

Rancang Bangun Smart Feeder Terintegrasi Monitoring Kualitas Air Bertenaga Surya Berbasis IoT pada Budidaya Perikanan

Elvinda Bendra Agustina^{1*}, Dian Arif Rachman², Yusril Ihza Tachriri³, Jessika Artamevira⁴,
Khusfiatul Kholisah⁵

^{1*,2,3,4,5}Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Institut Teknologi dan Sains Nahdlatul Ulama
Pekalongan, Pekalongan, Indonesia

Email: ^{1*}elvindabendra89@gmail.com, ²dearrachman@gmail.com, ³ihza.yusril24@gmail.com,
⁴jessikaartamevira@gmail.com, ⁵khusfiatulkholisohhh@gmail.com

Abstract

This study presents the design and implementation of a smart feeder system integrated with real-time water quality monitoring powered by a solar photovoltaic system and based on the Internet of Things (IoT). The system automatically dispenses fish feed and monitors key water quality parameters such as pH, temperature, and Total Dissolved Solids (TDS). The ESP32 microcontroller was used as the main controller, integrated with multiple sensors and an MQTT-based monitoring application. The entire system is powered by a 30 Wp solar panel and a 12 V battery, enabling autonomous operation in remote areas without grid access. Experimental results show that motor rotation speed significantly affects feed distribution. The optimal feeding performance was achieved at medium motor speed with a feed distance of 8 m, ensuring uniform feed dispersion and low energy consumption (± 14.4 W). Water quality parameters remained within the ideal range for freshwater aquaculture: pH 6.6–6.9, temperature 27.5–28.8 °C, and TDS 380–450 ppm. The photovoltaic system generated around 90–110 Wh/day, meeting the system's daily energy demand (± 45 Wh/day). This integrated IoT–solar solution demonstrates high efficiency and sustainability, suitable for rural aquaculture applications.

Keywords: Smart Feeder, IoT, Water Quality, ESP32, Solar Energy.

Abstrak

Penelitian ini membahas rancang bangun sistem *smart feeder* yang terintegrasi dengan *monitoring* kualitas air berbasis Internet of Things (IoT) dan bertenaga surya. Sistem ini dirancang untuk memberikan pakan ikan secara otomatis sekaligus memantau parameter kualitas air seperti pH, suhu, dan Total Dissolved Solids (TDS) secara *real-time*. Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai pengendali utama yang terhubung dengan sensor dan modul Wi-Fi untuk mengirim data ke aplikasi MQTT. Sistem menggunakan panel surya 30 Wp dan aki 12 V sehingga dapat beroperasi secara mandiri di daerah terpencil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kecepatan motor berpengaruh terhadap jarak dan pola sebar pakan. Distribusi optimal diperoleh pada kecepatan sedang (± 8 m) dengan konsumsi daya rendah ($\pm 14,4$ W). Parameter air yang terukur berada pada pH 6,6–6,9; suhu 27,5–28,8 °C; dan TDS 380–450 ppm, yang masih dalam rentang ideal budidaya ikan air tawar. Sistem PLTS 30 Wp menghasilkan energi 90–110 Wh/hari, cukup untuk memenuhi kebutuhan sistem sebesar ± 45 Wh/hari. Dengan demikian, sistem *smart feeder* berbasis IoT dan PLTS ini efisien, hemat energi, dan sesuai diterapkan di daerah dengan keterbatasan akses listrik.

Kata Kunci: Smart Feeder, IoT, Kualitas Air, ESP32, Energi Surya.

1. PENDAHULUAN

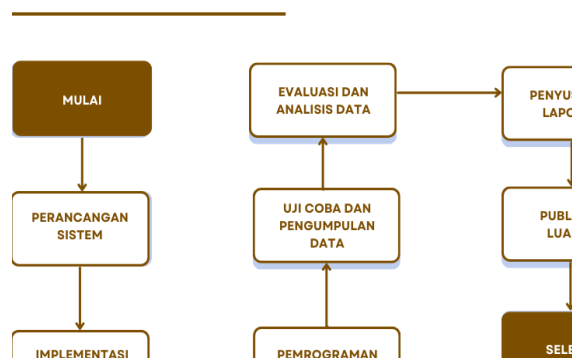
Budidaya ikan air tawar merupakan salah satu sektor penting dalam mendukung ketahanan pangan nasional. Namun, pemberian pakan ikan yang dilakukan secara manual sering kali tidak efisien dalam hal waktu, tenaga, serta biaya pakan. Pemberian pakan yang tidak terukur menyebabkan peningkatan *Feed Conversion Ratio (FCR)* dan

pencemaran air akibat sisa pakan berlebih (Wahyuni et al., 2022). Selain itu, kualitas air tambak seperti pH, suhu, dan TDS berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan ikan. Pemantauan kualitas air secara manual menghasilkan data yang tidak kontinu dan rawan kesalahan pengukuran (Sari et al., 2021). Inovasi teknologi *Internet of Things (IoT)* memungkinkan otomatisasi sistem pemberian pakan serta pemantauan kualitas air secara *real-time*. Pemanfaatan energi surya juga menjadi solusi ramah lingkungan untuk daerah dengan akses listrik terbatas (Ramadhan et al., 2021). Beberapa penelitian telah dilakukan dalam pengembangan sistem otomatis perikanan. Namun, sebagian besar penelitian hanya berfokus pada salah satu aspek, seperti sistem pakan otomatis (Putra et al., 2023) atau pemantauan kualitas air (Zhang et al., 2024). Penelitian terdahulu belum mengintegrasikan *smart feeder*, sensor kualitas air, dan sumber energi surya dalam satu sistem IoT terpadu.

