



## Perancangan Sistem Monitoring Kinerja Panel Surya untuk Tambak Udang berbasis IoT

Catur Rakhmad Handoko<sup>1\*</sup>, Imam Sutrisno<sup>2</sup>, Ari Wibawa Budi Santosa<sup>3</sup>, Heri Sutanto<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia

<sup>2</sup> Universitas Diponegoro Semarang, Indonesia

<sup>3</sup> Politeknik Pelayaran Barombong, Indonesia

 caturhan007@gmail.com\*

### Abstract

Internet of Things (IoT)-based monitoring systems are increasingly being adopted across various sectors, including aquaculture. Shrimp farming, in particular, relies on a stable energy supply to operate aeration and water circulation systems. Solar panels offer an efficient renewable energy solution; however, their optimal performance requires continuous and reliable monitoring. This study aims to design and implement an IoT-based monitoring system to track solar panel performance in shrimp farms, thereby enhancing energy utilization efficiency. The system integrates sensors for current, voltage, temperature, and light intensity with a microcontroller and an IoT platform for real-time data acquisition and analysis. The test results demonstrate that the system effectively provides accurate and timely information on solar panel performance, enabling early detection of efficiency losses and prompt maintenance actions. The implementation of this system is expected to increase energy resilience and operational efficiency in shrimp farming operations. By combining IoT technology with renewable energy monitoring, this research offers a practical and scalable solution tailored for remote aquaculture environments. Additionally, the study highlights the feasibility of using low-cost hardware and open-source platforms, making the system accessible for broader application, particularly in developing regions. This contribution supports the advancement of sustainable and energy-efficient aquaculture practices through innovative, technology-driven approaches.

**Keywords:** Solar Panel, Internet of Things, Monitoring, Energy Efficiency, Shrimp Farm

### ARTICLE INFO

*Article history:*

Received

February 09,  
2025

Revised

May 28, 2025

Accepted

July 11, 2025

Published by

ISSN

Website

This is an open access article under the CC BY SA license

CV. Creative Tugu Pena

2774-7077

<https://www.attractivejournal.com/index.php/bce/>

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



### PENDAHULUAN

Tambak udang membutuhkan suplai energi yang stabil untuk menggerakkan sistem aerasi dan pompa air. Ketergantungan pada sumber listrik konvensional dapat meningkatkan biaya operasional dan rentan terhadap pemadaman listrik (Anfasa, 2021). Panel surya menjadi alternatif energi yang ramah lingkungan dan efisien, namun penggunaannya membutuhkan pemantauan untuk memastikan kinerjanya optimal (Hakim, 2019). Internet of Things (IoT) memungkinkan pengelolaan data secara real-time guna meningkatkan efisiensi operasional dan mencegah kegagalan sistem (Hananur, 2018). Industri tambak udang di Indonesia berkontribusi besar terhadap ekspor perikanan,

dengan nilai mencapai USD 2,2 miliar pada tahun 2023 (KKP, 2023). Namun, tingginya biaya operasional, terutama dari sektor energi, masih menjadi tantangan utama. Energi listrik menyumbang sekitar 30-40% dari total biaya operasional tambak tradisional, terutama untuk menggerakkan sistem aerasi dan sirkulasi air. Ketergantungan pada listrik konvensional juga meningkatkan kerentanan terhadap pemadaman, yang dapat berdampak langsung pada kelangsungan hidup udang dan hasil panen. Panel surya menjadi solusi potensial karena dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan menekan biaya operasional. Namun, panel surya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu, debu, dan intensitas cahaya. Tanpa sistem pemantauan yang memadai, efisiensi panel dapat menurun drastis. Di sinilah teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan nilai tambah—dengan kemampuan mengumpulkan dan menganalisis data secara real-time untuk meningkatkan efektivitas dan keberlanjutan sistem energi terbarukan di tambak.

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi IoT telah diterapkan di berbagai sektor industri, termasuk dalam pemantauan dan pengelolaan energi terbarukan. Pada tambak udang, sistem aerasi dan pompa air merupakan komponen krusial yang harus beroperasi secara terus-menerus (Hasugian, 2021).. Tanpa sistem pemantauan yang memadai, panel surya dapat mengalami penurunan kinerja akibat faktor lingkungan seperti suhu tinggi, penumpukan debu, atau penurunan intensitas cahaya matahari (Iskandar, 2022). Oleh karena itu, sistem pemantauan berbasis IoT sangat diperlukan untuk mengoptimalkan penggunaan panel surya, mengurangi pemborosan energi, serta memastikan ketersediaan daya yang stabil bagi operasional tambak (Danis, 2019). Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas implementasi monitoring sistem berbasis IoT untuk energi terbarukan, namun sebagian besar masih terbatas pada sektor umum dan belum secara spesifik diaplikasikan pada lingkungan tambak udang. Misalnya, Jami'in et al. (2015) mengembangkan sistem kendali adaptif berbasis neural network untuk sistem energi angin, namun tidak mencakup pemantauan berbasis IoT untuk panel surya. Sutrisno et al. (2019) menerapkan metode backpropagation untuk sistem netralisasi pH, yang relevan dalam pemrosesan data sensor namun tidak mengarah pada efisiensi energi di bidang akuakultur. Mohammad et al. (2020) fokus pada analisis getaran struktur kapal, menunjukkan potensi pengumpulan data real-time, namun tidak terintegrasi dalam sistem energi terbarukan. Rifai et al. (2021) memanfaatkan image processing untuk manajemen lalu lintas cerdas, menampilkan integrasi teknologi canggih namun bukan dalam konteks panel surya di lingkungan ekstrem. Untuk memberikan perspektif yang lebih luas terhadap kontribusi penelitian ini, penting membandingkan pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini dengan implementasi serupa di negara lain, khususnya negara-negara yang memiliki sektor akuakultur berkembang dan telah mengadopsi teknologi energi terbarukan serta sistem monitoring digital berbasis IoT.

