

# Pemantauan dan Kontrol Sistem Aquaponik Berbasis IoT Menggunakan ESP32 dengan Energi Terbarukan dari PLTS

Muhammad Iwan Aliadin<sup>1</sup>, Ardianto Dwi Widiaputra<sup>2</sup>, Muhamad Fikri Kurnaiwan<sup>3</sup>, Ari Ardyansah<sup>4</sup>, Syaiful Bahri<sup>5</sup>

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik – Universitas Trunojoyo Madura

(031) 3011146, Jl. Raya Telang PO BOX 02 Kec. Kamal, Bangkalan, 69162, Jawa Timur, Indonesia

E-mail: 230431100006@student.trunojoyo.ac.id<sup>1</sup>, 230431100022@student.trunojoyo.ac.id<sup>2</sup>, 230431100103@student.trunojoyo.ac.id<sup>3</sup>, 230431100019@student.trunojoyo.ac.id<sup>4</sup>, 230431100045@student.trunojoyo.ac.id<sup>5</sup>

**Abstract**— Aquaponik merupakan sistem budidaya yang menggabungkan antara budidaya ikan dan tanaman dalam satu ekosistem tertutup, yang membutuhkan pengelolaan parameter lingkungan yang tepat, seperti pH air dan suhu, untuk memastikan kesehatan ikan dan pertumbuhan tanaman yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan dan kontrol secara *real-time* terhadap pH air dan suhu pada sistem aquaponik berbasis energi terbarukan, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), dengan menggunakan ESP32 dan platform Blynk. Sistem ini memanfaatkan sensor pH dan sensor suhu untuk memantau kondisi lingkungan secara terus-menerus, sementara ESP32 bertindak sebagai pengendali utama yang menghubungkan perangkat keras dengan aplikasi Blynk yang dapat diakses melalui *smartphone*. Pemanfaatan energi surya dapat memungkinkan sistem ini beroperasi secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan listrik konvensional. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja secara efisien dan stabil khususnya untuk kebutuhan listrik panel surya yang memiliki rata-rata tegangan dari PLTS sebesar 3,91 volt dalam mengaktifkan sistem secara mandiri. Namun, akurasi sensor pH masih perlu ditingkatkan karena hasil pembacaan yang kurang konsisten. Kombinasi antara teknologi pertanian berkelanjutan dan pemanfaatan energi terbarukan menjadikan sistem ini sebagai solusi alternatif untuk mendukung ketahanan pangan di lahan terbatas, terutama di daerah perkotaan.

**Kata Kunci**— aquaponik, ESP32, energi terbarukan, PLTS, Internet of Things, pemantauan pH, Blynk

## I. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk di dunia dan perkembangan yang semakin pesat membuat lahan pertanian produktif menjadi sangat berkurang. Lahan tersebut banyak yang telah dialih fungsikan menjadi lahan perumahan ataupun infrastruktur umum terutama di wilayah perkotaan besar yang hampir tidak terdapat lahan pertanian sama sekali [1]. Banyak sawah yang telah berkurang, sehingga petani harus mencari lahan yang baru untuk dapat digunakan sebagai lahan tanaman yang baru. Namun, semakin berkembangnya zaman juga akan meningkatkan populasi penduduk dan pada akhirnya dikhawatirkan lahan pertanian telah habis. Sementara itu, kebutuhan akan pangan juga akan semakin meningkat seiring pertumbuhan populasi penduduk [2].

Selain kebutuhan akan pangan secara nabati, kebutuhan akan pangan hewani semakin meningkat dengan pertumbuhan penduduk yang semakin tinggi. Kebutuhan lahan yang tinggi menjadi permasalahan kembali di mana pembiakan hewan ternak memerlukan area yang cukup luas, Salah satunya kebutuhan pangan hewani pada pembudidayaan ikan konsumsi. Keterbatasan lahan terutama di daerah perkotaan

mempersempit kesempatan pembudidayaan pangan yang semakin menurun.

Dalam mengatasi permasalahan tersebut, petani harus dapat memanfaatkan lahan yang terbatas tersebut menjadi lahan pertanian produktif, salah satunya yaitu penggunaan sistem aquaponik. Sistem aquaponik menjadi salah satu solusi yang menjadikan sistem pertanian terpadu, di mana menggabungkan antara budidaya ikan dengan metode penanaman tanaman tanpa menggunakan media tanah atau sering disebut dengan aquaponik dalam satu ekosistem yang saling memberikan keuntungan.

