

Smart Feeder Berbasis IoT Menggunakan Sumber Energi Surya untuk Budidaya Ikan Berkelanjutan

IoT-Based Smart Feeder Using Solar Energy for Sustainable Fish Farming

Eko Sulisty¹, Syaharani², Daniel Nicholas Papilaya³, Helda Susianti⁴

¹ Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung; email: Sulistyvo.eko@gmail.com

^{2,3,4} Program Studi Teknik Elektronika, Jurusan Rekayasa Elektro dan Industri Pertanian, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung; email: ²syaharaani2017@gmail.com, ³danielnicholas1608@gmail.com

[Dikirimkan: 15 Desember 2025, Direvisi: 1 Januari 2026, Diterima: 31 Mei 2026]

Corresponding Author: Syaharani

INTISARI — Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) mendorong penerapan sistem otomatis pada sektor budidaya perikanan untuk meningkatkan efisiensi manajemen pakan. Namun, praktik pemberian pakan konvensional masih bergantung pada tenaga kerja manual dan sumber energi listrik konvensional, sehingga kurang efisien dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem *Smart Feeder* berbasis IoT yang didukung energi surya sebagai solusi otomatis dan ramah lingkungan untuk budidaya ikan. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan utama, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi level pakan, motor servo dan *blower* sebagai aktuator penyaluran pakan, serta sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *off-grid* yang terdiri dari panel surya 100 Wp, *solar charge controller*, dan baterai sebagai media penyimpanan energi. Sistem IoT terintegrasi dengan aplikasi seluler berbasis Flutter sebagai antarmuka pengguna untuk pemantauan dan pengendalian jarak jauh melalui *Firestore Realtime Database*. Pengujian sistem dilakukan pada lingkungan terbatas dengan fokus pada kinerja mekanisme penyaluran pakan, akurasi sensor, dan performa sistem energi surya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik memiliki akurasi ± 2 cm pada tiga kondisi level pakan. Sistem mampu menyalurkan pakan sebesar 220–550 gram dengan jarak lontar 115–330 cm, bergantung pada durasi operasi dan ukuran pelet. Panel surya menghasilkan tegangan 20,3–21,2 V dan mampu mendukung operasi sistem secara mandiri. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi IoT dan energi terbarukan berpotensi meningkatkan efisiensi sistem pemberian pakan ikan, meskipun pengujian lanjutan pada kolam ikan nyata masih diperlukan.

ABSTRACT — The rapid development of Internet of Things (IoT) technology has encouraged the adoption of automated systems in aquaculture to improve feed management efficiency. However, conventional fish feeding practices still rely on manual labor and grid-based electricity, leading to inefficiencies and sustainability concerns. This study aims to design and implement an IoT-based Smart Feeder powered by solar energy as an automated and environmentally friendly solution for fish farming. The system employs an ESP32 microcontroller as the main processing unit, an HC-SR04 ultrasonic sensor for feed-level detection, a servo motor and blower as feed distribution actuators, and an off-grid photovoltaic system consisting of a 100 Wp solar panel, a solar charge controller, and a battery for energy storage. The IoT system is integrated with a Flutter-based mobile application that serves as a user interface for remote monitoring and control via Firestore Realtime Database. System testing was conducted in a controlled environment, focusing on feed distribution performance, sensor accuracy, and solar energy system performance. The results indicate that the ultrasonic sensor achieved an accuracy of ± 2 cm across three feed-level conditions. The system was able to distribute feed ranging from 220 to 550 grams with a throwing distance of 115–330 cm, depending on operation duration and pellet size. The solar panel generated a voltage of 20.3–21.2 V and supported autonomous system operation. These findings demonstrate the potential of integrating IoT and renewable energy to enhance automated fish feeding systems, although further testing in real pond environments is required.

KEYWORD — Solar Energy, IoT, Solar Panel, Ultrasonic Sensor, Smart Feeder

I. PENDAHULUAN

Manajemen pakan merupakan salah satu faktor krusial yang menentukan kesuksesan operasi budidaya perikanan [1]. Metode pemberian pakan konvensional yang banyak diterapkan saat ini sangat bergantung pada tenaga kerja manual, di mana pakan disebar langsung ke kolam secara manual. Pendekatan tradisional ini memiliki beberapa kelemahan signifikan, termasuk jadwal pemberian pakan yang tidak akurat, pengukuran pakan yang tidak tepat, dan penggunaan waktu dan tenaga kerja yang tidak efisien. Menurut [2] jumlah pakan harus tepat 3% dari berat badan ikan untuk mengoptimalkan pertumbuhan dan menghindari pemborosan pakan [3]. Ketidakakuratan dalam pemberian pakan dapat menyebabkan *overfeeding* atau *underfeeding* [4], yang berdampak negatif pada kualitas air [5], kesehatan ikan [6], dan efisiensi biaya produksi.

Dengan kemajuan teknologi, *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi tantangan dalam budidaya ikan. Penerapan teknologi IoT dalam sistem pemberian pakan otomatis atau feeder pintar memungkinkan petani ikan memantau dan mengontrol berbagai parameter secara *real-time*, seperti waktu pemberian pakan, jumlah pakan yang disebarkan, status ketersediaan pakan, dan total pakan yang didistribusikan selama periode budidaya [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13]. Sistem



otomatisasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga memudahkan pengelolaan tambak ikan melalui pemantauan jarak jauh menggunakan *smartphone*.

