

Implementasi Sistem Sensor dan Manajemen Renewable energy untuk Pemantauan Kualitas Air Kolam Udang Vaname

1st Nikita Diva Putri Purwadi
Teknik Komputer
Telkom University Surabaya
Surabaya, Indonesia

nikitadiva@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Mohammad Yanuar Hariyawan
Teknik Komputer
Telkom University Surabaya
Surabaya, Indonesia

myanuar@telkomuniversity.ac.id

3rd Eka Sari Oktarina
Teknik Komputer
Telkom University Surabaya
Surabaya, Indonesia

ekasario@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Pengembangan sistem untuk mengontrol kualitas air pada kolam budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) dengan memanfaatkan renewable energy. Sistem ini dirancang dengan mengintegrasikan teknologi Solar panel sebagai sumber daya utama dengan sensor-sensor kualitas air yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Penelitian ini bertujuan untuk memantau dan mengelola parameter penting kualitas air yang memengaruhi pertumbuhan udang vaname, seperti tingkat kekeruhan, pH, kadar amonia, dan salinitas. Sistem ini memungkinkan pemantauan secara real-time dan memberikan respons otomatis terhadap perubahan kondisi air, misalnya dengan mengaktifkan aerator sesuai kebutuhan. Dengan penerapan sistem ini, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi operasional tambak udang, mengurangi penggunaan energi fosil, dan mendorong praktik budidaya yang lebih ramah lingkungan serta berkelanjutan. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi penerapan teknologi renewable energy dalam akuakultur guna meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan di sektor perikanan.

Kata kunci - Udang Vaname, Kualitas Air, Renewable Energy, Solar Panel, IoT.

I. PENDAHULUAN

Penelitian ini berfokus pada pengendalian kualitas air di kolam budidaya udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*), yang merupakan salah satu komoditas perikanan dengan nilai ekonomi tinggi. Kualitas air yang optimal sangat penting untuk mendukung pertumbuhan dan kesehatan udang, serta meminimalkan risiko penyakit. Parameter kualitas air yang harus diperhatikan mencakup kadar amonia, pH, dan kekeruhan. Ketiga parameter ini memiliki pengaruh langsung terhadap metabolisme dan kesejahteraan udang (Setiawan and Surantha 2023).

Dengan parameter seperti pH, kekeruhan, kadar amonia, dan salinitas yang perlu dipantau secara teratur, kualitas air sangat penting untuk keberhasilan budidaya. Stres, gangguan metabolisme, penurunan daya tahan tubuh, dan kematian massal udang semuanya dapat disebabkan oleh ketidakseimbangan dalam tiga faktor ini (Setiawan and Surantha 2023). penulisnya, banyak petambak tidak memiliki sistem pemantauan kualitas air yang otomatis dan

real-time. Ini terutama berlaku di wilayah terpencil dengan infrastruktur listrik yang terbatas.

Penggunaan Internet of Things (IoT) dalam bidang akuakultur telah memungkinkan pengembangan sistem pemantauan kualitas air digital berbasis sensor. Sistem ini dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti ESP32 untuk mengukur parameter penting dan melaporkan penyimpangan (Hamsinar, Hasiri, and Zannah 2022). Agar sistem ini dapat beroperasi tanpa gangguan, ia masih membutuhkan sumber daya listrik yang stabil.

Dalam konteks sistem pengendalian kualitas air untuk budidaya udang vaname, panel surya digunakan sebagai sumber energi utama. Panel surya berfungsi mengkonversi cahaya matahari menjadi listrik untuk menyuplai daya ke seluruh sistem, termasuk sensor-sensor dan perangkat kontrol. Penggunaan panel surya ini dirancang untuk mengatasi keterbatasan listrik di lokasi terpencil dan mendukung praktik budidaya yang lebih berkelanjutan. Energi yang dihasilkan disimpan dalam baterai, memastikan sistem dapat beroperasi bahkan ketika tidak ada sinar matahari. Implementasi panel surya dalam sistem ini meningkatkan efisiensi energi, substansial (Suwanno, Chansri, and Joothong 2023).

Dengan fokus pada kadar amonia, pH, dan kekeruhan, penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan lebih dalam tentang pentingnya menjaga kualitas air dalam kolam budidaya udang Vaname. Khususnya, penelitian ini juga menekankan amonia sebagai salah satu parameter utama yang memiliki pengaruh besar terhadap kesehatan udang, tetapi seringkali diabaikan. Solusi yang berhasil diharapkan dapat dibuat dengan memahami hubungan antara parameter-parameter tersebut dan kesehatan udang. Panel surya juga digunakan sebagai sumber energi utama untuk sistem pemantauan dan pengendalian kualitas air dalam penelitian ini. Tujuan dari penggunaan energi terbarukan ini adalah untuk mengatasi kekurangan listrik di daerah terpencil, meningkatkan efisiensi energi, dan mendukung praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

II. KAJIAN TEORI

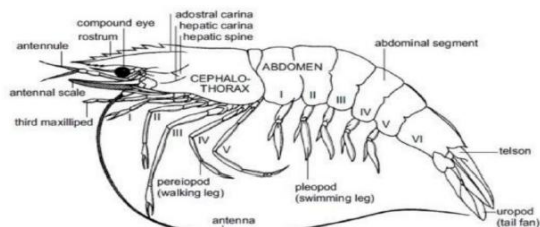
Teori dasar melibatkan ide, konsep, prinsip, atau teori yang digunakan untuk menyusun argumen dan hipotesis, serta untuk menafsirkan hasil-hasil penelitian yang telah diperoleh. Pemahaman yang mendalam tentang teori dasar yang relevan memungkinkan penulis memberikan kontribusi yang berarti dalam penelitian yang telah disusun, serta menyediakan dasar yang kuat untuk menganalisis dan mengembangkan temuan penelitian tersebut.

A. Udang Vaname

Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) merupakan jenis udang terlaris di beberapa negara termasuk Indonesia, karena pertumbuhan cepat, rasio kelangsungan hidup tinggi, dan permintaan pasar yang besar. Namun, budidaya intensif udang vaname memerlukan pengendalian kualitas air yang optimal untuk menjaga produksi dan kesehatan udang. Pengelolaan kualitas air yang buruk dapat menyebabkan pertumbuhan lambat, penyakit, bahkan kematian massal udang. Faktor penting bagi pembudidaya udang vaname adalah tingkat densitas penanaman dan pemberian pakan yang meningkatkan pengurasan air akibat peningkatan bahan organik dan berbagai jenis ubur-ubur (Pratiwi et al. 2023).

Udang putih Pasifik, yang juga dikenal sebagai udang vaname, termasuk dalam golongan:

1. Kingdom : Animalia
2. Phylum : Arthropoda
3. Subphylum : Crustacea
4. Class : Malacostraca
5. Order : Decapoda
6. Family : Penaeidae
7. Genus : *Litopenaeus*
8. Species : *Litopenaeus vannamei*



GAMBAR 1
(MORFOLOGI UDANG)

Secara morfologi, udang vaname memiliki tiga bagian utama: cephalothorax (kepala dan tubuh yang dilindungi karapaks), abdomen (perut bersegmen dan ekor). Udang penaeid memiliki kaki jalan dengan capit pada segmen pertama, kedua, dan ketiga serta kulit dari kitin. Sebagai Crustacea, udang ini adalah hewan akuatik dengan tubuh bersegmen dan setiap segmen memiliki sepasang kaki. Udang vaname termasuk dalam famili Penaeidae, yang mencakup udang laut dan air tawar.

