

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai sistem pada kolam ikan lele telah banyak dilakukan sebelumnya. Penelitian-penelitian ini menjadi dasar penting dalam merancang sistem untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas budidaya lele, khususnya dalam aspek *cost efficiency*. Berikut adalah beberapa penelitian yang relevan diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh (Raihan, 2021) Dalam jurnal berjudul “Sistem *Monitoring* dan Kontrol Air Kolam Ikan Lele Berbasis IoT”, peneliti merancang sistem yang dapat memantau dan mengendalikan pH serta kekeruhan air menggunakan sensor pH dan TDS. Sensor ultrasonik digunakan untuk mengetahui ketinggian air. Sistem ini dilengkapi mode otomatis dan manual, serta memanfaatkan platform *Blynk* untuk pemantauan jarak jauh. Mode otomatis akan membuka dan menutup keran berdasarkan ambang batas pH dan kekeruhan. Hasil pengujian menunjukkan sistem bekerja dengan baik dan responsif terhadap perubahan kualitas air. Kelebihan sistem ini adalah Integrasi sensor dengan IoT (*Blynk*) berjalan baik, responsif terhadap nilai ambang sensor, dan dapat beroperasi otomatis dan manual. Namun kelemahan dari penelitian ini adalah biaya pembuatan relatif tinggi karena banyak sensor dan modul serta tidak adanya solusi untuk energi alternatif.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh (Nurhidayat, 2021) pada jurnal “Pengendalian Kualitas Air Pada Budidaya Ikan Lele Jenis Mutiara”, sistem difokuskan pada pengukuran dan penyesuaian pH air menggunakan sensor pH, pompa, dan larutan asam-basa yang dikontrol oleh Arduino. Data pH dikirim melalui modul Bluetooth HC-06 ke *smartphone* pengguna. Sistem ini dibuktikan mampu menstabilkan pH dalam rentang ideal (6-8), dan menjaga kelangsungan hidup ikan hingga 100% dalam uji coba. Keunggulan sistem ini adalah Respons korektif terhadap pH dilakukan otomatis dengan pompa larutan, validasi langsung terhadap pertumbuhan dan perilaku ikan dan mudah dikembangkan untuk tambak kecil. Kelemahannya adalah tidak dilengkapi sistem pembuangan/pengisian air otomatis penuh serta tidak adanya penggunaan energi alternatif.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh (Irhamna et al., 2024) Dalam jurnal “Sistem *Monitoring* Air Pada Kolam Budidaya Ikan Lele Berbasis IoT”, peneliti mengembangkan sistem *monitoring* dengan parameter lengkap: pH, suhu, ketinggian air, dan kekeruhan. Menggunakan sensor pH, *turbidity*, suhu DS18B20, dan ultrasonik yang terhubung ke Arduino. Data dikirim secara *real-time* ke web menggunakan Laravel dan diberikan notifikasi melalui Telegram saat parameter berada di luar batas normal. Keunggulan sistem ini adalah *monitoring multi-parameter* dalam satu sistem, sistem notifikasi ke Telegram memberikan respons cepat, dan *interface* web lengkap dan informatif. Namun, kelemahannya adalah menggunakan banyak sensor sehingga biaya relatif tinggi, susah dalam hal *maintenance*, serta tidak adanya pengembangan menggunakan energi alternatif. Sebagai acuan dalam menentukan keterbaruan penelitian, Tabel 2. 1 memaparkan kelebihan dan kekurangan dari beberapa penelitian terdahulu.

Tabel 2. 1 Tabel Penelitian Terdahulu

No	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Kelebihan	Kekurangan
1	(Raihan, 2021)	Sistem <i>Monitoring</i> dan Kontrol Air Kolam Ikan Lele Berbasis IoT (BULE BOBOT)	Memiliki mode otomatis dan manual untuk penggantian air, mampu mengukur pH dan kekeruhan secara <i>real-time</i> , dapat dikendalikan melalui aplikasi Blynk, memanfaatkan teknologi <i>Internet of things</i> (IoT) untuk akses jarak jauh, serta mengintegrasikan beberapa sensor,	Biaya pembuatan yang relatif tinggi karena menggunakan banyak sensor dan modul, kompleksitas perawatan yang cukup tinggi, belum berfokus pada efisiensi biaya untuk budidaya skala besar, serta masih menggunakan listrik rumah sebagai sumber energi.