Meskipun perkembangan pesat *feeder* pintar berbasis IoT, keterbatasan dalam keberlanjutan energi tetap menjadi perhatian. Sebagian besar sistem yang ada masih bergantung pada sumber energi konvensional, yang berdampak pada biaya operasional dan emisi karbon [14]. Oleh karena itu, integrasi energi terbarukan, khususnya energi surya, menjadi solusi yang tepat untuk menciptakan sistem *feeder* pintar yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penggunaan energi terbarukan dapat mengurangi ketergantungan pada listrik jaringan, menurunkan biaya operasional jangka panjang, dan mendukung program pengurangan emisi gas rumah kaca [15], [16].

Penelitian sebelumnya memaparkan pengembangan sistem pakan ikan otomatis yang didukung oleh energi surya dan dikendalikan melalui *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi pemberian pakan dalam budidaya ikan. Sistem ini mengintegrasikan komponen hardware seperti panel surya, mikrokontroler Arduino, motor untuk mekanisme pemberian pakan, sensor ultrasonik untuk memantau tingkat pakan, modul GSM untuk transmisi data, dan antarmuka pengguna berbasis *Android* untuk pengendalian dan pemantauan. Perangkat lunak meliputi program Arduino untuk pengendalian proses, server *cloud* untuk penyimpanan data, dan aplikasi seluler untuk interaksi pengguna. Pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mendistribusikan pakan sesuai dengan jumlah dan jadwal yang telah ditentukan, dengan pemantauan yang lebih baik terhadap tingkat pakan dan baterai melalui aplikasi. Kesimpulan menunjukkan bahwa sistem berfungsi secara efektif dan menawarkan operasi yang berkelanjutan dan otonom, terutama di lokasi terpencil. Saran penelitian masa depan meliputi penerapan algoritma yang lebih cerdas, seperti logika fuzzy, untuk jadwal pemberian pakan yang adaptif, serta peningkatan integrasi sistem untuk pemantauan dan otomatisasi yang lebih canggih [17].

Penelitian lainnya mengembangkan dan menguji Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem pemberi pakan ikan otomatis berbasis IoT untuk penggemar akuarium, dengan memanfaatkan kombinasi komponen *hardware* seperti NodeMCU ESP8266, modul RTC (*Real Time Clock*), motor servo, dan sensor ultrasonik untuk mengotomatisasi proses pemberian pakan dan memantau tingkat makanan. Perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE untuk pemrograman, Telegram sebagai *platform* pesan untuk pemantauan dan pengendalian jarak jauh, serta pengujian blackbox untuk memvalidasi fungsi sistem. Sistem beroperasi dengan mengatur jadwal pemberian pakan melalui RTC; pada waktu yang dijadwalkan, NodeMCU memerintahkan motor servo untuk mengeluarkan pakan, dan sensor ultrasonik memeriksa sisa pakan di wadah, dengan data dikirim ke Telegram untuk pembaruan pengguna. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem berhasil mengeluarkan rata-rata 1 gram pakan ikan per siklus pemberian pakan dan secara efektif mengirim pembaruan status melalui Telegram, menunjukkan operasi yang andal. Kesimpulan menunjukkan bahwa prototipe berfungsi dengan baik untuk pemberian pakan otomatis terjadwal dan pemantauan jarak jauh, meskipun antarmuka dan mekanisme kontrol sistem dapat dioptimalkan lebih lanjut. Saran penelitian masa depan meliputi peningkatan ketahanan sistem, peningkatan keindahan antarmuka pengguna, dan perluasan fitur seperti pemberitahuan *real-time* dan manajemen data yang lebih besar untuk membuat sistem lebih praktis dan ramah pengguna [18].

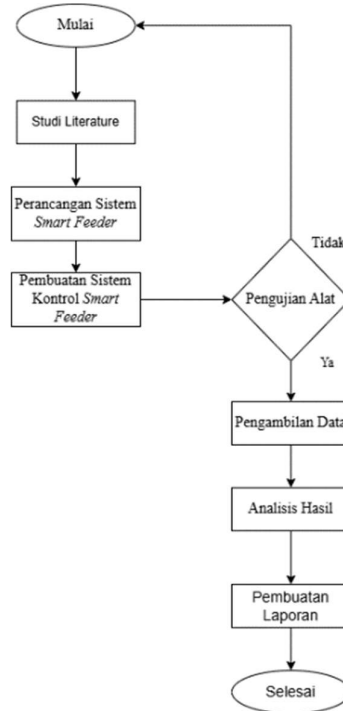
Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam sepuluh tahun terakhir telah mendorong integrasi perangkat fisik, sensor, dan sistem komunikasi untuk mendukung proses pemantauan dan pengendalian secara *real-time*. Penerapan IoT telah banyak dimanfaatkan pada sektor pertanian dan perikanan karena mampu meningkatkan efisiensi operasional serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data [19], [20].

Sejumlah penelitian terbaru menunjukkan implementasi teknologi *Internet of Things* dalam manajemen budidaya perikanan, termasuk dalam proses pemberian pakan ikan secara otomatis. Penerapan sistem IoT untuk monitoring dan pengendalian pemberian pakan ikan pada akuarium, yang dapat diakses dan dikontrol secara *real-time* melalui perangkat *mobile* melalui jaringan internet, sehingga mempercepat respons terhadap perubahan kondisi budidaya serta meningkatkan efisiensi operasional [21]. Penelitian terkini di Indonesia menunjukkan bahwa penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) pada sistem pemberian pakan ikan otomatis mampu meningkatkan ketepatan waktu dan jumlah pakan yang diberikan. Sistem pemberi pakan ikan otomatis berbasis IoT yang dilengkapi *Fuzzy Logic Controller* (FLC) untuk menyesuaikan jumlah pakan berdasarkan parameter kualitas air seperti suhu, pH, dan tingkat kekeruhan secara *real-time*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara optimal dan adaptif terhadap kondisi lingkungan kolam, sehingga dapat meningkatkan efisiensi manajemen pakan dan mendukung keberlanjutan budidaya ikan [22]. Implementasi sistem pemberian pakan ikan otomatis berbasis *Internet of Things* telah diteliti di mana sistem yang dikembangkan menggunakan teknologi IoT dan mikrokontroler untuk mengontrol serta memantau proses pemberian pakan pada akuarium secara *real-time*. Sistem ini mengintegrasikan sensor serta koneksi jaringan untuk memberikan pakan dengan jadwal yang ditentukan melalui aplikasi, sehingga meningkatkan efisiensi operasional dan kesejahteraan ikan dibandingkan metode manual konvensional [23].

