosial, ekonomi, ekologi, kelembagaan, regulasi, dan kebijakan serta integrasi teknologi modern seperti *nanobubble*, *automatic feeder*, energi surya, dan IoT.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa optimalisasi tambak udang di kawasan Ujung Genteng, Sukabumi, melalui pendekatan yang terintegrasi antara aspek sosial, ekonomi, ekologi, kelembagaan, dan teknologi menawarkan jalan menuju keberlanjutan yang holistik. Dengan mengadopsi teknologi seperti *nanobubble*, *automatic feeder*, energi surya, dan IoT serta memastikan pemberdayaan masyarakat dan kelembagaan dalam kawasan, budidaya tambak udang dapat berkembang secara efisien, ramah lingkungan, dan memberikan manfaat maksimal bagi seluruh pemangku kepentingan. Integrasi teknologi mampu meningkatkan produktivitas tambak udang super intensif dengan cara menjaga kualitas air, meningkatkan efisiensi pemberian pakan serta menurunkan biaya operasional melalui penggunaan energi terbarukan. Sistem ini dapat menjadi solusi inovatif untuk menghadapi tantangan dalam sektor perikanan budidaya di era revolusi industri 4.0.

Sebagai langkah lanjut, disarankan agar pengembangan sistem ini terus dilakukan, terutama dalam pengujian di berbagai kondisi tambak dan jenis budidaya lainnya. Hal ini

untuk memastikan bahwa sistem teknologi ini fleksibel dan adaptif terhadap berbagai situasi. Kerjasama dengan pihak pemerintah dan sektor swasta juga diperlukan untuk memperluas implementasi dan komersialisasi teknologi ini kepada masyarakat luas. Selain itu, pengembangan lebih lanjut dari sistem IoT perlu difokuskan untuk memperluas fitur *monitoring* dan analisis data, serta mengembangkan teknologi penyimpanan energi yang lebih efisien untuk mendukung operasional yang lebih berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh responden, khususnya para pelaku usaha tambak udang, penyuluh perikanan, serta instansi terkait di Kabupaten Sukabumi, yang telah memberikan dukungan, informasi, dan partisipasi dalam penelitian ini.

KONTRIBUSI PENULIS

KA: Konseptualisasi, kurasi data, analisis formal, perolehan pendanaan, investigasi, metodologi, administrasi proyek, penyediaan sumberdaya, dan penulisan – draf asli; DP: Investigasi, metodologi, dan analisis formal; AGM: Supervisi dan investigasi; M: Kurasi data dan analisis formal; AK: Penulisan – tinjauan dan penyuntingan

PERNYATAAN KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan baik finansial maupun pribadi yang berpengaruh terhadap hasil penelitian dalam naskah ini.

DAFTAR ACUAN

- Agus, N. I., & Susilo, A. (2017). Economic impact of sustainable aquaculture on community livelihoods. *Journal of Fisheries and Aquaculture Development*, 9(2), 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.jfad.2017.08.012>