Inovasi akan energi terbarukan seperti konversi energi pada energi surya menjadi energi listrik pada panel surya memperluas adanya teknologi baru dengan pemanfaatan energi yang bisa diperbarui dan tanpa batas. PLTS atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya dapat dimanfaatkan pada berbagai sektor, terutama pada sektor pangan. Hal ini membuat adanya kombinasi teknologi antara pemanfaatan energi terbarukan dengan pengembangan pembudidayaan pangan seperti pada aquaponik. Maka dari itu kami mengembangkan Smart Aquaponik berbasis PLTS dengan pemantauan dan kontrol secara *real-time* terhadap pH air, dan suhu menggunakan ESP32 dan Blynk [3].

## II. BAHAN DAN METODE

Dalam sistem aquaponik yang digunakan pada penelitian kali ini memiliki beberapa bahan yang utama, serta metode yang digunakan.

### A. Aquaponik

Sistem akuaponik merupakan sebuah teknologi yang mengintegrasikan antara akuakultur (budidaya ikan) dan hidroponik (pertanian tanaman), yang mana kedua sistem ini bekerja secara simbiotik untuk menghasilkan pangan yang berkelanjutan. Dalam sistem ini, limbah yang dihasilkan oleh ikan, seperti amonia, diproses menjadi nutrisi yang dibutuhkan tanaman, sementara tanaman membantu dalam memurnikan air yang digunakan kembali untuk ikan. Konsep ini menawarkan solusi potensial terhadap tantangan ketahanan pangan global, terutama dalam kondisi lahan terbatas dan kebutuhan untuk mengurangi penggunaan bahan kimia dalam pertanian [4]. Pengelolaan yang efisien terhadap rasio ikan dan tanaman serta pemantauan kualitas air yang terus menerus menjadi faktor penentu keberhasilan sistem ini. Tanpa manajemen yang optimal, sistem akuaponik bisa mengalami kekurangan nutrisi atau bahkan kelebihan, yang dapat mempengaruhi produktivitas tanaman dan juga kesehatan ikan [5].

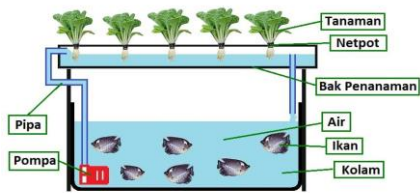


Figure 1. Sistem Aquaponik

### B. PLTS

Sistem akuaponik memerlukan energi listrik agar sistem dapat berjalan dengan baik, Untuk menunjang kebutuhan kelistrikan dalam akuaponik ini sekaligus pemanfaatan energi terbarukan, penelitian kali ini menggunakan PLTS sebagai sumber tegangannya. PLTS sendiri merupakan teknologi yang mengubah energi listrik dari cahaya matahari melalui sel fotovoltaik [6]. Dalam implementasinya, sistem ini mengadopsi konfigurasi *off-grid*, di mana energi yang dihasilkan disimpan ke dalam baterai untuk mendukung operasional sistem secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan listrik konvensional. Pendekatan ini dinilai cocok untuk wilayah dengan keterbatasan akses listrik serta mendukung efisiensi energi dalam pertanian berbasis teknologi [7].

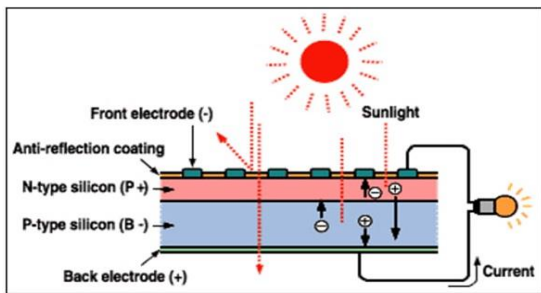


Figure 2. Sistem Fotovoltaik

### C. Sensor pH

Sensor pH menjadi salah satu bagian komponen utama yang mana digunakan untuk mengukur tingkat keasaman ataupun kebasaan (pH) dari suatu larutan atau cairan, khususnya air dalam ekosistem akuaponik. Mengingat sistem akuaponik merupakan integrasi antara hidroponik dan budidaya ikan, maka pemantauan kualitas air menjadi aspek yang krusial. Sensor pH digunakan untuk memastikan bahwa air memiliki nilai pH yang sesuai bagi pertumbuhan optimal tanaman seperti sawi air, serta untuk menjaga kesehatan ikan dalam kolam [8].

