PENA Akuatika: Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan Vol. 25 No.2 September 2026 hal 89-103
ISSN 2301-640X (online)
ISSN 0216-5449 (print)

Analisis Keberlanjutan Budidaya Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) dengan RAPFISH di Kelurahan Panggung, Kecamatan Tegal Timur, Kota Tegal

Sustainability Analysis of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Farming Using RAPFISH in Panggung Urban Village, East Tegal District, Tegal City

Siti Nuraeni[1*], Ernik Yuliana[2], Lina Warlina[3]

[1]Sekolah Pascasarjana, Universitas Terbuka, Tangerang Selatan
[2]Program Studi Agribisnis, Universitas Terbuka, Tangerang Selatan
[3]Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Terbuka, Tangerang Selatan
**Corresponding author: siti.nuraeni51617@gmail.com*

Received: 17 April 2026 / Accepted: 20 September 2026 / Published: 30 September 2026

Abstrak

Budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) semi-intensif di Kelurahan Panggung, Kota Tegal, menghadapi tantangan keberlanjutan multidimensi. Penelitian ini bertujuan menganalisis status keberlanjutan, mengidentifikasi atribut kunci, dan merumuskan strategi peningkatan keberlanjutan menggunakan metode RAPFISH berbasis multidimensional scaling (MDS). Data skor atribut dari 50 pembudidaya dianalisis pada lima dimensi, yaitu ekologi, ekonomi, sosial, teknologi, dan kelembagaan. Hasil menunjukkan status keberlanjutan berkisar dari cukup berkelanjutan hingga berkelanjutan, dengan indeks tertinggi pada dimensi kelembagaan (89,47) dan terendah pada teknologi (72,29). Analisis leverage mengidentifikasi kualitas air, akses permodalan, ketersediaan tenaga kerja, pemantauan kualitas air, dan kolaborasi pemangku kepentingan sebagai atribut kunci. Nilai stress kurang dari 0,25 dan koefisien determinasi lebih dari 92% menunjukkan model memiliki keandalan yang baik. Teknologi menjadi faktor pembatas utama sehingga diperlukan pemantauan kualitas air harian, pengendalian sedimentasi dan limbah, penerapan teknologi budidaya terpadu, serta dukungan pemerintah daerah secara bertahap untuk menjamin keberlanjutan jangka panjang.

Kata kunci: Keberlanjutan, multidimensional scaling, Rapid Appraisal for Fisheries, udang vaname

Abstract

Semi-intensive Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) farming in Panggung Village, Tegal City, faces multidimensional sustainability challenges. This study aims to analyze the sustainability status, identify key attributes, and formulate strategies to enhance sustainability using the RAPFISH method based on multidimensional scaling (MDS). Attribute score data from 50 farmers were analyzed across five dimensions: ecological, economic, social, technological, and institutional. The results indicate that the sustainability status ranges from moderately sustainable to sustainable, with the highest index found in the institutional dimension (89.47) and the lowest in the technological dimension (72.29). Leverage analysis identified water quality, access to capital, labor availability, water quality monitoring, and stakeholder collaboration as key attributes. A stress value of less than 0.25 and a coefficient of determination greater than 92% demonstrate that the model possesses good reliability. Technology serves as the primary limiting factor; therefore, measures such as daily water quality monitoring, sedimentation and waste control, the implementation of integrated farming technologies, and phased support from the local government are essential to ensure long-term sustainability.

Keywords: Sustainability, multidimensional scaling, Rapid Appraisal for Fisheries, whiteleg shrimp.

PENDAHULUAN

Budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) merupakan salah satu subsektor akuakultur yang berkembang pesat di Indonesia karena memiliki produktivitas tinggi, permintaan pasar yang stabil, serta kontribusi ekonomi yang signifikan bagi masyarakat pesisir. Sistem budidaya yang banyak diterapkan adalah sistem semi-intensif, yang mengombinasikan penggunaan pakan pabrikan, aerasi moderat, kepadatan tebar sedang, serta pengelolaan kualitas air yang lebih terkontrol. Sistem ini dinilai mampu meningkatkan produktivitas sekaligus menjaga efisiensi biaya produksi, sehingga banyak diadopsi oleh pembudidaya skala kecil hingga menengah (Boyd & D'Abramo, 2020; FAO, 2022).

Di Kelurahan Panggung, Kecamatan Tegal Timur, Kota Tegal, budidaya udang vaname semi-intensif berkembang pesat dalam dua dekade terakhir seiring meningkatnya permintaan pasar dan beralihnya pembudidaya dari sistem tradisional. Namun, perkembangan tersebut belum sepenuhnya diimbangi dengan kesiapan sistem pendukung. Tambak di lokasi ini relatif sempit dan berdekatan dengan permukiman, memakai saluran air bersama, serta masih menghadapi kendala pasokan listrik dan sedimentasi saluran, terutama pada musim hujan. Selain itu, praktik pengelolaan tambak masih bervariasi antar pembudidaya, baik dalam penggunaan teknologi monitoring kualitas air, pengelolaan limbah, maupun penerapan biosekuriti. Ketimpangan ini berpotensi memengaruhi tingkat keberlanjutan sistem budidaya secara keseluruhan (KKP, 2023; Boyd, 2020).