Penulis bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem pakan pintar berbasis IoT dengan sumber daya energi terbarukan yang dapat beroperasi secara otomatis maupun manual. Sistem ini dilengkapi dengan panel surya yang mampu mengubah sinar matahari menjadi energi listrik yang disimpan dalam baterai, memungkinkan operasi terus-menerus bahkan dalam kondisi bercloud, hujan, atau malam hari. Selain itu, sistem ini dirancang dengan antarmuka aplikasi *smartphone* yang memungkinkan petani mengontrol dan memantau proses pemberian pakan secara *real-time* dari jarak jauh. Inovasi ini diharapkan dapat berkontribusi dalam meningkatkan produktivitas budidaya perairan sambil mendukung praktik budidaya perairan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

II. METODE PENELITIAN

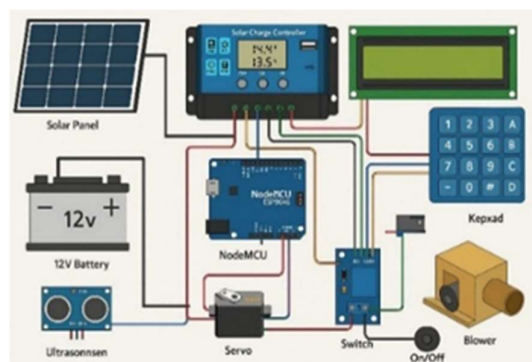
Langkah-langkah penelitian pada studi ini divisualisasikan pada Gambar 1. Diagram tersebut memperlihatkan rangkaian proses mulai dari tahap perencanaan, pengumpulan data, pengolahan serta analisis temuan, hingga penyusunan hasil akhir penelitian. Setiap tahapan disusun secara sistematis dan saling berhubungan untuk memastikan penelitian berjalan terarah dan memenuhi kaidah ilmiah. Penjelasan mendalam mengenai masing-masing tahapan akan dipaparkan pada subbab berikutnya sehingga pembaca dapat memahami keseluruhan alur penelitian secara lebih komprehensif



Gambar 1. Alur Penelitian

A. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan sistem pada penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan arsitektur dan alur kerja keseluruhan dari sistem *Smart Feeder* berbasis IoT yang dikembangkan. Tahapan ini mencakup integrasi perangkat keras, sistem kontrol, serta mekanisme komunikasi data antara perangkat dan aplikasi pengguna. Rancangan sistem disusun untuk memastikan setiap komponen dapat berfungsi secara terkoordinasi dalam mendukung proses pemberian pakan ikan secara otomatis dan efisien.



Gambar 2. Skematik Hardware

Fase desain sistem mencakup komponen perangkat lunak dan perangkat keras (Gambar 2), memastikan integrasi menyeluruh dari semua elemen sistem. Arsitektur perangkat lunak terdiri dari tiga komponen utama: pemrograman *development board*, antarmuka aplikasi seluler, dan integrasi basis data *cloud*.

TABEL I.

TAMPILAN ANTARMUKA APLIKASI PAKAN OTOMATIS

Tampilan Antar Muka	Deskripsi Menu
 <p>Gambar 3. Desain Antarmuka (User Interface, UI) Aplikasi</p>	<p>Menampilkan halaman awal aplikasi <i>Smart Feeder</i> yang berfungsi sebagai antarmuka utama pengguna, dengan menyajikan informasi waktu operasional sistem dan status awal perangkat. Selain itu, halaman ini menyediakan menu pemilihan jenis ikan yang digunakan sebagai sarana navigasi utama untuk mengakses fitur pemantauan kondisi sistem serta pengendalian proses pemberian pakan secara otomatis maupun manual.</p>
 <p>Gambar 4. Antarmuka Pemilihan Ikan</p>	<p>Menampilkan halaman pemantauan sistem yang menyajikan informasi kondisi operasional <i>Smart Feeder</i> secara <i>real-time</i>. Informasi yang ditampilkan meliputi status sistem dan indikator kinerja perangkat yang diperoleh dari proses komunikasi data berbasis IoT.</p>
 <p>Gambar 5. Antarmuka Pemilihan Jadwal</p>	<p>Menampilkan pengaturan dan informasi jadwal pemberian pakan otomatis yang telah ditentukan pada sistem. Menu ini memungkinkan pengguna untuk mengetahui pembagian sesi pemberian pakan berdasarkan waktu operasional, sehingga proses pemberian pakan dapat berlangsung secara teratur dan terjadwal.</p>
 <p>Gambar 6. Antarmuka Durasi Blower</p>	<p>Menampilkan fitur pengaturan durasi kerja <i>blower</i> yang berfungsi untuk mengendalikan lama waktu pelontaran pakan. Pengaturan ini digunakan untuk menyesuaikan jumlah pakan yang dikeluarkan sesuai dengan kebutuhan sistem pemberian pakan ikan.</p>