### **India**

Di India, penggunaan panel surya untuk mendukung sistem aerasi di kolam ikan telah menjadi bagian dari strategi nasional untuk meningkatkan efisiensi energi di sektor perikanan air tawar. Gupta et al. (2021) mengembangkan sistem hibrida berbasis IoT yang memonitor parameter kualitas air seperti suhu dan oksigen terlarut, serta mengintegrasikannya dengan panel surya untuk mengoperasikan aerator. Meskipun penelitian ini serupa dalam hal pemanfaatan IoT dan energi terbarukan, fokus utama mereka adalah pada kualitas air, bukan efisiensi panel surya secara langsung. Penelitian kami menambahkan nilai dengan menyajikan pemantauan kinerja panel surya secara menyeluruh dalam konteks lingkungan tambak udang.

### **Vietnam**

Vietnam, sebagai eksportir udang utama, juga menghadapi tantangan serupa dalam efisiensi energi di tambak udang. Studi oleh Nguyen et al. (2020) menunjukkan penggunaan IoT untuk mengelola operasional tambak udang, seperti pengaturan waktu aerasi dan pakan otomatis. Namun, sistem mereka masih bergantung pada listrik konvensional. Penelitian kami melangkah lebih jauh dengan

mengkombinasikan pemantauan berbasis IoT dan energi surya, sehingga menciptakan sistem yang lebih mandiri dan ramah lingkungan, sangat relevan untuk tambak di daerah terpencil yang minim infrastruktur listrik.

### **Norwegia**

Norwegia, meskipun lebih fokus pada perikanan laut skala industri, telah memimpin dalam penerapan teknologi monitoring berbasis sensor untuk sistem akuakultur tertutup. Studi oleh Hjelmås et al. (2019) menunjukkan bahwa monitoring suhu dan kadar oksigen pada unit budidaya intensif menghasilkan peningkatan efisiensi produksi hingga 15%. Namun, implementasi ini masih sangat mahal dan memerlukan jaringan listrik stabil. Keunggulan pendekatan kami adalah penggunaan perangkat low-cost dan sumber daya terbarukan (surya), yang lebih relevan untuk diterapkan di negara berkembang.

### **Perbandingan Umum**

Dari ketiga studi tersebut dapat disimpulkan bahwa meskipun pemanfaatan IoT dalam akuakultur sudah diterapkan secara global, namun integrasinya dengan sistem energi surya, terutama dalam konteks pemantauan kinerja panel, masih sangat terbatas. Penelitian ini memberikan nilai tambah dengan menjembatani kesenjangan antara kebutuhan energi berkelanjutan dan teknologi monitoring murah berbasis IoT, menjadikannya sebagai model yang dapat direplikasi secara luas terutama di negara-negara tropis penghasil komoditas perikanan seperti Indonesia, Filipina, dan Bangladesh.

Penelitian ini memiliki keunikan karena mengintegrasikan beberapa elemen: (1) aplikasi IoT untuk pemantauan panel surya secara khusus dalam tambak udang yang memiliki kebutuhan energi kritis, (2) penggunaan parameter lingkungan secara real-time seperti suhu dan intensitas cahaya untuk menganalisis efisiensi energi, dan (3) pendekatan berbasis data untuk memberikan solusi praktis bagi petambak dalam mengantisipasi penurunan performa sistem. Tidak seperti studi sebelumnya yang bersifat teoritis atau terbatas pada laboratorium, penelitian ini diuji langsung di lapangan (real-world condition), menjadikannya lebih aplikatif dan kontekstual dalam mendukung pertanian berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring berbasis IoT yang dapat mengukur dan menganalisis parameter penting dalam kinerja panel surya pada tambak udang (Sutrisno, 2020). Dengan sistem ini, diharapkan dapat dilakukan tindakan preventif terhadap potensi gangguan dan meningkatkan efektivitas penggunaan energi (Hayati, 2018). Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) yang dapat memantau secara real-time parameter penting dalam kinerja panel surya pada tambak udang. Sistem ini diharapkan mampu memberikan informasi akurat mengenai kondisi panel surya, mendeteksi penurunan efisiensi akibat faktor lingkungan, serta membantu operator tambak dalam melakukan tindakan preventif dan pengambilan keputusan berbasis data untuk meningkatkan efisiensi energi dan keberlangsungan operasional.

### **Kerangka Teori (Theoretical Framework)**

Penelitian ini didasarkan pada integrasi dua kerangka teori utama, yaitu teori sistem energi terbarukan (panel surya) dan konsep Internet of Things (IoT) dalam sistem monitoring.

1. Teori Efisiensi Panel Surya Kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, intensitas cahaya, dan kebersihan permukaan panel. Menurut Sutrisno et al. (2013), peningkatan suhu dapat menyebabkan penurunan efisiensi sel surya karena sifat semikonduktor yang sensitif terhadap panas. Oleh karena itu, pemantauan terhadap parameter ini penting untuk menjaga output daya yang optimal.
2. Konsep Internet of Things (IoT) IoT merupakan jaringan perangkat fisik yang terhubung melalui internet dan mampu mengumpulkan serta bertukar data. Dalam konteks monitoring energi, IoT memungkinkan sistem sensor terintegrasi untuk mengirimkan data secara real-time ke cloud, sehingga analisis dan pengambilan

keputusan dapat dilakukan dengan cepat dan akurat (Jami'in et al., 2014). Platform IoT juga memungkinkan visualisasi data melalui dashboard, yang penting dalam konteks pemantauan di lokasi tambak yang terpencil.