Pada bagian kepala, terdapat mata majemuk bertangkai dan dua antena, yaitu antena I dan antena II. Antena I dan antennula memiliki dua flagel pendek yang berfungsi sebagai alat peraba atau pencium. Antena II bercabang dua, dengan

eksopodit pipih bernama prosantema, dan endopodit berbentuk cambuk panjang yang berfungsi sebagai alat perasa dan peraba. Selain itu, kepala memiliki mandibula untuk menghancurkan makanan keras dan dua pasang maksila yang membantu mengarahkan makanan ke mandibula.

Bagian dada memiliki 8 ruas, masing-masing dengan sepasang thoracopoda. Thoracopoda 1-3 yang disebut maxiliped berfungsi sebagai pelengkap mulut untuk memegang makanan. Thoracopoda 4-8 adalah kaki jalan (periopoda), dengan periopoda 1-3 memiliki capit kecil, ciri khas udang penaeid.

Abdomen terdiri dari 6 ruas. Pada ruas ke-1 hingga ke-5 terdapat sepasang kaki renang yang disebut pleopoda atau swimmeret, berfungsi sebagai alat renang. Pleopoda berbentuk pendek dengan ujung berbulu, setae. Ruas ke-6 memiliki uropoda yang bersama telson berfungsi sebagai kemudi (Effendi, Simanjuntak, and Sahibuddin 2021).

B. Teknologi Sensor untuk Pemantauan Kualitas Air

Kualitas air dalam budidaya udang adalah faktor penting yang perlu diperhatikan. Sehingga kualitas air yang baik menjadi tolak ukur tingkat keberhasilan budidaya udang. Permasalahan utamanya adalah buruknya kualitas air selama masa pemeliharaan (Rifa'i 2021).

Budidaya udang vaname membutuhkan pemantauan kualitas air yang intensif untuk mendukung pertumbuhan dan produksi yang optimal. Beberapa parameter utama yang perlu diperhatikan di kolam budidaya, tanpa memperhitungkan salinitas, meliputi tingkat kekeruhan, konsentrasi amonia, dan pH air.

Kekeruhan air dapat memengaruhi perkembangan plankton serta kualitas air secara keseluruhan. Studi menunjukkan bahwa penerapan sistem silvofishery, yang mengintegrasikan mangrove dalam kolam, dapat meningkatkan kualitas air, termasuk mengurangi tingkat kekeruhan (Musa et al. 2020). Di sisi lain, konsentrasi amonia yang tinggi berpotensi bersifat toksik bagi udang. Sistem silvofishery juga telah terbukti mampu menurunkan kadar amonia, meskipun dampaknya secara statistik tidak signifikan.

Teknologi sensor modern memungkinkan pengawasan parameter tersebut secara real-time dengan akurasi tinggi. Selain itu, penerapan sistem bioflok dapat membantu menjaga kualitas air. Penelitian mengungkapkan bahwa penambahan sumber karbon, seperti tepung gandum, efektif dalam memulihkan kualitas air yang menurun (Dippong, Mihali, and Avram 2023). Memahami dinamika komunitas mikroba dalam sistem budidaya juga menjadi kunci untuk pengelolaan kualitas air yang lebih baik.

C. Renewable Energy

Pemanfaatan panel surya dalam budidaya udang vaname menawarkan efisiensi energi dengan menyediakan sumber daya yang bersih dan berkelanjutan. Panel surya mengubah energi matahari menjadi listrik untuk mendukung operasional berbagai perangkat IoT, seperti sensor kualitas air,

mikrokontroler ESP32, aerator, dan pompa air. Energi yang dihasilkan disimpan dalam baterai, memastikan sistem tetap berfungsi meskipun pada malam hari atau saat cuaca mendung. Dengan teknologi ini, ketergantungan terhadap energi fosil dapat dikurangi hingga 70%, yang tidak hanya menurunkan biaya operasional, tetapi juga mengurangi emisi karbon. Penggunaan Solar charge controller menjaga kestabilan pasokan energi dengan mencegah overcharging dan melindungi perangkat dari lonjakan tegangan. Efisiensi ini memungkinkan sistem beroperasi optimal di lokasi terpencil yang minim akses listrik konvensional, sekaligus mendukung keberlanjutan melalui energi terbarukan. Integrasi Solar panel dengan teknologi IoT menghasilkan solusi hemat energi yang ramah lingkungan dan cocok untuk akuakultur modern (Suantika et al. 2020).

Pengelolaan kualitas air merupakan faktor kunci dalam budidaya udang vaname, dan penggunaan energi terbarukan seperti Solar panel dapat mendukung sistem budidaya yang lebih efisien dan berkelanjutan. Energi dari panel surya disimpan dalam baterai dan digunakan untuk mengoperasikan peralatan seperti aerator, pompa air, dan sensor kualitas air di kolam. Dengan sistem ini, perangkat tetap dapat berfungsi tanpa tergantung pada sinar matahari. Penggunaan Solar panel juga mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional, yang membantu menurunkan biaya operasional serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Teknologi ini memberikan keuntungan berupa pasokan energi yang lebih stabil dan bersih, yang penting untuk menjaga kualitas air dan mencegah perubahan parameter yang dapat memengaruhi pertumbuhan dan kesehatan udang. Oleh karena itu, penggunaan Solar panel dengan baterai penyimpanan untuk pengelolaan kualitas air kolam udang vaname adalah langkah strategis menuju akuakultur yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Namun, perlu penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan penerapannya sesuai dengan kebutuhan spesifik budidaya udang vaname (Han et al. 2020).

D. Implementasi Manajemen Renewable Energy

Solar panel Tracker merupakan sistem mekanik dan elektronik yang dirancang untuk mengarahkan posisi panel surya agar selalu menghadap ke arah datangnya sinar matahari sepanjang hari. Tujuannya adalah untuk mengoptimalkan efisiensi penyerapan energi matahari, sehingga energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya menjadi lebih maksimal (Shail Patel 2021).

Terdapat dua jenis utama Solar Tracker, yaitu single-axis (satu sumbu) dan dual-axis (dua sumbu). Tracker satu sumbu mengikuti pergerakan matahari dari timur ke barat, sedangkan Tracker dua sumbu menyesuaikan panel terhadap posisi matahari secara horizontal dan vertikal sepanjang hari dan tahun. Dalam konteks sistem hemat biaya untuk budidaya di daerah terpencil, penggunaan Solar Tracker satu sumbu lebih disarankan karena lebih sederhana dan efisien secara teknis (Bhuyan et al. 2023).

Selain itu, penerapan Solar panel dalam penelitian tersebut juga memberikan kontribusi positif terhadap keberlanjutan lingkungan melalui pengurangan emisi karbon. Integrasi Solar panel dengan baterai penyimpanan

memastikan ketersediaan energi selama 24 jam, sehingga perangkat IoT dapat terus berfungsi tanpa gangguan. Hal ini memungkinkan pengambilan data kualitas air secara real-time, memberikan kesempatan bagi petambak untuk segera merespons jika ada perubahan signifikan pada parameter seperti pH, tingkat kekeruhan, atau kadar amonia. Studi ini menunjukkan bahwa teknologi renewable energy memiliki potensi besar untuk menciptakan budidaya perikanan yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan ekonomis.

