

Rancang Bangun Prototipe Kontrol Kolam Lele Bertenaga Surya

Dani Kusuma Pratama^{1✉}, Aris Budiman²

^{1,2}Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura, Sukoharjo 57102, Indonesia

✉ Email korespondensi: danikusumaapr@gmail.com

Abstrak. Budidaya ikan lele merupakan salah satu sektor perikanan yang diminati di Indonesia karena nilai ekonomis tinggi dan siklus panen singkat. Namun, keberhasilannya sangat bergantung pada kualitas air kolam, seperti suhu, pH, kekeruhan (*turbidity*), dan kandungan zat terlarut (*TDS*). Pemantauan manual terhadap parameter ini membutuhkan waktu, tenaga, dan sering kali kurang akurat. Penelitian ini bertujuan mengembangkan prototipe sistem *monitoring* dan kontrol otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)* yang hemat energi untuk kolam lele, dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan dari panel surya. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali dengan empat sensor utama: DS18B20 (suhu), sensor pH, *turbidity sensor*, dan sensor *TDS*. Data dikirim ke *MQTT broker* dan diteruskan ke aplikasi *monitoring* berbasis web secara *real-time*. Fitur kontrol katup otomatis diintegrasikan untuk menguras air apabila dua dari tiga parameter utama melebihi ambang batas kualitas. Sistem ini menggunakan daya *hybrid*: panel surya 20WP dan baterai 12V 8Ah untuk perangkat *monitoring*, serta listrik AC untuk menggerakkan katup solenoid guna memastikan torsi angkat mencukupi. Sensor INA219 dan PZEM-017 digunakan untuk memantau konsumsi daya dan tegangan. Hasil pengujian menunjukkan sistem berjalan sesuai rancangan dengan akurasi tinggi: *TDS* (maks. *error* 1,97%), pH (2,5%), suhu (1,65°C), *turbidity* 45,20 NTU, dan arus INA219 (0,90%). Sistem pengurasan otomatis berfungsi efektif. Secara keseluruhan, sistem ini akurat, efisien, dan mampu memantau kualitas air kolam lele secara *real-time*, mendukung efisiensi budidaya dan penghematan energi.

Kata kunci: Budidaya Ikan Lele; Energi Surya; Sistem Kontrol Otomatis



PENDAHULUAN

Ikan lele merupakan salah satu komoditas budidaya air tawar yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan banyak dibudidayakan di Indonesia. Menurut data Kementerian Kelautan dan Perikanan (2023), produksi ikan lele nasional mencapai 1,8 juta ton dengan tingkat pertumbuhan 21,5% per tahun. Hal ini menunjukkan potensi besar dalam pengembangan budidaya lele (Wahyuni et al., 2023).

Pengukuran kekeruhan air, pH air, dan suhu air serta sistem pergantian air kolam masih dilakukan secara manual sehingga menyulitkan peternak ikan lele dalam melakukan monitoring kolam ikan lele secara berkala. Oleh karena itu, perlu dibuat alat kontrol pengukur kekeruhan air, pH air, dan suhu air yang dapat dilakukan secara otomatis dan bisa di-monitoring melalui *smartphone*. Kualitas air akan dipantau secara *realtime* sehingga kualitas air budidaya ikan lele sesuai dengan standard budidaya ikan lele. *Standard* kekeruhan yang baik bagi ikan lele 0-50 NTU, pH 6,5-8 serta suhu air optimum dalam pemeliharaan ikan lele adalah 25°C- 30°C (Tasya Aulia et al., 2022).

Penggunaan panel surya untuk mengurangi penggunaan listrik dan menghemat biaya pengeluaran untuk penggunaan listrik dari PLN. Panel surya merupakan perangkat yang dapat mengubah pancaran sinar matahari menjadi energi listrik, sehingga energi listrik yang dihasilkan panel surya dapat dijadikan sebagai pasokan sumber energi agar dapat mengoperasikan pompa sebagai sistem sirkulasi air kolam. Sistem sirkulasi ini akan menjaga air kolam ikan agar terhindar dari penumpukan sisa pakan ikan yang tidak termakan yang dapat menghiilkan zat beracun bagi ikan lele (Gultom et al., 2024).

Salah satu penunjang berkembangnya teknologi yang sangat membantu atau memudahkan peternak dalam mengontrol pH air salah satunya yaitu *internet of thing (IoT)*, penelitian ini bertujuan untuk merancang alat *monitoring* pH air menggunakan alat berbasis *IoT*, dan melihat energi listrik yang di gunakan, dalam model penelitian ini menerapkan model 4D yaitu : *define, design, develop, disseminate* (Ilham qadri, 2023).

Listrik merupakan sebuah kebutuhan pokok umat manusia dalam memenuhi kebutuhan energi. Sumber energi alternatif yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik adalah energi matahari yang merupakan sumber energi baru dan terbarukan. Pembangunan PLTS dalam permasalahan ini merupakan hal yang sangat urgensi untuk dikembangkan. Pemanfaatan PLTS sebagai sumber energi alternatif maka diperlukan alat untuk memonitor sistem PLTS tersebut (Gunoto et al., 2022).

Pemanfaatan teknologi untuk budidaya ikan lele. Mitra yang yang sudah mencoba membudidayakan lele belum dilakukan secara optimal, masih sebatas budidaya dalam ember dengan lokasi budidaya tersebar di beberapa anggota mitra. Kedua, pengembangan obyek fisik; Tidak adanya fasilitas umum (fasum) aliran listrik PLN di



lokasi kolam ikan lele. Otomatisasi sistem kontrol kolam menggunakan sensor dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan budidaya (Setiawan et al., 2024).

Dengan menerapkan prinsip yang terdapat pada protokol *MQTT* yaitu mekanisme *publish-subscribe* dan berjalan di *layer* aplikasi. Protokol *MQTT* dapat melakukan proses mengirim dan menerima pesan untuk mengatur dan *monitoring* dengan yang dihendaki oleh *user*. Dalam mengirim dan menerima pesan ditentukan berdasarkan pada topik-topik. Berdasarkan hasil daripada pengujian, *resource* yang dibutuhkan lebih kecil. Dibandingkan protokol UDP ukuran paket data yang dimiliki ternyata lebih kecil dari protokol SNMP. Sistem *monitoring* dengan protokol *MQTT* pada perangkat *IoT* juga memiliki *delay* yang kecil yaitu 0.008634 *sec* dan nilai *throughput* 9,2 *MBit/sec*. Sehingga sistem tersebut dapat berjalan pada *bandwidth* rendah beserta *latency* tinggi (Abilovani et al., 2018).

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan merancang dan membangun sistem *monitoring* kualitas air kolam lele berbasis mikrokontroler ESP32 yang mengutamakan efisiensi energi. Sistem ini bertujuan untuk memantau parameter-parameter penting kualitas air secara *real-time* dan memberikan peringatan apabila terjadi kondisi yang tidak sesuai dengan standar ideal budidaya sambil meminimalkan konsumsi energi listrik. Perangkat keras utama terdiri dari ESP32 sebagai pusat kendali yang dihubungkan dengan berbagai sensor, di antaranya sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman, sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) untuk mengukur kadar zat padat terlarut, sensor *turbidity* untuk mendeteksi tingkat kekeruhan, serta sensor suhu DS18B20 untuk mengukur suhu air secara digital, modul INA219 yang dapat membaca tegangan dari baterai. Selain itu, modul PZEM-017 digunakan untuk memantau parameter pada panel surya seperti tegangan, arus, daya, dan energi menggunakan protokol komunikasi RS485 guna evaluasi efisiensi konsumsi energi. Seluruh data yang diperoleh dari sensor ditampilkan secara dinamis pada layar LCD 20x4 dengan antarmuka I2C, yang menampilkan 6 halaman informasi bergilir, yakni data sensor, *range* data ambang minimal sensor, status sistem dan alamat IP. Sistem ini mengimplementasikan konsep *hybrid* energi dimana komponen *monitoring* beroperasi dengan tenaga surya, sedangkan dua buah katup solenoid 12V yang dikendalikan oleh *relay* menggunakan sumber listrik AC untuk memastikan torsi pengangkatan optimal dalam fungsi pengurusan air kolam. Katup dapat dioperasikan secara otomatis berdasarkan evaluasi kondisi air. Modul RTC DS3231, yang juga memungkinkan pencatatan waktu terjadinya pengurusan otomatis. Mikrokontroler ESP32 berperan dalam membaca dan memproses data dari seluruh sensor, kemudian mengirimkan data tersebut ke *MQTT broker* menggunakan protokol



MQTT. Protokol ini dirancang khusus untuk komunikasi antar perangkat (*machine-to-machine*) dan dikenal karena ringan, cepat, dan efisien dalam hal konsumsi energi. MQTT *broker* berfungsi sebagai pusat distribusi data, menerima dan meneruskan informasi ke aplikasi *web*. Data yang dikirim akan disimpan dalam basis data dan ditampilkan secara *real-time* pada *dasbor web*. Pengguna dapat memantau kondisi kolam kapan saja melalui antarmuka *web* yang tersedia tanpa perlu berada di lokasi, sehingga menghemat energi transportasi dan operasional. Pengambilan keputusan sistem terhadap kondisi air didasarkan pada parameter ideal budidaya lele, seperti pH antara 6,5 – 8,5, suhu 26 – 32 °C, TDS antara 300 – 1000 PPM, dan tingkat kekeruhan >50 NTU.