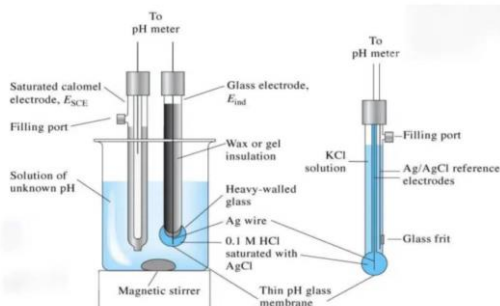


Figure 3. Struktur sensor pH

### D. ESP32

ESP32 menjadi bagian mikrokontroler yang digunakan pada sistem akuaponik dalam melakukan pembacaan data maupun perintah dari suatu program. ESP32 menjadi mikrokontroler yang terintegrasi dengan WiFi dan juga *bluetooth*, hal ini menjadikan fitur yang menonjol, karena mikrokontroler ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai proyek pengembangan terutama proyek IoT atau proyek pintar yang membutuhkan komunikasi secara nirkabel. Selain itu, memori RAM yang terdapat di ESP32 memiliki ukuran yang cukup besar, hal ini sangat memungkinkan untuk melakukan penyimpanan dan pemrosesan data dengan efisien [9].

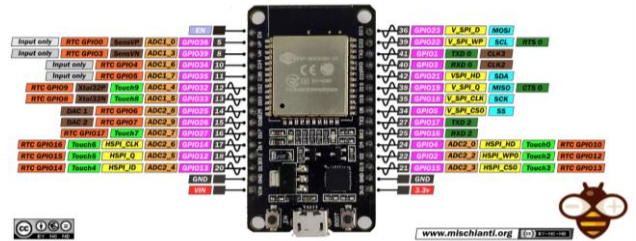


Figure 4. Data Pinout ESP32

### E. Blynk

Blynk menjadi sebuah perangkat yang dapat digunakan untuk banyak hal, terutama dalam pengembangan aplikasi *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan pengguna untuk melakukan pengendalian maupun pemantauan secara real-time jarak jauh yang terhubung dengan internet. Platform ini menyediakan antarmuka yang cukup beragam dan intuitif untuk perancangan *dashboard* pada perangkat seluler, sehingga pengguna dapat menerima notifikasi ataupun pemantauan data sensor pH dan juga dapat mengatur pH yang mana hal itu dapat dilakukan secara jarak jauh. Dalam penelitian ini, Blynk digunakan sebagai media pemantauan nilai pH dan suhu air secara langsung, serta sebagai kontrol otomatisasi sistem melalui mikrokontroler ESP32 [10].

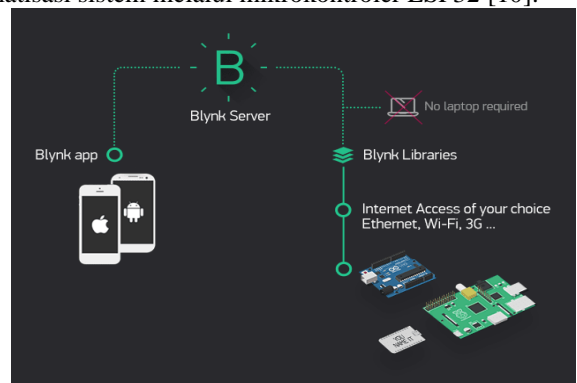


Figure 5. Blynk IoT

### F. Diagram Block System

Sistem akuaponik ini memiliki blok diagram system seperti yang ditunjukkan pada [Figure 6](#).