E. Solar Panel Tracker untuk Optimalisasi Energi Terbatukan

Pelacak panel surya, juga dikenal sebagai pelacak panel surya, adalah sistem mekanik dan elektronik yang dirancang untuk mengarahkan panel surya agar selalu menghadap ke arah sinar matahari sepanjang hari. Berbeda dengan sistem panel surya tetap (tetap), pelacak panel surya dapat meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari karena posisi panel disesuaikan sesuai dengan pergerakan matahari dari timur ke barat.

Terdapat dua jenis utama Tracker, yaitu Tracker satu sumbu (single-axis Tracker) dan dua sumbu (dual-axis Tracker). Tracker satu sumbu bergerak mengikuti arah horizontal matahari (timur–barat), sedangkan Tracker dua sumbu mampu mengikuti arah matahari baik secara horizontal maupun vertikal (elevasi). Namun, dalam konteks budidaya udang Vaname di daerah terpencil yang membutuhkan efisiensi dan kesederhanaan, sistem satu sumbu dinilai lebih efektif dan ekonomis (Bhuyan et al. 2023).

Dengan mengingat bahwa sistem ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan budidaya udang Vaname skala kecil yang memerlukan efisiensi energi dan tidak membutuhkan banyak proses instalasi yang kompleks, penggunaan Tracker satu sumbu lebih sesuai untuk penelitian ini. Solar Tracker bekerja berdasarkan perbedaan intensitas cahaya yang ditangkap oleh sensor Light Dependent Resistor (LDR) yang dipasang di kedua sisi panel. Jika ada perbedaan besar antara intensitas cahaya kiri dan kanan, sistem akan memicu motor DC melalui pengendali motor (seperti BTS7960) untuk memutar panel ke arah yang lebih terang. Mikrokontroler ESP32 menjalankan semua operasi ini dan juga bertanggung jawab untuk mengelola data sensor kualitas air.

Implementasi sistem Solar Tracker terbukti dapat meningkatkan efisiensi output energi hingga 25–35% dibandingkan sistem panel tetap, tergantung pada lokasi geografis dan intensitas matahari harian (Qader, Ali, and Hasan 2023). Hal ini sangat bermanfaat bagi sistem Internet of Things (IoT) berbasis energi terbarukan di bidang akuakultur, karena memastikan pasokan listrik tetap stabil dan berkelanjutan, tanpa bergantung pada listrik konvensional.

Solar Tracker tidak hanya hemat biaya, tetapi juga ramah lingkungan. Tambak udang yang berada di daerah terpencil tanpa listrik PLN dapat mengoperasikan perangkat elektroniknya dengan andal dengan sistem ini. Setelah itu, energi yang dihasilkan disimpan dalam baterai 12V 12Ah. Ini

memungkinkan sistem bekerja meskipun sinar matahari tidak tersedia, seperti saat cuaca mendung atau malam hari.

Karena memanfaatkan sumber daya alami tanpa menghasilkan emisi karbon, penggunaan Tracker listrik dianggap lebih ramah lingkungan. Suwanno et al. (2023) meneliti tambak udang dan menemukan bahwa penggabungan Internet of Things dan energi terbarukan dapat meningkatkan efisiensi manajemen tambak, mengurangi konsumsi bahan bakar fosil, dan memperpanjang masa hidup perangkat elektronik karena pasokan energi yang lebih stabil. Oleh karena itu, penggunaan Tracker Solar panel dalam sistem pemantauan kualitas air tambak udang berbasis IoT tidak hanya menghasilkan efisiensi teknis, tetapi juga mendukung prinsip akuakultur berkelanjutan (akuakultur berkelanjutan). Prinsip ini semakin penting saat kita menghadapi keterbatasan sumber daya energi dan masalah perubahan iklim.

F. Aki Penyimpanan Energi pada Sistem Panel Surya

Aki atau accumulator merupakan komponen penting dalam sistem panel surya yang berfungsi sebagai penyimpan energi listrik. Energi yang dihasilkan oleh panel surya bersifat tidak tetap karena bergantung pada intensitas cahaya matahari. Oleh karena itu, dibutuhkan penyimpanan energi agar sistem tetap dapat beroperasi saat sinar matahari tidak tersedia, seperti pada malam hari atau saat cuaca mendung (Suantika et al. 2020).

Jenis aki yang umum digunakan dalam sistem energi terbarukan adalah aki timbal-asam (lead-acid battery) atau aki gel, karena keduanya memiliki karakteristik stabil, tahan lama, dan mampu menyimpan daya dalam jumlah besar. Dalam penelitian ini, digunakan aki 12 Volt 12 Ah, yang secara teoritis mampu menyuplai daya sebesar 12 watt selama 12 jam, atau 24 watt selama 6 jam, tergantung kebutuhan beban.

Dalam konteks sistem monitoring kualitas air berbasis IoT, aki menjadi sumber utama daya saat panel surya tidak menghasilkan listrik. Komponen seperti ESP32, sensor pH, sensor arus, dan sistem komunikasi nirkabel semuanya bergantung pada ketersediaan daya yang stabil. Oleh karena itu, pemantauan tegangan dan arus aki secara real-time menjadi hal yang sangat krusial untuk menjamin kontinuitas sistem (Aliadin et al. n.d.).

Nilai tegangan (V), arus (A), dan daya (W) dari aki dapat dimonitor dengan sensor seperti ACS712. Nilai daya dihitung berdasarkan rumus dasar:

$$\text{Daya (W)} = \text{Tegangan (V)} \times \text{Arus (A)} \quad (1)$$

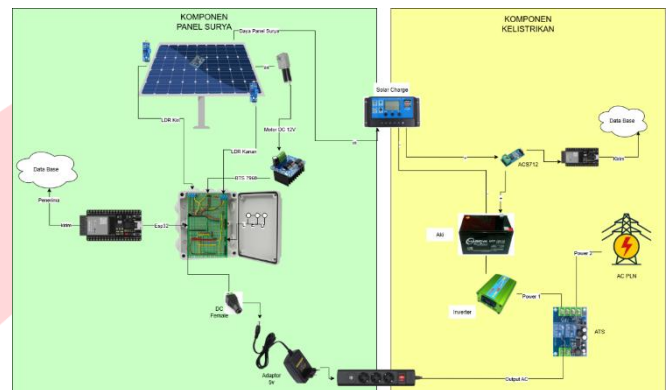
Arus negatif menunjukkan bahwa energi sedang digunakan (discharge), sedangkan arus positif berarti aki sedang diisi ulang (charge). Dengan sistem pemantauan berbasis IoT, data ini dikirim ke server secara berkala, sehingga pengguna dapat memantau status aki melalui dashboard web.

Penggunaan aki sebagai penyimpan energi dalam sistem ini tidak hanya memastikan operasional alat tetap berjalan saat sinar matahari tidak tersedia, tetapi juga berkontribusi pada efisiensi dan keberlanjutan energi di bidang akuakultur modern.