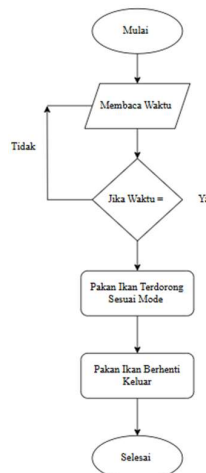


Gambar 7. Rancangan Produk

Desain sirkuit elektronik mengintegrasikan beberapa komponen kunci seperti yang ditunjukkan pada diagram rangkaian (Gambar 7). Panel surya terhubung ke Pengendali Pengisian Surya (SCC) yang mengelola distribusi daya ke sistem penyimpanan baterai. *Development board* ESP32 berfungsi sebagai unit pemrosesan pusat, berinteraksi dengan sensor ultrasonik (HC-SR04) untuk deteksi tingkat pakan [20], dengan pin pemicu terhubung ke GPIO 34 dan pin *echo* ke GPIO 35. Motor servo yang terhubung ke GPIO 33 mengontrol mekanisme penyaluran pakan, membuka saluran pakan selama 5-30 detik berdasarkan jadwal yang diprogram. Komponen tambahan meliputi papan tombol matriks 4x4 untuk pengoperasian manual, layar LCD untuk tampilan informasi lokal, modul RTC untuk pencatatan waktu yang akurat, dan konverter tegangan turun untuk regulasi tegangan. Struktur fisik dirancang menggunakan perangkat lunak Canva dengan kemampuan pemodelan 2D. Struktur rangka, yang terbuat dari baja ringan, berukuran 65 cm (tinggi depan) × 100 cm (tinggi belakang) × 33 cm (lebar), membentuk konfigurasi rak bertingkat. Desain ini mencakup tiga tingkat fungsional: tingkat atas menampung panel surya untuk pengumpulan energi, tingkat tengah menampung drum penyimpanan pakan bersama panel kontrol (ESP32, papan tombol matriks, dan layar LCD), dan tingkat bawah berfungsi sebagai area penyaluran pakan dengan penyimpanan baterai. Desain ergonomis ini memastikan penempatan komponen yang efisien sambil mempertahankan aksesibilitas untuk pemeliharaan dan operasi.

B. PENGEMBANGAN SISTEM

Proses pengembangan mengikuti pendekatan implementasi berurutan. Pertama, Arduino IDE digunakan untuk pemrograman *development board*, mengimplementasikan algoritma untuk jadwal pemberian makan otomatis, pemrosesan data sensor, dan pengendalian aktuator. *Firebase Realtime Database* dikonfigurasi untuk menyimpan dan menyinkronisasikan data operasional, memungkinkan pemantauan dan pengendalian berbasis *cloud*. Arsitektur *database* mendukung *streaming* data *real-time* antara aplikasi seluler dan perangkat fisik. Kedua, kerangka kerja Flutter digunakan untuk mengembangkan aplikasi seluler lintas *platform* yang kompatibel dengan perangkat Android dan iOS. Fitur aplikasi meliputi pemantauan tingkat pakan melalui indikator visual, konfigurasi jadwal (pola harian, mingguan, dan bulanan), riwayat sesi pemberian pakan, dan tampilan status baterai. Desain antarmuka memprioritaskan pengalaman pengguna, memungkinkan petani perikanan untuk mengakses informasi kritis dan mengontrol operasi pemberian pakan secara jarak jauh. Ketiga, sistem mendukung mode penjadwalan fleksibel: harian (beberapa sesi pemberian pakan per hari), mingguan (jadwal berulang selama beberapa minggu sesuai dengan periode budidaya), dan bulanan (jadwal jangka panjang untuk operasi jangka panjang). Setelah dikonfigurasi, sistem beroperasi secara otonom, mengurangi intervensi manual sambil memungkinkan petani memantau dan menyesuaikan parameter sesuai kebutuhan. Keempat, perbateraitan fisik mengintegrasikan semua komponen sesuai spesifikasi desain 2D. Kerangka terbuat dari baja ringan, memberikan kestabilan struktural sambil tetap menjaga portabilitas. Sebuah kotak pelindung dari akrilik dibuat untuk menampung komponen elektronik, memberikan perlindungan dari faktor lingkungan sambil tetap memungkinkan visibilitas untuk tampilan status. Pengelolaan kabel dan pertimbangan kedap air diterapkan untuk memastikan operasi luar ruangan yang andal.



Gambar 8. Urutan Mekanisme Sistem

C. PENGUJIAN SISTEM

Data yang dikumpulkan selama fase pengujian dianalisis untuk mengevaluasi metrik kinerja sistem, termasuk akurasi penyaluran pakan, keandalan deteksi sensor, efisiensi sistem energi, dan stabilitas komunikasi IoT. Analisis perbandingan dilakukan antara mode pemberian pakan otomatis dan manual untuk menilai peningkatan efisiensi operasional. Perhatian khusus diberikan pada analisis kinerja sensor dalam mendeteksi tingkat pakan, di mana perbedaan pembacaan sensor antara kondisi pakan yang cukup dan tidak cukup dievaluasi. Ketika tingkat pakan tidak cukup, sistem menampilkan pemberitahuan peringatan di aplikasi seluler dan layar LCD. Waktu respons sistem, tingkat kesalahan, dan kemudahan penggunaan antarmuka pengguna dievaluasi untuk mengidentifikasi area yang perlu dioptimalkan.