Permasalahan tersebut menunjukkan bahwa sistem budidaya udang vaname di wilayah penelitian menghadapi tantangan yang bersifat multidimensional. Dari aspek ekologi, peningkatan intensitas produksi berpotensi menurunkan kualitas air dan meningkatkan beban limbah organik (Boyd, 2021; FAO, 2021). Dari sisi ekonomi, ketergantungan terhadap input produksi seperti pakan dan benur serta fluktuasi harga pasar menjadi sumber ketidakpastian usaha (Hapsari et al., 2022). Pada aspek sosial, keterbatasan kapasitas teknis dan akses informasi dapat menghambat adopsi inovasi (Liu et al., 2020), sementara dari sisi kelembagaan masih terdapat keterbatasan dalam koordinasi dan dukungan pembinaan (Fauzi et al., 2020). Selain itu, adopsi teknologi yang belum merata menunjukkan bahwa modernisasi sistem

This is an open acces article
under the CC-BY-NC-SA licens

budidaya masih berlangsung secara parsial (Widiastuti et al., 2021). Kondisi ini menegaskan bahwa keberlanjutan budidaya tidak dapat dinilai secara parsial, melainkan harus dianalisis secara komprehensif lintas dimensi.

Konsep pembangunan berkelanjutan menekankan pemenuhan kebutuhan saat ini tanpa mengurangi kemampuan generasi mendatang (WCED, 1987). Konsep ini kemudian dikembangkan melalui pendekatan *Triple Bottom Line* yang menekankan keseimbangan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan dalam mencapai keberlanjutan jangka panjang (Elkington, 1997). Dalam konteks akuakultur, FAO (2022) menegaskan bahwa keberlanjutan harus mencakup peningkatan produksi dan kesejahteraan pembudidaya tanpa menimbulkan degradasi lingkungan.

Selain itu, karakteristik sistem budidaya yang dinamis dan dipengaruhi oleh ketidakpastian lingkungan menuntut adanya pendekatan pengelolaan yang adaptif. Teori *adaptive management* menekankan pentingnya pembelajaran berkelanjutan melalui pemantauan dan penyesuaian strategi pengelolaan berdasarkan kondisi aktual (Holling, 1978; Walters, 1986). Pendekatan ini relevan dalam budidaya udang vaname yang sangat dipengaruhi oleh fluktuasi kualitas air, risiko penyakit, dan dinamika pasar.

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa keberlanjutan budidaya udang bersifat kompleks dan multidimensi. Lestari et al. (2019) menemukan bahwa dimensi ekologi menjadi faktor paling rentan akibat pengelolaan limbah dan kualitas air yang belum optimal. Pratama dan Nugroho (2020) menekankan pentingnya dimensi sosial sebagai faktor penguat melalui jaringan kerja sama antar pembudidaya. Widiastuti et al. (2021) menunjukkan bahwa inovasi teknologi, khususnya monitoring kualitas air, berperan penting dalam meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi risiko penyakit. Sementara itu, aspek ekonomi seperti akses permodalan dan stabilitas biaya produksi menjadi faktor penentu keberlanjutan usaha (Hapsari et al., 2022). Temuan-temuan tersebut mengindikasikan perlunya pendekatan analisis yang mampu mengintegrasikan seluruh dimensi keberlanjutan secara simultan.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan metode analisis yang mampu mengevaluasi keberlanjutan secara komprehensif sekaligus mengidentifikasi

DOI: http://dx.doi.org/10.31941/penaakuatika.xXXxx

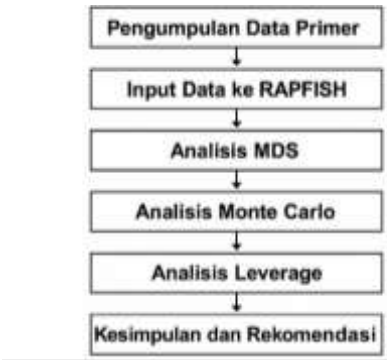
faktor-faktor kunci yang memengaruhi sistem budidaya. Metode Rapid Appraisal for Fisheries (RAPFISH) merupakan pendekatan yang sesuai karena mampu menganalisis keberlanjutan secara multidimensi melalui teknik *multidimensional scaling* (MDS), serta mengidentifikasi atribut sensitif melalui analisis leverage (Pitcher & Preikshot, 2001; Kavanagh & Pitcher, 2004).

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis tingkat keberlanjutan budidaya udang vaname semi-intensif di Kelurahan Panggung, Kecamatan Tegal Timur, Kota Tegal berdasarkan dimensi ekologi, ekonomi, sosial, teknologi, dan kelembagaan; (2) mengidentifikasi atribut-atribut kunci yang menjadi faktor pengungkit dalam menentukan keberlanjutan sistem budidaya; serta (3) merumuskan strategi peningkatan keberlanjutan budidaya yang dapat diterapkan pembudidaya dan didukung pemerintah daerah.