Penelitian ini menghadirkan kebaruan berupa integrasi penuh antara *smart feeder*, sensor kualitas air, dan sumber energi surya berbasis IoT dalam satu sistem terpadu. Sistem bertenaga surya yang memungkinkan alat bekerja secara mandiri di lokasi terpencil tanpa ketergantungan pada jaringan listrik PLN. Model kendali adaptif yang memungkinkan sistem pemberian pakan dapat menyesuaikan berdasarkan parameter kualitas air yang terdeteksi, sebagai langkah awal menuju sistem budidaya cerdas berbasis data. Tujuan penelitian ini adalah merancang, membangun, dan menguji kinerja sistem *Smart Feeder* berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor pH, suhu dan TDS guna pemantauan kualitas air berbasis IoT secara *real-time*. Pengukuran kinerja sistem berdasarkan jarak sebaran pakan pada variasi kecepatan motor, konsumsi daya sistem menggunakan energi surya, stabilitas dan akurasi sensor kualitas air untuk meningkatkan efisiensi pemberian pakan dan menjaga kualitas air tambak.

2. METODOLOGI PENELITIAN

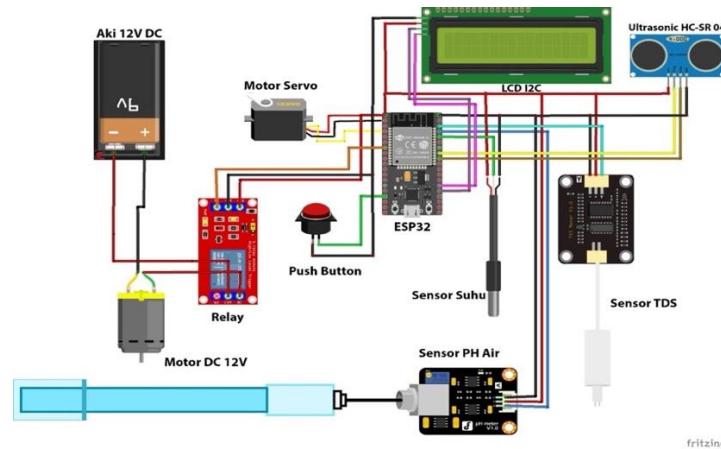
Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa (*engineering research*) yang bersifat eksperimen dan pengembangan prototipe yang bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji sistem *smart feeder* berbasis IoT yang terintegrasi dengan sistem monitoring kualitas air dan panel surya. Penelitian ini dilakukan melalui tahapan perancangan perangkat keras dan lunak, pengujian sistem, serta analisis kinerja perangkat berdasarkan data yang diperoleh. Alat dan komponen utama yang digunakan antara lain mikrokontroler ESP32, sensor pH, sensor suhu air (DS18B20), RTC (*Real Time Clock*) DS3231, Load Cell (HX711), Motor DC atau Servo, solar panel 30 WP, SSC, aki 12V, breadboard, kabel jumper, modul *relay*, dan komponen pendukung, *platform* IoT MQTT Panel. Prosedur penelitian di tunjukkan pada Gambar 1 dengan uraian tahapan sebagai berikut:



Gambar 1. Prosedur penelitian sistem smart feeder

1) Perancangan Sistem

Penyusunan diagram blok sistem dan alur kerja menggunakan fritzing seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain sistem *smart feeder*

Gambar 2 menunjukkan di bagian input terdapat sensor membaca parameter suhu, pH dan TDS. ESP32 berfungsi sebagai kontrol untuk memproses data, menentukan waktu pemberian pakan berdasarkan RTC dan kondisi air. Semua sistem ditenagai oleh panel surya yang terhubung ke baterai. Data dikirim ke platform IoT MQTT Panel dan dapat dilihat melalui smartphone.

2) Implementasi Perangkat Keras

Merakit perangkat keras (*hardware*) sesuai rancangan. Mengintegrasikan sensor pH, suhu, dan TDS dengan ESP32. Mengatur pengendalian motor pakan otomatis, dan sistem panel surya.

3) Pemrograman dan Integrasi IoT MQTT Panel

Dilakukan pemrograman pada mikrokontroler menggunakan Arduino IDE. Menghubungkan sensor dan aktuator dengan ESP32, dan menghubungkan ESP32 dengan platform IoT MQTT Panel.

4) Uji Coba dan Pengumpulan Data

Dilakukan pengujian sistem *smart feeder* untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan putaran motor DC terhadap jarak sebar dan jumlah pakan yang dikeluarkan. Variasi kecepatan diatur melalui pengendalian tegangan suplai motor dengan tiga kategori yaitu kecepatan rendah (*low speed*), kecepatan sedang (*medium speed*), dan kecepatan tinggi (*high speed*). Pengujian sensor pH, suhu dan TDS dengan membandingkan dua kondisi air yaitu air biasa (kontrol, tanpa aktivitas ikan) dan air kolam ikan (kondisi aktual budidaya ikan). Dilakukan analisis kebutuhan daya pada sistem yang bekerja selama 24 jam serta pengujian IoT MQTT panel.