No	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Kelebihan	Kekurangan
			yaitu sensor pH, TDS, dan ultrasonik.	
2	(Nurhidayat, 2021)	Pengendalian Kualitas Air Pada Budidaya Ikan Lele Jenis Mutiara	Berfokus pada pengendalian pH air agar tetap optimal, menggunakan sistem otomatis untuk mengatur penambahan larutan asam maupun basa, terbukti dapat meningkatkan <i>survival rate</i> ikan lele, serta menggunakan komunikasi Bluetooth yang sederhana.	Hanya memonitor parameter pH tanpa memantau parameter lain, skala pengujian masih terbatas pada <i>box</i> eksperimen, belum dilengkapi sistem pembuangan dan pengisian air secara otomatis, serta masih menggunakan listrik rumah sebagai sumber energi.
3	(Irhamna et al., 2024)	Sistem <i>Monitoring</i> Air Pada Kolam Budidaya Ikan Lele Berbasis IoT	Mampu melakukan <i>monitoring multi- parameter</i> , meliputi pH, suhu, kekeruhan, dan ketinggian air, memanfaatkan IoT berbasis web untuk pemantauan secara <i>real-time</i> , menyediakan notifikasi melalui Telegram ketika	Lebih berfokus pada <i>monitoring</i> dibandingkan otomatisasi pengisian dan pembuangan air, menggunakan banyak sensor sehingga biaya implementasi relatif tinggi, serta masih menggunakan listrik

No	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Kelebihan	Kekurangan
			parameter berada di luar batas, serta memiliki tingkat akurasi sensor dengan nilai kesalahan kurang dari 2%.	rumah sebagai sumber energi.

Berdasarkan hasil studi literatur terhadap beberapa penelitian sebelumnya, sebagian besar sistem *monitoring* dan pengelolaan kualitas air pada budidaya ikan lele telah memanfaatkan teknologi *Internet of things* (IoT) untuk memantau kondisi air secara *real-time*. Namun, beberapa penelitian masih memiliki keterbatasan, seperti biaya implementasi yang relatif tinggi akibat penggunaan banyak sensor, belum menerapkan sistem otomatisasi pembuangan air secara optimal, serta masih bergantung pada sumber energi listrik dari jaringan PLN. Selain itu, beberapa penelitian hanya berfokus pada pemantauan parameter tertentu tanpa menyediakan sistem *monitoring* dan kontrol yang terintegrasi melalui *website* atau aplikasi.

Oleh karena itu, dibutuhkan suatu pengembangan sistem *monitoring* dan otomatisasi pembuangan air yang:

- 1) Menggunakan *electric solenoid valve* sebagai aktuator untuk proses pembuangan air secara otomatis maupun manual.
- 2) Memanfaatkan Aplikasi berbasis *Internet of things* (IoT) sebagai media *monitoring* dan kontrol secara *real-time*.
- 3) Dilengkapi fitur pengaturan jadwal, kontrol manual, dan pengaturan durasi pembukaan *valve* melalui Aplikasi.
- 4) Dilengkapi *monitoring* pH air dan *monitoring* baterai.
- 5) Memanfaatkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi utama untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi ketergantungan terhadap listrik konvensional.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Budidaya Ikan Lele Didalam Drum

Budidaya ikan lele dalam drum merupakan metode alternatif yang hemat tempat, biaya rendah, dan mudah diterapkan, khususnya di wilayah perkotaan dengan lahan terbatas. Sistem ini umumnya menggunakan drum plastik sebagai media pemeliharaan, dan sangat bergantung pada kualitas air yang stabil agar ikan dapat tumbuh optimal. Parameter seperti kadar amonia menjadi faktor utama dalam menjaga kesehatan ikan (Somat, 2016). Contoh budidaya ikan lele didalam drum dapat dilihat pada Gambar 2. 1 (Infoakuakultur, n.d.).



Gambar 2. 1 Budidaya Ikan Lele Didalam Drum

2.2.2 Amonia

Amonia dalam air kolam dihasilkan dari sisa metabolisme ikan dan dekomposisi sisa pakan. Amonia bebas (NH_3) bersifat toksik dan sangat membahayakan jika konsentrasinya tinggi, bahkan pada kadar 0,02 ppm sudah dapat menyebabkan stres pada ikan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pembuangan amonia secara rutin pada kolam atau drum ikan lele (Salim, 2023).