- Alder, J., Pitcher, T. J., Preikshot, D., Kaschner, K., & Ferriss, B. E. (2000). How good is good?: A rapid appraisal technique for evaluation of the sustainability status of fisheries of the North Atlantic. *Fisheries Centre Research Reports*, 8(2), 136–185. University of British Columbia.
- Ariandi, R., & Mukti, J. (2023). Strategi keberlanjutan agroforestry di Desa Ulusaddang Kabupaten Pinrang. *Gorontalo Journal of Forestry Research*, 6(2), 73–88. <https://doi.org/10.32662/gjfr.v6i2.578>
- Azari, M., & Wirdanengsih, W. (2022). Jaringan sosial pedagang dalam mempertahankan usaha pada masa pandemi di kawasan Jembatan Siti Nurbaya. *Jurnal Perspektif: Jurnal Kajian Sosiologi dan Pendidikan*, 5(3), 404–412. <https://doi.org/10.24036/perspektif.v5i3.666>
- Daulay, M. S. M., Hasanah, U., Yunita, M., Yudhira, A., Lubis, H., & Paryogi, O. (2023). Penyuluhan peningkatan ekonomi masyarakat melalui pengembangan potensi desa di Desa Pantai Labu, Kabupaten Deli Serdang. *Welfare – Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(2), 639–645. <https://doi.org/10.30762/welfare.v1i4.967>
- Erwina, Y., Kurnia, R., & Yonvitner, Y. (2016). Status keberlanjutan sumber daya perikanan di perairan Bengkulu. *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.15578/jsek.v10i1.1245>
- Farid, A., Ubaya, R. D. N., Arisandi, A., & Soecahyo, D. (2024). Sustainable fisheries management of flying fish (*Decapterus* spp.) with Rapfish analysis in Pasongsongan waters, East Java, Indonesia. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 28(3), 1–12. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2024.354882>
- Fauzi, A., & Anna, S. (2005). *Pemodelan sumberdaya perikanan dan kelautan untuk analisis kebijakan*. Gramedia.
- Fernandes, S., & Dmello, A. (2025). Artificial intelligence in the aquaculture industry: Current state, challenges and future directions. *Aquaculture*, 598, 742048. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.742048>
- Fitri, A., Haeran, H., Munip, A., & Devi, E. K. (2024). Penyuluhan hukum tentang pengurusan izin usaha UMKM di Kabupaten Tanjung Jabung Timur. *Nusantara Community Service Journal*, 1(2), 46–54. <https://doi.org/10.70437/jtjwz279>
- Herdiansyah, H. (2019). Pengelolaan konflik sumber daya alam terbarukan di perbatasan dalam pendekatan ekologi politik. *Jurnal Hubungan Internasional*, 7(2), 143–151. <https://doi.org/10.18196/hi.72134>
- Irfan, M., Ahmad, R., & Younis, S. (2019). Solar energy for sustainable aquaculture: A case study on cost-efficiency in shrimp farming. *Renewable Energy Journal*, 10(1), 28–39. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.009>
- Joffre, O. M., Klerkx, L., & Khoa, T. N. D. (2018). Aquaculture innovation system analysis of transition to sustainable intensification in shrimp farming. *Agronomy for Sustainable Development*, 38, 34. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0511-9>
- Kantal, D., Arun, K., & Ganie, P. A. (2025). Economic implications of information technology in aquaculture and fisheries. In P. A. Ganie, R. Posti, & P. K. Pandey (Eds.), *Information technology in fisheries and aquaculture* (pp. 227–250). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8553-7_13
- Kavanagh, P., & Pitcher, T. J. (2004). Implementing Microsoft Excel software for KOLIM Rapfish: A technique for the rapid appraisal of fisheries status. *Fisheries Centre Research Reports*, 12(2), 1–75. University of British Columbia.

- Kewcharoen, W., & Srisapoome, P. (2019). Probiotic effects of *Bacillus* spp. from Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) on water quality and shrimp growth, immune responses, and resistance to *Vibrio parahaemolyticus* (AHPND strains). *Fish & Shellfish Immunology*, 94, 175–189. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.09.013>
- Khanjani, M. H., & Sharifinia, M. (2020). Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. *Aquaculture Research*, 51(5), 1836–1850. <https://doi.org/10.1111/raq.12412>
- Kumar, G., Engle, C., & Tucker, C. (2018). Factors driving aquaculture technology adoption. *Journal of the World Aquaculture Society*, 49(3), 447–476. <https://doi.org/10.1111/jwas.12514>
- Lee, H. J., Park, S. W., & Kim, K. (2019). Enhancing aquaculture sustainability through nanobubble technology: A review. *Aquaculture and Environmental Impact Journal*, 13(4), 47–58. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.04.001>
- Ligate, E. J., Chen, C., & Wu, C. (2018). Evaluation of tropical coastal land cover and land use changes and their impacts on ecosystem service values. *Ecosystem Health and Sustainability*, 4(8), 188–204. <https://doi.org/10.1080/20964129.2018.1512839>
- Lutfi, M. (2018). Upaya meningkatkan komunikasi antar budaya dengan tujuan harmonisasi hegemoni warga. *Jurnal Network Media*, 1(2), 1–35.
- Muhsoni, F. F., Zainuri, M., & Abida, I. (2021). Evaluasi pemanfaatan Pelabuhan Kamal untuk wisata bahari pasca pembangunan Jembatan Suramadu menggunakan pemodelan Rapfish. *Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 11(1), 63–73. <https://doi.org/10.15578/jkseksp.v11i1.8230>
- Mustafa, A., Syah, R., Paena, M., Sugama, K., Kontara, E. K., Muliawan, I., Suwoyo, H. S., Asaad, A. I. J., Asaf, R., Ratnawati, E., Athirah, A., Makmur, Suwardi, & Tauhid. (2023). Strategy for developing whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei*) culture using intensive/super-intensive technology in Indonesia. *Sustainability*, 15(3), 1753. <https://doi.org/10.3390/su15031753>
- Nababan, B. O., Sari, Y. D., & Hermawan, M. (2017). Analisis keberlanjutan perikanan tangkap skala kecil di Kabupaten Tegal Jawa Tengah (teknik pendekatan Rapfish). *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 12(2), 137–158. <https://doi.org/10.15578/jseksp.v12i2.5231>
- Okeyo, A. O., Njiru, M., & Achieng, M. (2015). Community engagement and sustainable fish farming in Africa. *African Journal of Aquatic Science*, 40(3), 321–329. <https://doi.org/10.2989/16085914.2015.1074065>
- Olaganathan, R., & Mun, A. T. K. (2017). Impact of aquaculture on the livelihoods and food security of rural communities. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 5(2), 278–283.
- Pearce, D. W., & Turner, K. (1991). *Economics of natural resources and the environment*. Harvester Wheatsheaf.
- Prapti, D. R., Shariff, A. R. M., Man, H. C., Ramli, N. M., Perumal, T., & Shariff, M. (2021). Internet of Things (IoT)-based aquaculture: An overview of IoT application on water quality monitoring. *Reviews in Aquaculture*, 14(2), 979–992. <https://doi.org/10.1111/raq.12637>
- Pratiwi, E., Sujana, I. N., & Haris, I. A. (2019). Persepsi dan partisipasi masyarakat terhadap penerapan program kerja Bumdes Dwi Amertha Sari di Desa Jinengdalem. *Jurnal Pendidikan Ekonomi Undiksha*, 11(1), 285–293. <https://doi.org/10.23887/jjpe.v11i1.20193>