III. METODE

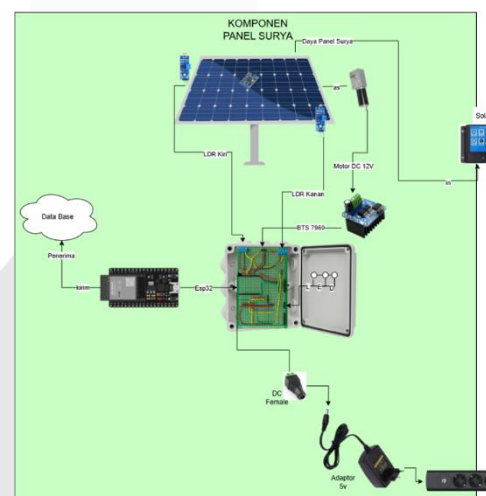
A. Perancangan Sistem

Perancangan sistem ini terdiri dari dua komponen utama yaitu bagian panel surya dan bagian kelistrikan. Masing-masing komponen ini sangat penting untuk memastikan bahwa sistem monitoring kualitas air Internet of Things (IoT) di kolam udang Vaname berjalan dengan baik



GAMBAR 2
(PERANCANGAN SISTEM)

1. Komponen Panel Surya

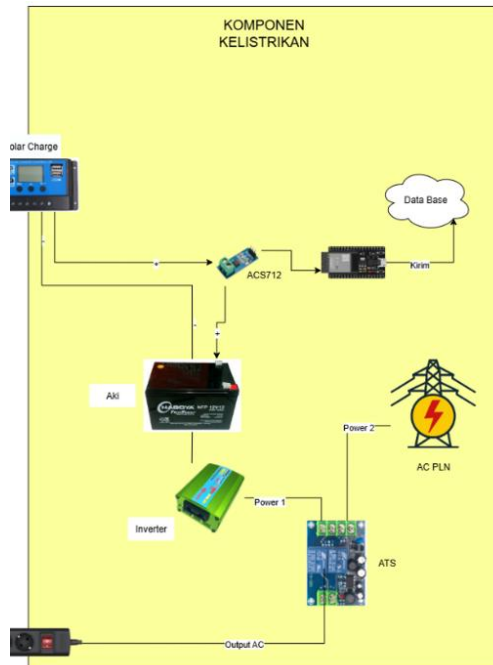


GAMBAR 3
(KOMPONEN PANEL SURYA)

Pada bagian ini, panel surya 100 WP berfungsi sebagai sumber energi utama. Panel ini didukung dengan sistem pelacak matahari satu sumbu (Solar Tracker) yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Dua buah sensor LDR (Light Dependent Resistor) dipasang di sisi kiri dan kanan panel untuk membandingkan intensitas cahaya matahari. Selisih intensitas dari sensor LDR akan diolah oleh ESP32, dan jika terdapat perbedaan yang signifikan, maka perintah akan dikirim ke motor driver BTS7960, yang selanjutnya menggerakkan motor DC 12V untuk menyesuaikan posisi panel mengikuti arah datangnya sinar matahari.

Semua komponen pengendali, termasuk ESP32, BTS7960, dan rangkaian sensor LDR, diletakkan dalam sebuah box kontrol tahan cuaca untuk perlindungan dari lingkungan luar. Sistem ini ditenagai menggunakan adaptor 5V yang terhubung melalui konektor DC female, dan juga dapat beralih ke suplai daya dari baterai melalui sistem kelistrikan.

2. Komponen Kelistrikan



GAMBAR 4
(KOMPONEN KELISTRIKAN)

Sistem kelistrikan bertugas mengatur aliran energi dari panel surya hingga ke beban, sekaligus memastikan pasokan listrik tetap tersedia meskipun sumber utama tidak menghasilkan daya. Alur kerja sistem ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Panel surya menghasilkan energi Listrik

Energi listrik yang dihasilkan panel surya berupa arus searah (DC) dikirim menuju Solar charge controller.

2. Solar charge controller mengatur pengisian aki

Solar charge controller berfungsi untuk mengatur tegangan dan arus dari panel surya agar sesuai dengan kebutuhan aki. Komponen ini juga melindungi aki dari pengisian berlebih (overcharge) atau pengosongan berlebihan (overdischarge).

3. Energi disimpan di dalam aki 12V

Setelah diatur oleh Solar charge controller, energi disalurkan ke aki sebagai media penyimpanan utama. Aki ini menyimpan energi untuk digunakan saat panel surya tidak aktif, seperti malam hari atau cuaca mendung.

4. Sensor arus ACS712 memantau arus aki

Sensor ACS712 mengukur besar arus yang mengalir dari dan ke aki. Informasi arus ini penting untuk mengetahui status pengisian dan pemakaian energi dalam sistem.

5. Mikrokontroler ESP32 mengirim data ke database

Data dari sensor ACS712 dikirim ke ESP32. Mikrokontroler ini kemudian mengirimkan data tersebut ke server atau database melalui koneksi internet agar pengguna dapat memantau status sistem secara real-time.

6. Inverter mengubah tegangan DC menjadi AC 220V

Daya listrik dari aki masih dalam bentuk DC. Inverter akan mengubahnya menjadi AC 220V agar dapat digunakan oleh perangkat-perangkat yang membutuhkan sumber daya rumah tangga standar.

7. ATS (Automatic Transfer Switch) memilih sumber daya otomatis

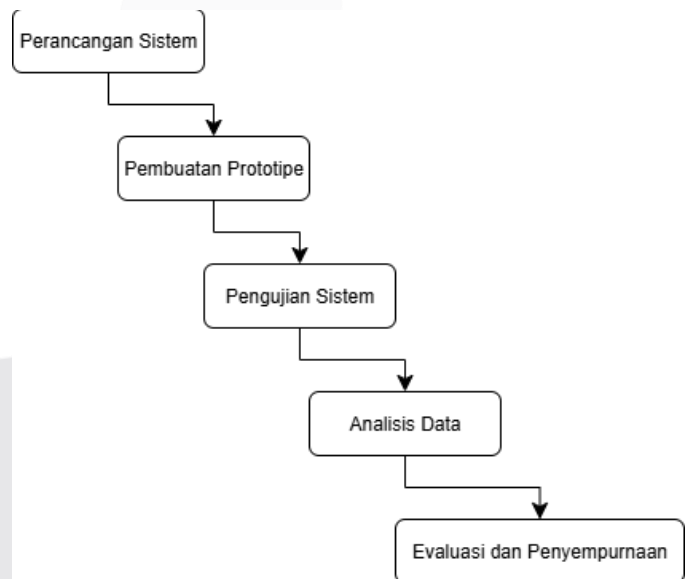
ATS secara otomatis menentukan sumber daya terbaik. Jika inverter aktif dan cukup daya, maka inverter digunakan sebagai sumber utama. Namun jika daya dari inverter lemah atau habis, ATS akan berpindah menggunakan listrik dari jaringan PLN.

8. Output AC

Output akhir dari sistem berupa tegangan AC 220V dialirkan ke stop kontak yang nantinya akan digunakan untuk menyalakan beban perangkat seperti komponen esp32 & sensor, atau sistem penerangan. Dengan mekanisme ini, sistem dapat beroperasi secara mandiri namun tetap memiliki backup listrik dari PLN saat daya utama dari panel surya tidak tersedia.

B. Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan yang sistematis, dimulai dari identifikasi masalah, studi literatur, perancangan sistem, implementasi, hingga pengujian. Setiap tahapan bertujuan untuk menghasilkan sistem pemantauan kualitas air berbasis energi terbarukan yang optimal. Alur penelitian secara lengkap ditampilkan pada diagram berikut.



