



Peningkatan efisiensi pakan dan profitabilitas budidaya udang vaname intensif melalui penerapan *Automatic Shrimp Feeder* berbasis IoT dan energi surya

Increasing vaname shrimp farming efficiency and profitability through IoT and solar-powered Automatic Shrimp Feeder implementation in intensive aquaculture systems

Ria Komalasari*, Kasful Anwar, Donwill Panggabean, Agung Setiaji

Sekolah Pascasarjana Universitas Terbuka, Tangerang, Indonesia

*Korespondensi: riakomalasari.2104@gmail.com (R Komalasari)

Received 9 Desember 2025/Revised 6 Maret 2026/Accepted 10 Maret 2026

ABSTRAK. Pakan merupakan kontributor biaya operasional terbesar (50-60%) dalam budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) intensif, sehingga manajemen pakan yang tidak efisien dapat mengikis profitabilitas secara substansial. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak teknis dan ekonomi dari implementasi *Automatic Shrimp Feeder* (ASF) yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan energi surya pada tambak udang intensif PT. Mina Balong Berkah. Penelitian menggunakan metode *mixed methods* dengan analisis deskriptif kualitatif. Hasil menunjukkan bahwa adopsi ASF memberikan dampak positif yang signifikan. Efisiensi pakan meningkat tajam, ditunjukkan dengan penurunan *Feed Conversion Ratio* (FCR) dari 1,5 menjadi 1,25. Penggunaan ASF juga berdampak pada peningkatan *Survival Rate* (SR) dan produktivitas budidaya. Dari aspek ekonomi, efisiensi pakan dan pengurangan kebutuhan tenaga kerja untuk pemberian pakan (dari 3 menjadi 2 orang per siklus) menghasilkan penurunan biaya operasional dan peningkatan nilai produksi, yang berujung pada peningkatan profitabilitas bersih hingga lebih dari dua kali lipat. Penerapan ASF berbasis IoT dan energi surya terbukti menjadi solusi optimal untuk mencapai akuakultur presisi, meningkatkan efisiensi sumber daya, dan efektif dalam meningkatkan produktivitas serta keberlanjutan budidaya udang.

KATA KUNCI: *Automatic shrimp feeder*, (ASF) efisiensi pakan, *Feed Conversion Ratio* (FCR), *internet of Things* (IoT), profitabilitas, udang vaname.

ABSTRACT. Feed is the largest contributor to operational costs (50-60%) in intensive vaname shrimp (*Litopenaeus vannamei*) cultivation, so inefficient feed management can substantially erode profitability. This case study aims to analyze the technical and economic impact of the implementation of an *Automatic Shrimp Feeder* (ASF) integrated with *Internet of Things* (IoT) technology and powered by solar energy on PT's intensive shrimp ponds. Mina Balng Berkah, Sukabumi. The research uses mixed methods with qualitative descriptive analysis. The results show that ASF adoption has a significant positive impact. Feed efficiency increased sharply, as indicated by a decrease in the *Feed Conversion Ratio* (FCR) from 1.5 to 1.25. Apart from that, the use of ASF also has an impact on increasing the *Survival Rate* (SR) and cultivation productivity. From an economic aspect, feed efficiency and reduced labor requirements for feeding (from 3 to 2 people per cycle) result in reduced operational costs and increased production value, which leads to an increase in net profitability of more than twofold. The application of ASF based on IoT and solar energy has proven to be the optimal solution for achieving precision aquaculture, increasing resource efficiency, and being effective in increasing the productivity and sustainability of shrimp farming.

KEYWORDS: *Automatic shrimp feeder* (ASF), feed efficiency, feed conversion ratio, *internet of things*, profitability, vaname shrimp.

1. Pendahuluan

Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) merupakan komoditas unggulan perikanan Indonesia yang memegang peran krusial dalam perekonomian Indonesia, dengan produksi nasional pada tahun 2022 mencapai 918.550,35 ton (KKP, 2023). Permintaan udang vaname di pasar luar negeri yang sangat tinggi sehingga sangat potensial dan mempunyai prospek yang besar dalam peningkatan devisa negara, 77% ketersediaan udang vaname merupakan hasil produksi dari negara-negara Asia termasuk Indonesia (BPS, 2023; Dahlan *et al.*, 2017). Salah satu provinsi di Indonesia yang menyumbangkan nilai produksi udang terbesar adalah provinsi Jawa Barat (KKP, 2022). Budidaya udang di Jawa Barat telah mengalami transformasi signifikan dari sistem tradisional menuju praktik semi-intensif dan intensif (Musidi *et al.*, 2024).

Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) memiliki beberapa keunggulan diantaranya responsif terhadap pakan, lebih tahan terhadap serangan penyakit dan kualitas lingkungan yang buruk, pertumbuhan lebih cepat, tingkat kelangsungan hidup tinggi dan waktu pemeliharaan yang relatif singkat, serta kemampuannya untuk dibudidayakan pada kepadatan tebar yang sangat tinggi dan memungkinkan adopsi sistem intensif hingga super intensif (Purnamasari *et al.*, 2017; KKP, 2025). Namun, keberlanjutan sektor ini menghadapi tantangan besar, salah satunya adalah tingginya biaya pakan yang menyumbang sekitar 40% hingga 60% dari total biaya operasional (Boyd & Tucker, 2014; KKP, 2023). Pemberian pakan secara manual seringkali menghasilkan pakan berlebih (*overfeeding*), yang menyebabkan peningkatan FCR (pemborosan pakan) dan penurunan kualitas air akibat akumulasi limbah organik di dasar tambak (Dahlan *et al.*, 2017; Samawi *et al.*, 2021).

Mengatasi tantangan tersebut, diperlukan adanya inovasi teknologi diantaranya dengan penggunaan *Automatic Shrimp Feeder* (ASF) berbasis *Internet of Things* (IoT) dan energi surya menjadi solusi untuk dapat meningkatkan efisiensi operasional dan hasil panen (Novianda *et al.*, 2019; Samawi *et al.*, 2021; Airawati *et al.*, 2023; Rumokoy *et al.*, 2023). ASF adalah alat mekanis atau elektronik yang berfungsi mendistribusikan pakan secara otomatis sesuai jadwal dan dosis yang ditetapkan, sehingga efisiensi pakan secara langsung menentukan profitabilitas usaha (Boyd & Tucker, 2014). Alat ini sering diintegrasikan dengan IoT dan penggunaan energi surya sebagai sumber tenaga utama sehingga dapat mengurangi biaya operasional dan meminimalkan dampak lingkungan, memungkinkan pemberian pakan yang presisi dan adaptif terhadap nafsu makan udang (Waskitaadi & Nurmuslimah, 2023; Rumokoy *et al.*, 2023). ASF dilengkapi sensor real-time dan konektivitas IoT, memungkinkan pemberian pakan yang terkontrol, tepat waktu, dan disesuaikan dengan nafsu makan udang (Wiranata *et al.*, 2022).