MATERI DAN METODE

Pendekatan dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk menilai keberlanjutan budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) secara multidimensi dengan metode RAPFISH berbasis MDS. Data yang dianalisis berupa skor atribut pada skala ordinal yang diolah secara kuantitatif untuk memperoleh indeks keberlanjutan. Hasil observasi lapangan dan wawancara dengan informan kunci hanya digunakan sebagai informasi pendukung dalam menjelaskan hasil analisis. Tahapan penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Tahapan Penelitian

Lokasi, Populasi, dan Sampel

Penelitian dilaksanakan di Kelurahan Panggung, Kecamatan Tegal Timur, Kota Tegal, yang merupakan kawasan budidaya udang vaname semi-intensif. Lokasi dipilih karena aktivitas budidaya berkembang, penerapan teknologi bervariasi, dan data pendukung dari pemerintah daerah tersedia. Penelitian telah dilaksanakan selama empat bulan, yaitu Januari hingga April 2025, yang mencakup persiapan instrumen, survei lapangan, pengolahan data RAPFISH/MDS, dan penyusunan laporan.

This is an open acces artic
under the CC-BY-NC-SA licens



Gambar 2. Peta Sebaran Tambak Udang Vaname Semi-Intensif di Kelurahan Panggung, Kecamatan Tegal Timur, Kota Tegal
(Sumber: Google Earth, 2026)

Populasi penelitian adalah seluruh pembudidaya udang vaname semi-intensif di Kelurahan Panggung. Sampel ditentukan dengan teknik *purposive sampling*, yaitu pemilihan responden secara sengaja berdasarkan kriteria pengalaman budidaya dan keterlibatan aktif dalam operasional tambak. Sebanyak 50 pembudidaya menjadi responden penilaian atribut, serta 12 informan kunci memberikan informasi pendukung.

Jenis, Variabel, dan Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan lima dimensi RAPFISH sebagai variabel utama, yaitu dimensi ekologi, ekonomi, sosial, teknologi, dan kelembagaan. Setiap dimensi dioperasionalkan ke dalam sejumlah indikator yang relevan dengan karakteristik budidaya udang vaname semi-intensif di Kelurahan Panggung, Kecamatan Tegal Timur. Seluruh indikator diukur menggunakan skala ordinal 0–5, di mana nilai terendah menunjukkan kondisi tidak berkelanjutan dan nilai tertinggi menunjukkan kondisi paling berkelanjutan.

Pengumpulan data dilakukan melalui wawancara terstruktur menggunakan kuesioner RAPFISH yang telah disusun berdasarkan indikator pada masing-masing dimensi. Untuk meminimalkan bias, responden diberikan penjelasan terkait definisi operasional dan skala penilaian. Data primer berupa hasil skoring persepsi 50 pembudidaya dan 12 informan kunci atas atribut multidimensi, catatan observasi tambak, serta parameter uji air. Data sekunder berupa data statistik

This is an open acces article
under the CC-BY-NC-SA licens

perikanan DKP Kota Tegal (2019–2024), data kependudukan BPS, dan regulasi akuakultur.

Operasionalisasi variabel dan indikator penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi dan Indikator Penelitian

Dimensi	Indikator Utama	Skala (0–5)
Ekologi	Kualitas air, limbah, biodiversitas, penggunaan air, bahan kimia, biosekuriti, penyakit, sedimentasi	0 = sangat buruk, 5 = sangat baik
Ekonomi	Harga, biaya produksi, keuntungan, produktivitas, modal, risiko, impor, rantai pasok	0 = tidak layak, 5 = sangat layak
Sosial	Partisipasi, kapasitas teknis, tenaga kerja, informasi, konflik, K3	0 = rendah, 5 = tinggi
Teknologi	Aerasi, pakan, benur, monitoring, infrastruktur, FCR, panen	0 = tradisional, 5 = modern/optimal
Kelembagaan	Kelompok, penyuluh, SOP, kolaborasi, pembiayaan, pemasaran	0 = lemah, 5 = sangat kuat

Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan RAPFISH (Rapid Appraisal for Fisheries) berbasis teknik *multidimensional scaling* (MDS) untuk menilai tingkat keberlanjutan budidaya udang vaname semi-intensif secara multidimensi. Untuk menyesuaikan dengan sistem anchor dalam RAPFISH, nilai ordinal 0–5 ditransformasikan menjadi skala 0–10 melalui perkalian dua, kemudian digabungkan dengan titik acuan *good*, *bad*, *up*, dan *down* sebagai referensi ordinasi. Data yang telah ditransformasikan kemudian dinormalisasi sebelum dilakukan analisis MDS.