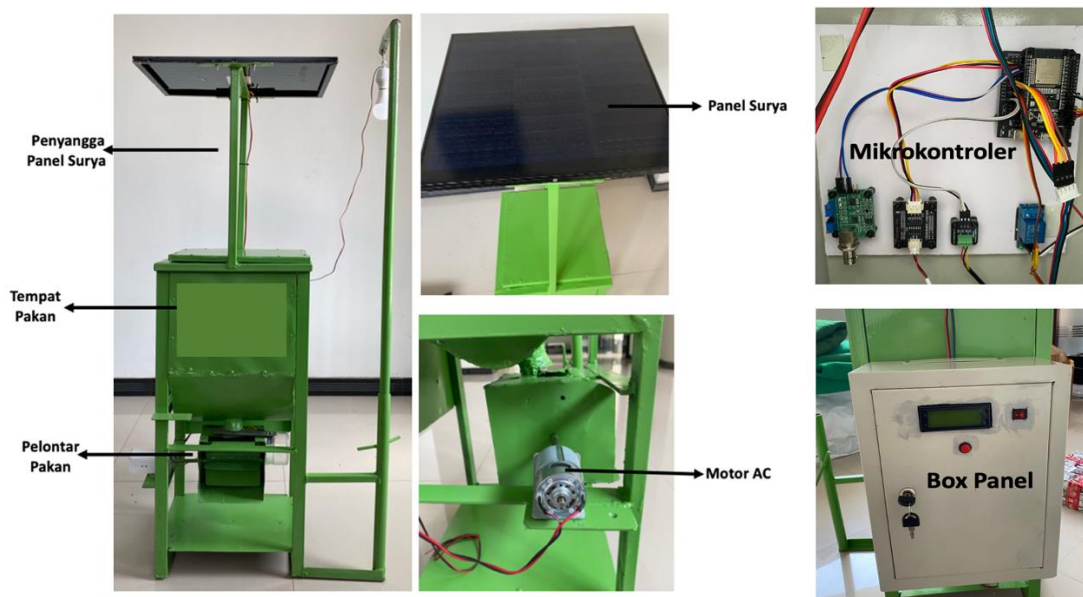
5) Tahap Evaluasi dan Analisis Data

Dilakukan analisis data efisiensi pemberian pakan, evaluasi performa sensor kualitas air (akurasi dan kestabilan), efektivitas pemanfaatan energi surya, dan mengukur tingkat keberhasilan sistem melalui parameter fungsional.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

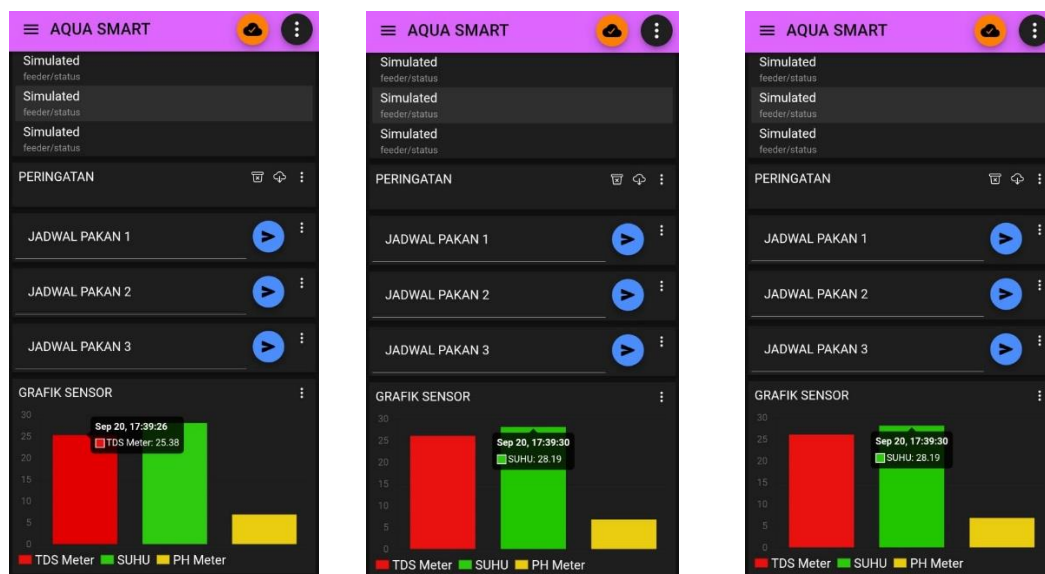
Gambar 3 menunjukkan sistem Smart Feeder terintegrasi control kualitas air berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu memberikan pakan ikan secara otomatis dan memantau kualitas air kolam secara real-time. Sistem ini dilengkapi dengan panel surya 30 Wp sebagai sumber energi utama dan aki 12 V DC sebagai penyimpan energi

listrik. Energi listrik dari panel surya dialirkan ke aki, kemudian digunakan untuk menyalakan mikrokontroler ESP32, sensor-sensor air, dan aktuator seperti motor DC serta motor servo. Dilengkapi dengan modul WiFi untuk mengirimkan data ke aplikasi MQTT. Alat ini mampu menampung pakan ikan sebanyak 10 kg, dilengkapi dengan sensor ultrasonik untuk mengetahui presentase status pakan. Alat ini memiliki dimensi 63 cm x 53 cm, tinggi pakan 49 cm lebar pakan 30 cm. Ukuran baling-baling 16,5 cm x 13 cm, ukuran panel 45 cm x 39 cm, ukuran box panel 40 cm x 30 cm x 18 cm dengan jarak sensor ke pakan 35 cm.