Dampak penggunaan ASF berbasis IoT dan energi surya ini menyebabkan dosis pakan dapat dikontrol secara presisi dan disesuaikan dengan nafsu makan udang yang berubah-ubah (Musidi *et al.*, 2024). Pengelolaan yang efisien tidak hanya meminimalkan biaya, tetapi juga secara langsung memengaruhi laju pertumbuhan udang, kualitas air tambak, dan pada akhirnya dapat meningkatkan profitabilitas usaha (Boyd & Tucker, 2014; Mufa'ah & Hayati, 2016). Penelitian ini bertujuan menganalisis secara komparatif dampak adopsi ASF terhadap kinerja teknis budidaya dan profitabilitas ekonomi pada tambak udang vaname sistem intensif di PT. Mina Balong Berkah Kabupaten Sukabumi Provinsi Jawa Barat.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan sebagai studi kasus di PT. Mina Balong Berkah, Desa Ujung Genteng, Kabupaten Sukabumi Provinsi Jawa Barat. Data dikumpulkan selama satu siklus budidaya penuh pada tambak yang menggunakan ASF berbasis IoT dan energi surya, dengan data pembandingan dari tambak lainnya yang menggunakan metode pemberian pakan secara manual.

2.2. Desain dan Sumber Data

Desain penelitian pada studi mengenai pengelolaan tambak udang intensif berbasis pemberian pakan menggunakan *Automatic Shrimp Feeder* (ASF) berbasis tenaga surya dan *Internet of Things* (IoT) di Desa Ujung Genteng, Kabupaten Sukabumi, dengan studi kasus di PT Mina Balong Berkah, mengadopsi pendekatan *mixed methods*. Pendekatan ini mengintegrasikan metode kuantitatif dan kualitatif secara sistematis untuk menghasilkan pemahaman yang lebih komprehensif, kuat, dan kredibel terhadap fenomena penelitian dibandingkan jika hanya menggunakan satu pendekatan saja (Creswell & Plano Clark, 2018). Pemilihan desain ini relevan karena evaluasi teknologi modern di sektor akuakultur tidak hanya membutuhkan pengukuran indikator teknis dan ekonomi, tetapi juga pemahaman terhadap konteks operasional, sosial, dan manajerial dalam penerapan teknologi di lapangan. Dalam kerangka *precision aquaculture*, penerapan IoT, sensor, dan sistem otomasi memungkinkan pemantauan *real-time*, pengumpulan data berkelanjutan, serta pengambilan keputusan yang lebih adaptif, meskipun keberhasilannya tetap dipengaruhi oleh kesiapan infrastruktur, konektivitas, dan sumber energi di lokasi budidaya (Rastegari *et al.*, 2023; Abdullah *et al.*, 2024).

Dalam budidaya udang intensif, manajemen pakan merupakan salah satu faktor kunci yang menentukan efisiensi produksi, performa pertumbuhan, dan biaya operasional. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *automatic feeder* dan sistem otomasi budidaya dapat meningkatkan efisiensi pemberian pakan, memperbaiki *feed conversion ratio* (FCR), mempertahankan atau meningkatkan *survival rate* (SR), serta meningkatkan hasil produksi dan manfaat ekonomi, khususnya pada sistem budidaya intensif dan *biofloc* (Krummenauer *et al.*, 2024; Sasikumar *et al.*, 2024). Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi dampak implementasi ASF berbasis tenaga surya dan IoT terhadap efisiensi penggunaan pakan, hasil produksi udang, dan penghematan biaya operasional. Data yang dikumpulkan meliputi data kuantitatif, seperti produksi, FCR, SR, pertumbuhan udang, biaya operasional, dan pendapatan, serta data kualitatif, yang diperoleh melalui wawancara mendalam dan observasi langsung terkait perbandingan SOP pemberian pakan manual dengan SOP penggunaan ASF, serta pemanfaatan data *real-time* dalam pengambilan keputusan budidaya.

Berdasarkan uraian diatas, maka desain penelitian ini mengadopsi desain campuran (*mixed methods*), menggabungkan pendekatan kualitatif dan kuantitatif.

- a. Data Kuantitatif: Data hasil produksi, SR, FCR, dan data keuangan perusahaan (biaya operasional dan pendapatan).
- b. Data Kualitatif: Wawancara mendalam dan observasi langsung mengenai *Prosedur Operasional Standar* (SOP) pakan manual versus SOP penggunaan ASF dan interpretasi data FCR, SR, dan pertumbuhan udang secara *real-time*.

2.3. Analisis Data

Data hasil penelitian ini dianalisis menggunakan analisis deskriptif kualitatif untuk membandingkan parameter kunci budidaya (FCR, SR dan produktivitas) dan aspek ekonomi (keuntungan bersih dan efisiensi tenaga kerja) antara dua perlakuan: (1) Pemberian pakan manual, dan (2) Pemberian pakan menggunakan ASF berbasis IoT dan energi surya. Perbandingan difokuskan pada FCR, SR, produktivitas, dan keuntungan bersih.

1. Feed Conversion Ratio (FCR)

FCR mengukur efisiensi pemberian pakan. Semakin rendah FCR, semakin efisien pakan yang digunakan (Benetti & Jory, 2007) dengan rumus:

$$FCR = \frac{\text{Jumlah Pakan}}{\text{Penambahan Berat}} \dots\dots\dots (1)$$

Jika FCR lebih rendah pada perlakuan dengan ASF berbasis IoT dan energi surya, itu menunjukkan lebih efisien dibandingkan pakan manual (Liao *et al.*, 2020).