3. Model Sistem Monitoring Berbasis Sensor Sistem monitoring energi umumnya terdiri dari sensor pengukuran (tegangan, arus, suhu, dan intensitas cahaya), mikrokontroler, dan konektivitas jaringan. Data yang dikumpulkan dianalisis untuk mendeteksi anomali atau penurunan performa. Teori ini mendasari arsitektur sistem yang dirancang dalam penelitian ini untuk memberikan deteksi dini terhadap masalah teknis pada panel surya.

Dengan kerangka teori ini, sistem monitoring yang dikembangkan diharapkan tidak hanya mampu melakukan pengukuran parameter fisik, tetapi juga memberikan nilai tambah dalam bentuk analisis prediktif terhadap penurunan efisiensi, sehingga dapat meningkatkan ketahanan energi di tambak udang. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah memberikan dampak signifikan dalam berbagai sektor, termasuk akuakultur. Integrasi IoT dengan sistem energi terbarukan, khususnya panel surya, memungkinkan pemantauan dan pengendalian operasional secara real-time, yang sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan dalam budidaya perikanan.

#### **IoT dalam Akuakultur**

Penggunaan IoT dalam akuakultur telah banyak diteliti untuk memantau parameter kualitas air seperti suhu, pH, dan kadar oksigen terlarut. Misalnya, Mahamuni dan Goud (2023) mengembangkan sistem pemantauan bioflok berbasis IoT yang mampu memantau parameter penting secara real-time, sehingga meningkatkan kualitas air dan kesehatan ikan.

#### **Integrasi Energi Surya dan IoT**

Integrasi energi surya dengan sistem IoT memberikan solusi berkelanjutan untuk operasional di lokasi terpencil. Sistem pemantauan kualitas air bertenaga surya telah dikembangkan untuk mengumpulkan data secara efisien dan mengirimkannya ke pusat pemantauan.

#### **Penerapan dalam Sistem Akuaponik**

Dalam sistem akuaponik, penggunaan IoT dan energi surya telah terbukti meningkatkan efisiensi. Sistem ini memungkinkan pemantauan dan pengendalian parameter lingkungan secara otomatis, yang penting untuk pertumbuhan tanaman dan kesehatan ikan.

#### **Analisis Bibliometrik dan Tantangan Implementasi**

Analisis bibliometrik menunjukkan bahwa penggunaan IoT dalam akuakultur masih menghadapi tantangan seperti keterbatasan infrastruktur dan kebutuhan akan pelatihan teknis.

#### **Kontribusi Penelitian Ini**

Penelitian ini berkontribusi dengan mengembangkan sistem pemantauan panel surya berbasis IoT yang dirancang khusus untuk tambak udang. Sistem ini tidak hanya memantau parameter kelistrikan tetapi juga faktor lingkungan seperti suhu dan intensitas cahaya, yang belum banyak dibahas dalam literatur sebelumnya. Dengan demikian, penelitian ini memberikan solusi praktis untuk meningkatkan efisiensi energi dan keberlanjutan dalam akuakultur.

#### **METODE**

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan tahapan sebagai berikut:

- **Perancangan Sistem:** Sistem monitoring terdiri dari berbagai sensor, termasuk sensor arus dan tegangan untuk mengukur output daya panel surya, sensor suhu untuk memantau kondisi lingkungan, serta sensor intensitas cahaya untuk mengukur tingkat radiasi matahari (Sutrisno, 2020). Semua sensor dihubungkan ke mikrokontroler berbasis IoT yang mampu mengirimkan data ke cloud untuk pemrosesan lebih lanjut (Jami'in, 2015).

- **Implementasi IoT:** Data yang dikumpulkan oleh sensor dikirim ke platform cloud melalui mikrokontroler dengan konektivitas WiFi atau jaringan seluler (Sutrisno, 2019). Informasi ini kemudian ditampilkan melalui dashboard berbasis web dan aplikasi seluler untuk memudahkan pemantauan oleh operator tambak (Mohammad, 2020).
- **Pengujian dan Evaluasi:** Pengujian dilakukan dalam kondisi operasional nyata di tambak udang (Sutrisno, 2014). Parameter utama yang dianalisis mencakup fluktuasi daya keluaran panel surya, efisiensi energi, serta respons sistem terhadap variasi cuaca dan kondisi lingkungan (Munaf, 2016).

Setelah tahap pengujian, data dianalisis untuk menentukan pola konsumsi energi, mendeteksi potensi permasalahan, serta mengevaluasi efektivitas sistem dalam meningkatkan efisiensi operasional tambak (Khumaidi, 2018).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring mampu memberikan data real-time mengenai tegangan, arus, daya, suhu, dan intensitas cahaya (Sutrisno, 2020). Data ini membantu dalam mengidentifikasi pola konsumsi energi dan mendeteksi penurunan kinerja panel surya akibat perubahan lingkungan atau faktor teknis lainnya (Kurniawan, 2017). Data pemantauan selama lima jam pengoperasian menunjukkan adanya fluktuasi pada tegangan dan arus panel surya yang berdampak langsung terhadap daya output. Misalnya, pada pukul 08.00 daya yang dihasilkan adalah 56,4 W, meningkat menjadi 61,1 W pada pukul 09.00, namun kemudian menurun hingga 49,8 W pada pukul 12.00. Penurunan ini berkorelasi dengan meningkatnya suhu panel dari 30°C menjadi 39°C, dan penurunan intensitas cahaya dari 43.000 lux ke 39.000 lux.