Gambar 3. Alat Smart Feeder terintegrasi kontrol kualitas air Smart Feeder berbasis Internet of Things (IoT)

Alat ini mampu beradaptasi dengan kondisi lingkungan meskipun sedang mendung atau hujan, alat ini mampu memberikan pakan sesuai setting waktu yang di tentukan karna energi listrik dari panel sudah disimpan di aki dan panel tetap dapat menyerap energi matahari dalam kondisi mendung/hujan.



Gambar 4. Tampilan Aplikasi MQTT pada smartphone

Gambar 4 menunjukkan tampilan aplikasi MQTT pada smartphone. ESP32 terhubung dengan sensor pH, suhu, dan TDS. Sensor bekerja secara kontinu, dan mengirim data untuk ditampilkan dalam bentuk grafik atau notifikasi secara real-time. ESP32 terhubung dengan panel surya dan baterai sebagai sumber energi utama. Pengguna dapat memantau dan mengendalikan sistem pakan serta menerima peringatan jika parameter air di luar batas normal. Sistem *aquasmart* ini terintegrasi dengan IoT dengan jadwal pemberian pakan 3x/hari menggunakan sumber daya panel surya 30W dengan koneksi Bluetooth. Berguna untuk pemberian pakan presisi sehingga menghemat pakan 15-20% dan meningkatkan FCR serta mencatat konsumsi otomatis. Servo motor digunakan untuk menggerakkan alat pemberi pakan ikan (Feeder). Sistem bekerja dengan prinsip otomatisasi berbasis waktu dan pengawasan kondisi lingkungan. Jadwal pemberian pakan diatur sebanyak tiga kali sehari, yaitu pagi (08.00), siang (12.00), dan sore (16.00), dengan durasi pakan selama 1 menit setiap siklus. Motor DC akan berputar untuk melontarkan pakan, sedangkan motor servo mengatur pembukaan katup pakan. Selain sistem pakan, mikrokontroler ESP32 membaca data dari sensor pH, TDS, dan suhu air. Data tersebut dikirimkan ke server monitoring berbasis web melalui koneksi Wi-Fi, sehingga pengguna dapat mengakses informasi kualitas air secara real-time melalui smartphone atau laptop.

4.1 Hasil pengujian pemberian pakan

Pengujian sistem pemberian pakan dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan putaran motor DC terhadap jarak sebar dan jumlah pakan yang dikeluarkan. Variasi kecepatan diatur melalui pengendalian tegangan suplai motor dengan tiga kategori yaitu (a) kecepatan rendah (Low Speed), (b) kecepatan sedang (Medium Speed), (c) kecepatan tinggi (High Speed). Motor DC 12 V dihubungkan ke sistem kendali berbasis relay dan PWM (Pulse Width Modulation) pada mikrokontroler ESP32, yang memungkinkan pengaturan kecepatan sesuai kebutuhan. Pengujian dilakukan dengan waktu operasi konstan selama 1 menit, sesuai dengan durasi pemberian pakan rutin pada sistem otomatis. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian variasi kecepatan motor pemberi pakan.

Tabel 1. Hasil Pengujian Variasi Kecepatan Motor Pemberi Pakan

No	Kecepatan Motor	Jarak Sebar Pakan (m)	Berat Pakan Tersebar (kg)	Karakteristik Sebaran
1	Rendah	2–3	0,5	Sebaran sempit, pakan menumpuk di satu titik
2	Sedang	±8	0,5	Sebaran merata, efektif untuk kolam kecil-menengah
3	Tinggi	±12	0,5	Sebaran luas, namun sebagian pakan melayang di permukaan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kecepatan motor berpengaruh langsung terhadap jarak dan pola sebar pakan. Pada kecepatan rendah, pakan hanya terlempar sejauh 2–3 meter dan cenderung menumpuk di satu area. Kondisi ini kurang ideal untuk kolam berukuran besar karena distribusi pakan tidak merata dan berpotensi menyebabkan ikan saling berebut pakan di satu titik. Pada kecepatan sedang, jarak sebar mencapai ±8 meter dengan pola distribusi yang merata di permukaan kolam. Kondisi ini dianggap paling efisien, karena semua ikan di berbagai area kolam memiliki peluang yang sama untuk mendapatkan pakan. Sebaran yang merata juga mengurangi risiko akumulasi sisa pakan di dasar kolam yang dapat meningkatkan nilai TDS dan menurunkan kualitas air. Sedangkan pada kecepatan tinggi, motor menghasilkan lontaran sejauh ±12 meter. Walaupun sebarannya luas, sebagian pakan terlempar terlalu jauh dan mengapung di luar

area efektif kolam. Hal ini menyebabkan efisiensi pakan menurun, serta potensi pemborosan bahan pakan meningkat. Gambar 5 menunjukkan jumlah pakan yang tersebar pada berbagai variasi kecepatan.



Gambar 5. jumlah pakan yang terlempar dengan berbagai variasi kecepatan.