2.2.3 Sistem Pembuangan Air Kolam Ikan

Sistem pembuangan air pada tambak ikan umumnya menggunakan pipa pembuangan yang dipasang secara vertikal di dalam kolam. Pipa tersebut terdiri atas pipa utama yang dipasang pada ketinggian tertentu, umumnya sekitar setengah dari tinggi kolom air, serta pipa tambahan yang dipasang hingga mencapai permukaan air. Konfigurasi ini memungkinkan ketinggian air di dalam kolam tetap terjaga sesuai kebutuhan budidaya.

Prinsip kerja sistem ini adalah dengan membuka atau melepaskan pipa bagian atas sehingga air di dalam kolam mengalir keluar melalui saluran pembuangan akibat adanya tekanan hidrostatik. Bersamaan dengan aliran air tersebut, endapan

kotoran, sisa pakan, dan limbah hasil metabolisme ikan yang berada di dalam kolam ikut terbawa keluar. Proses pembuangan air secara berkala bertujuan untuk menjaga kualitas air, mengurangi penumpukan limbah, serta menciptakan lingkungan budidaya yang mendukung pertumbuhan dan kesehatan ikan. Contoh bentuk sistem pembuangan air pada kolam ikan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Bentuk Sistem Pembuangan Air Kolam

2.2.4 Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya atau PLTS adalah sebuah sistem yang digunakan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek *photovoltaic*. *Photovoltaic* sendiri merupakan fenomena fisika yang terjadi pada permukaan sel surya (*solar cell*) ketika menerima cahaya matahari. Selanjutnya, cahaya yang diterima diubah menjadi energi listrik. Hal ini disebabkan karena adanya energi foton cahaya yang membebaskan elektron – elektron sehingga mengalir dalam sambungan semikonduktor tipe n dan p yang pada akhirnya menimbulkan arus listrik (jendela den ngabe, n.d.). Contoh pembangkit listrik tenaga surya dapat dilihat pada Gambar 2. 3 (jendela den ngabe, n.d.).



Gambar 2. 3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.2.5 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah *Integrated Circuit* (IC) yang memiliki kemampuan untuk menerima sinyal input, mengolah data berdasarkan program tertanam, dan menghasilkan sinyal output yang dapat digunakan untuk mengendalikan aktuator seperti motor, *relay*, atau sistem otomatisasi lainnya. Secara ringkas, mikrokontroler berfungsi sebagai otak suatu sistem elektronik yang mampu berinteraksi secara otomatis dan terprogram dengan lingkungannya (sinauprogramming, 2024).

2.2.6 Internet of things (IoT)

Internet of things (IoT) adalah konsep yang memungkinkan perangkat fisik seperti sensor dan alat elektronik terhubung dalam suatu jaringan untuk mengumpulkan, dan memproses data, lalu melakukan tindakan otomatis atau dikendalikan dari jarak jauh. Dengan berkembangnya komputasi, sensor, sistem tertanam, dan analitik data, IoT telah berevolusi menjadi *platform* yang mengintegrasikan dunia fisik dan digital. Secara umum, IoT memungkinkan interaksi antar perangkat tanpa campur tangan manusia secara langsung, serta memungkinkan pengawasan via daring (marketing mertani, 2023).

2.2.7 MIT APP

MIT App Inventor adalah platform pengembangan aplikasi yang memungkinkan pengguna untuk membuat aplikasi *mobile* tanpa perlu menulis kode secara mendalam. Dua komponen penting dalam MIT App Inventor adalah komponen visual untuk desain antarmuka dan blok pemrograman untuk logika aplikasi. Keunggulan MIT App Inventor termasuk kemudahan penggunaan dan aksesibilitas bagi pemula, serta kemampuan untuk menguji aplikasi secara langsung melalui emulator tanpa perlu mengunduh *file* APK (MIT App Inventor, n.d.).

2.2.8 Firebase

Firebase merupakan platform pengembangan aplikasi berbasis *cloud* yang dikembangkan oleh Google. Firebase menyediakan berbagai layanan *backend* yang memungkinkan pengembang membangun aplikasi tanpa harus mengelola server secara mandiri. Layanan yang disediakan meliputi *Authentication*, *Cloud Storage*, *Cloud Functions*, *Hosting*, *Cloud Messaging*, serta *Realtime Database* (Firebase, n.d.).