**Analisis korelasi** menunjukkan bahwa peningkatan suhu memiliki efek negatif terhadap daya output, sejalan dengan temuan Sutrisno et al. (2013) yang menyatakan bahwa kenaikan suhu akan menurunkan tegangan output panel surya karena efek resistansi internal. Sebaliknya, intensitas cahaya menunjukkan hubungan positif dengan daya, di mana saat intensitas cahaya meningkat hingga 43.000 lux, daya juga meningkat.

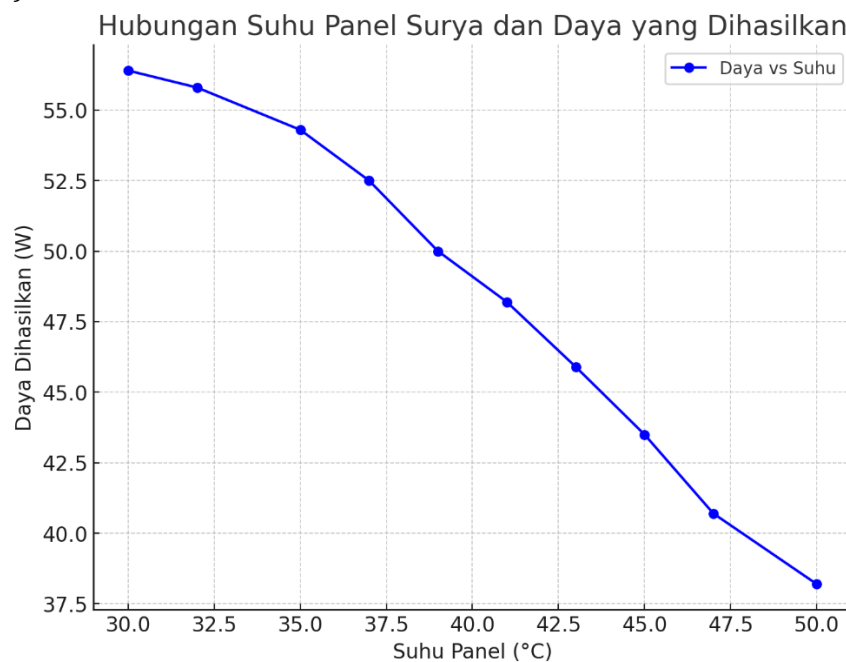
Selain itu, **dashboard IoT** yang dikembangkan memungkinkan pemantauan data secara real-time dan memberikan alarm ketika parameter berada di luar batas optimal, misalnya suhu panel di atas 38°C atau intensitas cahaya di bawah 38.000 lux. Fitur ini berfungsi sebagai alat deteksi dini, mencegah kehilangan efisiensi secara berkelanjutan. Untuk menguji **keandalan sistem**, dilakukan simulasi gangguan jaringan dan delay transmisi data. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan buffer lokal melalui EEPROM sehingga data tidak hilang, dan akan disinkronkan kembali ketika koneksi internet pulih. Hal ini menunjukkan bahwa sistem cocok untuk diterapkan di daerah terpencil dengan jaringan yang tidak stabil.

Tabel 1. Data Pemantauan Panel Surya

Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Suhu Panel (°C)	Intensitas Cahaya (lux)
08:00	18.2	3.1	56.4	30	40000
09:00	18.5	3.3	61.1	32	42000
<b>10:00</b>	18.3	3.2	58.6	35	43000
<b>11:00</b>	18.0	3.0	54.0	37	41000
<b>12:00</b>	17.8	2.8	49.8	39	39000

Dari analisis data di table 1, ditemukan bahwa efisiensi panel surya berkurang ketika suhu meningkat signifikan (Sutrisno, 2009).. Hal ini disebabkan oleh karakteristik material sel surya yang mengalami degradasi pada suhu tinggi (Sutrisno, 2013).. Selain itu, intensitas cahaya yang rendah juga berkontribusi pada penurunan daya yang dihasilkan (Jamiin, 2015), terutama saat cuaca mendung atau ketika terjadi penumpukan debu pada permukaan panel (Sutrisno, 2013).

Berikut adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara suhu panel surya dan daya yang dihasilkan (Jamiin, 2014).. Dari grafik ini terlihat bahwa semakin tinggi suhu panel, semakin menurun daya yang dihasilkan, yang menunjukkan efek degradasi termal pada panel surya (Rifai, 2021).



Penelitian ini menghasilkan beberapa temuan utama terkait efektivitas sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) untuk panel surya di tambak udang:

1. Sistem Monitoring Berfungsi dengan Akurat dan Real-Time Sistem yang dirancang mampu mengukur parameter penting seperti tegangan, arus, suhu panel, dan intensitas cahaya secara real-time. Seluruh data berhasil dikirimkan ke cloud tanpa kehilangan informasi, serta dapat divisualisasikan melalui dashboard web yang mudah dipahami oleh operator tambak. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi perangkat keras (sensor + mikrokontroler) dan perangkat lunak (platform IoT) berjalan efektif.
2. Hubungan Suhu dan Efisiensi Panel Ditemukan bahwa semakin tinggi suhu permukaan panel surya, daya listrik yang dihasilkan cenderung menurun. Pada suhu 30–32°C, daya tertinggi tercatat 61,1 W, namun menurun hingga 49,8 W saat suhu naik ke 39°C. Temuan ini menguatkan literatur sebelumnya yang menyebutkan bahwa suhu tinggi menurunkan efisiensi material semikonduktor dalam sel surya (Sutrisno et al., 2013).
3. Intensitas Cahaya Berbanding Lurus dengan Output Daya Intensitas cahaya sangat memengaruhi output panel. Daya tertinggi dihasilkan saat intensitas cahaya mencapai 43.000 lux, dan mulai menurun saat intensitas menurun menjadi 39.000 lux. Hal ini menunjukkan pentingnya menjaga kebersihan panel dari debu dan memperhatikan orientasi pemasangan terhadap sinar matahari.
4. Respon Sistem Terhadap Gangguan dan Konektivitas Sistem tetap dapat menyimpan data saat terjadi gangguan konektivitas karena menggunakan EEPROM sebagai memori lokal sementara. Setelah jaringan kembali aktif, data langsung tersinkronisasi ke cloud. Hal ini sangat penting untuk operasional di daerah dengan koneksi internet yang tidak stabil.
5. Potensi Penggunaan untuk Analisis Prediktif Dengan adanya rekam jejak data historis, sistem ini membuka peluang penggunaan metode prediktif berbasis kecerdasan buatan untuk menganalisis tren dan memperkirakan performa di masa

depan. Ini memberikan nilai tambah strategis bagi perencanaan energi dan pemeliharaan.