Berdasarkan hasil pengamatan, kecepatan sedang merupakan kondisi optimal yang menghasilkan keseimbangan antara jarak sebar, pemerataan pakan, dan efisiensi energi. Motor DC pada mode sedang bekerja dengan arus $\pm 1,2$ A (tegangan 12 V), yang menghasilkan daya sekitar 14,4 W, jauh lebih hemat dibandingkan mode kecepatan tinggi (sekitar 22–25 W). Efisiensi pakan juga dipengaruhi oleh arah angin dan tinggi posisi pelontar terhadap permukaan air. Untuk kondisi kolam terbuka, jarak sebar 8 meter sudah mencukupi untuk menutupi area kolam berukuran 6×10 meter. Dengan demikian, sistem otomatis dapat diatur agar motor beroperasi pada kecepatan sedang untuk memperoleh distribusi pakan yang optimal, efisien, dan tidak mencemari air kolam. Integrasi hasil ini ke dalam sistem IoT memungkinkan pengendalian kecepatan motor secara adaptif.

4.2 Hasil Pengujian Sensor Kualitas Air

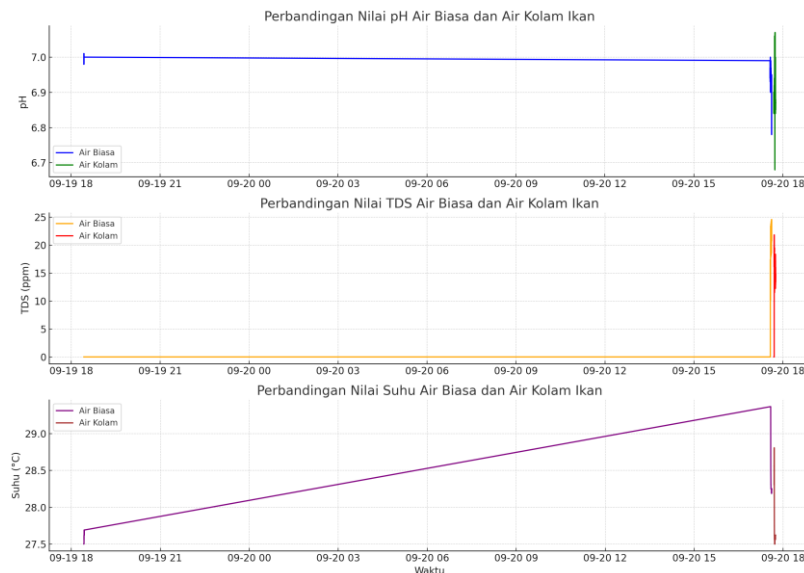
Telah dilakukan pengujian sensor kualitas air yang di tunjukkan oleh Gambar 6. Pengujian dilakukan dengan membandingkan dua kondisi air yaitu air biasa (kontrol, tanpa aktivitas ikan) dan air kolam ikan (kondisi aktual budidaya ikan).



Gambar 6. Pengujian sensor kualitas air

Hasil pengukuran pH ditampilkan pada Gambar 7. Nilai pH air biasa berada di kisaran 6,9–7,1, sedangkan air kolam ikan cenderung sedikit lebih rendah yaitu 6,6–6,9. Penurunan pH pada air kolam disebabkan oleh aktivitas biologis, seperti respirasi ikan dan proses dekomposisi bahan organik, yang menghasilkan CO_2 terlarut dan membentuk asam karbonat dalam air. Nilai pH ideal untuk budidaya ikan air tawar berkisar antara 6,5–8,5 (SNI 6482:2014), sehingga hasil pengukuran menunjukkan bahwa kualitas air kolam masih dalam batas optimal untuk pertumbuhan ikan.

Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai TDS air kolam ikan berkisar antara 380–450 ppm, sedangkan air biasa hanya sekitar 120–160 ppm. Kadar TDS yang lebih tinggi pada kolam ikan diakibatkan oleh akumulasi bahan organik, sisa pakan, dan kotoran ikan yang menambah jumlah zat padat terlarut di dalam air. Suhu air kolam sedikit lebih fluktuatif dibandingkan air biasa karena adanya sirkulasi dan aktivitas biotik di dalamnya.



Gambar 7. Grafik perbandingan pH, TDS, dan suhu antara air biasa dan air kolam ikan

Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran realtime perbandingan nilai Rata-rata pH, TDS dan suhu Air kolam dan biasa. Nilai pH rata-rata air kolam adalah ~6.88, sedangkan air biasa ~6.95. Perbedaan ini kecil tapi konsisten (kolam sedikit lebih asam). Rentang pH pada kolam berada sekitar 6.68–7.07, yang masih berada dalam kisaran aman untuk banyak ikan air tawar (umumnya pH ideal 6.5–8.5 untuk budidaya banyak spesies). Penyebab pH sedikit turun di kolam Adalah akumulasi sisa pakan, metabolit (ammonia, nitrit/nitrat), aktivitas mikroba. Ini wajar pada kondisi budidaya bila aerasi / pergantian air tidak memadai.

Nilai TDS di data menunjukkan rata-rata lebih rendah pada kolam (12.54 ppm) dibanding air biasa (15.03 ppm). Nilai 0.0 pada beberapa data kemungkinan akibat pembacaan sensor non-valid atau saat sensor belum terkalibrasi/tersambung/belum tercelum ke air. Nilai-nilai anomali tersebut tidak digunakan dalam analisis statistik, karena tidak merepresentasikan kondisi aktual air kolam. Secara umum TDS rendah (< 100 ppm) menunjukkan air relatif sedikit padatan terlarut yang bukan hal buruk, tetapi nilai absolut harus ditafsir relatif terhadap sumber air dan kebutuhan spesies. Suhu rata-rata: kolam ~27.7 °C, air biasa ~28.25 °C. Perbedaan kecil ini mungkin karena perbedaan volume, kedalaman, atau efek tata letak (naungan panel surya, evaporasi, atau perbedaan waktu pengukuran).