1. Analisis Multidimensional Scaling (MDS) dan Indeks Keberlanjutan

Analisis MDS digunakan untuk memetakan objek ke dalam ruang dua dimensi berdasarkan jarak antar atribut yang dihitung menggunakan jarak Euclidean:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^{p} (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

Hasil ordinasi MDS kemudian ditransformasikan ke dalam indeks keberlanjutan dengan skala 0–100 dengan titik *bad* bernilai 0 dan *good* bernilai 100 sebagai berikut:

$$Indeks = 100 \times \frac{(x_i - x_{bad})}{(x_{good} - x_{bad})}$$

Nilai indeks dibatasi dalam rentang 0–100 dan diklasifikasikan menjadi: 0–25 (tidak berkelanjutan), 25–50 (kurang

This is an open acces artic
under the CC-BY-NC-SA licens

berkelanjutan), 50–75 (cukup berkelanjutan), dan 75–100 (berkelanjutan).

2. Analisis Leverage (Sensitivitas Atribut)

Analisis leverage dilakukan untuk mengidentifikasi atribut yang paling berpengaruh terhadap perubahan nilai indeks keberlanjutan. Nilai leverage dihitung menggunakan *Root Mean Square* (RMS):

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$

Nilai leverage kemudian dinormalisasi menjadi persentase sensitivitas:

$$Sensitivitas_i = \frac{Leverage_i}{Leverage_{maks}} \times 100\%$$

3. Uji Ketidakpastian (Monte Carlo)

Uji Monte Carlo dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan model terhadap kesalahan acak dalam penilaian atribut, menggunakan distribusi uniform dan triangular. Hasil simulasi dibandingkan dengan nilai indeks RAPFISH (Rapscore). Selisih yang kecil antara keduanya menunjukkan bahwa model memiliki tingkat stabilitas yang tinggi.

4. Evaluasi Kualitas Model (Stress dan RSQ)

Kualitas model MDS dievaluasi menggunakan nilai *stress* dan koefisien determinasi (RSQ):

$$Stress = \sqrt{\frac{\sum(d_{ij} - \hat{d}_{ij})^2}{\sum d_{ij}^2}}$$

$$RSQ = r^2(d_{ij}, \hat{d}_{ij})$$

Nilai *stress* < 0,25 menunjukkan kesalahan pemetaan yang dapat diterima, sedangkan nilai RSQ yang mendekati 1 menunjukkan kemampuan model dalam menjelaskan variasi data dengan baik.

5. Implementasi Analisis

Seluruh proses analisis kuantitatif dilakukan menggunakan perangkat lunak **R** dengan bantuan paket *MASS* untuk analisis MDS (*cmdscale*) serta skrip RAPFISH untuk normalisasi data, penggabungan dengan *anchor*, perhitungan indeks keberlanjutan, analisis leverage, dan visualisasi hasil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Responden

Responden berjumlah 50 pembudidaya udang vaname, didominasi laki-laki (88%) dengan usia 40–49 tahun (42%) dan 30–39 tahun (30%). Pendidikan terakhir terbanyak adalah SMA/SMK (52%), diikuti SMP (22%),

Nuraeni et al: Analisis Keberlanjutan Budidaya Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) dengan RAPFISH di Kelurahan Panggung, Kecamatan Tegal Timur, Kota Tegal.
DOI: http://dx.doi.org/10.31941/penaakuatika.xXXxx

sarjana (14%), SD (8%), dan diploma (4%). Pengalaman budidaya terbanyak adalah 5–10 tahun (40%), diikuti 11–15 tahun (30%), lebih dari 15 tahun (18%), dan kurang dari 5 tahun (12%). Berdasarkan posisinya di tambak, responden terdiri atas pemilik (48%), pengelola (32%), dan operator (20%). Sebagian besar pembudidaya menggunakan modal pribadi (68%) dan tergabung dalam kelompok pembudidaya (78%).

Secara umum, usaha budidaya dikelola oleh pembudidaya berpengalaman dengan pendidikan menengah, bermodal sendiri, dan sebagian besar tergabung dalam kelompok. Karakteristik tersebut berkaitan dengan pola pengelolaan dan adopsi teknologi, sehingga relevan dalam memaknai nilai indeks keberlanjutan.

Indeks dan Keberlanjutan Multidimensi

Hasil analisis RAPFISH (Tabel 2) menunjukkan bahwa tingkat keberlanjutan multidimensi budidaya udang vaname semi-intensif di Kelurahan Panggung, Kecamatan Tegal Timur secara umum berada pada kategori berkelanjutan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai indeks Rapscore pada masing-masing dimensi, yaitu ekologi (76,99), ekonomi (82,31), sosial (80,39), dan kelembagaan (89,47), yang seluruhnya berada di atas ambang batas 75. Sementara itu, dimensi teknologi memiliki nilai 72,29 yang berada pada kategori cukup berkelanjutan, sehingga menjadi satu-satunya dimensi yang masih memerlukan perhatian lebih dibandingkan dimensi lainnya.

Hasil uji Monte Carlo menunjukkan nilai yang sangat mendekati hasil Rapscore, dengan selisih berkisar antara 0,00 hingga 1,26. Selisih yang kecil ini mengindikasikan bahwa hasil analisis memiliki tingkat kestabilan yang tinggi dan relatif tidak dipengaruhi oleh kesalahan acak dalam proses penilaian.