Pada penelitian ini digunakan Firebase *Realtime Database*, yaitu basis data NoSQL berbasis *cloud* yang menyimpan data dalam format JSON dan melakukan sinkronisasi data secara *real-time* ke seluruh perangkat yang terhubung. Dengan kemampuan tersebut, perubahan data yang dikirim oleh mikrokontroler ESP32 dapat langsung diterima oleh *website* maupun aplikasi *monitoring* sehingga proses pemantauan dan pengendalian sistem dapat dilakukan secara cepat dan efisien. Selain itu, Firebase *Realtime Database* juga mendukung akses secara *offline* dan menyediakan mekanisme keamanan melalui *Security Rules*.

2.2.9 Error

Error dalam pengukuran merujuk pada selisih antara nilai yang terbaca oleh sensor dan nilai sebenarnya dari besaran yang diukur. Perbedaan ini menunjukkan adanya ketidakakuratan pada sensor, yang dapat disebabkan oleh ketidakandalan dalam memberikan data, gangguan kinerja, atau kemungkinan kerusakan teknis. Kondisi tersebut dapat mengakibatkan data yang dihasilkan menjadi kurang tepat, bahkan hilang, sehingga memengaruhi performa sistem secara keseluruhan. Persentase error dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-1.

$$\text{Persentase Error} = \left(\frac{|\text{Data Referensi} - \text{Data Pengukuran}|}{\text{Data Referensi}} \right) \times 100\% \quad 2-1$$

2.2.10 Debit Air

Debit air merupakan besarnya volume *fluida* yang mengalir melalui suatu penampang dalam selang waktu tertentu. Dalam ilmu mekanika *fluida*, debit digunakan untuk mengetahui laju aliran suatu fluida sehingga dapat digunakan dalam perancangan maupun evaluasi sistem perpipaan, irigasi, maupun sistem pengeluaran air otomatis (*Fluid Mechanics*, n.d.). Secara matematis, debit dinyatakan dengan persamaan 2-2:

$$Q = \frac{V}{t} \quad 2-2$$

dengan:

Q = debit aliran (m³/s, L/s, atau mL/s)

V = volume *fluida* yang mengalir

t = waktu yang diperlukan *fluida* untuk mengalir

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa debit berbanding lurus dengan volume air yang mengalir dan berbanding terbalik dengan waktu aliran. Semakin

besar volume air yang keluar dalam waktu yang sama, maka semakin besar nilai debitnya. Sebaliknya, jika volume yang sama membutuhkan waktu yang lebih lama untuk keluar, maka debit aliran akan semakin kecil.

2.2.11 Volume Kolam Lingkaran

Kolam renang berbentuk lingkaran biasanya memiliki kedalaman yang konsisten. Untuk menghitung volumenya, kita perlu mengetahui jari-jari (r) lingkaran dan kedalaman (h) kolam. Rumus yang digunakan adalah rumus volume silinder (Lutpi, n.d.). Secara matematis, volume air dinyatakan dengan persamaan 2-3:

$$\text{Volume} = \pi \times r^2 \times h \quad 2-3$$

dengan:

π (pi) = debit aliran (m^3/s , L/s , atau mL/s)

h = volume *fluida* yang mengalir

r^2 = waktu yang diperlukan *fluida* untuk mengalir

2.2.12 Dosis Pakan Ikan

Dosis pakan ikan merupakan ketentuan pemberian makan ikan harian yang diatur oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN) (Nasional, n.d.). Secara matematis, dosis pakan ikan dinyatakan dengan persamaan 2-4:

$$\text{Pakan harian} = \text{jumlah ikan} \times \text{berat ikan rata-rata} \times \text{dosis pakan (\%)} \quad 2-4$$

dengan:

Q = debit aliran (m^3/s , L/s , atau mL/s)

V = volume *fluida* yang mengalir

t = waktu yang diperlukan *fluida* untuk mengalir

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa debit berbanding lurus dengan volume air yang mengalir dan berbanding terbalik dengan waktu aliran. Semakin besar volume air yang keluar dalam waktu yang sama, maka semakin besar nilai debitnya. Sebaliknya, jika volume yang sama membutuhkan waktu yang lebih lama untuk keluar, maka debit aliran akan semakin kecil.