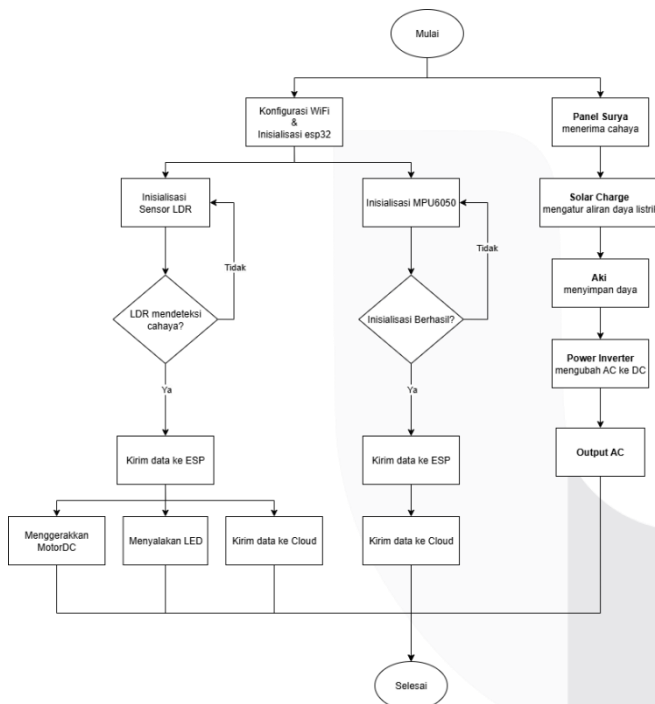
GAMBAR 5
(ALUR PENELITIAN)

Pada tahap ini, dirancang sistem dengan ESP32 sebagai pusat kontrol, dua sensor LDR untuk mendeteksi arah cahaya, motor DC sebagai penggerak panel, serta driver BTS7960 sebagai pengatur arah dan kecepatan motor. Sensor MPU6050 digunakan untuk mengukur sudut kemiringan panel. Setelah desain selesai, dilakukan perakitan dan pemrograman ESP32 untuk membaca data dari sensor dan mengatur pergerakan motor sesuai pencahayaan. Pengujian dilakukan dengan memberikan cahaya di sisi LDR untuk melihat respons motor, dan MPU6050 mencatat sudut

pergerakan panel guna memastikan sistem bekerja otomatis dan akurat. Setelah pengujian di kondisi nyata, data dianalisis untuk melihat hubungan antara intensitas cahaya, sudut pergerakan panel, dan output daya listrik. Sensor LDR membantu ESP32 menentukan arah pergerakan motor ke sisi yang lebih terang, sementara MPU6050 memantau apakah sudut panel sesuai arah matahari. Sensor tegangan dan arus ACS712 digunakan untuk menilai efisiensi daya sebelum dan sesudah sistem aktif. Seluruh data dikirim ke server dan ditampilkan melalui website pemantauan. Hasil analisis digunakan untuk menilai efektivitas sistem dalam meningkatkan penyerapan energi matahari dan mengidentifikasi bagian yang perlu disempurnakan. Jika ditemukan kekurangan seperti ketidakpresisian motor atau lambatnya sistem, maka dilakukan perbaikan pada rangkaian maupun program agar sistem bekerja optimal.

C. Alur Kerja Sistem

Alur kerja sistem menjelaskan proses kerja perangkat mulai dari pembacaan sensor, pengolahan data oleh mikrokontroler, pengendalian pergerakan panel surya, hingga pengiriman data ke platform monitoring. Rangkaian kerja sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada diagram berikut.



GAMBAR 6
(ALUR KERJA SISTEM)

Sistem ini dimulai dengan mengaktifkan panel surya sebagai sumber utama energi. Panel tersebut menghasilkan listrik yang kemudian diatur oleh Solar charge controller untuk memastikan kestabilan aliran daya, mencegah overcharging pada baterai, serta melindungi perangkat elektronik dari lonjakan tegangan. Energi yang telah distabilkan kemudian disimpan di baterai, sehingga sistem dapat tetap beroperasi baik pada malam hari maupun saat cuaca mendung.

Setelah energi tersedia, sistem melakukan proses inisialisasi, yaitu mengaktifkan perangkat keras dan

memeriksa koneksi sensor. Sensor yang digunakan meliputi sensor kekeruhan, pH, dan kadar amonia, yang bertugas memantau parameter kualitas air secara real-time. Data yang dikumpulkan dari sensor-sensor tersebut divalidasi untuk memastikan keakuratan. Apabila terdapat data yang tidak valid, data tersebut akan diabaikan.

Setelah semua langkah selesai, sistem kembali ke tahap awal untuk mengumpulkan data baru. Proses ini berjalan terus-menerus secara otomatis untuk memastikan kualitas air di kolam budidaya udang vaname selalu terjaga dalam kondisi optimal.

D. Desain Alat

Desain alat ini dibuat untuk mendukung efisiensi dan ramah lingkungan dalam pengelolaan kualitas air kolam udang Vaname. Solar panel berfungsi sebagai sumber energi utama, dipasang di atas tiang agar dapat menangkap sinar matahari secara maksimal. Energi yang dihasilkan diarahkan ke sebuah kotak kontrol yang terletak di dekat kolam. Di dalam kotak tersebut terdapat perangkat keras seperti sensor untuk memantau parameter penting seperti pH, dan kadar oksigen terlarut. Data dari sensor kemudian diproses oleh Microcontroller atau komputer mini, yang mengatur sistem aerasi atau perangkat lain guna menjaga kestabilan kualitas air.



GAMBAR 7
(DESAIN ALAT)

Konsep ini tidak hanya mendukung penggunaan renewable energy tetapi juga mempermudah pengelolaan kolam secara otomatis. Dengan mengandalkan energi surya alat ini dapat digunakan di lokasi yang tidak memiliki akses listrik konvensional. Perangkat kerasnya dilindungi oleh kotak kontrol tahan cuaca, sehingga tetap berfungsi meskipun terpapar lingkungan luar. Desainnya yang ringkas memungkinkan alat ini untuk dipasang dengan fleksibilitas di berbagai jenis kolam, menjadikannya solusi ideal untuk mendukung budidaya udang Vaname yang membutuhkan kualitas air yang konsisten untuk tumbuh secara optimal.

E. Komponen Desain

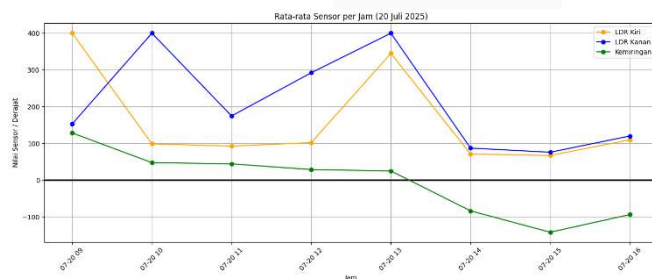
Sistem pengendalian kualitas air berbasis energi terbarukan untuk kolam udang Vaname memanfaatkan panel

surya sebagai sumber utama listrik yang disimpan dalam aki dan diatur oleh solar charge controller (SCC). Komponen seperti konektor MC4 dan mounting bracket mendukung instalasi panel secara aman dan tahan cuaca. Inverter mengubah arus DC menjadi AC 220V, sementara adaptor menyuplai daya DC 12V untuk motor atau pompa. ATS secara otomatis mengalihkan sumber daya ke PLN saat panel surya tidak mencukupi. Mikrokontroler ESP32 berperan penting dalam mengelola data sensor kualitas air seperti pH, oksigen terlarut, dan nutrisi, serta data sistem pelacak matahari. Pelacak ini menggunakan motor DC, driver BTS7960, sensor LDR, dan MPU6050 untuk mengatur arah dan sudut panel surya berdasarkan intensitas cahaya. Sensor ACS712 memantau tegangan panel dan aki secara real-time, dengan data dikirim ke website pemantauan untuk analisis dan kontrol sistem secara otomatis, memastikan efisiensi dan keberlangsungan daya dalam mendukung sistem monitoring kualitas air.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Solar Panel Tracker

Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada tanggal 20 Juli 2025, diperoleh data sudut kemiringan panel surya dan pembacaan sensor LDR (Light Dependent Resistor) kiri dan kanan secara berkala dari pukul 09.00 hingga 16.00 WIB. Data hasil pengujian dikumpulkan dalam rentang waktu tertentu dengan kondisi lingkungan yang relatif stabil. Sistem memanfaatkan sensor LDR untuk mendeteksi intensitas cahaya dan mengatur posisi panel secara otomatis melalui motor DC. Perubahan posisi ini dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 berdasarkan input sensor, sehingga sudut panel selalu menyesuaikan arah datang cahaya maksimal.