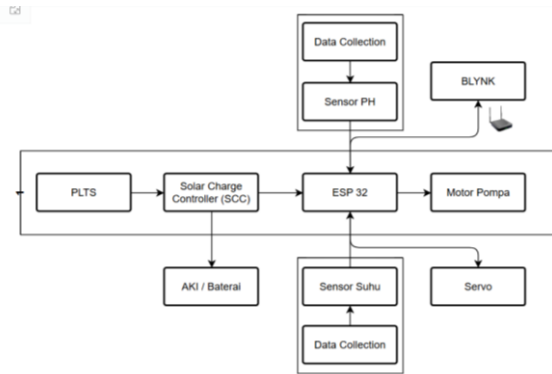


Figure 6. Diagram Block System

Dalam gambar tersebut, memiliki hubungan-hubungan antar komponen sebelum melakukan perancangan, yang mana ESP32 sebagai otak utamanya dengan perancangan sistem program, menggunakan software Arduino IDE dalam memprogram mikrokontroler. Selama proses kerja, tegangan DC oleh Panel Surya di monitoring Solar Charge Controller (SCC). Pada SCC menyuplai tegangan ke mikrokontroler untuk pembacaan sensor PH dan sensor suhu pada kolam ikan. Setelah mendapatkan data dari kedua sensor, nantinya data tersebut akan dikirimkan pada server BLYNK. Apabila PH air untuk kebutuhan hidroponik kurang dari PH 6 maka mikrokontroler otomatis menggerakkan servo yang digunakan untuk membuka katup nutrisi PH terhadap kolam untuk menyeimbangkan PH air sekitar PH 5.5 - 6.5.

### G. Flowchart System

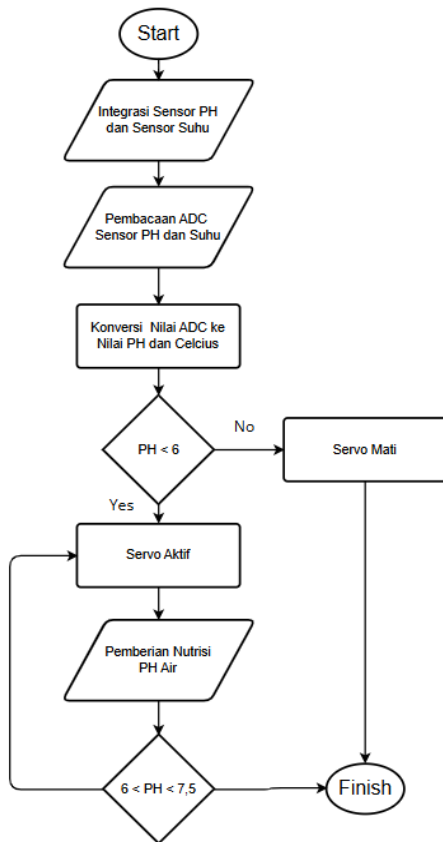


Figure 7. Flowchart Sistem

Seperti pada [Figure 7](#) yang merupakan *flowchart* dari sistem akuaponik yang telah dibuat, dijelaskan bahwa

integrasi sensor pH dan juga sensor suhu yang terhubung dengan ESP32 melakukan pembacaan nilai ADC dari air kolam yang digunakan. Selanjutnya nilai ADC tersebut diolah agar dapat menampilkan suhu serta nilai pH, ketika nilai pH kurang dari 6 maka akan mengaktifkan servo sebagai aktuator atau penggerak guna melakukan pemberian nutrisi agar pH tetap terjaga di antara nilai 6 dan 7,5 sebagai pH ideal. Namun, saat pH lebih dari 6 maka servo akan mati untuk menghentikan pemberian nutrisi pH

### H. Hardware Design

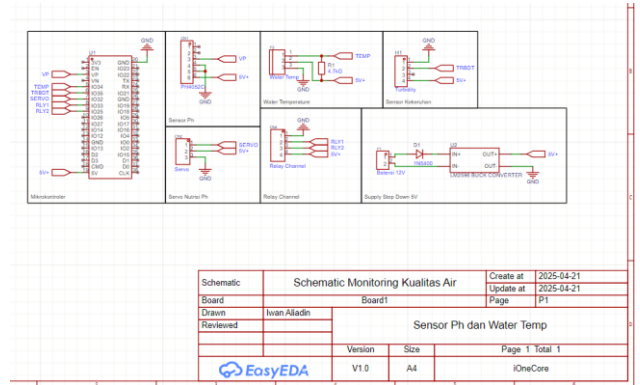


Figure 8. Schematic System Aquaponic

Sebelum tahap perakitan dilakukan, diperlukan perancangan skematik sistem untuk memastikan integrasi antar komponen berjalan dengan baik. Skematik ini berfungsi sebagai panduan dalam menyusun hubungan antara sensor, mikrokontroler, sumber daya, dan perangkat pendukung lainnya, sehingga keseluruhan sistem dapat beroperasi secara terstruktur dan efisien.