Pada alat ini nilai sensor *turbidity* dan sensor pH yang berada di luar ambang batas akan secara otomatis membuka katup masuk dan katup buang dan akan berhenti bekerja bila kondisi kembali normal sesuai ambang batas. Sistem *monitoring* yang beroperasi dengan tenaga surya memungkinkan penghematan energi listrik yang signifikan dibandingkan sistem konvensional, terutama dalam operasional jangka panjang. Penelitian ini mengembangkan prototipe sistem kontrol otomatis bertenaga surya untuk kolam ikan lele. Sistem menggunakan empat sensor utama (suhu, pH, *turbidity*, dan TDS) yang terhubung ke mikrokontroler ESP32 untuk *monitoring* kualitas air secara *real-time*. Data sensor dikirim ke MQTT *broker* sebagai pusat distribusi untuk aplikasi *monitoring*. Sebagian besar komponen beroperasi dengan tenaga surya, sedangkan katup solenoid menggunakan listrik AC untuk memastikan performa optimal. Integrasi sensor INA219 dan PZEM-017 memungkinkan pemantauan konsumsi energi secara *real-time* untuk mengoptimalkan efisiensi energi.

$$\text{Nilai Selisih} = | \text{Nilai Alat Pembanding} - \text{Nilai Sensor} | \quad (1)$$

$$\text{Error} = \frac{\text{Nilai Selisih}}{\text{Nilai Alat Pembanding}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Rerata Error} = \frac{\text{Total Penjumlahan Data Nilai Error}}{\text{Banyaknya Data}} \quad (3)$$

Menentukan Nilai Selisih dihitung dengan mengambil nilai mutlak dari perbedaan antara alat pembanding (alat teruji) dengan nilai sensor yang diuji untuk mengetahui besarnya deviasi tanpa mempertimbangkan arah penyimpangan. *Error* dinyatakan dalam persentase dengan membagi nilai selisih terhadap nilai alat pembanding dikali 100%, yang menunjukkan seberapa besar kesalahan relatif sensor dibandingkan nilai sebenarnya. Rerata *error* diperoleh dengan menjumlahkan seluruh nilai *error* dari berbagai pengukuran kemudian dibagi dengan jumlah data sehingga memberikan gambaran konsistensi dan keandalan sensor secara keseluruhan. Contoh dalam pengukuran sensor pH, jika alat pembanding menunjukkan nilai 7,2 dan sensor pH yang



diuji membaca 6,9, maka nilai selisih adalah $|7,2 - 6,9| = 0,3$ sehingga *error* yang dihasilkan adalah $(0,3/7,2) \times 100\% = 4,17\%$. Pengukuran berulang dilakukan dengan hasil *error* masing-masing 4,17%, 2,78%, dan 5,26% maka rerata *error* yang diperoleh adalah $(4,17\% + 2,78\% + 5,26\%)/3 = 4,07\%$. Hasil rata-rata *error* 4,07% menunjukkan bahwa sensor pH memiliki tingkat akurasi yang cukup baik karena umumnya *error* di bawah 5% dianggap mencukupi untuk *monitoring* kualitas air.



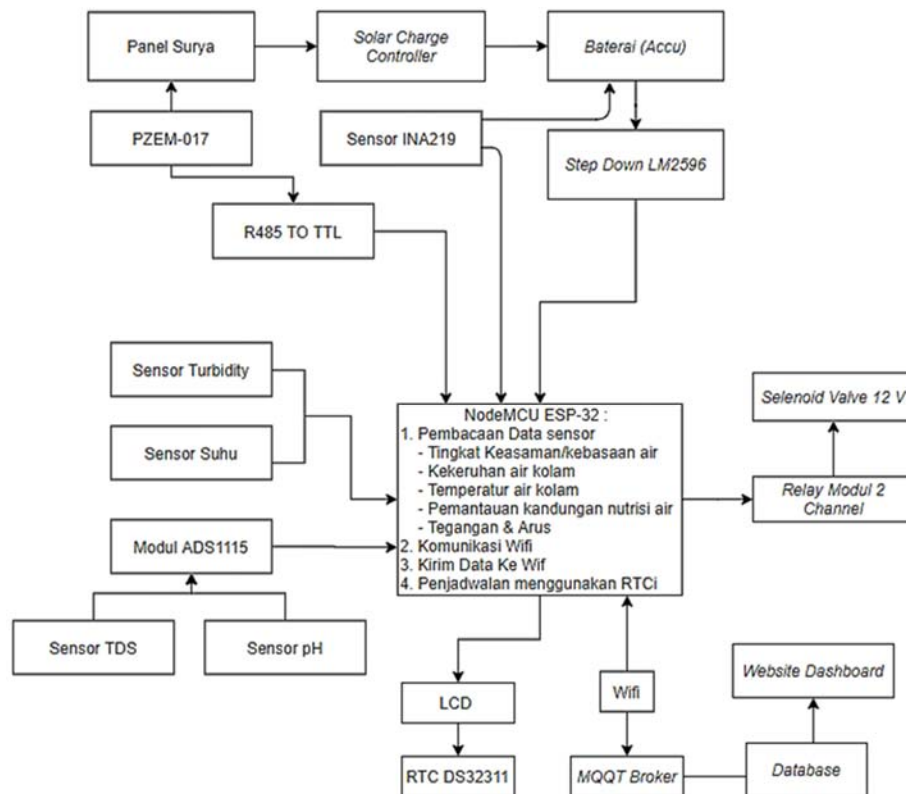
Gambar 1. Flowchart penelitian

Gambar 1 adalah tahapan penelitian yang dimulai dengan studi literatur dan analisis kebutuhan, yang bertujuan untuk memahami referensi alat sejenis terkait rancang bangun untuk *monitoring* pada kolam lele dan menentukan spesifikasi sistem yang akan dibuat. Perancangan sistem secara mekanikal, elektrikal beberapa komponen yang akan digunakan, dan *software* dengan Arduino IDE untuk menyusun struktur alat berdasarkan kebutuhan *monitoring* kualitas air pada kolam. Tahap berikutnya adalah pembuatan perangkat, yaitu proses perakitan *hardware* dan pemrograman *software* sesuai desain. Setelah alat selesai dibuat, dilakukan uji coba fungsionalitas dan analisis kesalahan untuk memastikan semua komponen bekerja dengan baik. Terakhir, penyusunan laporan penelitian dilakukan berdasarkan hasil pengujian dan observasi untuk mendokumentasikan temuan secara sistematis.

1. Perancangan Sistem

Perancangan sistem dan juga perangkat adalah tahap awal untuk memberikan berupa gambaran secara menyeluruh mengenai proses yang nanti akan dilakukan. Tahapan ini adanya ilustrasi mengenai perancangan perangkat yang sudah disesuaikan dengan kebutuhan dalam penggunaan sistem.