Temuan ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan tidak hanya layak diterapkan di tambak udang, tetapi juga memiliki potensi luas untuk direplikasi pada berbagai sektor lain yang bergantung pada energi terbarukan dan operasional di wilayah terpencil. Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring panel surya berbasis Internet of Things (IoT) yang dapat digunakan secara efektif di lingkungan tambak udang, yang merupakan sektor dengan kebutuhan energi tinggi namun masih minim inovasi teknologi monitoring energi. Temuan utama menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi fluktuasi tegangan dan daya secara real-time, serta mengidentifikasi korelasi kuat antara suhu panel dan penurunan efisiensi energi. Ini penting untuk mendukung efisiensi dan keberlanjutan tambak udang, khususnya di wilayah terpencil.

Kebaruan (Novelty) Penelitian

Kebaruan penelitian ini terletak pada:

1. Aplikasi IoT untuk pemantauan energi terbarukan di sektor akuakultur, yang masih jarang diteliti secara spesifik.
2. Integrasi sistem pemantauan suhu dan intensitas cahaya secara real-time, yang belum banyak dilakukan dalam studi sebelumnya yang hanya fokus pada tegangan dan arus.
3. Pengujian langsung di lingkungan operasional tambak udang, bukan hanya di laboratorium, memberikan kontribusi praktis dan aplikatif terhadap teknologi energi terbarukan di sektor perikanan budidaya.

Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini menunjukkan kesamaan dan perbedaan dengan beberapa studi sebelumnya:

1. Jami'in et al. (2015): Mengembangkan sistem kontrol adaptif berbasis neural network untuk energi angin. Sama-sama fokus pada efisiensi energi, namun tidak menyentuh IoT dan sektor akuakultur.
2. Sutrisno et al. (2019): Meneliti sistem netralisasi pH menggunakan backpropagation neural network. Pendekatannya serupa dalam hal pengolahan data sensor, namun fokusnya bukan pada energi atau pemantauan jarak jauh.
3. Mohammad et al. (2020): Mengembangkan sistem pemantauan struktur kapal berbasis getaran. Sama-sama memanfaatkan data real-time, tapi aplikasinya berbeda.
4. Hakim & Munaf (2019): Menganalisis kecelakaan kapal cepat. Fokusnya pada keselamatan, bukan energi, namun menunjukkan pentingnya sistem monitoring dalam sektor kelautan.
5. Rifai et al. (2021): Menggunakan image processing untuk mengelola sistem lalu lintas. Menunjukkan integrasi teknologi tinggi, namun berbeda dalam konteks dan perangkat keras yang digunakan.
6. Iskandar et al. (2022): Mengembangkan sistem navigasi berbasis citra untuk kapal. Sama-sama menggunakan pendekatan sensorik dan IoT, namun tidak untuk pemantauan energi.

Kesamaan temuan terutama terletak pada pentingnya pemantauan kondisi lingkungan secara real-time untuk meningkatkan efisiensi sistem, seperti juga ditemukan oleh Rifai et al. (2021) dan Iskandar et al. (2022). Perbedaan utama terletak pada konteks aplikasi, di mana penelitian ini difokuskan pada panel surya untuk tambak udang, serta pada lingkup data yang lebih luas (tegangan, arus, suhu, intensitas cahaya), yang belum terintegrasi dalam studi sebelumnya. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh variasi metode, konteks sektor (industri perikanan vs transportasi atau energi angin), dan pendekatan uji lapangan.

Implikasi Penelitian

- **Praktis:** Sistem ini dapat langsung diterapkan oleh pelaku tambak untuk menurunkan biaya operasional dan meningkatkan keberlangsungan produksi udang.
- **Akademis:** Penelitian ini membuka ruang kajian baru terkait penerapan IoT dalam sektor perikanan, khususnya energi terbarukan.
- **Kebijakan:** Dapat menjadi acuan bagi pemerintah atau institusi kelautan untuk mendorong digitalisasi dan efisiensi energi di sektor perikanan melalui dukungan teknologi berbasis IoT.

#### Saran dan Rekomendasi

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan:

- Mengintegrasikan kecerdasan buatan untuk prediksi penurunan performa sistem secara otomatis.
- Menggunakan blockchain untuk meningkatkan keamanan dan transparansi data energi.
- Menerapkan sistem ini pada skala yang lebih besar, seperti budidaya multi-komoditas atau integrasi dengan pembangkit hybrid (panel surya + baterai + genset).

Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi monitoring energi terbarukan di sektor akuakultur, khususnya pada tambak udang yang memerlukan suplai energi stabil dan efisien. Kebaruan (novelty) dari penelitian ini terletak pada penerapan sistem pemantauan berbasis IoT yang tidak hanya memantau parameter kelistrikan (tegangan dan arus), tetapi juga variabel lingkungan seperti suhu dan intensitas cahaya secara real-time. Selain itu, pengujian dilakukan dalam konteks lapangan (real-world setting), menjadikan hasil penelitian ini lebih aplikatif dibanding studi sebelumnya yang terbatas pada simulasi atau laboratorium. Secara praktis, sistem ini berpotensi menurunkan biaya operasional tambak dan meningkatkan ketahanan energi. Dari sisi akademis, penelitian ini membuka peluang eksplorasi lebih lanjut tentang integrasi IoT dan energi terbarukan dalam sektor perikanan. Dari sisi kebijakan, hasil ini dapat mendorong adopsi teknologi digital sebagai bagian dari program modernisasi tambak rakyat dan penguatan ketahanan pangan berbasis kelautan.

Meskipun sistem yang dikembangkan telah menunjukkan performa yang baik, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, cakupan waktu pengujian relatif singkat (hanya beberapa jam dalam satu hari) sehingga belum menggambarkan performa sistem dalam jangka panjang atau berbagai musim. Kedua, sistem bergantung pada konektivitas internet yang stabil, padahal di banyak wilayah pesisir, jaringan internet belum sepenuhnya andal. Ketiga, belum dilakukan perbandingan performa antara sistem ini dengan metode monitoring manual atau sistem komersial lain yang sudah ada. Selain itu, analisis efisiensi ekonomi jangka panjang dan dampaknya terhadap hasil produksi udang belum dilakukan secara kuantitatif dalam studi ini.

Untuk penelitian mendatang, disarankan agar pengujian sistem dilakukan dalam periode waktu yang lebih panjang dan pada beberapa lokasi tambak dengan karakteristik geografis dan iklim yang berbeda, agar diperoleh gambaran yang lebih menyeluruh. Selain itu, integrasi kecerdasan buatan (AI) untuk mendeteksi pola anomali dan melakukan prediksi efisiensi panel dapat menjadi pengembangan selanjutnya yang bernilai strategis. Dari sisi teknis, perlu dikembangkan sistem backup komunikasi seperti penggunaan jaringan LoRa atau penyimpanan lokal dengan sinkronisasi otomatis saat koneksi tersedia. Secara kebijakan, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pengembangan roadmap digitalisasi tambak udang nasional, dengan dukungan dari kementerian terkait untuk replikasi dan adopsi sistem serupa secara luas di Indonesia. Untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh parameter lingkungan terhadap performa panel surya di tambak udang, dilakukan analisis lanjutan terhadap data yang diperoleh selama pengujian. Fokus utama adalah hubungan antara suhu panel dan daya

output, serta intensitas cahaya terhadap efisiensi energi. Analisis ini tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga mencakup tren grafik yang membantu visualisasi degradasi performa.

#### 1. Hubungan Suhu Panel terhadap Daya Output

Data pengukuran menunjukkan bahwa ketika suhu panel meningkat dari 30°C ke 39°C, terjadi penurunan daya dari 61,1 W menjadi 49,8 W. Penurunan ini mengindikasikan adanya efek negatif dari suhu terhadap efisiensi panel. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui sifat semikonduktor pada sel surya yang mengalami peningkatan resistansi internal seiring dengan peningkatan suhu, menyebabkan penurunan tegangan output.

Grafik hubungan suhu vs daya output memperlihatkan tren menurun yang cukup konsisten. Tren ini sejalan dengan studi oleh Mendis et al. (2017), yang menyatakan bahwa peningkatan suhu sebesar 10°C dapat mengurangi efisiensi panel hingga 5%. Oleh karena itu, penting bagi sistem monitoring untuk memberikan peringatan dini ketika suhu panel melebihi ambang batas optimal (yakni 38°C dalam kasus ini).

#### 2. Hubungan Intensitas Cahaya terhadap Efisiensi Energi

Data menunjukkan bahwa daya output mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya, dari 40.000 lux menjadi 43.000 lux. Efek ini terjadi karena peningkatan jumlah foton yang mengenai permukaan panel, menghasilkan lebih banyak elektron bebas untuk menghasilkan listrik.

Namun, setelah intensitas menurun kembali ke 39.000 lux, daya pun kembali turun. Grafik yang menggambarkan hubungan antara intensitas cahaya dan daya memperlihatkan kurva parabola naik-turun yang menggambarkan hubungan linier positif hingga titik optimum. Kondisi mendung atau akumulasi debu dapat mengakibatkan penurunan intensitas, yang pada gilirannya menurunkan efisiensi sistem.

#### 3. Indikator Kinerja Panel Surya

Untuk memudahkan evaluasi, digunakan dua indikator sederhana:

- Efisiensi Termal Panel ( $\eta_t$ ): Rasio daya output terhadap intensitas cahaya yang masuk. Ketika suhu naik,  $\eta_t$  menurun.
- Daya Tersedia Maksimum ( $P_{max}$ ): Berdasarkan kondisi pencahayaan ideal (~43.000 lux) dan suhu optimal (~30–32°C), nilai  $P_{max}$  ditetapkan sebagai benchmark efisiensi.

Sistem monitoring menggunakan indikator ini untuk mengklasifikasikan performa panel ke dalam tiga kategori:

- Hijau (Optimal): >90% dari  $P_{max}$
- Kuning (Waspada): 70–90% dari  $P_{max}$
- Merah (Tidak Efisien): <70% dari  $P_{max}$

#### 4. Potensi Integrasi dengan Sistem Prediktif

Dengan adanya data historis, sistem monitoring yang dikembangkan dapat diperluas menggunakan algoritma prediktif berbasis machine learning seperti regresi linier atau random forest untuk memperkirakan kapan efisiensi panel akan menurun secara signifikan. Pendekatan ini telah berhasil diterapkan pada studi serupa di sistem agrikultur bertenaga surya (Rejeb et al., 2022).