Selain itu, nilai koefisien determinasi (RSQ) yang tinggi, yaitu antara 92,26% hingga 97,67%, menunjukkan bahwa model MDS mampu menjelaskan variasi data dengan sangat baik. Nilai stress yang relatif rendah (<0,25) juga mengindikasikan bahwa konfigurasi ordinasi yang dihasilkan memiliki tingkat kesalahan yang dapat diterima. Dengan demikian, hasil analisis RAPFISH andal dan robust dalam menggambarkan keberlanjutan budidaya di lokasi penelitian (Pitcher & Preikshot, 2001; Kavanagh & Pitcher, 2004).

This is an open acces artic
under the CC-BY-NC-SA licens

Tabel 2. Hasil Analisis Dimensi Status Keberlanjutan

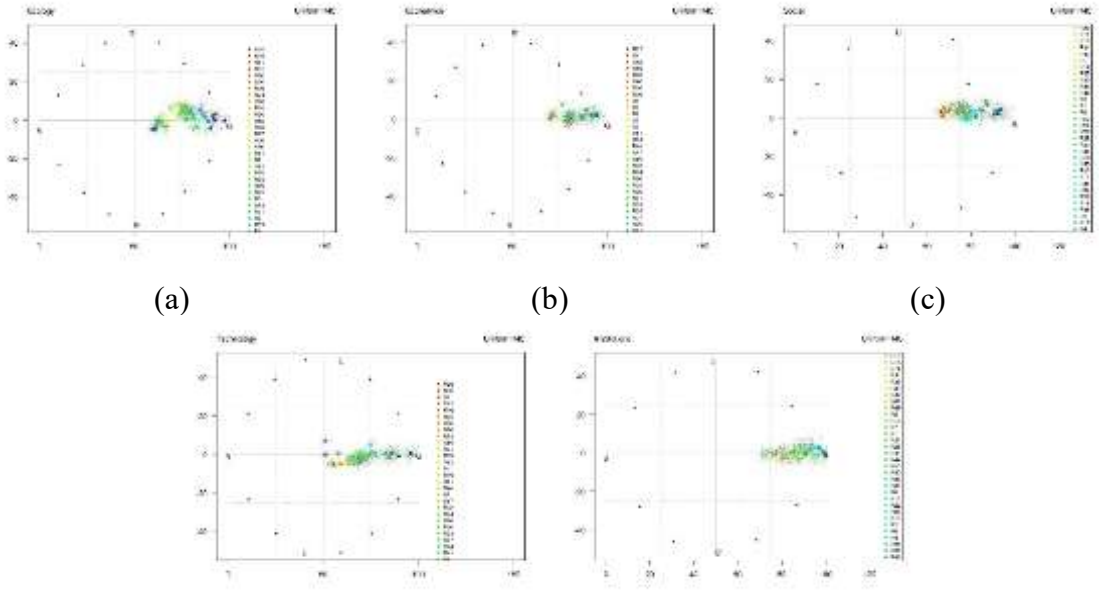
No	Dimensi	Indeks Rapscore	Monte Carlo	Status	RSQ (%)	Stress	Selisih (Rap–MC)
1	Ekologi	76,99	76,69	Berkelanjutan	96,01	0,1500	0,30
2	Ekonomi	82,31	81,93	Berkelanjutan	95,65	0,1550	0,38
3	Sosial	80,39	79,13	Berkelanjutan	92,26	0,2078	1,26
4	Kelembagaan	89,47	89,44	Berkelanjutan	97,67	0,1174	0,03
5	Teknologi	72,29	72,29	Cukup Berkelanjutan	96,02	0,1638	0,00

Sumber: Olah Data Penelitian (2026)

Hasil Ordinasi MDS

Hasil ordinasi *multidimensional scaling* (MDS) yang dikombinasikan dengan simulasi Monte Carlo (Uniform MC) pada seluruh dimensi menunjukkan bahwa sebaran titik hasil simulasi cenderung terkonsentrasi di sekitar posisi ordinasi utama (Gambar 3).

Secara komparatif, dimensi kelembagaan, ekonomi, dan ekologi menunjukkan pola klaster yang lebih rapat dan konsisten di area mendekati kondisi "baik". Sementara itu, dimensi sosial dan terutama teknologi memperlihatkan sebaran titik yang relatif lebih menyebar, yang menandakan variasi antar unit budidaya lebih besar, namun tidak menggeser posisi indeks secara signifikan.



(a) (b) (c)

(d) (e)

Gambar 3. Hasil ordinasi MDS: (a) dimensi ekologi, (b) dimensi ekonomi, (c) dimensi sosial, (d) dimensi teknologi, dan (e) dimensi kelembagaan.
(Sumber: Peneliti, 2026)

This is an open acces article
under the CC-BY-NC-SA licens

Pembahasan

Nilai indeks kelima dimensi pada Tabel 2 tidak hanya menunjukkan posisi setiap dimensi pada skala 0–100, tetapi juga seberapa dekat kondisi aktual budidaya dengan kondisi ideal. Pola ini mencerminkan bahwa sistem budidaya telah berkembang cukup baik, namun belum mencapai keseimbangan antar dimensi. Kondisi tersebut berkaitan dengan karakteristik lokasi, yaitu tambak yang relatif sempit dan berdekatan dengan permukiman, ketergantungan pada saluran air bersama, serta kendala pasokan listrik dan sedimentasi saluran yang memengaruhi kestabilan suplai air dan kualitas air tambak. Hal ini sejalan dengan konsep pembangunan berkelanjutan yang menekankan keseimbangan antara aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial (WCED, 1987; Elkington, 1997).