2. Survival Rate (SR)

SR menunjukkan tingkat kelangsungan hidup organisme. SR yang lebih tinggi menandakan metode yang lebih efektif (Benetti & Jory, 2007) dengan rumus:

$$SR = \frac{\text{Jumlah Bertahan Hidup}}{\text{Jumlah Dimasukkan}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

Perbandingan SR akan menunjukkan perlakuan mana yang lebih berhasil dalam menjaga kelangsungan hidup organisme, seperti yang telah dilaporkan dalam penelitian aquaculture berbasis IoT (Liao *et al.*, 2020).

3. Produktivitas

Produktivitas mengukur hasil per satuan input (pakan atau tenaga kerja). Produktivitas yang lebih tinggi menunjukkan efisiensi yang lebih baik dalam proses budidaya (Kumar & Meena, 2018)

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{Total Hasil}}{\text{Total Hidup}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Jika teknologi IoT dan energi surya meningkatkan hasil per unit input dibandingkan dengan pakan manual, maka lebih produktif (Kumar & Meena, 2018).

4. Keuntungan Bersih

Keuntungan bersih dihitung dari selisih pendapatan dan biaya. Teknologi yang mengurangi biaya operasional (misalnya dengan efisiensi tenaga kerja) dapat meningkatkan keuntungan bersih (Benetti & Jory, 2007).

$$\text{Keuntungan Bersih} = \text{Pendapatan Total} - \text{Biaya Total} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Perbandingan keuntungan bersih akan menunjukkan apakah teknologi berbasis IoT dan energi surya lebih menguntungkan daripada pakan manual.

5. Efisiensi Tenaga Kerja

Mengukur seberapa efisien tenaga kerja dalam menghasilkan produk. Teknologi berbasis IoT dapat mengurangi kebutuhan tenaga kerja atau meningkatkan hasil per jam, sehingga meningkatkan efisiensi tenaga kerja (Liao *et al.*, 2020).

$$\text{Efisiensi Tenaga Kerja} = \frac{\text{Jumlah Produk}}{\text{Jam Kerja}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Jika teknologi IoT mengurangi kebutuhan tenaga kerja atau meningkatkan hasil per jam, maka lebih efisien dibandingkan dengan pakan manual (Liao *et al.*, 2020).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pertumbuhan Bobot Udang dan Average Daily Growth (ADG)

Adapun data-data yang digunakan sebagai dasar dalam melakukan evaluasi manajemen pakan dan aspek ekonomi dalam penggunaan teknologi *Automatic Shrimp Feeder* (ASF) berbasis tenaga surya dan *Internet of Things* (IoT) pada tambak udang vanname sistem intensif di PT Mina Balong Berkah adalah sebagai berikut:

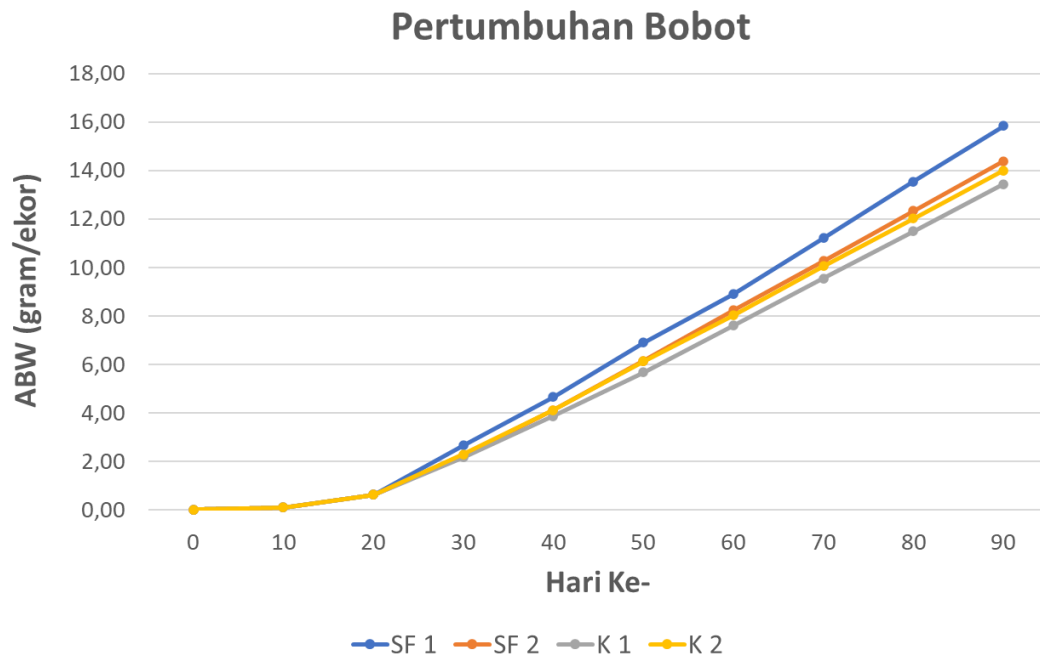
a. Pertumbuhan bobot udang

Pertumbuhan bobot udang yang diamati melalui nilai ABW (Average Body Weight) atau rata-rata bobot individu pada udang yang dipelihara di empat tambak PT Mina Balong Berkah selama masa pemeliharaan disajikan pada **Tabel 1**. ABW merupakan salah satu parameter pertumbuhan yang sangat penting dalam budidaya udang intensif karena mencerminkan akumulasi biomassa individu dan menjadi dasar dalam pengambilan keputusan manajemen, seperti penyesuaian jumlah pakan, estimasi biomassa, evaluasi performa produksi, serta penentuan waktu panen. Menurut Zhao *et al.* (2025), dalam sistem budidaya udang vaname modern, pemantauan bobot secara berkala menjadi semakin penting karena perubahan bobot berhubungan langsung dengan strategi precision feeding dan efisiensi operasional tambak (Chirdchoo *et al.*, 2024).