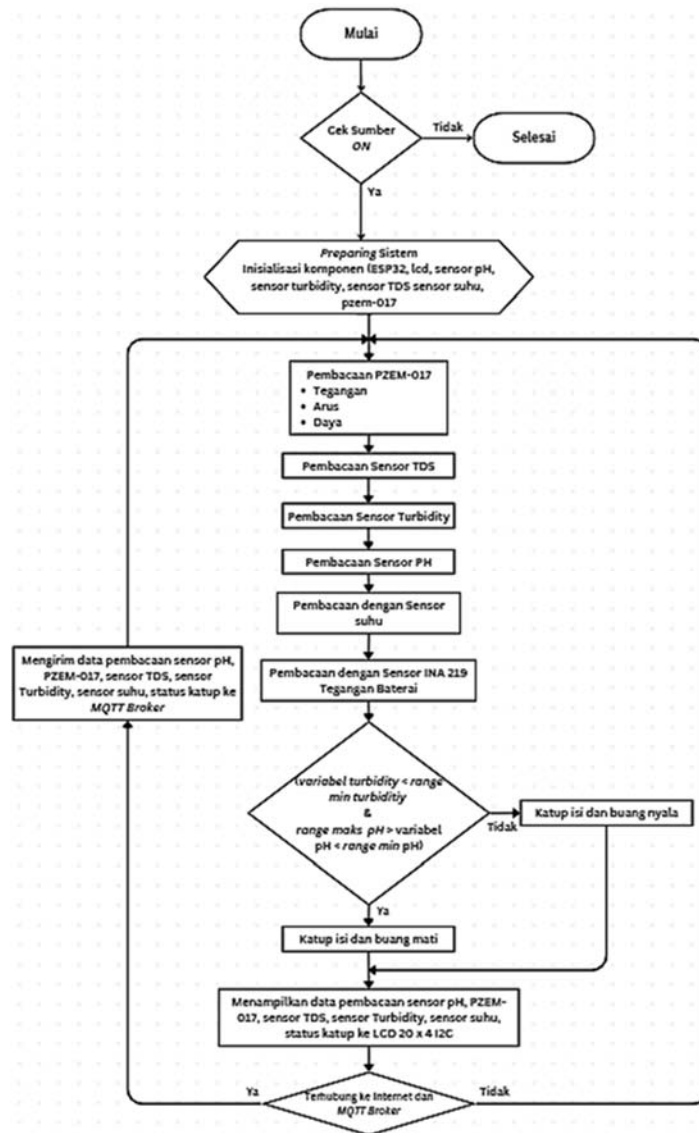


Gambar 2. Blok diagram sistem *monitoring* kontrol kolam lele

Gambar 2 menggambarkan panel surya sebagai sumber energi utama yang terhubung ke *solar charge controller* untuk mengatur pengisian baterai *accu* 12V. *Step down converter* LM2596 mengkonversi tegangan 12V ke 5V untuk kebutuhan komponen elektronik. Sistem *monitoring* daya terintegrasi melalui PZEM-017 untuk memantau konsumsi daya keseluruhan dan sensor INA219 untuk *monitoring* arus dan tegangan dari sumber energi surya. Sistem sensor kualitas air dirancang di sensor pH dan TDS menggunakan modul ADS1115 sebagai *converter analog-to-digital* dengan konsumsi daya minimal, sementara sensor suhu dan *turbidity* terhubung langsung ke ESP32 untuk menghemat energi. NodeMCU ESP32 yang beroperasi dengan tenaga surya menjalankan fungsi pembacaan sensor *real-time*, analisis parameter air, dan *monitoring* efisiensi sistem daya. Konektivitas WiFi memungkinkan pengiriman data ke *dashboard* tanpa infrastruktur kabel. Dalam sistem *hybrid* energi, kontrol aktuator menggunakan *relay 2 channel* untuk mengoperasikan *solenoid valve* 12V yang menggunakan sumber listrik AC karena keterbatasan torsi sistem DC pemisahan ini memungkinkan sebagian besar sistem beroperasi dengan energi surya. LCD 20x4 beroperasi dengan daya surya untuk *display* lokal, RTC DS3231 memberikan *timestamp* dengan konsumsi daya rendah. *Website*



dashboard memungkinkan *monitoring* jarak jauh tanpa kedatangan fisik yang boros energi transportasi.

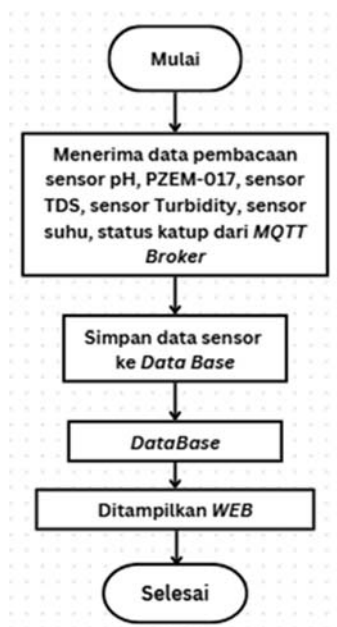


Gambar 3. Diagram alir sistem ESP32

Gambar 3 ialah sistem *monitoring* kualitas air berbasis ESP32 yang bekerja dengan alur yang terstruktur dan komprehensif untuk memantau parameter kualitas air secara *real-time*. Sistem dimulai dengan proses inisialisasi komponen utama meliputi ESP32 sebagai mikrokontroler utama, LCD untuk *display* lokal, dan berbagai sensor (pH, *turbidity*, TDS, suhu) serta modul PZEM-017 untuk *monitoring* parameter listrik seperti tegangan, arus, dan daya, yang memastikan semua perangkat keras siap beroperasi sebelum masuk ke tahap *monitoring* aktif. Sistem akan melakukan pembacaan sensor



secara berurutan dan sistematis dimulai dari PZEM-017 untuk data elektrikal, dilanjutkan sensor TDS untuk mengukur kadar mineral terlarut, *turbidity* untuk kekeruhan air, pH untuk tingkat keasaman, suhu untuk temperatur air, dan sensor INA219 untuk *monitoring* status baterai dengan pendekatan bertahap ini, mencegah konflik pembacaan antar sensor dan memastikan akurasi serta stabilitas data yang diperoleh. Sistem dilengkapi dengan algoritma kontrol kualitas air dalam mengevaluasi parameter kritis *turbidity* dan pH dengan membandingkan nilai *turbidity* terhadap batas *range* minimum yang aman dan pH terhadap *range* maksimum-minimum yang telah dikalibrasi sesuai standar kualitas air. Parameter yang terukur berada di luar batas normal atau toleransi yang ditetapkan, sistem akan secara otomatis mengaktifkan peringatan berupa status "Katup isi dan buang mati" sebagai mekanisme proteksi untuk mencegah kontaminasi lebih lanjut. Seluruh hasil pembacaan sensor ditampilkan secara *real-time* pada LCD 20x4 I2C untuk *monitoring* lokal dan secara simultan dikirim ke *MQTT broker* melalui koneksi internet untuk *monitoring* jarak jauh. Sistem beroperasi dalam *loop* kontinu dengan dukungan konektivitas internet yang memungkinkan transmisi data secara *real-time* ke *platform* IoT, sehingga memberikan solusi *monitoring* kualitas air yang terintegrasi, responsif, dan dapat diakses dari mana saja untuk keperluan analisis data historis maupun pengambilan keputusan cepat dalam pengelolaan kualitas air.