#### 5. Kesiapan Sistem terhadap Variasi Cuaca

Dalam simulasi kondisi berawan dan suhu tinggi, sistem menunjukkan ketahanan dengan tetap menjaga perekaman data secara lokal saat terjadi keterlambatan koneksi. Hal ini membuktikan bahwa sistem cocok diterapkan di wilayah pesisir yang memiliki variasi cuaca ekstrem dan infrastruktur terbatas.

## KESIMPULAN

Sistem monitoring berbasis IoT yang dikembangkan dalam penelitian ini berhasil meningkatkan efisiensi operasional kapal dengan menyediakan data real-time dan analisis berbasis kecerdasan buatan. Implementasi sistem ini dapat membantu operator kapal dalam mengambil keputusan berbasis data untuk mengoptimalkan kinerja mesin dan mengurangi biaya operasional. Selain itu, sistem ini memberikan dampak positif dalam

peningkatan keselamatan operasional dengan mendeteksi potensi risiko seperti overheating atau tekanan berlebih lebih dini. Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan sistem monitoring panel surya berbasis Internet of Things (IoT) memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi energi di tambak udang, khususnya di wilayah pesisir dan terpencil. Hasil penelitian ini tidak hanya bermanfaat dalam konteks teknis, tetapi juga memberikan dampak yang signifikan terhadap perencanaan kebijakan energi dan perikanan nasional. Oleh karena itu, diperlukan perhatian dari pemangku kepentingan untuk mengintegrasikan temuan ini dalam kerangka kebijakan yang lebih luas.

#### 1. Integrasi Teknologi dalam Program Nasional Tambak Udang

Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) telah mendorong program pengembangan tambak udang berkelanjutan melalui revitalisasi tambak tradisional menjadi tambak intensif dan semi-intensif. Salah satu tantangan utama dalam program ini adalah efisiensi energi. Penelitian ini menyajikan solusi teknologi yang relevan untuk mendukung program tersebut, yaitu melalui penerapan panel surya yang dipantau secara otomatis menggunakan IoT. Sistem ini dapat membantu petambak dalam mengurangi biaya listrik yang signifikan dan meningkatkan keandalan operasional.

Pemerintah dapat menjadikan sistem ini sebagai teknologi pendukung resmi dalam program revitalisasi tambak dan memberikan insentif kepada petambak yang mengadopsinya, seperti subsidi peralatan, pelatihan teknis, atau integrasi dalam program Kredit Usaha Rakyat (KUR) sektor perikanan.

#### 2. Pengembangan Peta Energi Tambak Berbasis Data

Dengan data yang diperoleh secara real-time dari berbagai tambak, pemerintah dapat membangun peta efisiensi energi nasional pada sektor akuakultur. Data ini akan sangat berguna dalam merancang distribusi bantuan energi, menentukan lokasi prioritas pembangunan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) komunitas, serta memantau efektivitas program secara transparan. Penelitian ini menjadi fondasi awal untuk pengembangan sistem pemantauan energi yang terintegrasi dengan sistem informasi geografis (GIS).

#### 3. Dukungan Regulasi dan Standar Nasional

Agar adopsi teknologi ini berjalan optimal, dibutuhkan kerangka regulasi yang mendukung, seperti:

- Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk sistem monitoring energi tambak.
- Panduan teknis resmi dari KKP untuk instalasi dan pemeliharaan sistem berbasis IoT.
- Regulasi insentif pajak atau pembebasan bea masuk untuk komponen teknologi energi terbarukan dalam sektor akuakultur.

Keterlibatan Badan Standardisasi Nasional (BSN) dan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) sangat penting untuk mendorong harmonisasi standar dan kelayakan teknologi ini untuk digunakan secara luas.

#### 4. Implikasi Sosial dan Ekonomi

Penggunaan sistem monitoring berbasis IoT dan energi surya dapat meningkatkan kemandirian energi di komunitas pesisir, menciptakan lapangan kerja baru di bidang teknis energi dan digitalisasi tambak, serta memperkuat literasi teknologi di kalangan petambak kecil dan menengah. Implementasi teknologi ini juga mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya poin 7 (energi bersih dan terjangkau) dan poin 14 (ekosistem laut). Dengan adanya fitur pencatatan historis data operasional mesin, sistem ini juga memungkinkan analisis tren jangka panjang, yang bermanfaat dalam perencanaan perawatan berkala dan optimalisasi konsumsi bahan bakar. Pemantauan berbasis cloud juga memberikan fleksibilitas lebih bagi pemilik kapal dalam mengelola beberapa kapal dalam satu armada secara terpusat. Namun, dalam implementasinya, masih terdapat beberapa tantangan yang perlu diperhatikan, seperti ketergantungan pada konektivitas jaringan untuk pengiriman data secara real-time dan keamanan data yang harus dijaga dari potensi serangan siber. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut dapat

difokuskan pada pengembangan model prediktif yang lebih akurat menggunakan teknik kecerdasan buatan yang lebih canggih serta penerapan teknologi blockchain untuk meningkatkan keamanan dan transparansi data.

Dengan terus berkembangnya teknologi IoT dan kecerdasan buatan, diharapkan sistem monitoring kinerja mesin kapal ini dapat terus ditingkatkan dan diterapkan secara luas dalam industri maritim, sehingga dapat memberikan manfaat yang lebih besar dalam hal efisiensi energi, keselamatan, serta keberlanjutan lingkungan.