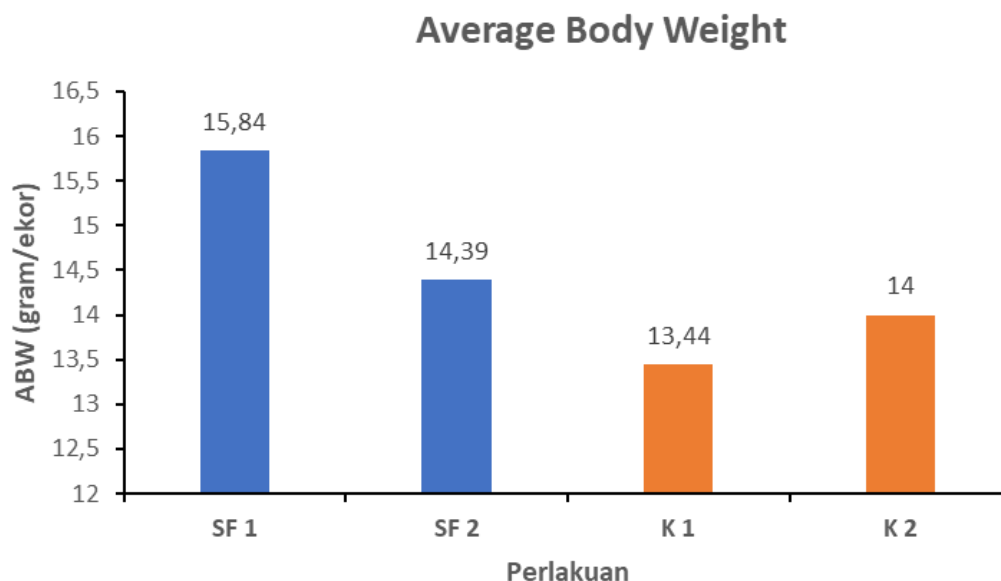
Tabel 1. Nilai ABW Berdasarkan Hari Sampling.

No	Hari Sampling	ABW (g/ekor)			
		Tanpa ASF		Pakai ASF	
		K1	K2	SF1	SF2
1	0	0,02	0,02	0,02	0,02
2	10	0,11	0,11	0,11	0,11
3	20	0,63	0,63	0,63	0,63
4	30	2,18	2,29	2,67	2,24
5.	40	3,88	4,11	4,66	4,12
6.	50	5,68	6,14	6,91	6,15
7	60	7,60	8,02	8,90	8,24
8.	70	9,55	10,05	11,21	10,26
9.	80	11,49	12,02	13,55	12,33
10.	90	13,44	14,00	15,84	14,39

Selain itu, ADG (*Average Daily Growth*) digunakan untuk menunjukkan besarnya pertambahan bobot rata-rata udang per hari selama periode pemeliharaan. Dalam penelitian ini, data ADG diperoleh melalui sampling setiap 10 hari, sehingga parameter ini dapat menggambarkan laju pertumbuhan udang secara lebih terukur dari waktu ke waktu. Secara umum, nilai ADG yang lebih tinggi menunjukkan respons pertumbuhan yang lebih baik terhadap manajemen pakan dan kondisi pemeliharaan, sedangkan fluktuasi ADG dapat mengindikasikan adanya variasi efisiensi pemberian pakan, kondisi lingkungan, maupun adaptasi udang terhadap sistem budidaya. Pada budidaya *Litopenaeus vannamei*, berbagai studi menunjukkan bahwa manajemen pakan yang tepat, termasuk peningkatan frekuensi pemberian pakan dan penggunaan sistem pemberian pakan otomatis, dapat meningkatkan bobot akhir, memperbaiki efisiensi pakan, dan mendukung pertumbuhan yang lebih stabil (Hoa *et al.*, 2023; Weldon *et al.*, 2021). Oleh karena itu, interpretasi ABW dan ADG pada penelitian ini perlu dikaitkan dengan efektivitas penerapan *Automatic Shrimp Feeder* (ASF) dalam mendukung pertumbuhan udang yang konsisten, efisien, dan produktif pada sistem tambak intensif (Liang *et al.*, 2025; Rahardjo *et al.*, 2026). Grafik pertumbuhan bobot udang tersebut disajikan pada **Gambar 1**, sedangkan bobot rata-rata akhir disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 1. Grafik Pertumbuhan Bobot Udang.



Gambar 2. Grafik Bobot Rata-rata Udang Pada Akhir Pemeliharaan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa udang yang dipelihara menggunakan *Automatic Shrimp Feeder* (ASF) memiliki nilai ABW (*Average Body Weight*) yang lebih tinggi dibandingkan dengan udang yang dipelihara secara konvensional tanpa ASF. Nilai ABW pada tambak yang menggunakan ASF berkisar antara 14,39–15,84 g, sedangkan pada tambak konvensional hanya berkisar antara 13,44–14,00 g. Temuan ini mengindikasikan bahwa penerapan ASF berpotensi mendukung pertumbuhan udang yang lebih baik, terutama melalui distribusi pakan yang lebih teratur, frekuensi pemberian pakan yang lebih tinggi, dan pemanfaatan pakan yang lebih efisien (Liang *et al.*, 2025). Hasil ini sejalan dengan berbagai penelitian pada *Litopenaeus vannamei* yang menunjukkan bahwa sistem pemberian pakan otomatis dan peningkatan frekuensi pemberian pakan dapat meningkatkan bobot akhir, memperbaiki

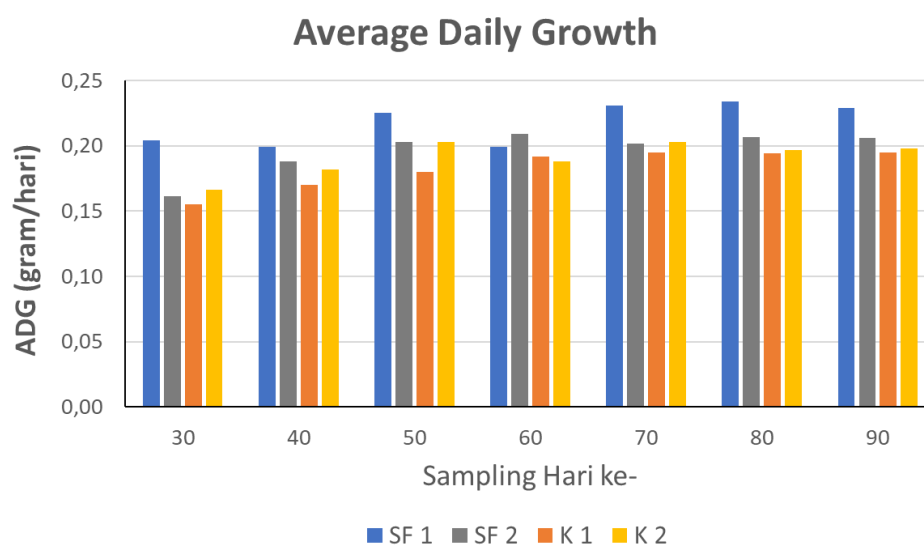
efisiensi pakan, dan mendukung performa pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan pemberian pakan manual atau frekuensi yang lebih rendah (Xu *et al.*, 2020).