Gambar 4. Diagram alir *database* dan *website*

Gambar 4 menunjukkan alur kerja sistem *monitoring* IoT yang dimulai dari inialisasi sistem hingga visualisasi data. Proses dimulai dengan tahap "Mulai" kemudian

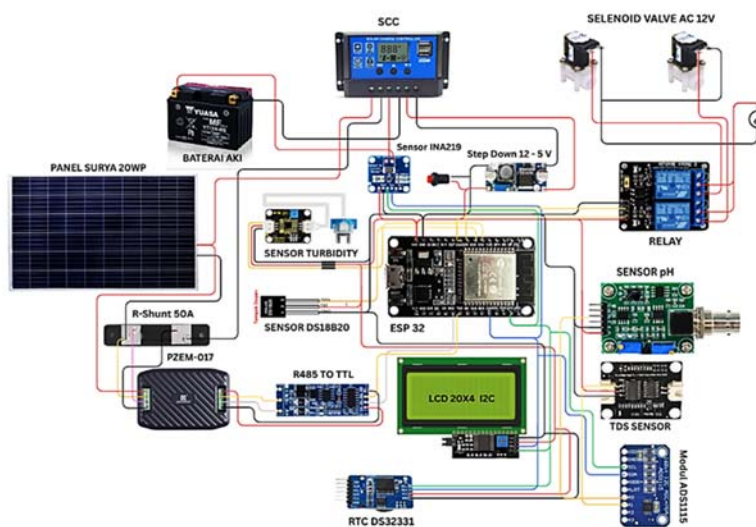


sistem melakukan koneksi ke *MQTT broker* sebagai protokol komunikasi untuk pengiriman data sensor secara *real-time*. Tahap selanjutnya adalah pengumpulan dan pengiriman data dari berbagai sensor melalui *MQTT broker*, meliputi sensor INA219, PZEM-017 untuk *monitoring* parameter listrik, sensor pH untuk mengukur keasaman, sensor TDS untuk padatan terlarut, dan sensor *turbidity* untuk kekeruhan air. Data dari semua sensor ini dikirim secara terpusat melalui *MQTT broker* yang berfungsi sebagai perantara komunikasi.

Data yang telah dikumpulkan kemudian disimpan ke dalam *database* untuk penyimpanan jangka panjang. Dari *database*, data ditampilkan pada *web dashboard* yang memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi sistem secara *real-time*. Sistem ini membentuk *loop monitoring* yang kontinyu, di mana setelah data ditampilkan di *dashboard*, proses kembali ke tahap pengumpulan data sensor untuk pemantauan berkelanjutan. Sistem ini memungkinkan *monitoring* jarak jauh yang efisien dengan akses data yang mudah melalui *interface web*.

2. Perancangan Alat

Kebutuhan akan sistem yang dapat melakukan pemantauan parameter secara *real-time* dengan konsumsi energi yang efisien menjadi semakin penting. Integrasi antara teknologi sensor modern, mikrokontroler berperforma tinggi, dan sistem energi terbarukan memberikan solusi inovatif untuk menciptakan perangkat *monitoring* yang mandiri dan berkelanjutan. Dalam konteks ini, perancangan sistem yang menggabungkan multiple sensor dengan *platform* ESP32 dan didukung oleh sistem tenaga surya.



Gambar 5. Skema rangkaian rancang bangun kontrol kolam



Gambar 5 merupakan rancang bangun prototipe kontrol kolam lele bertenaga surya dengan fokus penghematan energi listrik. Sistem ini merupakan rangkaian *monitoring* dan kontrol kualitas air otomatis berbasis ESP32 yang mengimplementasikan konsep *hybrid* energi untuk efisiensi maksimal. Panel surya 20Wp mengisi baterai 8AH melalui *charge controller* untuk memastikan sistem *monitoring* dapat beroperasi kontinyu bahkan saat malam hari atau cuaca mendung tanpa menggunakan listrik PLN. ESP32 yang beroperasi dengan tenaga surya berfungsi sebagai mikrokontroler pusat yang mengumpulkan data dari berbagai sensor kualitas air meliputi sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman, sensor TDS untuk mengukur padatan terlarut, sensor *turbidity* untuk mengukur tingkat kekeruhan air dan sensor suhu untuk mengukur suhu di dalam kolam. Untuk optimasi konsumsi energi, sensor TDS dan sensor pH menggunakan modul ADS1115 sebagai *converter* yang lebih efisien untuk menyesuaikan spesifikasi agar data yang keluar lebih stabil dan akurat. Data waktu *real-time* dikelola oleh modul RTC DS3231 dengan konsumsi daya sangat rendah. Alat ini dilengkapi dengan LCD 20x4 I2C bertenaga surya untuk menampilkan informasi sensor secara lokal dan modul *relay* untuk mengontrol *output solenoid valve* yang menggunakan sumber listrik AC untuk torsi optimal. *Step down converter* 12V ke 5V memastikan tegangan yang sesuai untuk komponen elektronik dengan efisiensi konversi tinggi. Sistem *monitoring* energi melalui PZEM-017 dan INA219 memungkinkan optimasi konsumsi daya secara *real-time*. Konfigurasi sistem *hybrid* ini sebagian besar komponen beroperasi dengan energi surya sehingga menghemat konsumsi listrik secara signifikan sambil tetap dapat melakukan *monitoring* otomatis dan memberikan respons kontrol berdasarkan parameter kualitas air yang.

3. Pengujian Sistem dan Alat

Pengujian sistem dan alat dilakukan untuk memvalidasi kinerja dan akurasi sistem *monitoring* kualitas air berbasis ESP32 yang telah dirancang. Tahap pengujian mencakup kalibrasi sensor-sensor yang digunakan meliputi sensor pH, *turbidity*, TDS, dan suhu dengan membandingkan hasil pembacaan terhadap alat ukur standar yang telah terkalibrasi. Pengujian dilakukan dalam berbagai kondisi lingkungan dan variasi parameter air untuk memastikan konsistensi dan kehandalan sistem. Selain itu, pengujian juga meliputi verifikasi konektivitas sistem ke *MQTT broker*, akurasi tampilan data pada LCD, serta stabilitas sistem dalam operasi jangka panjang. Setiap komponen diuji secara individual maupun terintegrasi untuk memastikan tidak ada interferensi antar sensor dan semua fungsi sistem bekerja sesuai dengan yang diinginkan.

4. Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem *monitoring* dan menginterpretasikan hasil pengukuran parameter kualitas air yang diperoleh dari sensor. Data hasil pengukuran sensor dibandingkan dengan nilai referensi menggunakan



perhitungan nilai selisih, persentase *error*, dan rata-rata *error* untuk menentukan tingkat akurasi masing-masing sensor. Data yang terkumpul akan dikirimkan dan ditampilkan pada *website* secara *real time* menggunakan komunikasi *MQTT* yang dapat secara grafis untuk mengidentifikasi dalam parameter kualitas air. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi kelayakan sistem sebagai solusi *monitoring* kualitas air *real-time*.

4.1. Pengolahan Data Daya

$$P = V \times I \tag{4}$$

Keterangan : P = Daya (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (I)

4.2. Pengolahan Data Iradiasi Matahari

$$H = \text{Lux} / 93 \tag{5}$$

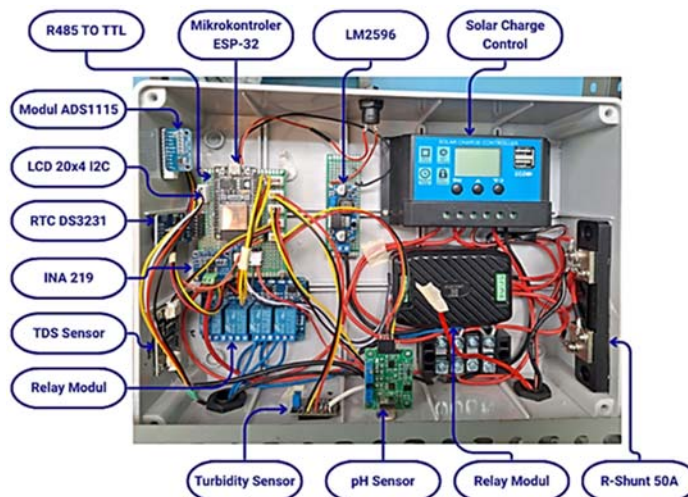
Keterangan : H = Iradiasi Matahari (W/m²)

Lux = Luminasi Matahari (Lux)