D. ANALISIS DATA

Dokumentasi komprehensif telah disusun mencakup semua fase penelitian, mulai dari pengembangan konsep awal hingga implementasi akhir. Dokumentasi tersebut mencakup landasan teoritis, metodologi terperinci, spesifikasi teknis, hasil pengujian, temuan analisis, kesimpulan, dan rekomendasi untuk pengembangan di masa depan. Semua aspek yang terkait dengan pengembangan proyek telah didokumentasikan secara sistematis, mulai dari pengenalan, kerangka teoritis, metodologi implementasi, analisis, kesimpulan, hingga saran untuk perbaikan di masa depan.

III. HASIL PEMBAHASAN

A. AKTUALISASI SISTEM SMART FEEDER



Gambar 9. Urutan Mekanisme Sistem

Sistem *smart feeder* yang telah dirancang (Gambar 9) memiliki dimensi rangka 65 cm (tinggi depan) × 100 cm (tinggi belakang) × 33 cm (lebar), terbuat dari baja ringan dengan konfigurasi tiga tingkat. Panel surya berkapasitas 100 Wp diposisikan miring pada tingkat atas untuk memaksimalkan paparan sinar matahari. Tingkat kedua menampung drum penyimpanan pakan berkapasitas 30 liter yang dilengkapi dengan sensor ultrasonik HC-SR04 pada tutup untuk deteksi level pakan. *Blower* dengan daya 12V DC berfungsi sebagai pendorong pakan melalui pipa saluran PVC berdiameter 2 inci. Pada tingkat ketiga terdapat box akrilik transparan (22×22 cm) yang berisi komponen kontrol meliputi ESP32 sebagai *development board* utama, LCD 16×2 untuk *display* lokal, *keypad matrix* 4×4 untuk *input* manual, *step-down converter* DC-DC, dan modul RTC DS3231 untuk sinkronisasi waktu. Baterai 24V ditempatkan pada bagian bawah sebagai media penyimpanan energi. Keseluruhan sistem terintegrasi dengan aplikasi *mobile* berbasis *Flutter* yang terhubung melalui *Firestore Realtime Database*, memungkinkan *monitoring* dan kontrol jarak jauh melalui *smartphone*. Desain modular ini memudahkan proses perawatan dan memastikan ketahanan terhadap kondisi lingkungan luar ruangan.

B. PENGUJIAN SENSOR ULTRASONIK UNTUK DETEKSI LEVEL PAKAN

TABEL II
HASIL UJI PERFORMA SENSOR ULTRASONIK

Status Pakan	Tinggi Pakan
Habis	48 Cm
Cukup	8 Cm
Penuh	4 Cm

Pengujian sensor ultrasonik HC-SR04 dilakukan untuk mengklasifikasikan tiga kondisi level pakan dalam drum penyimpanan (Tabel 2). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi kondisi "Habis" pada jarak 48 cm dari tutup drum, kondisi "Cukup" pada jarak 8 cm, dan kondisi "Penuh" pada jarak 4 cm. Akurasi pembacaan sensor mencapai ±2 cm dengan waktu respons rata-rata 0,5 detik. Klasifikasi status pakan ini menjadi parameter kunci dalam logika kontrol sistem, dimana ESP32 akan menghentikan proses pemberian pakan otomatis ketika sensor mendeteksi kondisi "Habis" untuk mencegah operasi *blower* tanpa media pakan. Sebaliknya, pada kondisi "Cukup" dan "Penuh", sistem akan mengeksekusi perintah pemberian pakan sesuai jadwal yang telah dikonfigurasi. Informasi status pakan ditampilkan secara *real-time* pada LCD lokal dan aplikasi *mobile*, memberikan transparansi kepada pengguna mengenai ketersediaan pakan. Pengujian menunjukkan konsistensi pembacaan sensor dengan tingkat *error* kurang dari 5%, mengindikasikan reliabilitas sistem deteksi yang memadai untuk aplikasi pemberian pakan otomatis.

TABEL III.
HASIL UJI COBA SISTEM PEMBERIAN PAKAN OTOMATIS

Durasi Pakan	Pakan Yang Keluar	Jarak Lontar Pakan
5 Detik	50 Gram	80 Cm
10 Detik	250 Gram	130 Cm
30 Detik	500 Gram	310 Cm

Berdasarkan data pada (Tabel 3), jumlah pakan yang dikeluarkan sistem meningkat secara proporsional terhadap durasi pemberian pakan. Durasi 5 detik menghasilkan sekitar 50 gram pakan dengan jarak lontar 80 cm, durasi 10 detik menghasilkan 250 gram dengan jarak 130 cm, dan durasi 30 detik menghasilkan 500 gram dengan jarak 310 cm. Hasil ini menunjukkan sistem bekerja konsisten dan responsif terhadap durasi pengaturan. Perlu dicatat bahwa pengujian dilakukan di wadah simulasi yang dilapisi terpal, bukan di kolam asli, sehingga performa di lingkungan budidaya nyata dapat berbeda. Pengujian ini tetap efektif untuk mengevaluasi mekanisme distribusi pakan dan akurasi sensor secara terkontrol.