b. *Average Daily Growth (ADG)*

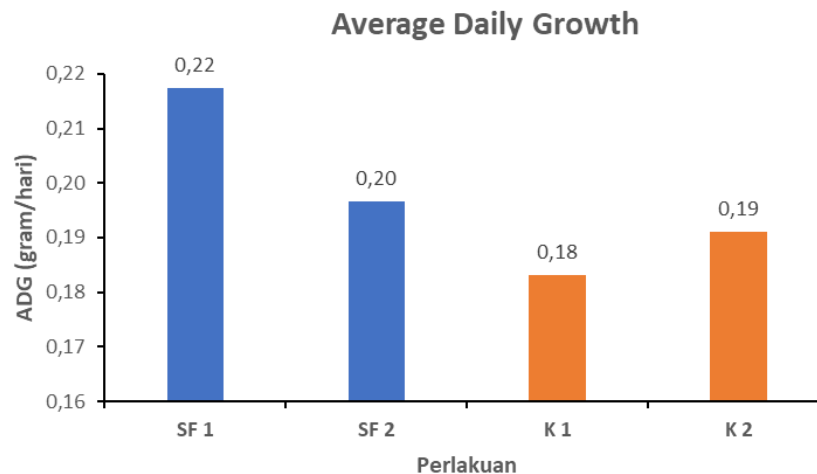
Average daily growth (ADG) atau laju pertumbuhan rata-rata harian udang yang dihitung berdasarkan sampling setiap 10 hari pada empat tambak di PT Mina Balong Berkah selama masa pemeliharaan disajikan pada **Tabel 2**. Selanjutnya, dinamika nilai ADG pada setiap titik sampling dari keempat tambak ditampilkan pada **Gambar 3**, sedangkan nilai rata-rata ADG masing-masing tambak disajikan pada **Gambar 4**. Parameter ADG merupakan indikator penting dalam evaluasi performa pertumbuhan udang karena mampu menggambarkan kecepatan pertambahan bobot individu secara periodik, sehingga dapat digunakan untuk menilai konsistensi pertumbuhan selama pemeliharaan dan respons udang terhadap strategi manajemen pakan yang diterapkan. Menurut Weldon *et al.* (2021), dalam budidaya *Litopenaeus vannamei*, nilai ADG sangat dipengaruhi oleh pengelolaan pakan, terutama frekuensi pemberian pakan, ketepatan dosis, dan efisiensi distribusi pakan, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap pertumbuhan, pemanfaatan pakan, dan efisiensi produksi secara keseluruhan (Liang *et al.*, 2025).

Tabel 2. Nilai ADG Berdasarkan Hari Sampling.

No	Hari Sampling	ADG (g/hari)			
		Tanpa ASF		Pakai ASF	
		K1	K2	SF1	SF2
1	30	0,16	0,17	0,20	0,16
2	40	0,17	0,18	0,20	0,19
3	50	0,18	0,20	0,23	0,20
4	60	0,19	0,19	0,20	0,21
5.	70	0,20	0,20	0,23	0,20
6.	80	0,19	0,20	0,23	0,21
7	90	0,20	0,20	0,23	0,21
Rata-rata		0,18	0,19	0,22	0,20



Gambar 3. Grafik Nilai ADG pada Setiap Titik Sampling.



Gambar 4. Grafik Rata-rata Nilai ADG Dari Keseluruhan Titik Sampling.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata *Average Daily Growth* (ADG) pada tambak yang menggunakan *Automatic Shrimp Feeder* (ASF) mencapai 0,20–0,22 g/hari, lebih tinggi dibandingkan tambak konvensional tanpa ASF yang hanya 0,18–0,19 g/hari. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa penggunaan ASF berpotensi mendukung laju pertumbuhan harian udang yang lebih baik melalui distribusi pakan yang lebih merata, frekuensi pemberian pakan yang lebih terkontrol, serta pemanfaatan pakan yang lebih efisien. Temuan tersebut sejalan dengan berbagai penelitian pada *Litopenaeus vannamei* yang menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi pemberian pakan dan penggunaan sistem pemberian pakan otomatis dapat meningkatkan pertumbuhan, bobot akhir, efisiensi pakan, serta kinerja produksi pada sistem budidaya intensif dan *biofloc*.

3.2. Peningkatan Efisiensi Teknis Budidaya

Penerapan teknologi ASF berbasis IoT dan energi surya pada sistem budidaya udang vaname intensif di PT. Mina Balong Berkah telah dievaluasi secara komprehensif berdasarkan data satu siklus budidaya. Hasil evaluasi ini mencakup aspek produktivitas, manajemen pakan, kualitas air, dan analisis ekonomi, menunjukkan keunggulan signifikan pada tambak yang menggunakan ASF berbasis IoT dan energi surya, rincian datanya disajikan dalam **Tabel 3**.

Tabel 3. Parameter Teknis Budidaya.

Parameter	Metode Manual	Metode ASF	Perbedaan
FCR (<i>Feed Conversion Ratio</i>)	1,52	1,25	Penurunan 17,76%
<i>Survival Rate</i> /SR (%)	72,50	80,05	Peningkatan 10,41%
Produktivitas (kg/m ²)	2,73	3,87	Peningkatan 41,76%

Penurunan FCR yang signifikan dari 1,52 menjadi 1,25 pada tambak yang menggunakan ASF berbasis IoT dan energi surya menunjukkan adanya efisiensi dalam konversi pakan menjadi biomassa udang. Nilai FCR yang lebih rendah menunjukkan efisiensi pakan yang lebih baik, di mana udang dapat tumbuh lebih baik dengan jumlah pakan yang lebih sedikit. Hal ini membuktikan bahwa pemberian pakan yang presisi dan terdistribusi merata oleh ASF mencegah overfeeding, yang juga berkorelasi positif dengan peningkatan SR. Tingginya SR (80,05%) mengindikasikan lingkungan tambak yang lebih stabil dan sehat, diperkuat oleh berkurangnya limbah pakan yang terakumulasi di dasar tambak, yang sejalan dengan pentingnya pemeliharaan kualitas air yang baik (Venkateswarlu *et al.*, 2019).