93 = Faktor konversi untuk mengubah satuan lux

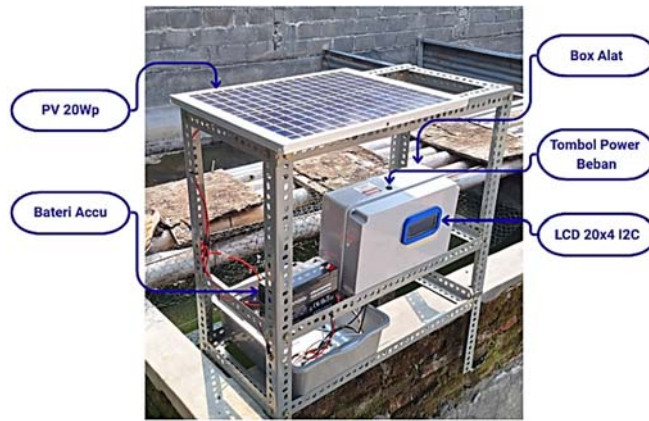
HASIL

1. Hasil Realisasi Alat



Gambar 6. Komponen dalam Alat

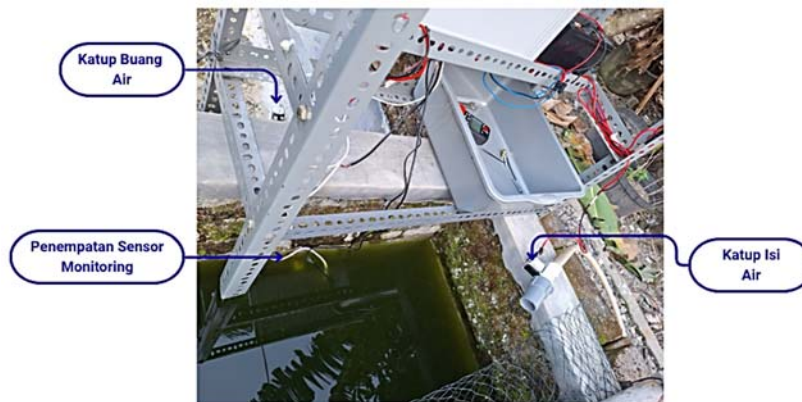




Gambar 7. Tampak kiri *Hardware*



Gambar 8. Tampak atas *Hardware*



Gambar 9. Penempatan sensor dan Katup





Gambar 10. Tampilan LCD

Gambar 6 sampai Gambar 10 tersebut merupakan hasil dari realisasi alat untuk sistem kontrol kolam lele bertenaga surya dengan *monitoring*. Gambar 6 menunjukkan komponen *internal* dalam *box* alat yang sudah dirancang, terdiri dari ESP32 sebagai kontroler utama, berbagai sensor (pH, TDS, *turbidity*, suhu), modul pendukung (ADS1115, RTC DS3231, INA219), *relay* modul, dan sistem manajemen daya (LM2596, *solar charge controller*, R-Shunt 50A) yang mengoptimalkan penggunaan energi surya. Gambar 7 memperlihatkan instalasi keseluruhan sistem dengan panel surya 20Wp di bagian atas, *box* alat berisi komponen elektronik, baterai *accu* sebagai penyimpan energi, dan *LCD display* untuk *monitoring* lokal yang terintegrasi dalam satu alat. Gambar 8 menampilkan detail panel surya yang menjadi sumber energi utama untuk sistem *monitoring*, dipasang pada struktur penyangga besi untuk memaksimalkan paparan sinar matahari. Gambar 9 menunjukkan implementasi sensor *monitoring* dan katup kontrol di kolam, dimana sensor-sensor beroperasi dengan tenaga surya sementara katup menggunakan sumber AC untuk torsi optimal sesuai konsep sistem *hybrid* energi. Gambar 10 memperlihatkan LCD 20x4 I2C yang beroperasi dengan daya surya menampilkan informasi bergulir 6 halaman berisi data sensor, parameter ambang batas, status sistem, dan alamat IP untuk *monitoring* lokal yang efisien energi.

PEMBAHASAN

1. Pengujian Sensor

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap kinerja sensor untuk memastikan akurasi dan reliabilitas pembacaan data. Pengujian sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor untuk *monitoring* keadaan kolam dengan alat ukur standar yang telah dikalibrasi Metode pengujian meliputi evaluasi respons linear pada beberapa sensor, konsistensi pembacaan, serta tingkat akurasi dalam kondisi operasi yang



bervariasi. Proses pengujian dimulai dengan kalibrasi sensor menggunakan nilai referensi yang telah diketahui. Sensor diuji pada rentang pengukuran minimum hingga maksimum untuk mengetahui karakteristik responsnya. Data hasil pengujian ini kemudian dianalisis untuk menentukan tingkat kesalahan dan selisih standar dari pembacaan sensor. Pengujian ini diambil beberapa data yang nantinya dapat menjadikan hasil lebih akurat dan juga menggunakan rumus untuk mencari nilai rata-rata.

$$\text{Nilai rerata} = \frac{\text{Total penjumlahan nilai tiap pengujian}}{\text{Banyaknya pengujian}} \quad (6)$$

Tabel 1. Hasil pengukuran pada sistem tenaga surya terhadap sensor PZEM-017 hari ke-1 sampai dengan hari ke - 3

Jam	Hari Ke -	Intensitas Cahaya Matahari (Lux)	Iradiasi Matahari (W/m ²)	Multimeter			PZEM-017		
				V	I	P	V	I	P
09.00	1	11314	121,65	14,54	0,39	5,67	14,45	0,42	6,06
	2	11430	122,90	13,34	0,76	10,13	13,39	0,80	10,71
	3	2834	30,47	13,39	0,34	4,55	13,40	0,30	4,02
Rerata		8526	91,67	13,76	0,50	6,78	13,75	0,51	6,93
10.00	1	15140	162,79	15,01	0,57	8,55	14,87	0,59	8,77
	2	15221	163,66	14,15	0,60	8,49	14	0,96	13,44
	3	7630	82,04	13,40	0,40	5,36	13,44	0,35	4,70
Rerata		12663,66	136,16	14,19	0,52	7,47	14,10	0,63	8,97
11.00	1	17496	188,12	16,27	0,68	11,06	16,92	0,71	12,01
	2	17410	187,20	13,48	0,27	3,63	13,47	0,22	2,96
	3	13989	150,41	13,55	0,35	4,74	13,59	0,40	5,43
Rerata		16298.33	175,24	14,43	0,43	6,48	14,66	0,44	6,80
12.00	1	21830	234,73	16,31	0,62	10,11	16,15	0,65	10,49
	2	22890	246,12	13,95	0,78	10,81	13,93	1,02	14,20



	3	10480	112,68	13,69	0,37	5,06	13,70	0,39	5,34
	Rerata	18400	197,84	14,65	0,59	8,66	14,59	0,69	10,01
	1	15420	165,80	15,62	0,65	10,15	15,8	0,71	11,37
13.00	2	16390	176,23	12,99	0,26	3,37	12,79	0,20	2,55
	3	23201	249,47	13,83	0,42	5,80	13,80	0,40	5,52
	Rerata	18337	197,17	14,15	0,56	7,99	14,13	0,44	6,48
	1	14180	152,47	13,50	0,58	7,83	13,29	0,20	2,65
14.00	2	3996	42,96	12,93	0,39	5,04	12,87	0,40	5,14
	3	19853	213,47	15,40	0,48	7,39	15,34	0,45	6,90
	Rerata	12676,33	136,30	14	0,41	5,45	12,98	0,27	3,45
	1	11090	163,54	14,87	0,56	8,45	14,90	0,55	8,42
15.00	2	10980	118,06	13,17	0,20	2,63	13,10	0,16	2,09
	3	12985	139,62	13,76	0,39	5,36	13,77	0,38	5,30
	Rerata	11685	140,41	13,39	0,38	5,48	14,58	0,49	7,31

Tabel 1 hasil pengukuran sistem tenaga surya terhadap sensor PZEM-017 selama tiga hari pengujian, dapat disimpulkan bahwa performa sistem sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya dan iradiasi matahari yang diterima oleh panel surya. Hari pertama rata-rata tegangan mencapai 14,58 V dengan arus 0,49 A dan daya 7,31 W, yang merupakan performa terbaik dibanding hari-hari berikutnya. Hal ini sejalan dengan intensitas cahaya dan iradiasi yang cukup stabil sepanjang hari. Hari kedua menunjukkan rata-rata daya yang hampir sama (7,30 W), bahkan dengan arus sedikit lebih tinggi (0,53 A), meskipun tegangan sedikit menurun. Hari ketiga terjadi penurunan signifikan terutama pada daya (rata-rata 5,32 W), yang disebabkan oleh rendahnya intensitas cahaya dan iradiasi sepanjang hari (rata-rata hanya 11.685 lux dan 140,41 W/m²). Pola pengukuran menunjukkan bahwa puncak kinerja panel surya umumnya terjadi antara pukul 11.00 hingga 12.00 siang, di mana nilai arus dan daya tertinggi tercapai. Sensor PZEM-017 mampu mencatat perubahan parameter kelistrikan secara akurat dan konsisten, sehingga



dapat disimpulkan bahwa alat ini bekerja dengan baik dalam sistem *monitoring* daya berbasis energi surya.