Pada dimensi ekologi, atribut kualitas air (100%), pemanfaatan air (82,56%), pengelolaan limbah (73,26%), dan sedimentasi (74,42%) menjadi faktor paling sensitif. Temuan ini mencerminkan kondisi lapangan di mana sistem semi-intensif masih sangat bergantung pada stabilitas kualitas air sebagai faktor utama keberhasilan produksi. Di wilayah penelitian, praktik pergantian air masih menjadi strategi dominan untuk menjaga kualitas lingkungan tambak, terutama pada tambak yang belum memiliki sistem filtrasi atau resirkulasi yang memadai. Sedimentasi pada saluran air turut memperburuk kualitas air masuk, sehingga meningkatkan tekanan ekologis pada tambak. Kondisi ini memperkuat temuan Lestari et al. (2019) yang menyatakan bahwa dimensi ekologi menjadi faktor paling rentan dalam budidaya udang semi-intensif akibat akumulasi limbah dan keterbatasan pengelolaan lingkungan. Boyd (2020) juga menegaskan bahwa kualitas air merupakan faktor pembatas utama dalam akuakultur, terutama pada sistem dengan intensitas produksi yang meningkat. Indeks ekologi sebesar 76,99 berada hanya sedikit di atas batas kategori berkelanjutan sehingga ruang pengamannya sempit. Penurunan kualitas air yang tidak segera ditangani dapat menggeser dimensi ini ke kategori cukup berkelanjutan dan, melalui risiko penyakit dan penurunan produktivitas, memengaruhi dimensi ekonomi.

Pada dimensi ekonomi, akses permodalan (100%), keuntungan bersih

This is an open acces artic
under the CC-BY-NC-SA licens

(75,00%), dan produktivitas tambak (75,00%) menjadi faktor dominan dalam menentukan keberlanjutan usaha. Kondisi ini sejalan dengan karakteristik pembudidaya di wilayah penelitian yang sebagian besar merupakan pelaku usaha skala kecil hingga menengah dengan keterbatasan akses terhadap pembiayaan formal. Akibatnya, kemampuan untuk meningkatkan teknologi dan efisiensi produksi menjadi terbatas. Selain itu, ketergantungan terhadap input impor (70,38%) seperti pakan dan benur berkualitas menunjukkan adanya kerentanan terhadap fluktuasi harga dan distribusi. Temuan ini konsisten dengan Hapsari et al. (2022) yang menyatakan bahwa stabilitas biaya produksi dan akses modal merupakan faktor kunci dalam keberlanjutan ekonomi budidaya udang. Dengan demikian, dimensi ekonomi tidak hanya ditentukan oleh output produksi, tetapi juga oleh ketahanan sistem pembiayaan dan efisiensi penggunaan input. Indeks ekonomi sebesar 82,31 bermakna bahwa usaha budidaya layak dan mampu bertahan antar siklus. Namun, karena akses permodalan menjadi atribut paling sensitif, kegagalan panen atau kenaikan biaya input dapat menggerus modal kerja dan menurunkan indeks dengan cepat, terutama pada tambak skala kecil.

Dimensi sosial dan kelembagaan menunjukkan peran penting sebagai penguat keberlanjutan sistem budidaya. Tingginya nilai pada dimensi kelembagaan mencerminkan adanya dukungan dari kelompok pembudidaya, penyuluh, serta keterlibatan pemerintah daerah dalam pengembangan sektor budidaya. Di lapangan, interaksi antar pembudidaya dan adanya kerja sama informal menjadi modal sosial yang memperkuat sistem produksi, terutama dalam berbagi informasi dan pengalaman. Hal ini sejalan dengan temuan Pratama dan Nugroho (2020) yang menekankan pentingnya jaringan sosial dalam meningkatkan keberlanjutan usaha. Selain itu, sensitivitas tinggi pada kolaborasi antar stakeholder dan akses pembiayaan menunjukkan bahwa keberlanjutan sangat dipengaruhi oleh efektivitas tata kelola dan dukungan institusional (Fauzi et al., 2020). Pada dimensi sosial, ketersediaan tenaga kerja (100%) dan akses informasi (66,38%) menegaskan bahwa sumber daya manusia menjadi faktor penting dalam operasional tambak, terutama pada sistem yang belum sepenuhnya terotomatisasi. Indeks kelembagaan (89,47) dan sosial (80,39)

DOI: http://dx.doi.org/10.31941/penaakuatika.xXXxx

bermakna bahwa dukungan kelompok, penyuluh, dan tenaga kerja lokal menjadi penopang utama sistem budidaya. Namun, karena ketersediaan tenaga kerja sangat sensitif, berkurangnya tenaga kerja terampil dan lemahnya regenerasi pembudidaya dapat menurunkan keberlanjutan sosial dan operasional tambak.

