

Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Hidroponik Berbasis IoT Tenaga Surya

Angga Putra Utama^{1*}, Chalidia Nurin Hamdani¹, Asepta Surya Wardana¹

¹ Program Studi Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas
Jl. Sorogo No.38 Cepu – Blora – Jawa Tengah, 58311, INDONESIA

*Corresponding Author: angga.putra.ap287@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.53026/inhardware.v3i1.53>

Article Info

Received: 11st June 2025

Accepted: 28th June 2025

Available online: 30th June 2025

Keywords

Hidroponik, DFT, *Green energy*

Abstrak

Seiring perkembangan teknologi, pertanian modern semakin mengarah pada sistem yang lebih efisien dan otomatis. Salah satu metode yang umum digunakan sistem hidroponik dengan DFT (Deep Flow Technique), sistem ini menggunakan pompa untuk mensirkulasikan larutan nutrisi selama 24 jam agar tanaman tetap mendapat suplai nutrisi yang cukup. Namun, banyak sistem hidroponik masih dikendalikan secara manual dan bergantung pada listrik dari PLN, yang menyebabkan biaya operasional tinggi. Oleh karena itu, penggunaan energi terbarukan seperti PLTS sistem menjadi solusi tepat untuk mengurangi ketergantungan listrik konvensional dan mendukung konsep *green energy*. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem "*Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Hidroponik Berbasis IoT Tenaga Surya*". Mikrokontroler ESP32 digunakan untuk mengontrol suhu, TDS, pH, dan pompa secara otomatis melalui koneksi internet. Data sensor dikirimkan secara real-time ke aplikasi, memungkinkan petani memantau kondisi tanaman dari jarak jauh.

Abstract

Along with the development of technology, modern agriculture is increasingly moving towards a more efficient and automated system. One method commonly used in hydroponics system with DFT (Deep Flow Technique) system, this system uses a pump to circulate the nutrient solution for 24 hours so that plants continue to receive sufficient nutrient supply. However, many hydroponic systems are still manually controlled and rely on electricity from PLN, which causes high operational costs. Therefore, the use of renewable energy such as the PLTS system is the right solution to reduce dependence on conventional electricity and support the concept of green energy. This study aims to design and implement the "Design and Construction of a Hydroponic Control and Monitoring System Based on Solar Powered IoT" system. The ESP32 microcontroller is used to automatically control temperature, TDS, pH, and pumps via an internet connection. Sensor data is sent in real-time to the application, allowing farmers to monitor plant conditions remotely.

This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license.



1. PENDAHULUAN

Meningkatnya jumlah penduduk menyebabkan meningkatnya kebutuhan lahan untuk pemukiman. Hal ini berdampak pada kurangnya kebutuhan lahan untuk pertanian[1]. Permasalahan kebutuhan pangan dan nutrisi penduduk menjadi tantangan besar di tengah pertumbuhan populasi yang terus meningkat. Hidroponik dapat menjadi solusi dari permasalahan tersebut karena menanam hidroponik dapat dilakukan di lahan yang sempit seperti di area teras atau balkon rumah. Teknik menanam hidroponik juga tidak membutuhkan tanah sebagai media tanam, melainkan hanya menggunakan air yang diberikan nutrisi.

Seiring berjalannya kemajuan teknologi, pertanian modern semakin berkembang dengan sistem yang lebih efisien dan efektif. Salah satu teknologi yang tepat dalam pertanian adalah sistem hidroponik [2], yang memungkinkan bercocok tanam tanpa tanah dan dengan lahan yang lebih minimalis [3]. Sistem hidroponik memiliki beberapa keunggulan, seperti pertumbuhan tanaman yang lebih cepat, lebih tahan terhadap penyakit dan hama. Serta penggunaan pupuk yang lebih hemat[4]. Selain itu hidroponik juga lebih ramah lingkungan karena mengurangi penggunaan pestisida dan meminimalisir limbah dari pertanian.

Dalam pertanian hidroponik banyak menggunakan sistem DFT (Deep Flow Technique). Teknik ini menempatkan akar tanaman pada lapisan air dengan ketinggian 2 – 5 cm[5]. Pada sistem ini larutan nutrisi tanaman disirkulasikan secara terus menerus selama 24 jam, sehingga pompa harus dikendalikan agar aliran nutrisi dapat disalurkan dengan baik untuk menghindari pembusukan akar tanaman. Keunggulan sistem DFT adalah tetap tersedianya suplai nutrisi bagi tanaman meskipun pompa mati, karena air masih tergenang di dalam pipa. Dengan demikian, sistem ini lebih unggul dibandingkan metode hidroponik lainnya dalam menjaga keberlangsungan pertumbuhan tanaman.