Tabel 2. Respon Otomatis Sistem saat Parameter Kualitas Air Melewati Ambang Batas (Simulasi Berdasarkan Rentang Pengujian)

No	Monitoring °C Sensor DS18B20	Nilai ambang batas sensor			Valve		Kuras Otomatis	Waktu Perubahan
		Sensor pH	Sensor TDS	Sensor <i>Turbidity</i>	Valve <i>In</i>	Valve <i>Out</i>		
1	30.2	8.1	540	42	ON	ON	Ya	-
2	29.9	6.8	460	35	OFF	OFF	Ya	1 menit
3	30.4	8.2	570	45	ON	ON	Ya	1 menit
4	30.1	6.9	450	32	OFF	OFF	Ya	1 menit
5	30.3	8.0	550	43	ON	ON	Ya	1 menit
6	30.0	7.1	440	31	OFF	OFF	Ya	1 menit
7	30.6	8.3	590	46	ON	ON	Ya	1 menit
8	29.8	6.7	430	30	OFF	OFF	Ya	1 menit
9	30.5	8.2	560	44	ON	ON	Ya	1 menit
10	30.9	7.0	445	33	OFF	OFF	Ya	1 menit

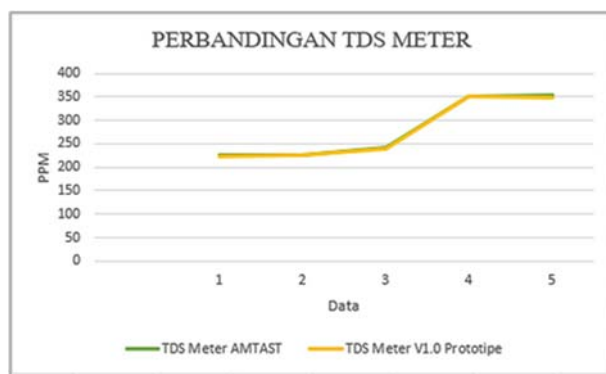
Tabel ini merupakan hasil pengujian dari sistem respon otomatis saat kualitas air kolam melewati ambang batas yang telah ditentukan. Sistem mengacu pada nilai sensor pH, TDS, dan *turbidity* untuk menentukan apakah perlu dilakukan proses pengurasan air secara otomatis. Dari 10 data yang ditampilkan, sebagian besar menunjukkan bahwa sistem dapat merespons dengan baik. Pada data ke-1, meskipun nilai pH (8,1), TDS (540 ppm), dan *turbidity* (42 NTU) berada dalam batas normal, katup tetap dalam kondisi aktif sebagai kondisi awal sistem. Pada data ke-2, saat nilai pH turun menjadi 6,8 dan *turbidity* meningkat ke 35 NTU, sistem mendeteksi dua parameter tidak ideal dan memicu kuras otomatis dengan waktu perubahan 1 menit. Hal serupa juga terlihat pada data ke-3 dan ke-5, di mana nilai pH lebih dari 8 dan TDS melebihi 550 ppm, sehingga kedua katup (in



dan out) aktif. Pada sebaliknya data ke-4 dan ke-10, hanya satu parameter yang berada di luar ambang batas, menyebabkan katup tidak aktif dan tidak terjadi pengurasan. Rata-rata waktu respon sistem adalah 1 menit sejak parameter melewati batas, yang menandakan bahwa sistem mampu memberikan respon cepat dan konsisten terhadap perubahan kualitas air.

Tabel 3. Pengujian Sensor TDS Meter dengan alat ukur penguji kualitas air digital AMTAST

Data Ke -	Pengukuran		
	TDS Meter AMTAST (PPM)	TDS Meter Prototipe (PPM)	Error (error)
1	227	224	1,32
2	225	224,90	0,04
3	242	238	1,65
4	351	351,4	0,11
5	355	348	1,97



Gambar 11. Grafik perbandingan TDS Meter

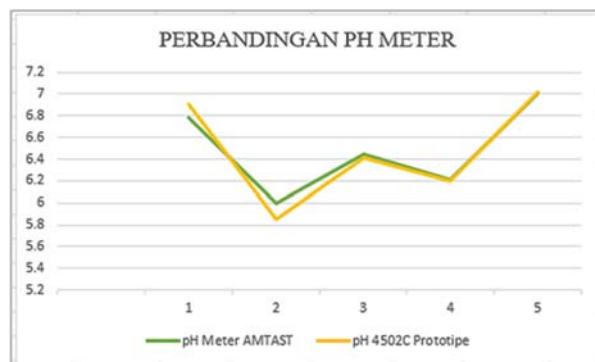
Berdasarkan tabel 3 data perbandingan TDS Meter dan gambar 11 grafik perbandingan TDS meter, lima pengujian yang dilakukan dengan membandingkan pembacaan TDS meter standar AMTAST dan TDS meter prototipe, tingkat *error* berkisar antara 0,04% hingga 1,97% dengan rata-rata *error* di bawah 2%, yang menunjukkan



tingkat presisi yang dapat diterima untuk pengaplikasian *monitoring* kualitas air. Grafik perbandingan menunjukkan pola pembacaan yang hampir identik antara kedua alat, dimana garis kuning mengikuti yang sama dengan garis hijau (AMTAST standar), dengan selisih yang sangat minimal. *Error* terkecil terjadi pada pengukuran data ke-2 (0,04%) dan ke-4 (0,11%), sementara *error* tertinggi pada data ke-5 (1,97%) masih dalam batas toleransi yang dapat diterima. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor TDS yang terintegrasi dalam sistem bertenaga surya mampu memberikan pembacaan yang akurat dan konsisten, sehingga mendukung dalam hasil akhir otomatis sistem kontrol yang tepat. Akurasi sensor yang tinggi cukup penting untuk efisiensi energi sistem karena mencegah aktivasi katup yang tidak perlu akibat pembacaan sensor yang tidak akurat.

Tabel 4. Pengujian Sensor pH Meter dengan alat ukur penguji kualitas air digital AMTAST

Data Ke -	Pengukuran		
	pH Meter AMTAST	pH Meter Prototipe	Error (error)
1	6,78	6,9	1,76
2	6	5,85	2,5
3	6,44	6,41	0,4
4	6,21	6,20	0,16
5	7	7,02	0,28



Gambar 12. Grafik perbandingan pH Meter

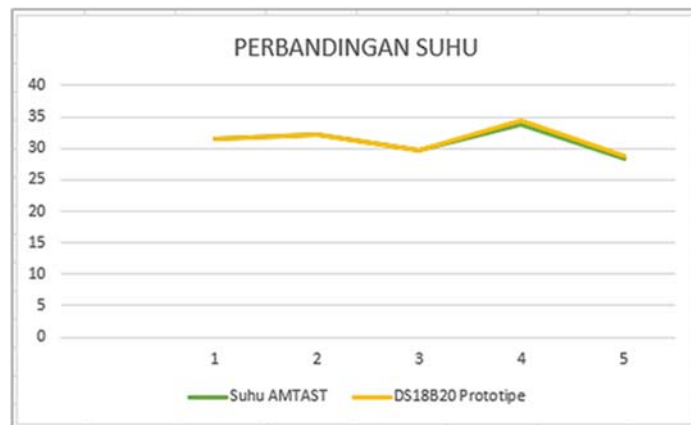


Pada tabel 4 pengujian sensor pH dan gambar 12 grafik perbandingan pH meter, dapat dianalisis bahwa sensor pH *prototype* (4502C) menunjukkan *monitoring* yang cukup baik dalam mengukur pH air dibandingkan dengan alat ukur teruji AMTAST. Pola grafik menunjukkan kedua sensor merespons perubahan pH dengan konsisten, terutama pada titik pengukuran ke-2 dimana terjadi penurunan pH yang signifikan dan keduanya menunjukkan angka yang sama. Analisis data kuantitatif dari tabel menunjukkan tingkat akurasi yang bervariasi pada setiap pengukuran, dengan nilai *error* terendah 0,16% pada pengukuran ke-4 dan tertinggi 2,5% pada pengukuran ke-2. Rata-rata *error* dari kelima pengukuran adalah $(1,76 + 2,5 + 0,4 + 0,16 + 0,28) / 5 = 1,02\%$, yang menunjukkan sensor *prototype* memiliki akurasi yang cukup baik karena berada di bawah 2%. Pengukuran ke-3 dan ke-4 menunjukkan akurasi terbaik dengan *error* masing-masing 0,4% dan 0,16%, menandakan sensor bekerja optimal pada rentang pH 6,2-6,4.