2.2.13 Kapasitas Energi Baterai (E_{bat})

Kapasitas energi baterai yang dapat dimanfaatkan (E_{bat}) menyatakan jumlah total energi listrik efektif yang tersimpan dan aman untuk dikonsumsi oleh sistem tanpa merusak struktur kimia sel baterai. Besarnya energi ini dipengaruhi oleh

tegangan nominal, kapasitas arus, serta *Depth of Discharge* (DoD) yang merupakan batas maksimum *persentase* pengosongan baterai (Battery, n.d.). Secara matematis, kapasitas energi baterai dinyatakan dengan persamaan 2-5:

$$E_{\text{bat}} = V_{\text{bat}} \times C_{\text{bat}} \times \text{DoD} \quad 2-5$$

dengan:

E_{bat} = Kapasitas energi efektif baterai (Wh)

V_{bat} = Tegangan nominal baterai (V)

C_{bat} = Kapasitas arus baterai (Ah)

DoD = *Depth of Discharge* / batas pengosongan aman (rasio 0 – 1)

2.2.14 Total Konsumsi Daya Sistem

Total konsumsi daya (P_{sistem}) merupakan akumulasi daya listrik yang diserap oleh seluruh komponen elektronika dalam sistem. Perhitungan ini memisahkan beban yang beroperasi pada tegangan utama (12V) dan beban mikro/sensor (5V) yang melewati konverter penurun tegangan (*step-down/buck converter*). Kerugian daya (*power loss*) pada proses konversi tegangan diakomodasi melalui variabel efisiensi *step-down* (η_{stepdown}) (*Photovoltaic System Sizing*, n.d.). Secara matematis, total konsumsi daya sistem dinyatakan dengan persamaan 2-6:

$$P_{\text{sistem}} = \sum P_{\text{beban_12V}} + \left(\frac{\sum P_{\text{beban_5V}}}{\eta_{\text{stepdown}}} \right) \quad 2-6$$

dengan:

P_{sistem} = Total daya konsumsi seluruh sistem (W)

$\sum P_{\text{beban_12V}}$ = Total daya komponen beban 12V (W)

$\sum P_{\text{beban_5V}}$ = Total daya komponen beban 5V (W)

η_{stepdown} = Efisiensi konverter *step-down* (rasio 0 – 1)

2.2.15 Daya Output Efektif Solar Panel

Daya output efektif panel surya ($P_{\text{PV_efektif}}$) adalah besarnya daya yang dapat diproduksi oleh modul fotovoltaik untuk mengisi baterai. Nilai ini tidak selalu sama dengan kapasitas puncak nominal (P_{WP}) karena dipengaruhi oleh faktor cuaca (*irradiance* dan intensitas cahaya matahari) serta efisiensi perangkat pengatur pengisian (*Solar Charge Controller* / SCC) (Spiegel, n.d.). Secara matematis, daya output efektif solar panel dinyatakan dengan persamaan 2-7:

$$P_{PV_efektif} = P_{Wp} \times F_{cuaca} \times \eta_{SCC} \quad 2-7$$

dengan:

$P_{PV_efektif}$ = Daya output riil panel surya (W)

P_{Wp} = Kapasitas puncak panel surya / *Watt-peak* (Wp)

F_{cuaca} = Faktor koreksi cuaca dan radiasi matahari (rasio 0 – 1)

η_{SCC} = Efisiensi daya *Solar Charge Controller* (rasio 0 – 1)

2.2.16 Estimasi Waktu Pengisian dan Pengosongan Baterai (*t*)

Estimasi waktu pengisian (t_{charge}) dan waktu pengosongan ($t_{discharge}$) digunakan untuk menganalisis durasi waktu yang dibutuhkan panel surya untuk mengisi ulang baterai hingga penuh serta durasi ketahanan baterai dalam menyuplai beban sistem (*autonomy time*) (*Solar Panel Charging Time for Battery Calculator*, n.d.). Secara matematis, estimasi waktu pengisian dan pengosongan baterai dinyatakan dengan persamaan 2-8:

$$t_{charge} = \frac{E_{terpakai}}{P_{PV_efektif} \times \eta_{bat}}, \quad t_{discharge} = \frac{E_{bat}}{P_{sistem}} \quad 2-8$$

dengan:

t_{charge} = Waktu pengisian baterai (jam)

$t_{discharge}$ = Waktu pengosongan / ketahanan baterai (jam)

$E_{terpakai}$ = Energi baterai yang dikonsumsi dan perlu diisi kembali (Wh)

E_{bat} = Kapasitas energi baterai yang tersedia (Wh)

$P_{PV_efektif}$ = Daya *output* efektif panel surya (W)

P_{sistem} = Total daya konsumsi beban (W)

η_{bat} = Efisiensi pengisian kimiawi baterai (umumnya 0,85 – 0,90)