Gambar 10. Kondisi Pakan Cukup



Gambar 11. Kondisi Pakan Habis

C. PENGUJIAN SISTEM PEMBERIAN PAKAN OTOMATIS

TABEL IV
HASIL KINERJA SISTEM OTOMATIS DARI PENJADWALAN YANG DIKONFIGURASI PADA APLIKASI

Ukuran Pakan	Status Pakan	Tinggi Pakan	Durasi Pakan	Pakan Keluar	Jarak Lontar Pakan
Kecil	Habis	40 Cm	5 Detik	0 Gram	0 Cm
Kecil	Cukup	8 Cm	10 Detik	250 Gram	135 Cm
Kecil	Penuh	6 Cm	30 Detik	550 Gram	330 Cm
Besar	Habis	40 Cm	5 Detik	0 Gram	0 Cm
Besar	Cukup	8 Cm	10 Detik	220 Gram	115 Cm
Besar	Penuh	6 Cm	30 Detik	510 Gram	310 Cm

Pengujian sistem otomatis pada Tabel 3 dilakukan dengan variasi durasi pemberian pakan (5, 10, dan 30 detik) menggunakan dua jenis pakan berbeda (pelet kecil diameter 2-3 mm dan pelet besar diameter 5-7 mm). Hasil pengujian menunjukkan korelasi *linear* antara durasi pemberian dengan bobot pakan yang dikeluarkan. Pada durasi 5 detik dengan status pakan "Habis", sistem tidak mengeluarkan pakan (0 gram) sebagaimana logika kontrol yang telah diprogram. Untuk durasi 10 detik dengan status "Cukup", pakan kecil menghasilkan *output* 250 gram dengan jarak lontar 130 cm, sedangkan pakan besar menghasilkan 220 gram dengan jarak lontar 115 cm. Pada durasi maksimal 30 detik dengan status "Penuh", pakan kecil menghasilkan *output* 550 gram dengan jarak lontar 330 cm, sementara pakan besar menghasilkan 510 gram dengan jarak lontar 310 cm. Perbedaan *output* antara pakan kecil dan besar disebabkan oleh karakteristik fisik pakan yang mempengaruhi fluiditas dan kemampuan terlontar oleh *blower*. Pakan berukuran lebih kecil memiliki densitas *bulk* yang lebih rendah sehingga lebih mudah terdorong oleh aliran udara dari *blower*.

Sistem berhasil melakukan sinkronisasi waktu pemberian pakan sesuai jadwal yang dikonfigurasi melalui aplikasi *mobile* dengan presisi ± 3 detik, menunjukkan efektivitas integrasi RTC dan ESP32. Aplikasi *Flutter* menampilkan informasi *real-time* meliputi status pemberian pakan, bobot estimasi pakan keluar, waktu pemberian berikutnya, dan riwayat pemberian pakan, memberikan kemudahan *monitoring* bagi pengguna.

D. PENGUJIAN SISTEM PEMBERIAN PAKAN MANUAL

TABEL V
PERFORMA MANUAL OVERRIDE

Jenis Pakan	Durasi Pakan	Status Pakan	Tinggi pakan	Pakan Keluar	Jarak Lontar Pakan
Kecil	5	Habis	48 Cm	0 Gram	0 Cm
Kecil	10	Cukup	8 Cm	250 Gram	130 Cm
Kecil	30	Penuh	4 Cm	500 Gram	310 Cm
Besar	5	Habis	40 Cm	0 Gram	0 Cm
Besar	10	Cukup	8 Cm	220 Gram	115 Cm
Besar	30	Penuh	6 Cm	510 Gram	310 Cm

Berdasarkan data pada (Tabel 5) terlihat bahwa performa manual *override* dipengaruhi oleh jenis pakan dan durasi pemberian pakan. Pada durasi 5 detik, baik pakan kecil maupun besar tidak menghasilkan keluaran pakan karena status pakan berada pada kondisi *habis*, sehingga tinggi pakan di dalam wadah masih berada pada batas minimal. Ketika durasi ditingkatkan menjadi 10 detik, kedua jenis pakan menunjukkan keluaran yang stabil dengan status pakan *cukup*. Pada durasi maksimum 30 detik, baik pakan kecil maupun besar mencapai kondisi *penuh*, dengan jumlah pakan keluar dan jarak lontar yang lebih besar dan konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa sistem manual *override* merespons durasi pemberian pakan secara proporsional, serta tetap mampu bekerja dengan baik untuk berbagai ukuran pakan.

E. PENGUJIAN SISTEM ENERGI SURYA

TABEL VI
HASIL KINERJA PLTS OFF-GRID PADA SISTEM

Waktu (Jam)	Tegangan Panel Surya (V)	Penyimpanan Baterai
10.00	20.3	12.2
11.00	20.5	13.2
12.00	21.2	14.3
13.00	20.8	15.3
14.00	20.6	16.4

Pengujian performa sistem fotovoltaik dilakukan selama 5 jam (10.00-14.00 WIB) pada kondisi cuaca cerah dengan irradiansi rata-rata 800-1000 W/m². Panel surya 100 Wp menghasilkan tegangan *open-circuit* (Voc) antara 20,3-21,2 V dengan puncak *output* pada pukul 12.00 WIB mencapai 21,2 V. Tegangan operasi berada pada rentang optimal 17-18 V sebagaimana spesifikasi panel surya sistem 24V. *Solar Charge Controller* (SCC) tipe PWM berhasil meregulasi pengisian baterai dengan efisiensi konversi rata-rata 85%. Tegangan baterai meningkat secara gradual dari 12,2V (*State of Charge/SOC* ~30%) pada pukul 10.00 menjadi 16,4V (*SOC* ~95%) pada pukul 14.00, mengindikasikan proses pengisian yang efektif dengan *charging rate* rata-rata 1V per jam. Profil pengisian menunjukkan tiga fase standar: *bulk charging* (12,2-14,4V), *absorption* (14,4-16,4V), dan *approaching float stage* (>16V). Sistem berhasil mengoperasikan beban (*blower*, servo, ESP32, dan sensor) dengan konsumsi daya rata-rata 15W tanpa mengganggu proses pengisian baterai. Kapasitas baterai 20Ah memberikan *autonomy time* sekitar 13 jam operasi kontinyu tanpa *input solar*, memastikan sistem dapat beroperasi pada malam hari dan kondisi mendung. Pengujian *discharge-charge cycle* selama 7 hari menunjukkan *depth of discharge* (DoD) rata-rata 40%, yang ideal untuk memperpanjang *lifetime* baterai. Proteksi *over-charge* dan *under-voltage* dari SCC berfungsi dengan baik, mencegah kerusakan baterai pada pengisian berlebih atau pengosongan dalam baterai. Hasil ini mengonfirmasi bahwa sistem *renewable energy* yang dirancang mampu menyediakan daya berkelanjutan untuk operasi *smart feeder* secara *off-grid*.