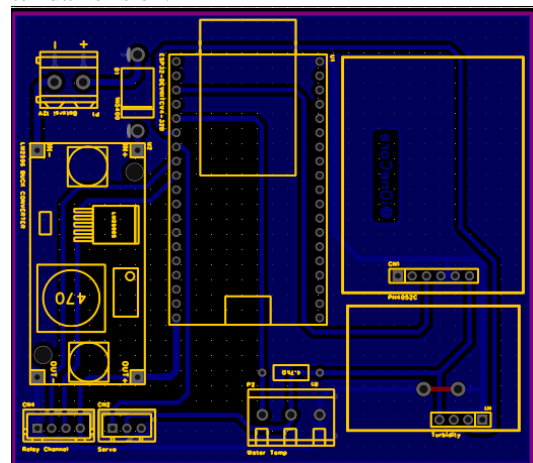


Figure 9. Layout PCB

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melalui beberapa tahapan rancangan, maka telah sampailah di tahap hasil.

## A. Device Design Result

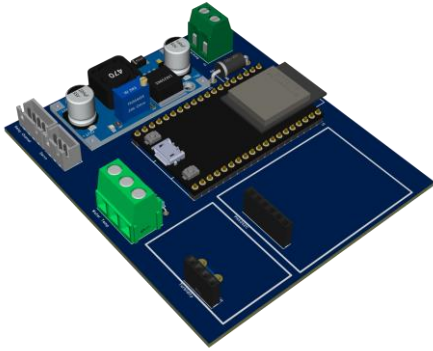


Figure 10. Modular System

Seperti yang ditunjukkan pada [Figure 10](#), tampak hasil akhir dari PCB yang telah dirancang sebelumnya. Desain tersebut telah melalui tahap skematik dan layout, kemudian direalisasikan dalam bentuk fisik untuk mengintegrasikan seluruh komponen sistem secara modular dan terstruktur.



Figure 11. Aquaponic System



Figure 12. PLTS with Arduino

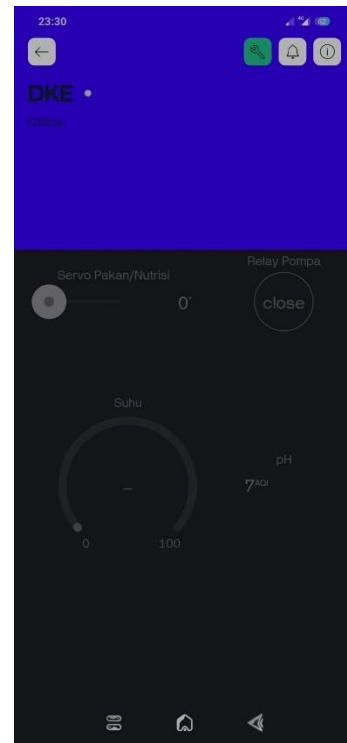


Figure 13. Dashboard Design Blynk IoT

Hasil rancangan perangkat sistem akuaponik ini terdiri dari integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak, seperti pada [figure 11](#) dan [figure 13](#) yang dirancang untuk mendukung pemantauan dan kontrol otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang menggunakan aplikasi Blynk IoT. Sistem ini menggabungkan teknologi mikrokontroler ESP32, sensor lingkungan, aktuator, serta sumber daya mandiri dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Perangkat utama yang dikembangkan meliputi papan sirkuit cetak (PCB) modular yang dirancang agar dapat membuat komponen seperti sensor pH, sensor suhu, modul relay, dan konektor ke pompa maupun servo sebagai aktuator pengatur pH air saling terintegrasi dengan baik dalam satu tempat. Desain PCB dibuat berdasarkan skematik sistem yang telah dirancang sebelumnya, dengan memperhatikan efisiensi ruang, kemudahan integrasi, serta stabilitas sistem.