Tabel 2. Perbandingan nilai Rata-rata pH, TDS dan suhu Air kolam dan biasa

Sensor / Kondisi	Count	Mean	Min	Median	Max
pH Air kolam	100	6.875	6.68	6.87	7.07
pH Air biasa	100	6.948	6.78	6.95	7.01
TDS Air kolam (ppm)	100	12.54	0.0	14.93	21.85
TDS Air biasa (ppm)	100	15.03	0.0	18.73	24.59
Suhu Air kolam (°C)	83	27.69	27.50	27.62	28.81
Suhu Air biasa (°C)	100	28.25	27.50	28.25	29.37

Rentang suhu pada kolam (27.5–28.8 °C) masih ideal untuk banyak ikan konsumsi tropis (kebanyakan ikan air tawar nyaman di 24–30 °C; spesifik bergantung jenis). Berdasarkan pH, suhu, dan TDS yang terukur, kondisi secara umum cocok untuk budidaya (nilai tidak menunjukkan kondisi akut yang merugikan). Namun perlu monitoring kontinu terutama pH dan TDS agar fluktuasi dan tren negatif (mis. penurunan pH tajam atau kenaikan TDS) bisa ditangani cepat.

Integrasi sistem *smart feeder* dengan sensor kualitas air berbasis IoT memberikan kemampuan pemantauan dan pengendalian yang saling berhubungan secara langsung. Dalam budidaya ikan air tawar, aktivitas pemberian pakan merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi parameter kualitas air, terutama pH dan TDS. Pada sistem manual, pemberian pakan sering tidak terukur, sehingga sisa pakan mengendap di dasar kolam dan mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme. Proses ini menghasilkan senyawa asam dan amonia yang menurunkan nilai pH air serta meningkatkan kandungan TDS. Sebaliknya, dengan sistem otomatis berbasis *Real Time Clock* (RTC), jumlah dan frekuensi pakan dapat diatur secara presisi sesuai kebutuhan ikan, sehingga mengurangi sisa pakan dan menjaga kestabilan parameter air. Pemantauan *real-time* melalui aplikasi IoT MQTT Panel memungkinkan pengguna mengamati dinamika perubahan parameter tersebut secara kontinu. Ketika sistem mendeteksi kenaikan TDS yang signifikan atau pH turun di bawah ambang batas aman (misalnya $\text{pH} < 6.5$), pengguna dapat segera melakukan intervensi seperti penggantian sebagian air atau penyesuaian frekuensi pemberian pakan. Dengan demikian, integrasi *smart feeder* dan sensor kualitas air tidak hanya memberikan otomatisasi, tetapi juga menciptakan mekanisme umpan balik (*feedback loop*) antara pemberian pakan dan kondisi lingkungan perairan.

4.3 Analisis Energi PLTS

Untuk mengetahui kecukupan sumber energi peneliti membuat estimasi konsumsi harian komponen utama. *Semua angka berikut menggunakan asumsi konservatif; jika ada data konsumsi/kapasitas aki aktual, perhitungan bisa diperbarui. Berikut merupakan perkiraan konsumsi komponen:*

1. ESP32 (siaga + WiFi intermittently): $\sim 80\text{--}150\text{ mA @ }5\text{ V} \rightarrow$ rata-rata $\sim 0.4\text{ W}$
2. LCD I2C + sensor (total): $\sim 0.2\text{--}0.5\text{ W}$
3. Motor DC / Relay saat pemberian pakan: asumsikan puncak $1\text{ A @ }12\text{ V}$ saat aktif (12 W) — tetapi durasinya singkat: $1\text{ menit} \times 3\text{ kali} = 3\text{ menit} = 0.05\text{ jam}$. Energi motor harian $\approx 12\text{ V} \times 1\text{ A} \times 0.05\text{ h} = 0.6\text{ Wh}$ (sangat kecil).
4. Total beban kontinu (ESP32 + sensor + LCD) diasumsikan $\approx \sim 5\text{--}10\text{ W}$ conservatively (untuk perangkat kecil biasanya jauh $< 5\text{ W}$; saya gunakan konservatif total $\sim 1\text{--}2\text{ W}$ untuk mikrokontroler + sensor).

Sehingga estimasi energi harian yaitu :

1. Beban kontinu $\approx 2\text{ W} \rightarrow$ harian $= 2\text{ W} \times 24\text{ h} = 48\text{ Wh/day}$
2. Motor/aktuator harian $\approx 0.6\text{ Wh/day}$
3. Total $\approx \sim 49\text{ Wh/day}$

Energi tersedia dari PLTS 30 Wp

1. Asumsi peak sun hours (PSH) $\approx 4\text{ jam}$ (nilai tipikal di daerah tropis, dapat bervariasi).
2. Energi harian PLTS $\approx 30\text{ W} \times 4\text{ h} = 120\text{ Wh/day}$ (energi pada kondisi ideal)
3. Setelah memperhitungkan efisiensi pengisian, regulator, dan konversi (mis. 70–80% efisiensi), energi usable $\approx 84\text{--}96\text{ Wh/day}$.