Tabel 5. Pengujian Sensor Suhu DS18B20 dengan alat ukur penguji kualitas air digital AMTAST

Data Ke -	Pengukuran		
	Suhu AMTAST	Sensor DSB1820	<i>Error (error)</i>
1	31,46 °C	31,42 °C	0,12
2	32,19 °C	32,20 °C	0,03
3	29,80 °C	29,63 °C	0,57
4	33,89 °C	34,44 °C	1,62
5	28,43 °C	28,9 °C	1,65





Gambar 13. Grafik perbandingan suhu

Pada tabel 5 data hasil perbandingan dan grafik 13 perbandingan sensor suhu DS18B20 dengan alat ukur teruji AMTAST, dapat dianalisis bahwa sensor DS18B20 *prototype* menunjukkan nilai yang cukup baik dalam pengukuran suhu air. Grafik terlihat bahwa kedua kurva hampir berhimpit dan mengikuti pola yang identik, menunjukkan sensor *prototype* mampu merespons perubahan suhu dengan akurat sesuai dengan alat teruji AMTAST. Pola grafik menunjukkan fluktuasi suhu yang konsisten pada kedua sensor, dengan rentang pengukuran antara 28°C hingga 35°C, dimana sensor DS18B20 mampu mengikuti setiap perubahan suhu dengan presisi yang tinggi. Analisis data kuantitatif dari tabel menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik dengan variasi *error* yang relatif kecil pada setiap pengukuran. *Error* terendah tercatat 0,03% pada pengukuran ke-2, sedangkan *error* tertinggi 1,65% pada pengukuran ke-5. Rata-rata *error* dari kelima pengukuran adalah $(0,12 + 0,03 + 0,57 + 1,62 + 1,65) / 5 = 0,798\%$, yang menunjukkan sensor DS18B20 memiliki akurasi yang sangat tinggi karena berada di bawah 1%. Pengukuran ke-1 dan ke-2 menunjukkan akurasi terbaik dengan *error* masing-masing 0,12% dan 0,03%, menandakan sensor bekerja optimal pada rentang suhu 31-32°C.

Tabel 6. Pengujian Sensor *Turbidity*

Pengukuran	
Data Ke -	Sensor <i>Turbidity</i>
1	28,15
2	32,45



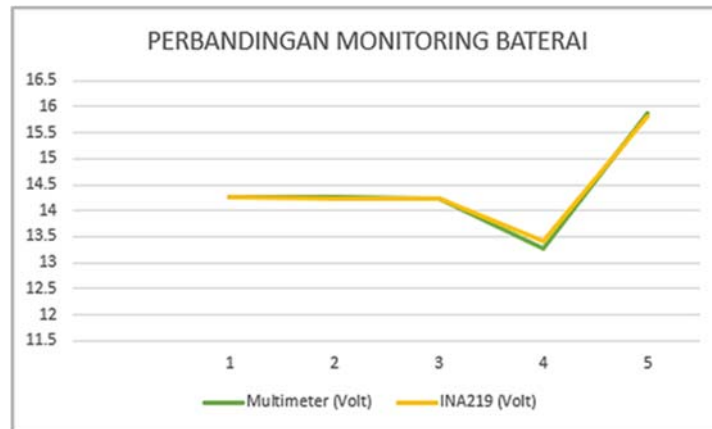
3	33,79
4	45,20
5	38,75

Berdasarkan tabel 6 pengujian sensor *turbidity*, data menunjukkan kondisi kekeruhan air yang cukup bervariasi dengan rentang 28,15 - 45,20 NTU. Hasil nilai-nilai ini menunjukkan kondisi air yang relatif bersih, bahkan mungkin terlalu bersih untuk standar budidaya lele tradisional yang biasanya lebih toleran terhadap kekeruhan tinggi. Fluktuasi nilai *turbidity* dari 28,15 NTU hingga puncaknya 45,20 NTU pada pengukuran keempat kemungkinan disebabkan oleh aktivitas ikan lele yang mengaduk sedimen dasar kolam, pemberian pakan, atau faktor lingkungan lainnya. Kondisi kekeruhan yang tercatat masih sangat ideal untuk kesehatan ikan lele, sensor *turbidity* menunjukkan hasil yang cukup baik dalam mendeteksi perubahan kondisi air kolam lele secara *real-time*, yang berguna untuk monitoring kualitas air dan deteksi dini jika terjadi perubahan drastis yang mungkin mengindikasikan masalah dalam sistem budidaya. Data ini membuktikan sensor dapat bekerja optimal dalam kondisi pengaplikasian nyata di kolam budidaya lele.

Tabel 7. Pengujian pada monitoring Persentase Baterai *Accu* (V) dengan alat ukur Multimeter

Data Ke -	Pengukuran		
	Multimeter (Volt)	Sensor INA219 (Volt)	Error (error)
1	14,25	14,27	0,14
2	14,25	14,22	0,21
3	14,24	14,24	0
4	13,28	13,40	0,90
5	15,87	15,80	0,44



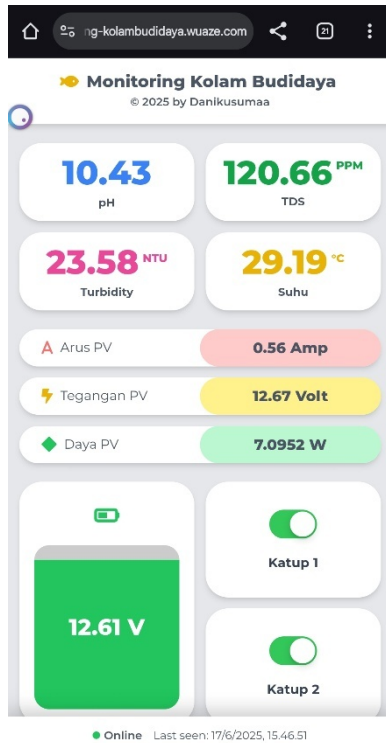


Gambar 14. Perbandingan *Monitoring* Baterai

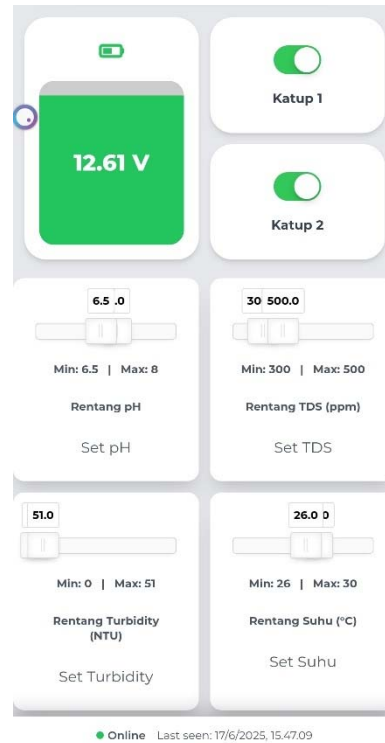
Pada tabel 7 data hasil monitoring baterai dan grafik pengujian sensor INA219 untuk *monitoring* baterai, dapat dianalisis bahwa sensor INA219 yang ditampilkan melalui dasbor menunjukkan hasil yang cukup baik dalam mengukur tegangan baterai dibandingkan dengan multimeter sebagai alat referensi. Pada grafik terlihat bahwa kedua kurva hampir berhimpit dan mengikuti pola yang identik, menunjukkan sensor INA219 mampu merespons perubahan tegangan baterai dengan akurat sesuai dengan pembacaan multimeter. Pola grafik menunjukkan fluktuasi tegangan baterai yang konsisten pada kedua alat ukur, dengan rentang pengukuran antara 13,28V hingga 15,87V, yang mengindikasikan kondisi baterai dalam berbagai *level charge*. Analisis data kuantitatif dari tabel menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi dengan variasi *error* yang minimal pada setiap pengukuran. *Error* terendah tercatat 0% pada pengukuran ke-3 dimana kedua alat menunjukkan nilai yang identik (14,24V), sedangkan *error* tertinggi hanya 0,90% pada pengukuran ke-4. Rata-rata *error* dari kelima pengukuran adalah $(0,14 + 0,21 + 0 + 0,90 + 0,44) / 5 = 0,338\%$, yang menunjukkan sensor INA219 memiliki akurasi yang luar biasa tinggi karena berada di bawah 0,5%. Pengukuran ke-1, ke-2, dan ke-3 menunjukkan akurasi terbaik dengan *error* di bawah 0,25%, yang sangat ideal untuk *monitoring* sistem *power management*. Sensor INA219 layak digunakan untuk sistem *monitoring* baterai dalam aplikasi IoT karena memiliki presisi yang sangat tinggi dan mampu memberikan data tegangan baterai yang akurat untuk keperluan manajemen daya sistem secara *real-time*.