Di sisi lain, dimensi teknologi menunjukkan bahwa sistem monitoring kualitas air menjadi satu-satunya atribut dengan sensitivitas sangat tinggi (100%), sementara atribut lainnya seperti aerasi, teknologi pakan, dan infrastruktur tambak berada pada kategori rendah. Hal ini menunjukkan bahwa adopsi teknologi di wilayah penelitian masih bersifat parsial dan belum terintegrasi secara menyeluruh. Kondisi ini sangat dipengaruhi oleh keterbatasan akses permodalan serta kapasitas teknis pembudidaya, sebagaimana terlihat dari praktik budidaya yang masih mengandalkan pengalaman dan metode konvensional. Widiastuti et al. (2021) menyatakan bahwa keterbatasan adopsi teknologi menjadi salah satu penyebab rendahnya efisiensi dan tingginya risiko penyakit dalam sistem budidaya udang. Padahal, teknologi seperti sistem monitoring berbasis sensor dan otomatisasi pakan terbukti mampu meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi tekanan lingkungan (Xu et al., 2020). Oleh karena itu, rendahnya dimensi teknologi menjadi indikator utama bahwa modernisasi budidaya masih menjadi tantangan di wilayah penelitian. Indeks teknologi sebesar 72,29 bermakna bahwa penerapan teknologi baru mencapai tingkat cukup berkelanjutan. Implikasinya, perubahan kualitas air tidak terdeteksi sejak dini sehingga tindakan korektif terlambat dan risiko penyakit serta kegagalan panen meningkat.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa keberlanjutan budidaya udang vaname semi-intensif di Kelurahan Panggung, Kecamatan Tegal Timur merupakan hasil interaksi kompleks antar dimensi. Dimensi ekologi dan ekonomi menjadi fondasi utama yang menentukan keberhasilan produksi, sementara dimensi sosial dan kelembagaan berperan sebagai penguat sistem. Di sisi lain, dimensi teknologi masih menjadi faktor pembatas yang perlu ditingkatkan. Oleh karena itu, strategi peningkatan keberlanjutan perlu dilakukan secara terpadu.

This is an open acces artic
under the CC-BY-NC-SA licens

Strategi Peningkatan Keberlanjutan

Berdasarkan atribut sensitif dan makna indeks tersebut, strategi peningkatan keberlanjutan dirumuskan pada tiga lingkup, yaitu pengelolaan lingkungan tambak, penerapan teknologi sebagai tata kelola budidaya, dan keberlanjutan jangka panjang dengan dukungan pemerintah daerah.

Pertama, karena kualitas air merupakan atribut paling sensitif, pemantauan perlu dilakukan sebagai kegiatan rutin. Oksigen terlarut, suhu, dan pH diukur minimal dua kali sehari (pagi dan sore), salinitas diukur setiap hari, serta amonia, nitrit, dan kecerahan air diukur secara berkala menggunakan alat uji sederhana. Hasil pengukuran dicatat dan dibandingkan dengan batas acuan, misalnya oksigen terlarut di bawah sekitar 4 mg/L atau pH di luar kisaran 7,5–8,5, sebagai dasar tindakan korektif berupa penambahan aerasi, pengurangan pakan, atau pergantian air parsial. Alat ukur dapat digunakan bergilir dalam kelompok pembudidaya untuk menekan biaya.

Pengendalian sedimentasi dilakukan dengan mengatur pemberian pakan berdasarkan pengecekan anco agar sisa pakan tidak mengendap, menempatkan kincir untuk mengarahkan lumpur ke titik pusat kolam, menyifon lumpur dasar secara berkala, serta membersihkan saluran masuk dan keluar. Pengelolaan limbah dilakukan dengan menampung air siphon dan air panen pada kolam pengendapan atau tandon sebelum dibuang, mengatur jadwal pembuangan bersama kelompok, dan menyusun SOP pembuangan limbah agar saluran bersama tidak tercemar.

Kedua, strategi teknologi tidak cukup dengan menambah alat bantu, tetapi harus berupa tata kelola budidaya semi-intensif secara menyeluruh. Cakupannya meliputi persiapan lahan, pemilihan benur sehat, penentuan padat tebar sesuai kapasitas aerasi, manajemen pakan berbasis program, manajemen air dan aerasi, biosekuriti, panen dan pascapanen, serta pencatatan seluruh kegiatan. Prinsip yang sama berlaku pada dimensi lain, yaitu pencatatan biaya dan perencanaan siklus pada dimensi ekonomi, peningkatan keterampilan tenaga kerja pada dimensi sosial, serta SOP dan penyuluhan yang teratur pada dimensi kelembagaan. Dengan demikian, alat bantu seperti DO meter hanya efektif apabila didukung prosedur dan kemampuan pembudidaya.