Penggunaan *Automatic Shrimp Feeder* (ASF) berbasis tenaga surya dan *Internet of Things* (IoT) diduga dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan pakan pada budidaya udang intensif karena sistem ini memungkinkan pemberian pakan yang lebih tepat waktu, terkontrol, dan sesuai kebutuhan udang. Pola pemberian pakan yang lebih presisi dapat mengurangi pemborosan pakan dan menekan *nilai feed conversion ratio* (FCR), sehingga konversi pakan menjadi biomassa berlangsung lebih efisien. Nilai FCR yang lebih rendah umumnya menunjukkan efisiensi pakan yang lebih baik dan berkontribusi pada pertumbuhan udang yang lebih optimal. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa penggunaan *automatic feeder* dan pengaturan frekuensi pemberian pakan yang lebih tepat dapat memperbaiki pertumbuhan, menurunkan penggunaan pakan, serta meningkatkan hasil produksi pada *Litopenaeus vannamei* (Krummenauer *et al.*, 2024). Selain itu, peningkatan *survival rate* (SR) dari 72,50% menjadi 80,05% serta kenaikan produktivitas dari 2,73 kg/m² pada tambak konvensional menjadi 3,87 kg/m² pada tambak yang menggunakan ASF mengindikasikan bahwa perbaikan manajemen pakan juga berdampak pada keberhasilan produksi secara keseluruhan. Pemberian pakan yang teratur dan sesuai kebutuhan dapat mengurangi akumulasi sisa pakan di dasar tambak, sehingga membantu menjaga stabilitas kualitas air, khususnya parameter seperti amonia dan nitrit, yang diketahui berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang bila terakumulasi pada level tinggi (Li *et al.*, 2025). Dalam konteks ini, integrasi IoT pada ASF memberikan nilai tambah karena mendukung penjadwalan, pengaturan dosis, dan pemantauan operasional secara *real-time*, sehingga pengelolaan pakan menjadi lebih konsisten dan berpotensi meningkatkan kesehatan udang, efisiensi produksi, dan produktivitas budidaya secara keseluruhan (Boonraksa & Boonraksa, 2025).

ASF berbasis tenaga surya dan IoT dapat menghasilkan jumlah populasi udang yang lebih banyak dan meningkatkan kualitas udang yang dipanen, nilai produksi keseluruhan dari budidaya udang juga akan meningkat. Secara keseluruhan, ASF berbasis tenaga surya dan IoT menawarkan solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas budidaya udang, sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan keuntungan bagi pembudidaya.

3.2. Analisis Dampak Ekonomi dan Profitabilitas

Dalam penggunaan ASF berbasis IoT dan energi surya ini juga telah dilakukan evaluasi terhadap aspek ekonomi, dampak dari efisiensi teknis diterjemahkan langsung menjadi peningkatan pendapatan dan efisiensi biaya, perbandingan datanya disajikan dalam **Tabel 4**.

Tabel 4. Data Aspek Ekonomi.

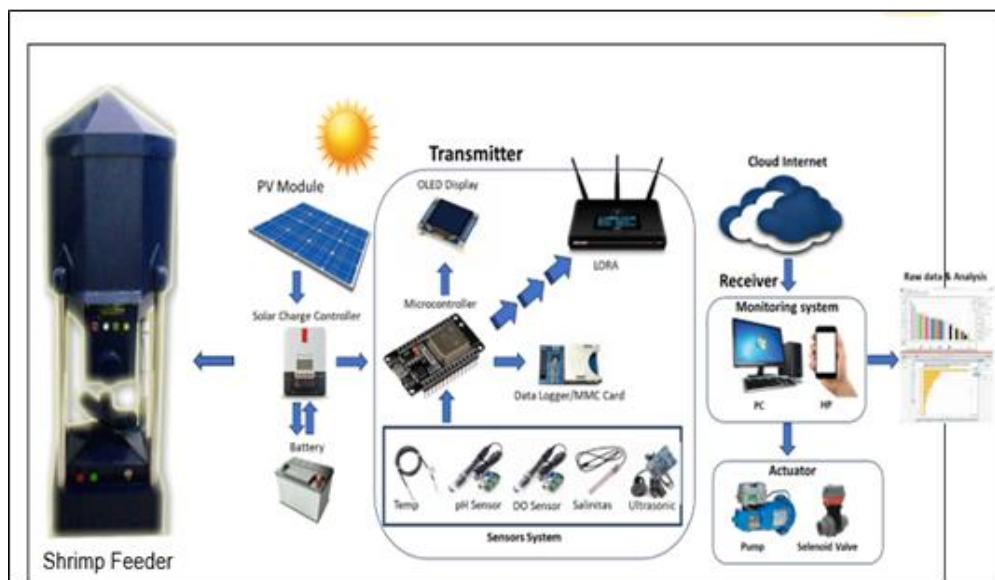
Aspek Ekonomi	Metode Manual	Metode ASF	Keterangan
Keuntungan Bersih per Siklus	Rp.60.248.400	Rp.137.749.600	Peningkatan 131,96%
Kebutuhan Tenaga Kerja (orang)	3	2	Penghematan Biaya Upah

Berdasarkan hasil evaluasi, terlihat adanya peningkatan keuntungan bersih sebesar 131,96% hal ini menunjukkan dampak dari penghematan biaya pakan (akibat FCR yang rendah) dan peningkatan total produksi (akibat SR dan produktivitas yang tinggi) jauh melampaui biaya investasi awal dan operasional ASF berbasis IoT dan energi surya. Pengurangan tenaga kerja juga berkontribusi pada efisiensi biaya operasional jangka panjang. Penggunaan tenaga surya sebagai sumber energi juga berkontribusi pada pengurangan biaya operasional jangka panjang. Penggunaan ASF berbasis IoT dan energi surya ini dapat menjadi investasi yang menguntungkan bagi pembudidaya udang, meningkatkan efisiensi operasional, dan pada akhirnya meningkatkan keuntungan. Peningkatan keuntungan ini

membuktikan bahwa investasi awal pada teknologi ASF berbasis IoT dan energi surya ini memberikan *Return on Investment (ROI)* yang sangat tinggi.



Gambar 5. ASF Berbasis IoT dan Energi Surya di Tambak Udang PT. Mina Balong Berkah.