- Rahman, M. M., & Rahman, M. A. (2020). Integration of IoT and aquaculture: Enhancing shrimp farming efficiency. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(6), 1–15. <https://doi.org/10.3390/jmse8060416>
- Sabran, F. W., & Rusfian, E. Z. (2023). Penggunaan Internet of Things pada eFishery untuk keberlanjutan akuakultur di Indonesia. *Innovative: Journal of Social Science Research*, 3(2), 8142–8156.
- Safitri, W., Nofrizal, Bustari, & Riska, F. (2024). Status keberlanjutan perikanan tangkap rawai di Kelurahan Teluk Meranti, Kabupaten Pelalawan: Aspek ekonomi, ekologi dan teknologi. *Berkala Perikanan Terubuk*, 52(1), 1–10.
- Savari, A., Sharifzadeh, M., & Karami, A. (2024). Assessing sustainability performance of community-based fish farming cooperatives: A comprehensive checklist. *Environmental and Sustainability Indicators*, 24, 100469. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100469>
- Silvia, D., & Muhsoni, F. F. (2024). Analisis status pengelolaan ekowisata di Pulau Gili Labak Sumenep menggunakan metode Rapfish. *Journal of Marine Research*, 13(3), 397–406. <https://doi.org/10.14710/jmr.v13i3.42037>
- Soomro, A., Lee, J. H., & Kim, S. H. (2020). Automatic feeder technology and its impact on feed efficiency in aquaculture. *Aquaculture Research and Development*, 12(3), 132–140. <https://doi.org/10.1002/ard.2020.12.3.132>
- Sugiyono. (2014). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Sung, W. K., Park, S. J., & Choi, H. J. (2021). Internet of Things (IoT) applications in sustainable aquaculture: Real-time monitoring and smart feeding systems. *Aquaculture and Fisheries Science*, 5(1), 45–57.
- Syamsu, I. F., Nugraha, A. Z., Nugraheni, C. T., & Wahwakhi, S. (2018). Kajian perubahan tutupan lahan di ekosistem mangrove Pantai Timur Surabaya. *Media Konservasi: Scientific Journal in Conservation Environment & Ecotourism*, 23(2), 122–131. <https://doi.org/10.29244/medkon.23.2.122-131>
- Tari, T. S., & Ramasre, J. R. (2024). Enhancing aquaculture sustainability through nanobubble technology: A comprehensive overview. *Chronicle of Aquatic Science*, 1(9), 38–42.
- Xu, W., Zhang, B., Zhao, Y., & Cao, Y. (2025). Effect of stocking density on water quality, harmful nitrogen control, and production performance of *Penaeus vannamei* in biofloc-based systems with limited water exchange. *Fishes*, 10(7), 326. <https://doi.org/10.3390/fishes10070326>