Gambar 12. Implementasi PLTS Off-grid Pada Sistem

F. INTEGRASI SISTEM

Integrasi seluruh subsistem menunjukkan performa yang sinergis dalam mewujudkan *smart feeder* yang *autonomous* dan *sustainable*. Kombinasi sensor ultrasonik, kontrol *development board*, dan aktuator (*blower* dan *servo*) menghasilkan sistem pemberian pakan dengan presisi yang memadai untuk aplikasi akuakultur skala kecil hingga menengah. Variasi *output* pakan berdasarkan durasi operasi memberikan fleksibilitas bagi pengguna untuk menyesuaikan jumlah pakan sesuai kebutuhan ikan dengan berat dan populasi berbeda. Implementasi *dual-mode operation* (otomatis dan manual) meningkatkan *reliability* sistem, dimana kegagalan pada salah satu mode tidak menghentikan seluruh operasi. Integrasi IoT melalui *Firebase* dan aplikasi Flutter memberikan nilai tambah signifikan dalam hal *remote* monitoring dan data logging, memungkinkan analisis pola pemberian pakan untuk optimasi *feeding strategy*. Sistem energi fotovoltaik terbukti mampu memenuhi kebutuhan energi operasional dengan surplus yang cukup untuk mengakomodasi ekspansi beban di masa mendatang. Penggunaan *renewable energy* tidak hanya mengurangi operational *cost* tetapi juga mendukung praktik akuakultur berkelanjutan dengan *zero emission*. Beberapa limitasi sistem yang teridentifikasi meliputi ketergantungan jarak lontar pada karakteristik fisik pakan, variabilitas *output* pada kondisi pakan lembab, dan keterbatasan kapasitas drum yang memerlukan *refilling* manual.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pemberian pakan ikan otomatis berbasis IoT yang terintegrasi dengan energi terbarukan, yang diterapkan pada budidaya perikanan. Sistem mampu mendeteksi tingkat pakan secara akurat menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dengan presisi ± 2 cm, mengeluarkan pakan konsisten antara 220–550 gram sesuai durasi pemberian (5–30 detik) dan ukuran pelet, serta menawarkan kontrol *dual-mode* otomatis dan manual yang terintegrasi dengan basis data *Firebase*. Panel surya 100 Wp yang digunakan terbukti efisien, mampu mengisi baterai 24V dari 30% hingga 95% dalam 4 jam, menyediakan operasi mandiri sekitar 13 jam, serta mendukung pengurangan biaya listrik dan praktik budidaya berkelanjutan. Pengujian menunjukkan sistem bekerja dengan tingkat kesalahan di bawah 5% dan *output* pakan sesuai rancangan. Namun, pengujian lapangan di lingkungan nyata belum dilakukan, sehingga diperlukan studi lanjutan untuk memastikan keandalan sistem di kondisi perairan sebenarnya. Beberapa keterbatasan juga teridentifikasi, seperti variasi *output* pakan, pengaruh kelembaban, ketergantungan jarak lempar pada karakteristik pelet, dan kebutuhan pengisian ulang manual untuk drum 30 liter. Penelitian berikutnya dapat difokuskan pada penerapan algoritma pembelajaran mesin untuk prediksi kebutuhan pakan, integrasi sensor kualitas air untuk manajemen budidaya yang lebih komprehensif, serta mekanisme pengisian otomatis guna meningkatkan tingkat otomatisasi. Inovasi ini memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi budidaya presisi, menggabungkan IoT dan energi terbarukan untuk otomatisasi pemberian pakan ikan yang praktis, ramah lingkungan, dan dapat meningkatkan produktivitas sekaligus menekan biaya operasional.