## B. Perhitungan Kebutuhan PLTS

Perhitungan kebutuhan daya untuk sebuah sistem PLTS dilakukan guna memastikan agar sistem akuaponik dapat beroperasi secara mandiri tanpa bergantung pada sumber listrik eksternal. Komponen utama yang membutuhkan suplai energi meliputi mikrokontroler ESP32, sensor pH dan suhu, serta aktuator seperti pompa air dan servo motor. Estimasi konsumsi daya harian digunakan sebagai dasar dalam menentukan spesifikasi panel surya dan kapasitas baterai yang digunakan. Dalam sistem ini menggunakan tiga buah baterai lithium yang memiliki tegangan 3.6 volt yang disusun secara paralel. Setiap baterai memiliki kapasitas 2200 mAh, sehingga total kapasitas yang tersedia adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Total} &= 3 \times 2200 \text{ mAh} = 6600 \text{ mAh} \\ &= 6.6 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Dengan tegangan sistem 3.6 volt, maka total energi yang dapat disimpan adalah:

$$\text{Energi Total} = 3.6 \text{ V} \times 6.6 \text{ Ah} = 23.76 \text{ Wh}$$

Panel surya (PLTS) dengan spesifikasi tegangan output 5 volt dan daya maksimum 10 watt menjadi sumber energi listrik utama dalam sistem ini. Berdasarkan rumus daya, arus maksimum yang dihasilkan oleh panel adalah:

$$I = 10 W / 5 V = 2 A$$

Namun, dalam praktiknya efisiensi sistem pengisian tidak mencapai 100% karena terdapat kerugian daya pada modul charger (seperti TP4056), konversi tegangan, serta pengaruh suhu. Maka efisiensi sistem diasumsikan sebesar 85%, sehingga daya efektif pengisian menjadi:

$$P_{efektif} = 10 W \times 85\% = 8.5 W$$

Dengan daya efektif tersebut, waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai hingga penuh adalah:

$$t = 23.76 Wh / 8.5 W \approx 2.8 jam$$

Jika diasumsikan pengisian dilakukan dalam interval waktu 10 menit (1/6 jam), maka energi yang masuk per 10 menit adalah:

$$E (10 \text{ menit}) = 8.5 W \times (1/6 \text{ jam}) \approx 1.42 Wh$$

$$\text{Kapasitas yang terisi} = 1.42 Wh / 3.6 V \approx 394 mAh$$

Hasil ini menunjukkan bahwa dengan paparan sinar matahari optimal selama hampir 3 jam, sistem PLTS mampu mengisi penuh baterai dan menyediakan energi yang cukup untuk menjalankan sistem akuaponik secara berkelanjutan. Perhitungan ini juga menjadi dasar dalam penentuan waktu pengisian, kapasitas penyimpanan, serta efisiensi operasional sistem.

### C. Uji Tegangan Output PLTS

TABLE I. PENGUJIAN PLTS

No	Hasil Uji				
	Jam	Timer	Volt PLTS	Volt Baterai	Cuaca
1	07.45 WiB	15 Menit	3.66 V	3.70 V	Mendung
2	08.03 Wib	15 Menit	3.66 V	3.78 V	Mendung
3	08.21 Wib	15 Menit	3.98 V	3.80 V	Mendung
4	09.10 Wib	15 Menit	8.35 V	3.80 V	Cerah
5	09.25 Wib	15 Menit	3.78 V	3.80 V	Mendung
6	09.42 Wib	15 Menit	3.76 V	3.81 V	Mendung
7	09.58Wib	15 Menit	3.76 V	3.81 V	Mendung
8	10.15 Wib	15 Menit	3.64 V	3.83 V	Cerah
9	10.35 Wib	15 Menit	3.66 V	3.81 V	Mendung
10	10.55 Wib	15 Menit	3.40 V	3.78 V	Mendung
11	11.15 Wib	15 Menit	3.66 V	3.80 V	Cerah
12	11.35 Wib	15 Menit	4.33 V	3.83 V	Cerah
13	11.52 Wib	15 Menit	3.66 V	3.83 V	Mendung
14	12.10 Wib	15 Menit	8.35 V	3.80 V	Cerah
15	12.25 Wib	15 Menit	8.31 V	3.78 V	Cerah
16	15.43 Wib	5 Menit	3.81 V	3.82 V	Cerah
17	15.49 Wib	5 Menit	3.54 V	3.81 V	Berawan
18	15.54 Wib	5 Menit	3.59 V	3.81 V	Berawan