GAMBAR 8

(DIAGRAM RATA-RATA LDR DAN MPU6050)



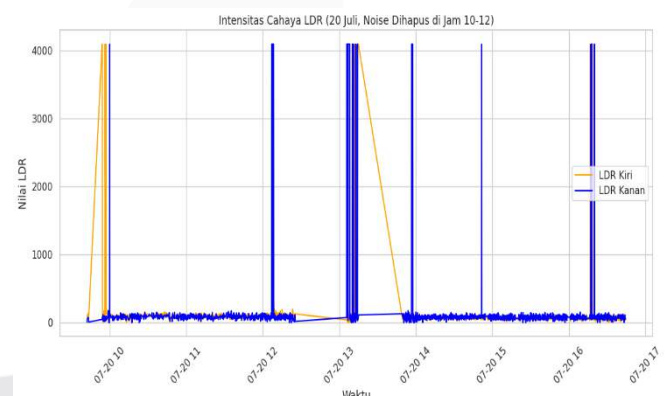
GAMBAR 9

(GRAFIK VISUALISASI SUDUT KEMIRINGAN DAN WAKTU)

Sementara itu, grafik pada GAMBAR 9 memperlihatkan rata-rata pembacaan sensor LDR kiri dan kanan dibandingkan dengan sudut kemiringan pada jam yang sama.

Pada pagi hari, nilai intensitas cahaya yang terbaca oleh LDR kiri lebih tinggi dibandingkan dengan LDR kanan, karena posisi matahari masih di timur. Perbedaan ini memicu sistem untuk mengarahkan panel ke sisi kiri. Setelah mendekati siang hari, nilai dari kedua LDR mulai mendekati keseimbangan, dan panel mencapai posisi mendekati sudut 0°, yang berarti orientasi panel telah optimal terhadap arah datangnya cahaya. Memasuki sore hari, LDR kanan menunjukkan intensitas yang lebih tinggi, sehingga sistem kembali menggerakkan panel ke arah sebaliknya dan sudut kemiringan menjadi negatif. Dari pola data yang ditampilkan, terlihat bahwa sistem Solar Panel Tracker mampu merespons perubahan intensitas cahaya dengan tepat dan cepat, yang membuktikan bahwa sistem ini bekerja secara efektif dalam mengoptimalkan penyerapan energi matahari sepanjang hari.

Sistem pelacak panel surya dalam penelitian ini menggunakan prinsip kerja single-axis yang mengikuti pergerakan matahari dari pagi hingga sore. Sistem mendeteksi perbedaan intensitas cahaya melalui dua sensor LDR di sisi kiri dan kanan panel, dan mikrokontroler ESP32 secara real-time menggerakkan panel ke arah cahaya lebih terang hingga tercapai keseimbangan. Pergerakan yang halus dan terkendali membuat panel selalu menghadap matahari dengan sudut optimal. Validasi kinerja dilakukan melalui visualisasi data intensitas cahaya dari kedua sensor, yang menunjukkan respon sistem terhadap perubahan arah cahaya serta kestabilan posisi panel setelah penyesuaian.



GAMBAR 10

(PERGERAKAN SOLAR PANEL TRACKER)

Hasil analisis melalui grafik garis menunjukkan bahwa sistem pelacak panel surya mampu mendeteksi perubahan intensitas cahaya dari dua arah dan menggerakkan panel menuju arah dengan intensitas tertinggi. Fluktuasi nilai LDR yang dinamis menunjukkan bahwa sensor aktif membaca cahaya secara real-time, dan motor menyesuaikan sudut panel sesuai data tersebut. Meski terdapat noise pada LDR kanan antara pukul 10:00–12:00 (kemungkinan akibat bayangan atau halangan lokal), sistem tetap stabil berkat pembacaan konsisten dari LDR kiri dan logika toleransi sistem yang baik, sehingga tidak terjadi respons berlebihan. Setelah siang hari, grafik menunjukkan keseimbangan pembacaan LDR yang menandakan panel berada di posisi optimal dan berhasil mempertahankan orientasinya. Secara keseluruhan, sistem mampu mendeteksi intensitas dari dua arah, menyesuaikan arah panel dengan stabil meskipun ada

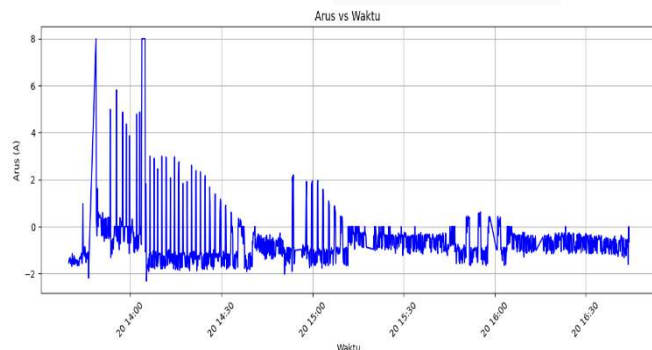
gangguan sesaat, serta mempertahankan posisi terbaik terhadap sumber cahaya.

B. Efisiensi Pengambilan Energi Berdasarkan Sudut Panel

Sudut datang sinar matahari sangat memengaruhi efisiensi konversi energi panel surya, di mana tegangan tertinggi (20–21 Volt) dicapai saat panel tegak lurus terhadap cahaya, dan menurun (15–17 Volt) saat posisi tidak optimal. Hal ini membuktikan bahwa sistem pelacak matahari mampu meningkatkan efisiensi energi secara signifikan dengan menjaga posisi panel selalu menghadap sumber cahaya, sehingga memastikan pasokan listrik tetap stabil. Keunggulan ini mendukung sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT untuk beroperasi konsisten tanpa intervensi manusia, terutama dalam kondisi cerah. Dengan dukungan aki berkapasitas 12V 12Ah, sistem mampu menyuplai beban 10 Watt hingga sekitar 14 jam, menjamin keberlangsungan operasional meski tanpa cahaya matahari. Oleh karena itu, integrasi antara sistem pelacak matahari dan penyimpanan energi yang memadai menjadi kunci dalam menjaga efisiensi dan kontinuitas sistem monitoring kualitas air di lapangan.