REFERENSI

- [1] F. K. Alblitry, "Rancang Bangun Alat Pemberi Pakan Ikan Otomatis Pada Aquarium Berbasis Arduino Uno," Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh November, 2017.
- [2] P. Khanua Almufaridz, M. Kusumawardani, R. Saptono, J. T. Elektro, Dan N. Malang, "Telecontrolling Smart Fish Feeder Berbasis Mikrokontroler Dan Aplikasi Android," 2021.
- [3] Marisal Dan Mulyadi, "Rancang Bangun Alat Pemberi Pakan Ikan Berbasis Android," *Jurnal El Sains*, Vol. 2, No. 1, Hlm. 51, Jul 2020.
- [4] D. Prijatna, H. Handarto, Dan Y. Andreas, "Rancang Bangun Pemberi Pakan Ikan Otomatis," *Jurnal Teknotan*, Vol. 12, No. 1, Sep 2018, Doi: 10.24198/Jt.Vol12n1.3.
- [5] B. Syah, I. Sofi, J. Teknologi Pertanian, Dan P. Negeri Lampung Jl Soekarno Hatta, "Syah: Rancang Bangun Alat Pemberi Pakan Ikan," 2015.
- [6] H. Yenni, "Perangkat Pemberi Pakan Otomatis Pada Kolam Budidaya," 2016.
- [7] S. P. Santoso Dan J. N. Sitohang, "Perancangan Alat Kendali Penabur Pakan Ikan Otomatis Berbasis Mikrokontroler Esp32 Firebase," 2024.
- [8] A. Seticloud Dkk., "Alat Pemberian Pakan Ikan Otomatis Dan Monitoring Kualitas Air Berbasis Iot," *Jiko (Jurnal Informatika Dan Komputer)*, Vol. 8, No. 1, Hlm. 215, Feb 2024, Doi: 10.26798/Jiko.V8i1.1261.
- [9] A. U. Rahayu, M. Aris Risnandar, Dan I. Taufiqurrahman, "Sistem Kontrol Dan Monitoring Alat Pakan Ikan Otomatis Tenaga Surya Berbasis Internet Of Things," *Jitel (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, Dan Listrik Tenaga)*, Vol. 3, No. 3, Hlm. 203–212, Sep 2023, Doi: 10.35313/Jitel.V3.I3.2023.203-212.
- [10] Y. S. Teknik, E. Universitas, K. Maranatha, Dan J. S. Sumantri, "Rancang Bangun Alat Pemberi Pakan Ikan Otomatis Menggunakan Sistem Rotasi Wadah Berbasis Internet Of Things Design And Realization Of Automatic Fish Feeder Using Container Rotation System Based On Internet Of Things," *Telka*, Vol. 8, No. 1, Hlm. 36–48, 2022.
- [11] A. Yudamson, M. M. Ridho, Dan S. Alam, "Design And Implementation Of Control And Monitoring System For Automatic Fish Feeding In Floating Net Cages Using Lora Communication Module," 2024. [Daring]. Tersedia Pada: [Http://Jurnalnasional.Ump.Ac.Id/Index.Php/Irre](http://Jurnalnasional.Ump.Ac.Id/Index.Php/Irre)
- [12] J. Mukromin, "Rancang Bangun Alat Pemberi Pakan Burung Otomatis Berbasis Iot (Internet Of Things) Dengan Notifikasi Telegram," Tugas Akhir, Universitas Semarang, 2024.
- [13] Y. S. Teknik, E. Universitas, K. Maranatha, Dan J. S. Sumantri, "Rancang Bangun Alat Pemberi Pakan Ikan Otomatis Menggunakan Sistem Rotasi Wadah Berbasis Internet Of Things Design And Realization Of Automatic Fish Feeder Using Container Rotation System Based On Internet Of Things," *Telka*, Vol. 8, No. 1, Hlm. 36–48, 2022.
- [14] E. Jamiyanti, E. H. Agustini, Dan I. Fata, "Sistem Monitoring Water Turbidity Aquaculture Pada Budidaya Ikan Lele Bebasis Plts," *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil Dan Teknik Informasi*, Vol. 7, No. 2, Hlm. 190–198, Sep 2024, Doi: 10.38043/Telsinas.V7i2.5615.
- [15] M. I. Sya'abani, "Analisis Kinerja Panel Surya Pada Alat Pemberi Pakan Ikan Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino," Skripsi, Universitas Pancasakti Tegal, 2025.
- [16] Saipul Dkk., "Green Energy Powered Autonomous Iot Catfish Feeder Prototype Based On Arduino Mega And Esp-8266," Dalam *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, Institute Of Physics, 2023. Doi: 10.1088/1755-1315/1267/1/012037.

- [17] A. U. Rahayu, M. Aris Risnandar, Dan I. Taufiqurrahman, “Sistem Kontrol Dan Monitoring Alat Pakan Ikan Otomatis Tenaga Surya Berbasis Internet Of Things,” *Jitel (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, Dan Listrik Tenaga)*, Vol. 3, No. 3, Hlm. 203–212, Sep 2023, Doi: 10.35313/Jitel.V3.I3.2023.203-212.
- [18] S. Safitri, D. M. Sari, C. N. Insani, Dan S. A. Rachmini, “Sistem Kontrol Dan Monitoring Pemberi Pakan Ikan Otomatis Berbasis Iot,” *Jurnal Manajemen Informatika, Sistem Informasi Dan Teknologi Komputer (Jumistik)*, Vol. 1, No. 1, Hlm. 74–82, Des 2022, Doi: 10.70247/Jumistik.V1i1.12.
- [19] A. Tzounis, N. Katsoulas, T. Bartzanas, and C. Kittas, “Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges,” *Biosystems Engineering*, vol. 164, pp. 31–48, 2017.
- [20] M. Wolfert, L. Ge, C. Verdouw, and M.-J. Bogaardt, “Big data in smart farming – A review,” *Agricultural Systems*, vol. 153, pp. 69–80, 2017.
- [21] A. Setiawan, E. Arlitasari, M. Zuhri, dan A. Hendriana, “Penerapan IoT untuk Monitoring Pemberian Pakan Ikan Otomatis pada Akuarium di Perikanan SV IPB,” *Jurnal Informatika Teknologi dan Sains (Jinteks)*, Vol. 4 No. 3, 2025.
- [22] E. M. Indrawati, B. Suprianto, dan U. Kartika, “Pemberi pakan ikan otomatis berbasis IoT dengan Fuzzy Logic Controller (FLC) berdasarkan kualitas air (suhu, pH, kekeruhan),” *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 13, no. 3, pp. 383–394, 2024, doi:10.23887/jstundiksha.v13i3.85982.
- [23] M. A. Handoko Putra, H. Imron, T. Adhitya, dan B. Wibowo, “Automatic fish feeders for fish farming in aquariums based on the Internet of Things (IoT),” *Jurnal Komputer dan Elektro Sains*, vol. 1, no. 1, pp. 18–21, 2023, doi:10.58291/komets.v1i1.98.