No	Hasil Uji				
	Jam	Timer	Volt PLTS	Volt Baterai	Cuaca
19	16.04 Wib	10 Menit	3.64 V	3.81 V	Cerah
20	16.11 Wib	10 Menit	3.49 V	3.81 V	Berawan
21	16.27 Wib	10 Menit	3.52 V	3.80 V	Berawan
22	16.35 Wib	5 Menit	3.43 V	3.78 V	Berawan
23	16.40 Wib	5 Menit	3.35 V	3.77 V	Berawan
24	16.45 Wib	5 Menit	3.30 V	3.77 V	Berawan
25	16.50 Wib	5 Menit	3.25 V	3.76 V	Berawan
26	16.55 Wib	5 Menit	3.05 V	3.76 V	Berawan
27	17.00 Wib	5 Menit	2.50 V	3.75 V	Berawan
28	17.05 Wib	5 Menit	2.40 V	3.74 V	Berawan
29	17.10 Wib	5 Menit	2.25 V	3.73 V	Berawan
30	17.15 Wib	5 Menit	2.10 V	3.70 V	Berawan

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui keluaran tegangan dari sistem PLTS selama rentang waktu operasional dari pagi hingga sore hari. Uji coba dilakukan setiap 15 menit pada pagi hingga siang hari, dan setiap 5–10 menit pada sore hari. Parameter yang dicatat meliputi tegangan output panel surya (Volt PLTS), tegangan baterai (Volt Baterai), serta kondisi cuaca saat pengambilan data.

Berdasarkan hasil dari pengujian yang ditampilkan pada [Table I](#), dapat diamati bahwa tegangan PLTS bervariasi antara 2.10 volt hingga 8.35 volt, tergantung pada intensitas sinar matahari. Tegangan tertinggi tercatat pada pukul 09.10 dan 12.10 dengan nilai 8.35 volt, saat cuaca cerah. Sebaliknya, pada sore hari sekitar pukul 17.15, tegangan menurun hingga 2.10 volt, akibat menurunnya intensitas cahaya matahari.

Sementara itu, tegangan baterai relatif stabil sepanjang pengujian, berada pada rentang 3.70 volt hingga 3.83 volt. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengisian berjalan secara bertahap dan konsisten, serta kapasitas baterai cukup untuk mempertahankan tegangan selama sistem beroperasi.

### D. Uji Kalibrasi Sensor pH

TABLE II. PENGUJIAN SENSOR PH AIR

No	Waktu	Pembacaan pH	Kondisi Sebenarnya	Keterangan
1	08.00	5.2	6.0	Terlalu asam
2	08.30	7.8	6.1	Melonjak
3	09.00	6.3	6.2	Sedikit normal
4	09.30	4.9	6.2	Terlalu rendah
5	10.00	8.5	6.3	Noise tinggi
6	10.30	6.1	6.3	Sedikit normal
7	11.00	5.5	6.4	Tidak stabil
8	11.30	7.2	6.4	Melonjak
9	12.00	6.8	6.5	Sedikit stabil
10	12.30	5.7	6.5	Fluakuasi

Nilai dari pembacaan pH terlalu tidak stabil untuk sistem akuaponik dalam penelitian ini, nilai tersebut perlu di

kalibrasi ulang karena pembacaan yang tidak wajar dari sensor. Selain itu, kalibrasi yang dilakukan juga hanya terbatas pada larutan pH 6 saja sehingga kalibrasi sensor menjadi tidak stabil.