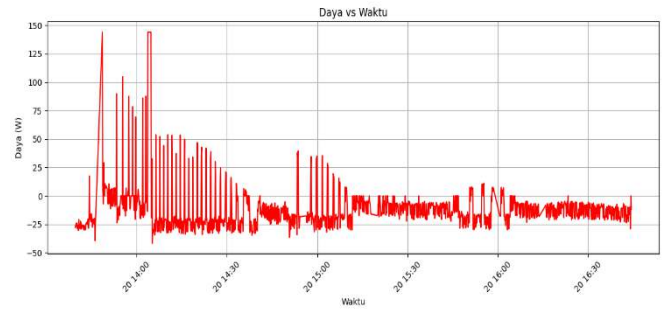
C. Kinerja Aki berdasarkan Perubahan Arus

Berdasarkan data arus yang dikumpulkan selama periode pengujian. Analisis dilakukan dengan mengamati data yang dikirimkan oleh sensor arus ke esp32 dan diteruskan ke website untuk memonitor konsumsi dan penyimpanan energi listrik pada sistem. Data arus memberikan informasi penting tentang bagaimana sistem merespons perubahan beban dan intensitas cahaya secara real-time. Penulis melakukan analisis terhadap data yang diunduh pada website dengan memahami pola arus serta konsumsi daya pada aki. Berikut penulis sajikan dengan grafik diagram



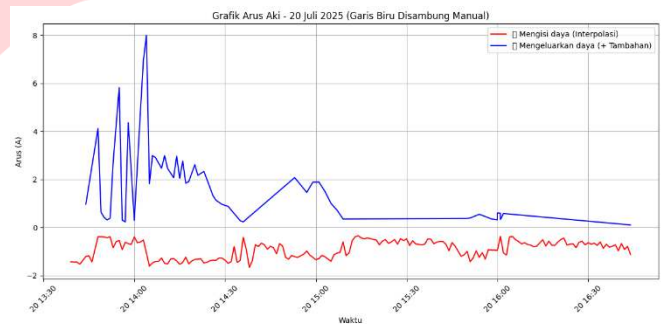
GAMBAR 11
(GRAFIK ARUS TERHADAP WAKTU)

Grafik ini menunjukkan pola arus listrik (Ampere) yang dihasilkan oleh sistem Solar panel terlihat lonjakan arus yang signifikan hingga lebih dari 8 Ampere, yang mengindikasikan momen di mana intensitas cahaya matahari sangat tinggi, dan sistem Solar panel menghasilkan arus maksimum.



GAMBAR 12
(DAYA TERHADAP WAKTU)

Daya listrik (dalam satuan Watt) yang dihasilkan atau dikonsumsi oleh sistem Solar panel. Pada grafik ini terjadi penurunan bertahap, dikarenakan panas matahari mulai berkurang turun dari jam 2 hingga jam 4. Setelah pukul 15.00 WIB, daya cenderung menurun dan stabil, dengan nilai bervariasi di bawah 0 hingga kisaran 20 Watt. Hal ini membuktikan bahwa fungsi penyimpanan daya dan manajemen konsumsi beban otomatis bekerja sesuai harapan dalam sistem.



GAMBAR 13
(ANALISIS KINERJA AKI)

Grafik di atas menunjukkan perbandingan antara arus masuk dan keluar pada aki sistem selama proses pengujian. Arus negatif (ditandai garis merah) mengindikasikan bahwa aki sedang dalam proses pengisian (charging), sedangkan arus positif (garis biru) menandakan bahwa aki sedang mengeluarkan daya (discharging) untuk mendukung beban sistem. Pada saat pengisian daya (charging) tetap stabil di kisaran -1,5 hingga -2 Ampere selama hampir seluruh periode pengamatan. Ini menunjukkan bahwa panel surya secara konsisten mengisi daya ke dalam aki.

D. Evaluasi Keseluruhan Sistem

Secara keseluruhan, sistem berhasil memenuhi tujuan utamanya sebagai solusi pemantauan kualitas air yang otomatis dan berkelanjutan di lokasi minim akses listrik. Panel surya sebagai sumber utama energi mampu mendukung operasional sensor, mikrokontroler, dan komunikasi Wi-Fi, sementara Solar Tracker satu sumbu terbukti meningkatkan efisiensi penyerapan energi dengan mengarahkan panel mengikuti matahari secara presisi menggunakan sensor LDR, ESP32, motor DC, dan driver BTS7960. Sistem penyimpanan daya dengan baterai 12V 12Ah memungkinkan operasi berkelanjutan saat malam atau mendung, dan dukungan ATS menjamin keandalan suplai daya melalui peralihan otomatis ke PLN. Monitoring kualitas air untuk parameter pH, kekeruhan, dan amonia menunjukkan akurasi tinggi, dengan data real-time yang dapat diakses melalui

website. Keunggulan sistem tidak hanya dari sisi teknis, tetapi juga dari aspek keberlanjutan, karena mengurangi ketergantungan tenaga kerja dan biaya operasional, serta cocok untuk diterapkan di daerah terpencil. Meski demikian, peningkatan proteksi terhadap cuaca ekstrem dan antarmuka pengguna masih diperlukan, serta integrasi ke sistem kendali otomatis seperti aerator berbasis sensor dapat menjadi pengembangan lanjutan. Secara umum, sistem menunjukkan kinerja andal dan siap diterapkan dalam skala lebih luas untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan budidaya udang Vaname berbasis teknologi.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan evaluasi sistem, dapat disimpulkan bahwa sistem pemantauan kualitas air berbasis Internet of Things (IoT) dengan dukungan energi terbarukan menggunakan Solar panel dan Tracker satu sumbu berhasil diimplementasikan secara fungsional dan efisien. Sistem ini dirancang agar para pembudidaya udang Vaname di wilayah terpencil, khususnya terkait dengan keterbatasan akses listrik dan kebutuhan akan pemantauan kualitas air secara berkelanjutan.

Sistem ini berhasil mengintegrasikan panel surya 100WP dengan Solar Tracker berbasis mikrokontroler ESP32 yang dapat mengikuti arah pergerakan matahari secara otomatis berdasarkan perbedaan intensitas cahaya yang dibaca oleh sensor LDR. Dengan pengaturan ini, panel surya dapat terus berada pada posisi optimal terhadap sumber cahaya, yang secara signifikan meningkatkan efisiensi penyerapan energi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pergerakan sudut panel mampu menyesuaikan arah cahaya matahari dari pagi hingga sore hari, sehingga meningkatkan output tegangan panel hingga mencapai 20–21 Volt dalam kondisi optimal.

Energi yang dihasilkan panel surya disimpan dalam aki 12V 12Ah dan didistribusikan ke seluruh sistem, termasuk mikrokontroler ESP32, sensor-sensor kualitas air (pH, kekeruhan, dan TDS), serta modul komunikasi. Sistem ini terbukti mampu berjalan secara mandiri selama lebih dari 12 jam tanpa suplai sinar matahari langsung, menunjukkan ketahanan sistem yang baik berkat dukungan penyimpanan daya dan Solar charge controller. Selain itu, sistem dilengkapi fitur cadangan melalui ATS (Automatic Transfer Switch) yang akan berpindah ke listrik PLN apabila daya dari baterai tidak mencukupi, sehingga kontinuitas operasional tetap terjamin.

Dari sisi performa pemantauan, sistem berhasil melakukan pengukuran dan pengiriman data secara real-time ke server berbasis web melalui koneksi Wi-Fi. Data dari sensor ditampilkan dalam bentuk dashboard dan tabel online yang dapat diakses melalui internet, sehingga memungkinkan monitoring jarak jauh oleh pengguna. Hal ini mendukung kebutuhan petambak dalam mengambil keputusan cepat terhadap kondisi lingkungan air yang berubah-ubah. Website pemantauan juga dilengkapi fitur ekspor data untuk keperluan dokumentasi dan analisis lanjutan.