Namun banyak sistem pertanian hidroponik saat ini masih dikendalikan secara manual, dan penggunaan pompa air masih mengandalkan sumber energi listrik dari PLN. Akibatnya, petani hidroponik harus mengeluarkan biaya operasional yang cukup besar[6]. Oleh karena itu, pemanfaatan energi terbarukan, seperti solar cell, menjadi solusi tepat untuk menggantikan sumber listrik konvensional. Selain mengurangi biaya listrik, penggunaan energi terbarukan juga mendukung konsep green energy yang lebih ramah lingkungan dan berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon[7].

PLTS bekerja dengan memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energi utama, yang kemudian diubah menjadi energi listrik melalui panel surya dan disimpan dalam baterai[8]. Energi ini digunakan untuk mengoperasikan peralatan penting dalam sistem hidroponik, seperti pompa air, sensor, serta sistem kontrol otomatis yang ada. Selain ramah lingkungan, PLTS juga memberikan kemandirian energi[9] bagi petani, terutama di daerah dengan keterbatasan akses listrik PLN.

Di sisi lain, penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dalam sistem hidroponik menjadi langkah inovatif untuk meningkatkan efisiensi dan kemudahan dalam pemantauan tanaman. Dengan IoT, sensor-sensor seperti suhu, TDS, dan pH dapat mengirimkan data secara real-time ke aplikasi melalui internet[10]. Mikrokontroler seperti ESP32 digunakan untuk mengolah data dan mengendalikan sistem secara otomatis, termasuk mengatur kerja pompa berdasarkan kebutuhan tanaman. Petani dapat memantau kondisi tanaman dari jarak jauh dan mengendalikan dengan cepat jika terjadi perubahan kondisi. IoT memungkinkan otomatisasi secara penuh, mengurangi tenaga kerja manual, dan meningkatkan produktivitas tanaman[11].

Dalam penelitian ini, kami membuat alat “RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL DAN MONITORING HIDROPONIK BERBASIS IOT TENAGA SURYA”. Monitoring suhu, TDS, pH, serta pompa yang akan dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan internet. Data sensor akan dikirimkan secara real-time dari aplikasi agar sistem dapat mengendalikan pompa secara otomatis sesuai kebutuhan. Dengan adanya sistem ini, diharapkan pertanian hidroponik dapat menjadi lebih efisien, hemat energi, serta mendukung keberlanjutan lingkungan dan ketahanan pangan di masa depan.

2. METODA

Perancangan Sistem

Perancangan sistem kontrol dan monitoring hidroponik berbasis IoT tenaga surya dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut :

- Identifikasi : Menentukan kebutuhan komponen utama seperti panel surya, SCC, baterai, sensor (TDS, pH, suhu, kelembaban, arus, tegangan), ESP32, pompa, Firebase, dan Aplikasi.
- Perancangan Blok Diagram : Menyusun diagram blok sistem hidroponik yang mencakup sumber daya energi, sensor, mikrokontroler, dan sistem kontrol berbasis IoT.
- Pemilihan Komponen : Memilih komponen yang sesuai berdasarkan kebutuhan sistem dan efisiensi energi.

a. Surya (PV):

Perangkat yang mengubah energi matahari menjadi listrik melalui efek fotovoltaik, yang digunakan sebagai sumber daya listrik utama untuk sistem hidroponik.

- b. Solar Charge Controller (SCC)
Alat yang mengatur pengisian baterai dari panel surya untuk mencegah overcharge dan overdischarge agar tidak terjadi kerusakan pada baterai.
- c. Baterai 12V
Baterai ini digunakan sebagai penyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dan memastikan ketersediaan energi listrik saat matahari tidak bersinar.
- d. ESP32
Mikrokontroler atau komponen pengendali utama yang dibekali dengan konektivitas Wi-Fi, berfungsi sebagai pusat pengendali yang mengumpulkan data dari sensor dan mengirimkannya ke Database (Firebase).
- e. Sensor pH
Mengukur tingkat keasaman atau kebasaan larutan nutrisi yang disirkulasikan pada sistem, penting karena untuk memastikan kondisi yang optimal bagi pertumbuhan tanaman.
- f. Sensor TDS
Mengukur total padatan yang terlarut dalam larutan nutrisi, sensor ini membantu memantau konsentrasi nutrisi yang diberikan kepada tanaman.
- g. Sensor DHT11
Mengukur suhu dan kelembaban udara di sekitar tanaman, hal ini membantu dalam pemantauan kondisi lingkungan di sekitar tanaman.
- h. Sensor Arus dan Tegangan INA219
Memantau arus dan tegangan listrik di dalam sistem seperti tegangan dan pemakaian arus listrik dan memastikan penggunaan energi listrik yang aman dan efisien.
- i. Pompa DC
Mengalirkan larutan nutrisi ke tanaman yang dioperasikan dengan daya listrik searah atau DC yang efisien dan kompatibel dengan sistem tenaga surya.
- j. LCD 20x4
Layar tampilan yang menampilkan informasi seperti status sensor dan kondisi sistem secara real-time pada lokal yang terletak di panel box.
- k. Modul Relay
Komponen elektronik yang berfungsi sebagai saklar elektromekanis yang memungkinkan pengendalian perangkat listrik berdaya tinggi menggunakan sinyal berdaya rendah dari mikrokontroler ESP32. Dalam sistem hidroponik modul relay digunakan untuk mengendalikan pompa air secara otomatis berdasarkan data sensor atau perintah dari aplikasi.
- l. Buck Converter
Menurunkan tegangan DC dari panel surya atau baterai dari 12 Volt ke 5Volt dan 3.3 Volt untuk komponen dalam sistem seperti ESP32, sensor, relay.
- m. Firebase
Platform berbasis cloud atau database yang menyimpan dan mengelola data sensor yang memungkinkan pengendalian sistem hidroponik secara real-time melalui aplikasi mobile atau website.