#### IV. KESIMPULAN

Sistem pemantauan dan kontrol pH serta suhu air pada instalasi akuaponik berbasis mikrokontroler ESP32 dan aplikasi Blynk menunjukkan kinerja yang efektif dan efisien dalam mendukung budidaya terpadu antara ikan dan tanaman. Penggunaan antarmuka Blynk memungkinkan pemantauan data secara real-time serta pengendalian sistem secara manual maupun otomatis melalui perangkat seluler, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan kemudahan pengguna dalam mengelola sistem. Integrasi dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tipe off-grid menyediakan pasokan daya mandiri yang stabil, menjadikan sistem ini ideal untuk diterapkan di daerah yang belum terjangkau jaringan listrik konvensional. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata tegangan output dari PLTS sebesar 3.91 volt telah mencukupi untuk mendukung seluruh komponen sistem. Meskipun sensor suhu bekerja dengan stabil, hasil pengukuran sensor pH masih menunjukkan fluktuasi yang tidak konsisten yang diakibatkan kurangnya kalibrasi serta penggunaan sensor yang murah, sehingga perlu dilakukan perbaikan dan penyesuaian yang lebih lanjut pada sensor. Secara keseluruhan, sistem ini menunjukkan potensi besar sebagai solusi teknologi ramah lingkungan yang mendukung ketahanan pangan, terutama di wilayah urban atau lahan terbatas, melalui pemanfaatan energi terbarukan dan pendekatan berbasis IoT.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. Djazuli, A. R. Rahim, Sukaris, dan N. Fauziyah, "PEMANFAATAN LAHAN DENGAN SISTEM AKUAPONIK TANAMAN SAWI DAN IKAN LELE SEBAGAI PELUANG BISNIS MASYARAKAT DESA DAHAN REJO, KEBOMAS GRESIK," *DedikasiMU (Journal of Community Service)*, vol. 3, no. 1, Mar 2021.
- [2] L. P. Deviana dan S. Styawati, "Sistem Monitoring Pertumbuhan Tanaman Sawi Menggunakan Artificial Intelligence Pada Aquaponik," *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, vol. 9, no. 3, hlm. 306–314, Des 2024, doi: 10.30591/jpit.v9i3.5897.
- [3] D. Monika, M. Muchlishah, dan M. Dwiyaniti, "PEMANFAATAN PLTS SEBAGAI SUMBER ENERGI AKUAPONIK DI DESA LEUWI KARET, KAMPUNG GUHA KULON, KLAPA NUNGGAL KABUPATEN BOGOR," *Dharmakarya: Jurnal Aplikasi Ipteks untuk Masyarakat*, vol. 11, no. 1, hlm. 73, Mar 2022, doi: 10.24198/dharmakarya.v11i1.36267.
- [4] Y. Mochamad Cholily, M. Effendy, R. Rahman Hakim, dan B. Istanti Suwandayani, "PEMANFAATAN LAHAN SEMPIT MELALUI TEKNOLOGI AQUAPONIC UNTUK MASYARAKAT DI DESA PARANGARGO KECAMATAN WAGIR KABUPATEN MALANG," *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat MEMBANGUN NEGERI*, vol. 6, no. 2, 2022.
- [5] M. Schoor, A. P. Arenas-Salazar, I. Torres-Pacheco, R. G. Guevara-González, dan E. Rico-García, "A Review of Sustainable Pillars and their Fulfillment in Agriculture, Aquaculture, and Aquaponic Production," 1 Mei 2023, *MDPI*. doi: 10.3390/su15097638.
- [6] A. H. Yuwono, I. S. Faradisa, R. Cahyo, dan M. Putra, "SMART FARMING DENGAN PEMBANGKIT HYBRID BERBASIS IOT SEBAGAI KONTROL DAN MONITORING DI AREA PERTANIAN," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, vol. 8, no. 1, Feb 2024.
- [7] M. Dhonde, K. Sahu, dan V. V. S. Murty, "The application of solar-driven technologies for the sustainable development of agriculture farming: a comprehensive review," *Rev Environ Sci Biotechnol*, vol. 21, no. 1, hlm. 139–167, 2022, doi: 10.1007/s11157-022-09611-6.
- [8] Y. Li, Y. Mao, C. Xiao, X. Xu, dan X. Li, "Flexible pH sensor based on a conductive PANI membrane for pH monitoring," *RSC Adv*, vol. 10, no. 1, hlm. 21–28, 2019, doi: 10.1039/c9ra09188b.
- [9] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntič, dan O. Težak, "Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices," *Sensors*, vol. 23, no. 15, Agu 2023, doi: 10.3390/s23156739.
- [10] M. Iffikrul, A. Suhaidi, N. Hidayah, dan M. Yunus, "Development of Blynk IoT-Based Air Quality Monitoring System," 2021.