Selain aspek teknis, sistem ini juga menawarkan nilai tambah dari segi efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan. Dengan memanfaatkan sumber daya terbarukan, sistem ini mampu mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan menghemat biaya operasional. Dalam jangka panjang, implementasi sistem ini berpotensi menjadi solusi cerdas untuk meningkatkan produktivitas tambak, menjaga

kesehatan udang Vaname, dan mendorong praktik akuakultur yang lebih ramah lingkungan.

Dengan demikian, penelitian ini berhasil membuktikan bahwa kombinasi teknologi IoT, energi terbarukan, dan sistem pelacakan matahari dapat menghasilkan sistem pemantauan kualitas air yang cerdas, efisien, dan berkelanjutan. Sistem ini layak dikembangkan lebih lanjut dan diimplementasikan secara luas pada skala tambak udang di berbagai wilayah Indonesia, terutama daerah yang memiliki keterbatasan infrastruktur listrik.

REFERENSI

Abu Sneineh, Anees, and Arafat A.A. Shabaneh. 2023. "Design of a Smart Hydroponics Monitoring System Using an ESP32 Microcontroller and the Internet of Things." *MethodsX* 11. doi:10.1016/j.mex.2023.102401.

Aliadin, Muhammad Iwan, Ardianto Dwi Widiaputra, Muhamad Fikri Kurnaiwan, Ari Ardyansah, and Syaiful Bahri. Pemantauan Dan Kontrol Sistem Aquaponik Berbasis IoT Menggunakan ESP32 Dengan Energi Terbarukan Dari PLTS.

Bhuyan, Muhibul Haque, Md. Ashik Ali, Sabbir Ali Khan, Md. Rashedul Islam, Tanjil Islam, and Jharna Akter. 2023. "Design and Implementation of Solar Power and an IoT-Based Pisciculture Management System." *Journal of Engineering Research and Reports*. doi:10.9734/jerr/2023/v24i2799.

Chuyen, Tran Duc, Dien Duc Nguyen, Nguyen Cao Cuong, and Vu Viet Thong. 2023. "Design and Manufacture Control System for Water Quality Based on IoT Technology for Aquaculture in the Vietnam." *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics* 12(4). doi:10.11591/eei.v12i4.5180.

Dippong, Thomas, Cristina Mihali, and Alexandra Avram. 2023. "Water Physico-Chemical Indicators and Metal Assessment of Teceu Lake and the Adjacent Groundwater Located in a Natura 2000 Protected Area, NW of Romania." *Water (Switzerland)* 15(22). doi:10.3390/w15223996.

Effendi, Irzal, Abung Maruli Simanjuntak, and Muhammad Qustam Sahibuddin. 2021. *Standard Operasional Dan Prosedur (Sop) Budidaya Udang Putih (Litopenaeus Vannamei) Kepulauan Seribu*. <http://pkspl.ipb.ac.id>.

Hamsinar, Henny, Ery Muchyar Hasiri, and Nur Aisyah Raudatul Zannah. 2022. "IMPLEMENTASI MIKROKONTROLER UNTUK MONITORING DAN PENGONTROLAN KADAR PH AIR TAMBAK UNTUK BUDIDAYA UDANG BERBASIS INTERNET OF THINGS." *JURNAL INFORMATIKA* 11(1). doi:10.55340/jiu.v11i1.1050.

Han, Jee Eun, Seong Kyoon Choi, Se Hyeon Han, Seung Chan Lee, Hye Jin Jeon, Chorong Lee, Kyeong Yeon Kim, et al. 2020. "Genomic and Histopathological Characteristics of *Vibrio Parahaemolyticus* Isolated from an Acute

Hepatopancreatic Necrosis Disease Outbreak in Pacific White Shrimp (*Penaeus Vannamei*) Cultured in Korea.” *Aquaculture* 524. doi:10.1016/j.aquaculture.2020.735284.

Islam, Md Monirul, Mohammad Abul Kashem, Salem A. Alyami, and Mohammad Ali Moni. 2023. “Monitoring Water Quality Metrics of Ponds with IoT Sensors and Machine Learning to Predict Fish Species Survival.” *Microprocessors and Microsystems* 102. doi:10.1016/j.micpro.2023.104930.

Kajornkasirat, Siriwan, Jareeporn Ruangsri, Charuwan Sumat, and Pete Intaramontri. 2021. “Online Analytics for Shrimp Farm Management to Control Water Quality Parameters and Growth Performance.” *Sustainability (Switzerland)* 13(11). doi:10.3390/su13115839.

Musa, Muhammad, Evellin Dewi Lusiana, Nanik Retno Buwono, Sulastri Arsad, and Mohammad Mahmudi. 2020. “The Effectiveness of Silvofishery System in Water Treatment in Intensive Whiteleg Shrimp (*Litopenaeus Vannamei*) Ponds, Probolinggo District, East Java, Indonesia.” *Biodiversitas* 21(10). doi:10.13057/biodiv/d211031.

Pratiwi, Rizky Kusma, Mohammad Mahmudi, Abdul Rahem Faqih, and Diana Arfiati. 2023. “Dynamics of Water Quality for Vannamei Shrimp Cultivation in Intensive Ponds in Coastal Areas.” *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA* 9(10). doi:10.29303/jppipa.v9i10.4322.

Qader, Veen, Omar Ali, and Nawfal Hasan. 2023. “An Experimental Comparison Between Fixed and Single-Axis Tracking Photovoltaic Solar Panel Performance: Zakho City as Case Study.” *Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ)* 28(1). doi:10.33899/rengj.2022.136292.1204.

Rifa'i, Ahmad. 2021. “SISTEM PEMANTAUAN DAN KONTROL OTOMATIS KUALITAS AIR BERBASIS

INTERNET OF THINGS (IOT) MENGGUNAKAN PLATFORM NODE-RED UNTUK BUDIDAYA UDANG.” *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)* 7(1): 19. doi:10.31884/jtt.v7i1.317.

Setiawan, Budi, and Nico Surantha. 2023. “Penerapan Quality Function Deployment (QFD) Pada Desain Smart Aquaculture Untuk Sektor Tambak Udang Vaname Berbasis IOT.” *Journal of Information System Research (JOSH)* 4(2). doi:10.47065/josh.v4i2.2806.

Shail Patel. 2021. “Review on Solar Tracker and Comparison on Single Axis Solar Tracker, Dual Axis Solar Tracker with Fixed Solar PV System.” *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering* 9.

Suantika, Gede, Magdalena Lenny Situmorang, Felicia Irene Saputra, Safira Latifa Erlangga Putri, Sastia Prama Putri, Pingkan Aditiawati, and Eiichiro Fukusaki. 2020. “Metabolite Profiling of Whiteleg Shrimp *Litopenaeus Vannamei* from Super-Intensive Culture in Closed Aquaculture Systems: A Recirculating Aquaculture System and a Hybrid Zero Water Discharge–Recirculating Aquaculture System.” *Metabolomics* 16(4). doi:10.1007/s11306-020-01675-1.

Suwanno, Pongteb, Pakpoom Chansri, and Yupa Joothong. 2023. “IoT Assisted Oxygen Control Monitoring in Microbial Propagation for Shrimp Ponds.” In *Proceeding - 2023 International Electrical Engineering Congress, IEECON 2023*, doi:10.1109/IEECON56657.2023.10127007. Wardhany, Vivien Arief, Herman Yuliandoko, Subono, M. Udin Harun Al Rasyid, and I Gede Puja Astawa. 2020. “A Mobile Application Development of Automatic Shrimp Feeder System.” doi:10.2991/aer.k.201221.008.