PLTS 30 Wp + aki 12 V diperkirakan memadai untuk kebutuhan sistem yang tercantum, selama hari-hari mendung tidak berkepanjangan dan kapasitas aki cukup untuk menampung energi untuk malam/hari berawan. Sistem Smart Feeder menggunakan panel surya 30 Wp dengan efisiensi sekitar 18–20%. Berdasarkan hasil pengukuran harian, energi listrik yang dihasilkan panel surya berkisar 90–110 Wh/hari pada kondisi cuaca cerah. Energi ini disimpan dalam aki 12 V 7,5 Ah, yang mampu menopang sistem bekerja selama lebih dari 24 jam tanpa sinar matahari langsung. Konsumsi daya sistem per siklus operasi Adalah : (1) ESP32 dan sensor: $\pm 2,5$ W, (2) Motor DC (selama pakan): ± 15 W, (3) Total harian (3 kali pemberian pakan): ± 45 Wh. Dari hasil perhitungan tersebut, sistem tenaga surya dinilai cukup efisien dan mandiri energi, cocok diterapkan di daerah dengan keterbatasan akses listrik.

4. KESIMPULAN

Sistem Smart Feeder terintegrasi kontrol kualitas air berbasis IoT berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan fungsi utama pemberian pakan otomatis serta pemantauan kualitas air secara real-time melalui aplikasi MQTT. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kecepatan motor sedang (± 8 m) memberikan distribusi pakan paling optimal, efisien, dan sesuai untuk kolam berukuran sedang. Parameter kualitas air (pH 6,6–6,9; suhu 27,7 °C; TDS 380–450 ppm) menunjukkan kondisi lingkungan yang masih ideal bagi pertumbuhan ikan air tawar. Sistem PLTS 30 Wp dan aki 12 V 7,5 Ah mampu memenuhi kebutuhan energi harian perangkat dengan konsumsi daya sekitar 45 Wh, memastikan alat tetap berfungsi meski dalam kondisi cuaca mendung. Integrasi sistem IoT memungkinkan pengendalian adaptif berdasarkan kondisi lingkungan, sehingga meningkatkan efisiensi pakan 15–20%, menurunkan FCR, dan mendukung penerapan teknologi aquaculture berkelanjutan.

Saran

Mikrokontroler ESP32 dapat diatur untuk menyesuaikan kecepatan motor berdasarkan kondisi lingkungan, seperti kecepatan angin atau jumlah ikan aktif (yang dapat diprediksi dari pola waktu makan). Dengan demikian, sistem Smart Feeder tidak hanya otomatis, tetapi juga adaptif dan hemat energi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh LPPM ITSNU Pekalongan melalui skema Penelitian Internal Tahun Anggaran 2025 (Nomor: 05.06/PL1/LPPM/2025).

REFERENCES

- Abimanyu, D., Sumarno, S., Anggraini, F., Gunawan, I., & Parlina, I. (2021). Rancang Bangun Alat Pemantau Kadar pH, Suhu Dan Warna Pada Air Sungai Berbasis Mikrokontroler Arduino. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 1(6), 235–242. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.55>
- Agustina, E. B., Rachman, D. A., Nofillah, R., & Fitri, L. I. (2024a). Desain Sistem Smart Feeder Ayam Berbasis Internet of Things (IoT) Guna Mencegah Keterlambatan Pemberian Pakan. *Jurnal Fisika Unand*, 13(2), 297–302. <https://doi.org/10.25077/jfu.13.2.297-302.2024>
- Agustina, E. B., Rachman, D. A., Nofillah, R., & Fitri, L. I. (2024b). Rancang Bangun Sistem Pemberi Pakan Ternak Ayam Berbasis ESP32. *Teknik Komputer*, 55–66.