Ketiga, keberlanjutan jangka panjang perlu dicapai secara bertahap. Pada jangka pendek (0–1 tahun) dilakukan

DOI: http://dx.doi.org/10.31941/penaakuatika.xXXxx

pemantauan kualitas air harian, pencatatan budidaya, pelatihan melalui kelompok, dan penyusunan SOP. Pada jangka menengah (1–3 tahun) dibangun kolam pengendapan, diperbaiki saluran, dimanfaatkan pembiayaan mikro, dan diperkuat kelompok atau koperasi pemasaran. Pada jangka panjang (di atas 3 tahun) dilakukan penataan kawasan dengan drainase dan pengelolaan limbah komunal, sertifikasi budidaya, serta evaluasi indeks keberlanjutan secara berkala.

Pemerintah daerah berperan melalui penetapan zonasi kawasan tambak agar terlindung dari alih fungsi lahan, pembangunan dan perawatan drainase serta instalasi pengolahan limbah komunal, pemantauan kualitas air perairan pesisir, penambahan pendampingan penyuluh perikanan, fasilitasi pembiayaan dan sertifikasi budidaya, serta pembangunan sistem data pembudidaya sebagai dasar perencanaan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis RAPFISH, tingkat keberlanjutan budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) semi-intensif di Kelurahan Panggung, Kecamatan Tegal Timur berada pada kategori cukup berkelanjutan hingga berkelanjutan. Dimensi kelembagaan memiliki nilai tertinggi, diikuti oleh ekonomi, sosial, dan ekologi, sedangkan dimensi teknologi menunjukkan nilai terendah sehingga menjadi faktor pembatas dalam sistem keberlanjutan.

Hasil analisis leverage menunjukkan bahwa atribut kunci yang paling berpengaruh terhadap keberlanjutan meliputi kualitas air pada dimensi ekologi, akses permodalan pada dimensi ekonomi, kolaborasi antar stakeholder pada dimensi kelembagaan, ketersediaan tenaga kerja pada dimensi sosial, serta sistem monitoring kualitas air pada dimensi teknologi.

Dengan demikian, peningkatan keberlanjutan budidaya udang vaname di lokasi penelitian memerlukan pendekatan terpadu yang berfokus pada penguatan aspek teknologi sebagai tata kelola budidaya secara menyeluruh, tanpa mengabaikan peran dimensi lainnya. Strategi yang direkomendasikan meliputi pemantauan kualitas air harian, pengendalian sedimentasi dan pengelolaan limbah melalui kolam pengendapan, penerapan teknologi secara menyeluruh, serta dukungan pemerintah daerah yang dilaksanakan secara bertahap dalam jangka pendek, menengah, dan panjang.

This is an open acces article under the CC-BY-NC-SA licens

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh responden pembudidaya udang vaname di Kelurahan Panggung, Kecamatan Tegal Timur, penyuluh perikanan, dan pemerintah daerah atas data, dukungan, dan masukan selama penelitian, serta kepada sivitas akademika Universitas Terbuka atas dukungan akademiknya.

DAFTAR PUSTAKA

Boyd, C. E. 2020. *Water quality: An introduction*. Springer.

Boyd, C. E. 2021. Environmental management in aquaculture. Aquaculture Environment Interactions, 13, 45–58.

Boyd, C.E., & D'Abramo, L.R. 2020. Aquaculture production systems. Journal of Aquaculture Research, 51(3), 1023–1035.

Elkington, J. 1997. *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Capstone.

FAO. 2021. Environmental management of aquaculture systems. *FAO Fisheries Technical Paper*.

FAO. 2022. *Guidelines for sustainable aquaculture development*. Food and Agriculture Organization.

Fauzi, A., et al. 2020. Institutional roles in fisheries sustainability. Marine Policy, 115, 103–112.

Hapsari, R., et al. 2022. Economic resilience of shrimp farming systems. Aquaculture Economics & Management, 26(2), 145–160.

Holling, C. S. 1978. *Adaptive environmental assessment and management*. Wiley.

Kavanagh, P., & Pitcher, T. J. 2004. Implementing RAPFISH. Fisheries Centre Research Reports, 12(2), 1–75.

KKP. 2023. Statistik perikanan budidaya Indonesia. Kementerian Kelautan dan Perikanan.

Lestari, D., et al. 2019. Sustainability analysis of shrimp aquaculture. Jurnal Ilmu Perikanan Indonesia, 24(2), 123–132.

Liu, Y., et al. 2020. Information access and aquaculture sustainability. *Aquaculture Reports*, 17, 100–112.

Pitcher, T. J., & Preikshot, D. 2001. RAPFISH: Rapid appraisal technique. Fisheries Research, 49(3), 255–270.

Pratama, A., & Nugroho, B. 2020. Social capital in aquaculture development. Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan, 15(1), 45–56.

Walters, C. J. 1986. *Adaptive management of renewable resources*. Macmillan.

WCED. 1987. *Our common future*. Oxford University Press.

Widiastuti, I., et al. 2021. Technology adoption in shrimp farming. Aquaculture Engineering, 92, 102–110.

Xu, X., et al. 2020. Smart monitoring systems in aquaculture. Aquaculture Engineering, 89, 102–108.