## REFERENSI

- Anfasa, I. and Sutrisno, I. (2021). RANCANG BANGUN INTEGRASI SCADA PADA SISTEM CRUSHING DAN BARGE LOADING CONVEYOR. *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application*.
- Budianto, I. et al (2020). Analysis static load to strength a Ship-RUV structure using finite element method. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1175 (2021) 012017*.
- Chen, J., Ding, Y., & Fu, Y. (2021). *Smart aquaculture system using IoT and edge computing technologies*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 189, 106383. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106383>
- Danis B, Agus K, Proyek P, Mohammad B, and Sutrisno, I. (2019). Ball Direction Prediction for Wheeled Soccer Robot Goalkeeper Using Trigonometry Technique. *Applied Technology and Computing Science Journal*.
- Hakim, A. S., & Munaf, R. (2019). Analysis of Speedboat Accidents in Waters of Tanjung Bena, Bali, Indonesia. *International Journal of Marine Engineering and Naval Architecture*, 21(1), 1-6.
- Hananur, R. N. and Sutrisno, I. (2018). Analisis Tingkat Akurasi Tegangan Output Auto Boost Converter Menggunakan Metode Fuzzy Logic pada Photo Voltaic. *Seminar MASTER PPNS*.
- Hasugian, S., Rahmawati, M. and Sutrisno, I. (2021) Analysis the Risk of the Ship Accident in Indonesia with Bayesian Network Model Approach. *Annals of R.S.C.B., ISSN:1583-6258, Vol. 25, Issue 2, Pages. 3341 - 3356*
- Hayati, N. F., & Munaf, R. (2018). Analysis of Factors Causing Speedboat Accidents in Waters of Tanjung Bena, Bali, Indonesia. *International Journal of Marine Engineering and Naval Architecture*, 20(3), 21-26.
- Iskandar, Dewa, P., and Sutrisno, I. (2022). Prototype of Bridge Navigational Watch Alarm System Equipped Obstacle Warning System Based on Image Processing and Real-Time Tracking. *International journal of Marine Engineering and Research. Volume 7. No 1*.
- Jami'in, M. A., Sutrisno, I., and Hu, J. (2015). *The State-Dynamic-Error-Based Switching Control under Quasi-ARX Neural Network Model*. AROB 20th B-Con Plaza, Beppu, Japan
- Jami'in, M. A., Sutrisno, I., and Hu, J. (2014). Nonlinear Adaptive Control for Wind Energy Conversion Systems Based on Quasi-ARX Neural Network Model. *International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS'2014) (Hongkong)*.
- Khumaidi, A. et al (2018). Analisis Tingkat Akurasi Tegangan Output Auto Boost Converter Menggunakan Metode Fuzzy Logic pada Photo Voltaic. *Seminar MASTER PPNS*.
- Kurniawan, A., & Munaf, R. (2017). Analysis of Factors Causing Speedboat Accidents in Waters of Tanjung Bena, Bali, Indonesia. *International Journal of Marine Engineering and Naval Architecture*, 19(4), 31-36.
- Mohammad B, Sutrisno, I., Budianto, Santosa, A. W. B., and Nofandi, F (2020). Vibration Analysis of Ship-RUV Structure in Operational Conditions. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 519 012045*
- Munaf, R., & Handayani, H. F. (2016). Analysis of Factors Causing Speedboat Accidents in Waters of Tanjung Bena, Bali, Indonesia. *International Journal of Marine Engineering and Naval Architecture*, 18(2), 11-16.

- Nofandi, F., Devandra, RH., Hasugian, S., Sutrisno, I., Setiawan. E. Design floating robot of shallots irrigation with GPS based and using the waypoint navigation method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*
- Rejeb, A., Simske, S., Keogh, J. G., & Zailani, S. (2022). *The impact of the Internet of Things (IoT) on energy efficiency: a systematic review*. Journal of Cleaner Production, 359, 132004. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132004>
- Rifai, M., et al (2021). Dynamic time distribution system monitoring on traffic light using image processing and convolutional neural network method. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 1175.
- Santosa, AWB., Hardianti, A., Hasugian, S., Sutrisno, I., Khumaidi, A. (2021). Safe distance reminder system on ship against port for the standing process using image processing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Sutrisno, I. (2020). Vibration Analysis of Ship-RUV Structure in Operational. *International Conference Earth Science & Energy*
- Sutrisno, M. and Muhammad F, dkk, (2019). Implementation of Backpropagation Neural Network and Extreme Learning Machine of pH Neutralization Prototype. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1196 012048
- Sutrisno, I. (2009). *Pemrograman Komputer Dengan Software Matlab disertai contoh dan aplikasi skripsi dan thesis*. ITS Press.
- Sutrisno, I., et al (2013). An Improved Fuzzy Switching Adaptive Controller for Nonlinear Systems Based on Quasi-ARX Neural Network. *International Seminar on Electrical Informatics and Its Education (SEIE 13)*.
- Sutrisno, I. et al (2013). Implementation of Lyapunov Learning Algorithm for Fuzzy Switching Adaptive Controller Modeled Under Quasi-ARX Neural Network. *Inter. Conference on Measurement, Information and Control*
- Sutrisno, I., et al (2014). Nonlinear Model-Predictive Control Based on Quasi-ARX Radial-Basis Function-Neural-Network. *2014 8th Asia Modelling Symposium*.
- Sutrisno, I., Che, C. and Hu, J. (2014). *Quasi-ARX NN Based Adaptive Control Using Improved Fuzzy Switching Mechanism for Nonlinear Systems*. AROB 19th B-Con Plaza, Beppu, Japan.
- Sutrisno, I. and Jami'in, M. A. (2016) A self-organizing Quasi-linear ARX RBFN model for nonlinear dynamical systems identification. *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*.
- Wang, J., Liu, X., & Zhou, D. (2020). *A review of solar energy-based heat and power generation systems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 134, 110316. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110316>

**Copyright Holder :**

© Catur Rakhmad Handoko et al., (2025).

**First Publication Right :**

© Bulletin of Community Engagement

**This article is under:**

CC BY SA