- Agustina, E. B., & Yuniarto, A. H. P. (2022). Study of BOD, COD and TSS Removal in Batik Industry Wastewater using Electrocoagulation Method. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 7(2), 150. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v7i2.59977>
- Ananda, N. D. W. I., Studi, P., Lingkungan, T., Teknik, J., Kimia, S., & Lingkungan, D. A. N. (2024). Dampak aktivitas penambangan emas tanpa izin (peti) di sungai batang masumai kabupaten merangin pada keanekaragaman makrozoobentos sebagai bioindikator pencemaran air.
- Asrori, M. K. (2021). Pemetaan Kualitas Air Sungai Di Surabaya. *Jurnal Envirotek*, 13(2), 41–47. <https://doi.org/10.33005/envirotek.v13i2.127>
- Asti Ichtiarini, and F. F. (2024). Tanggung Jawab Hukum terhadap Pencemaran Lingkungan Akibat Kelalaian dalam Pembuangan Limbah Ternak. *UMS Library*, 1–23.
- Febrianti, F., Adi Wibowo, S., & Vendyansyah, N. (2021). Implementasi IoT(Internet Of Things) Monitoring Kualitas Air Dan Sistem Administrasi Pada Pengelola Air Bersih Skala Kecil. *Jati (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 5(1), 171–178. <https://doi.org/10.36040/jati.v5i1.3249>
- Firmansyah, A., Syauby, D., & Prasetyo, B. H. (2022). Implementasi Algoritma Naive Bayes pada Sistem Monitoring dan Klasifikasi Kualitas Air Akuarium Ikan Mas Koki. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 6(9), 4128–4135.
- Gurum Ahmad Pauzi, Okta Ferli Suryadi, Gregorius Nugroho Susanto, dan J. (2020). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Tambak Udang (*Litopenaeus Vannamei*) Menggunakan Wireless Sensor Sistem (WSS) yang Terintegrasi dengan PLC CPM1A. *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, 1(3), 103–112.
- Heri Ariadi, Ashari Fahrurrozi, Wijianto, M. bahrus S. (2024). Strategi Pengelolaan Sumber Daya Ikan Berkelanjutan di Sengkarang, Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah. *Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan Dan Perikanan*, 8(1).
- Kemlkh. (2019). Indeks Kualitas Lingkungan Hidup 2009. In *Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia*.
- Kirana, K. C. (n.d.). Pengelolaan Sumber Daya Air Berdasarkan Perspektif Hukum Indonesia. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 2(17), 399–405.
- Latekeng, N. (2024). *Monitoring Kualitas Air Sungai (Kekeruhan , Suhu , TDS , pH) Menggunakan Mikrokontroler*. 6.
- Latukolan, G. J., & Wastumirad, A. W. (2024). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Sungai Berbasis Aplikasi Smartphone. *Jurnal JTIK (Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi)*, 8(2), 255–264. <https://doi.org/10.35870/jtik.v8i2.1511>
- Namara, I., Hartono, D. M., Latief, Y., & Moersidik, S. S. (2022). Manajemen Risiko dalam Pengelolaan Sumber Air Baku (Studi Kasus Sungai Cisadane Kota Tangerang). *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 22(1), 597.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2001). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. *Peraturan Pemerintah Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air*, 1–22.
- Pratama, I. P. Y. pramesia, Wibawa, K. S., & Suarjaya, I. M. A. D. (2022). Perancangan PH Meter Dengan Sensor PH Air Berbasis Arduino. *JITTER : Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Komputer*, 3(2), 1034. <https://doi.org/10.24843/jtrti.2022.v03.i02.p02>
- Salahuddin, S., Akhyar, A., & Siregar, T. N. A. (2022). Pengerian Asam Gelugur (*Garcinia Atroviridis*) Menggunakan ATmega 328 Berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Litek : Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika*, 19(2), 75–80. <https://doi.org/10.30811/litek.v19i2.15>

- Suriana, I. W., Setiawan, I. G. A., & Graha, I. M. S. (2022). Rancang Bangun Sistem Pengaman Kotak Dana Punia berbasis Mikrokontroler NodeMCU ESP32 dan Aplikasi Telegram. *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil Dan Teknik Informasi*, 4(2), 75–84. <https://doi.org/10.38043/telsinas.v4i2.3198>
- Wendi W. Luturmas, Daniel A. Sihasale, R. B. R. (2023). Dampak Sampah Plastik Terhadap Pencemaran Pantai Passo di RT. 019/RW. 004 Desa Passo Kecamatan Baguala Kota Ambon. *Jurnal Pendidikan Geografi Unpatti*, 2(April), 123–130.
- Wibisono, P. (2022). Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Pencemaran Air Berdasarkan Parameter Total Dissolved Solids (Tds) Dan Kekeruhan. *Repository UIN Syarif Hidayatullah Jakarta*.
- Yurnalisdel. (2022). 2. Analysis of the Impact of Liquid Waste on Environmental Pollution. *Formosa Journal of Sustainable Research*, doi: 10.55927/fjsr.v1i6.1951
- Azlina, Mat, Saad., Fadli, Fizari, Abu, Hassan, Asari., Salwani, Affandi., Azlina, Zid. (2022). 4. River pollution: a mini review of causes and effects. *Journal of Tourism, Hospitality and Environment Management*, doi: 10.35631/jthem.729011
- N. Shidqirrohman, G. Handoyo, and A. Ismanto, "Studi Pola Arus di Kawasan Muara Sungai Banger Kota Pekalongan, Jawa Tengah," *Indonesian Journal of Oceanography*, vol. 6, no. 1, pp. 39 - 48, Feb. 2024
- SNI 6482:2014. *Kualitas Air untuk Budidaya Ikan Air Tawar*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2022). *Water Quality Management for Aquaculture*. Rome: FAO Publications.
- Kurniawan, R., & Hartono, B. (2021). "Implementasi IoT untuk Monitoring Kualitas Air Kolam Ikan Lele." *Jurnal Teknologi Pertanian*, 15(2), 67–74.
- Putra, D. A., & Hidayat, A. (2020). "Perancangan Smart Feeder Ikan Otomatis Berbasis ESP32." *Jurnal Elektro dan Instrumentasi*, 8(1), 25–33.
- Nugroho, F., et al. (2023). "Analisis Efisiensi PLTS Skala Kecil untuk Sistem IoT Perikanan." *Jurnal Energi Terbarukan Indonesia*, 9(3), 112–121.
- Setiawan, D., & Pratama, R. (2022). "Pengaruh Kecepatan Motor DC terhadap Sebaran Pakan Otomatis Berbasis Mikrokontroler." *Jurnal Mekanika dan Otomasi*, 4(2), 87–94.
- Sari, E., & Lestari, W. (2023). "Optimasi Distribusi Pakan Ikan Menggunakan Sistem Pelontar Otomatis." *Jurnal Teknologi Akuakultur*, 11(1), 33–40.
- Nugraha, Y., et al. (2021). "Efisiensi Energi Motor DC pada Sistem Feeder Ikan Otomatis." *Jurnal Energi dan Otomasi*, 9(3), 115–122.