2. Pengujian Mengirim Data Sensor Ke Web



(a) Tampilan data sensor



(b) Setting rentang sensor

Gambar 15. Tampilan halaman utama Antarmuka Web

Gambar 15 menunjukkan tampilan antarmuka web untuk sistem pemantauan dan kontrol otomatis kolam budidaya ikan lele yang terdiri dari halaman utama *dashboard* (a) dan halaman pengaturan parameter (b). *Dashboard* Utama (a) menampilkan empat parameter kualitas air dalam bentuk kartu *monitoring* dengan *color coding* yang berbeda: pH (biru), TDS (hijau), *Turbidity* (pink), dan Suhu (oranye). Setiap parameter menampilkan nilai *real-time* dengan satuan yang sesuai (pH, ppm, NTU, °C). Bagian *monitoring* sistem solar PV menampilkan tiga indikator dari sensor PZEM-017: Arus (0.56 Amp), Tegangan (12.67 Volt), dan Daya (7.0952 Watt). Panel kontrol menampilkan status baterai 12.61V dari sensor INA219 dengan indikator visual bar hijau, serta dua *toggle switch* untuk mengontrol Katup 1 dan Katup 2 yang keduanya dalam posisi aktif. Status sistem menunjukkan kondisi "Online" dengan timestamp terakhir aktivitas. Halaman Pengaturan (b) memungkinkan konfigurasi rentang nilai (*threshold*) untuk setiap sensor *monitoring* dengan input minimum dan maksimum: pH (6.5-8), TDS (300-500 ppm), *Turbidity* (0-51 NTU), dan Suhu (26-30°C). Komunikasi antarmuka web menggunakan protokol MQTT broker sebagai *message broker* untuk pertukaran data *real-time* antara ESP32



dan aplikasi *web*. ESP32 bertindak sebagai *publisher* yang mengirimkan data sensor ke *topic* MQTT tertentu, sementara aplikasi *web* bertindak sebagai *subscriber* yang menerima data tersebut melalui *WebSocket* atau *HTTP request*. Kontrol katup aplikasi *web* mengirimkan perintah ke *MQTT broker* yang kemudian diteruskan ke ESP32 sebagai *subscriber* untuk mengeksekusi kontrol *hardware*.

KESIMPULAN

Rancang bangun prototipe sistem kontrol kolam lele bertenaga surya telah berhasil dikembangkan dengan mengintegrasikan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan sistem *monitoring real-time* berbasis *web*. Sistem ini mampu melakukan pemantauan parameter kualitas air secara otomatis meliputi pH, TDS (*Total Dissolved Solids*), *turbidity*, dan suhu dengan akurasi yang memadai. Implementasi sistem solar *photovoltaic* sebagai sumber energi utama menunjukkan kinerja yang stabil dengan *output* daya rata-rata bervariasi antara 5,32-7,31 watt tergantung kondisi iradiasi matahari, dan tegangan baterai yang dapat mencapai hingga 14,58 volt pada kondisi optimal, membuktikan bahwa sistem dapat beroperasi secara mandiri dan berkelanjutan. *Dashboard monitoring* yang dikembangkan menyediakan antarmuka yang *user-friendly* dengan visualisasi data *real-time*, sistem kontrol katup otomatis, dan status *monitoring* yang komprehensif.

Pengujian prototipe selama tiga hari dengan nilai ambang batas yang disesuaikan dengan kondisi menunjukkan bahwa sistem dapat merespon perubahan parameter kualitas air dengan cepat dan melakukan tindakan korektif melalui kontrol katup secara otomatis. Sistem tenaga surya menunjukkan performa optimal pada intensitas cahaya tinggi dengan puncak kinerja terjadi antara pukul 11.00 hingga 12.00 siang, dimana daya tertinggi mencapai 7,31 watt. Sensor PZEM-017 terbukti mampu mencatat perubahan parameter kelistrikan secara akurat dan konsisten dalam berbagai kondisi iradiasi, hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang tidak gagal dan berjalan sesuai rancangan sistem dengan tingkat keandalan yang memadai untuk aplikasi *monitoring* berbasis energi surya. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, sistem ini berhasil mencapai tujuan penelitian dan memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abilovani, Z. B., Yahya, W., & Bakhtiar, F. A. (2018). Implementasi Protokol Mqtt Untuk Sistem Monitoring Perangkat Iot. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer (J-Ptiik)*, 2(12), 7521–7527. [Http://J-Ptiik.Ub.Ac.Id](http://j-ptiik.ub.ac.id)
- [2] Abilovani, Z. B., Yahya, W., & Bakhtiar, F. A. (2018). Implementasi Protokol Mqtt Untuk Sistem Monitoring Perangkat Iot. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer (J-Ptiik)*, 2(12), 7521–7527. [Http://J-Ptiik.Ub.Ac.Id](http://j-ptiik.ub.ac.id)



- [3] Gultom, N. S., Nurhilal, O., Setianto, S., Riveli, N., Bazry, N., Naqi, S. N., Hidayat, F. R., Aulia, M. R., Akbar, A., Aulia, F. M., Nibrasalhuda, S., Fitriyani, E., Dzakwan, N., Aprilyani, P., Aragi, Z. A., & Laely, S. N. (2024). Aplikasi Tenaga Listrik Panel Surya Untuk Sirkulasi Air Kolam Budidaya Lele. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 02(02), 17–23.
- [4] Gunoto, P., Rahmadi, A., & Susanti, E. (2022). Perancangan Alat Sistem Monitoring Daya Panel Surya Berbasis Internet Of Things. *Sigma Teknika*, 5(2), 285–294. <https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v5i2.4555>
- [5] Ilham Qadri. (2023). *Rancang Bangun Alat Monitoring Ph Dan Energi Listrik Pada Kolam Lele Berbasis (Iot)*. 87(1,2), 73. <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/167638/341506.pdf?sequence=1&isallowed=y%0ahttps://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8314/Loeblein%2c%20Lucineia%20Carla.pdf?sequence=1&isallowed=y%0ahttps://antigo.mdr.gov.br/saneamento/proees>
- [6] Setiawan, A. B., Riza, M. R., Rozaq, A., Alfayid, A., & Office, I. H. (2024). Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Aerator Budidaya Ikan Lele. *Abdimas Galuh*, 6(2), 1316. <https://doi.org/10.25157/ag.v6i2.14962>
- [7] Tasya Aulia, M., Anisah, N., Sulistyono, E., Negeri, P. M., & Belitung, B. (2022). *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan 2022 Sistem Kontrol Dan Monitoring Kualitas Air Pada Budidaya Ikan Lele Dengan Media Kolam Berbasis Iot*. 1–34.
- [8] Wahyuni, M., Furkonah Pasaribu, K., Nasution, M. W., Aisyah, S., Biologi, T., Tarbiyah, I., Negeri, I., Utara, S., William, J., Ps, I. V., Estate, M., Percut, K., Tuan, S., & Serdang, D. (2023). Pengaruh Pemberian Jenis Pakan Yang Berbeda Terhadap Laju Pertumbuhan Benih Ikan Lele (*Clarisa Sp*). *Journal On Education*, 05(02), 3944–3949.