Gambar 6. Diagram Sistem ASF Berbasis IoT dan Energi Surya.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada aspek pengujian kestabilan operasional sistem *Automatic Shrimp Feeder (ASF)* berbasis IoT dan panel surya terhadap kondisi cuaca ekstrem, khususnya saat intensitas sinar matahari rendah dalam durasi yang panjang. Secara teknis, sistem ASF yang digunakan telah dirancang dengan mekanisme *hybrid*, yaitu menggunakan tenaga surya sebagai sumber energi utama dan sumber listrik sebagai cadangan, sehingga alat tetap dapat beroperasi stabil selama kurang

lebih 2 × 24 jam pada kondisi minim sinar matahari. Namun, selama periode penelitian berlangsung, kondisi cuaca di lokasi penelitian tidak pernah mengalami kekurangan sinar matahari lebih dari 2 × 24 jam, sehingga sistem cadangan berbasis listrik tidak pernah diaktifkan. Dengan demikian, hasil penelitian ini belum sepenuhnya merepresentasikan performa sistem ASF pada kondisi cuaca ekstrem yang berlangsung lebih lama. Oleh karena itu, penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk menguji keandalan sistem pada periode mendung berkepanjangan, efektivitas perpindahan sumber energi dari panel surya ke listrik cadangan, serta dampaknya terhadap kontinuitas operasional alat dan efisiensi budidaya.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan ASF berbasis IoT dan energi surya merupakan strategi manajemen pakan yang inovatif, efektif, dan efisien dalam budidaya udang vaname intensif pada budidaya udang vaname sistem intensif di PT Mina Balong Berkah terbukti. Teknologi ini berhasil mengoptimalkan pemberian pakan, menekan FCR hingga 1.25, meningkatkan SR menjadi 80,05%, dan melipatgandakan keuntungan bersih per siklus. ASF berbasis IoT dan energi surya merupakan solusi smart farming yang berkelanjutan untuk mengatasi masalah inefisiensi pakan dan meningkatkan daya saing industri perikanan. Keunggulan teknis dalam menekan FCR dan meningkatkan SR berkontribusi langsung pada lonjakan profitabilitas perusahaan. ASF berbasis IoT dan energi surya terbukti menjadi kunci untuk mencapai produktivitas yang tinggi dan berkelanjutan dalam menghadapi tantangan biaya operasional budidaya udang modern.

PT. Mina Balong Berkah perlu melakukan studi kelayakan dan perluasan penerapan ASF berbasis IoT dan energi surya ke seluruh unit tambak yang tersisa. Selain itu, diperlukan analisis investasi mendalam yang membandingkan total biaya investasi awal ASF dengan nilai akumulasi penghematan biaya pakan dan peningkatan nilai produksi, untuk mengukur periode pengembalian modal (*Payback Period*) yang lebih akurat. Hasil positif ini juga dapat dijadikan model demonstrasi untuk mendorong adopsi teknologi serupa di tingkat nasional.

Penerapan teknologi ASF berbasis tenaga surya dan IoT dalam kegiatan budidaya udang vaname sistem intensif di PT Mina Balong Berkah memberikan serangkaian manfaat dan keuntungan yang mendalam. Hasil evaluasi satu siklus budidaya ini menunjukkan keunggulan signifikan pada tambak yang mengadopsi teknologi otomatisasi, membuktikan pergeseran paradigma dari praktik konvensional menuju akuakultur presisi. Data hasil perbandingan satu siklus budidaya ini secara kuat menunjukkan keunggulan multidimensi dari otomasi pakan.

Daftar Pustaka

- [BPS] Badan Pusat Statistik. (2023). *Statistik Ekspor Impor Komoditas Perikanan Indonesia Tahun 2023*. Badan Pusat Statistik. Jakarta. 186Hlm.
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2022). *Satu Data Kelautan dan Perikanan: Produksi Budidaya Pembesaran Udang Nasional Tahun 2022*. Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. (accessed December 2025).
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2023). *Arah Kebijakan Pembangunan Kelautan dan Perikanan Berbasis Ekonomi Biru*. Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. (accessed December 2025).
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2025). *Keputusan Direktur Jenderal Perikanan Budi Daya Nomor 473 Tahun 2025 tentang Rencana Strategis Direktorat Jenderal Perikanan Budi Daya Tahun 2025–2029*. Direktorat Jenderal Perikanan Budi Daya. <https://www.kkp.go.id> (accessed March 2026).
- Abdullah, A. F., Che Man, H., Mohammed, A., Abd Karim, M. M., Yunusa, S. U., & Mohd Jais, N. A. B. (2024). Charting the aquaculture internet of things impact: Key applications, challenges, and future trend. *Aquaculture Reports*, 39, 102358. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102358>

- Airawati, M. N., Fauzi, I., Mardiatno, D., & Khakhim, N. (2023). Analisis Kebijakan Keberlanjutan Budidaya Udang Vaname di Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah. *Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 13(2), 155–1165. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15578/jksekp.v13i2.12487>
- Benetti, D. D., & Jory, D. E. (2007). Improving feed conversion ratio in aquaculture using new feeding strategies. *Aquaculture*, 263(1-4), 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.09.029>
- Boonraksa, T., & Boonraksa, P. (2025). Design of solar-powered automatic shrimp feeder based on the Internet of Things technology. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 57(4), 545–558. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2025.57.4.9>
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (2014). *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Springer New York, NY. Pages 601-624, <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5407-3>
- Chirdchoo, N., Mukviboonchai, S., & Cheunta, W. (2024). A deep learning model for estimating body weight of live Pacific white shrimp in a clay pond shrimp aquaculture. *Intelligent Systems with Applications*, 24, 200434. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2024.200434>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Dahlan, J., Hamzah, M., & Kurnia, A. (2017). Pertumbuhan Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) yang Dikultur pada Sistem Bioflok dengan Penambahan Probiotik The Growth of Vannamei White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Cultured In Bioflock System with Probiotic Supplementation In the Diet. *Journal of Fishery Science and Innovation*, 1(2), 1–9. <https://doi.org/10.33772/jspi.v1n2>
- Dahlan, J., Sopiyanudin., & Hariyanto. (2017). Pertumbuhan udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) yang dikultur pada sistem bioflok dengan penambahan probiotik. *Jurnal Sains dan Inovasi Perikanan*. 1 (21):19-927. DOI: <http://dx.doi.org/10.33772/jspi.v1n2>.
- Hoa, T. T. T., Fagnon, M. S., Thy, D. T. M., Chabrilat, T., Trung, N. B., & Kerros, S. (2023). Growth performance and disease resistance against *Vibrio parahaemolyticus* of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed essential oil blend (Phyto AquaBiotic). *Animals*, 13(21), 3320. <https://doi.org/10.3390/ani13213320>
- Krummenauer, D., Pimentel, O. A. L. F., Bezerra, A., Gonçalves, F. H., Poersch, L. H., & Wasielesky, W., Jr. (2024). The use of automatic belt feeders in a *Penaeus vannamei* pilot scale super-intensive nursery and grow-out with biofloc system. *Aquacultural Engineering*, 107, 102453. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2024.102453>
- Kumar, S., & Meena, M. (2018). Impact of solar energy in aquaculture: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1697-1708. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.055>
- Li, X., Wang, L., & Dai, X. (2025). Combined effects of ammonia nitrogen, nitrite, salinity, and temperature negatively impact the growth, survival, physiological, and biochemical parameters, and hepatopancreatic structure of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 596(Part 2), 741845. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741845>
- Liang, Q., Liu, G., Luan, Y., Niu, J., Li, Y., Chen, H., Liu, Y., & Zhu, S. (2025). Impact of feeding frequency on growth performance and antioxidant capacity of *Litopenaeus vannamei* in recirculating aquaculture systems. *Animals*, 15(2), 192. <https://doi.org/10.3390/ani15020192>
- Liao, X., Huang, Y., & Yang, J. (2020). IoT-based monitoring system for aquaculture: Applications and challenges. *Aquaculture Engineering*, 87, 102061. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102061>
- Mufa'ah, & Hayati, M. (2016). Analisis Daya Saing Ekspor Komoditas Udang Indonesia. *Jurnal AGRIFO*, 1(1):1-11. <https://doi.org/DOI:10.29103/ag.v1i1.1077>.
- Musidi, R. Y., Putri, A., Damayanti, E., Nuralifah, R., Ahmad, R., Pradava, R., Karo, R., Sitepu, K., & Luthfiah, F. (2024). Analisis Keunggulan Komparatif dan Kompetitif Udang Beku Pada Pasar

- Internasional Jepang. *Journal of Business Finance and Economic (JBFE)*, 5(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.32585/jbfe.v5i1.5195>
- Purnamasari, I., Purnama, D., & Utami, M. A. F. (2017). Pertumbuhan Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) di Tambak Intensif. *Jurnal Enggano*, 2(1), 58–67. <https://doi.org/10.31186/jenggano.2.1.58-67>.
- Rahardjo, S. S. P., Supriatin, F. E., Septiansyah, A. D., Fadli, M. F., Rahmawati, A., & Rangkuti, R. F. A. (2026). Examining blind feeding techniques for growth performance and water quality in the intensive production of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). *Aquaculture*, 611, 742958. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.742958>
- Rastegari, H., Nadi, F., Lam, S. S., Ikhwanuddin, M., Kasan, N. A., Rahmat, R. F., & Mahari, W. A. W. (2023). Internet of things in aquaculture: A review of the challenges and potential solutions based on current and future trends. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100187. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100187>
- Rumokoy, S. N., Tumiwa, C. S., Lengkey, A. C. Y., Kapiso, P., Maundeng, P., Gumilar, L., & Monika, D. (2023). Konsep Pencegahan Kematian Ikan Hias dDengan Sistem IoT Terintegrasi Energi Surya pada Usaha Ikan Skala Besar. *Jurnal Elektrik*, 02(021), 1–7. <https://doi.org/10.65485/elektrik.v2i2.706>.
- Samawi, G., Panjaitan, A. S., Marlina, E., Pamaharyani, L. I., Bosman, O., dan Suseno, D. H., (2021). Efektivitas Penggunaan *Automatic Feeder* Pada Budidaya Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) di PT. Windu Marina Abadi Kecamatan Sambelia, Lombok Timur. *Buletin JSJ*, 3 (2):93-99. <http://dx.doi.org/10.15578/bjsj.v3i2.10719>.
- Sasikumar, R., Lourdu Lincy, L., Saranya, S., Roja, B., Thamanna, L., Sreekutty, V. P., Dhayanithi, S., Sathyan, A., & Chellapandi, P. (2024). Field trial evaluation of sensor-based aquaculture automation for improved biofloc shrimp culture. *Journal of Water Process Engineering*, 64, 105661. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105661>
- Venkateswarlu, V., Sessaiah, P. V., Arun, P. C., & Behra, P. (2019). A study on water quality parameters in shrimp *L. vannamei* semi-intensive grow out culture farms in coastal districts of Andhra Pradesh, India. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 7, 394–397. <https://dx.doi.org/10.22271/fish>.
- Waskitaadi, B. A., & Nurmuslimah, S. (2023). Perancangan Alat Pakan Otomatis Pada Tambak Udang Berbasis IoT. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan XI 2023*, 1–8. <https://ejurnal.itats.ac.id/sntekpan/article/view/5118/3546>
- Weldon, A., Davis, D. A., Rhodes, M., Reis, J., Stites, W., & Ito, P. (2021). Feed management of *Litopenaeus vannamei* in a high density biofloc system. *Aquaculture*, 544, 737074. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737074>
- Wiranata, B., Wahyu Prasetyo, T., Rahmi Richana, F., Ayu Azizah, M., Arfian Praniza, M., Firdaus Alatas, N., Johanda Putra, J., & Budhi Pramono, T. (2022). Analisis Kelayakan Usaha Budidaya Udang Vannamei (*Litopenaeus vannamei*) Sistem Intensif di Desa Sawojajar Kecamatan Wanasari, Kabupaten Brebes. *Jurnal Pengabdian Perikanan Indonesia*, 2(3), 150–157. <https://doi.org/DOI:10.29303/jppi.v2i3>.
- Xu, W., Xu, Y., Su, H., Hu, X., Xu, Y., Li, Z., Wen, G., & Cao, Y. (2020). Effects of feeding frequency on growth, feed utilization, digestive enzyme activity and body composition of *Litopenaeus vannamei* in biofloc-based zero-exchange intensive systems. *Aquaculture*, 522, 735079. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735079>
- Zhao, H., Liu, M., Ren, Z., Jiang, K., Zhao, X., Xu, K., Gao, Y., Wang, B., & Wang, L. (2025). Computer vision-based growth prediction and digestive tract assessment in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Reports*, 45, 103137. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103137>