Implementasi Sistem

Proses implementasi dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- Perakitan Perangkat Keras atau Hardware :
 - Panel surya dipasang sebagai sumber energi utama yang terhubung ke SCC dan baterai[12].
 - Sensor TDS dan pH dipasang didalam larutan nutrisi untuk memantau kadar nutrisi dan keasaman[13].
 - Sensor suhu dan kelembaban udara (DHT11) diletakkan di area hidroponik untuk memantau suhu dan kelembaban sekitar[14].
 - Sensor arus dan tegangan dipasang untuk memantau konsumsi daya dari baterai[15].
 - LCD 20x4 digunakan sebagai tampilan lokal yang ada pada panel.
 - ESP32 dikonfigurasi sebagai pengendali atau kontrol utama yang menerima maupun mengirim data dari sensor dan mengendalikan pompa.
- Pemrograman Mikrokontroler:
 - ESP32 diprogram untuk membaca data sensor dan kemudian dikirimkan ke Firebase[16].
 - Algoritma kontrol diterapkan untuk menyesuaikan kerja pompa berdasarkan nilai setpoint nutrisi dan pH.
 - Komunikasi antara ESP32 ke Firebase melalui jaringan Wi-Fi[17].

Pengolahan Data

- Penyimpanan Data :
 - Data sensor disimpan secara real-time di Firebase sebagai histori data[18].
- Pengolahan dan Analisis Data :
 - Data yang tersimpan dapat digunakan sebagai analisis untuk mengoptimalkan penggunaan nutrisi dan energi.
- Tampilan Interface :
 - Aplikasi atau website dikembangkan sebagai dashboard untuk menampilkan kondisi sistem dan memungkinkan pengguna mengendalikan pompa secara online dan mudah.[18]

Pengujian serta Evaluasi

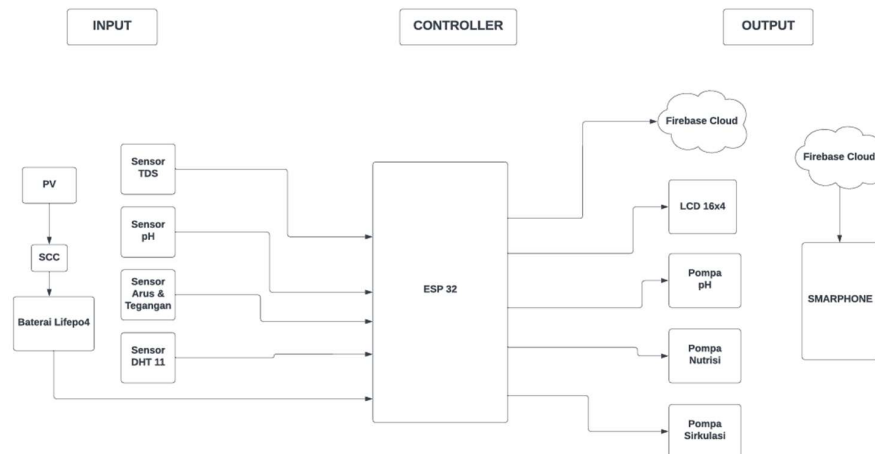
- Pengujian Fungsional :
 - Menguji konektivitas sistem dengan Firebase.
 - Mengukur akurasi nilai pembacaan dan error.
 - Menguji kerja pompa sirkulasi berdasarkan nilai setpoint nutrisi dan pH.
- Pengujian Kinerja Sistem :
 - Mengukur stabilitas koneksi internet untuk komunikasi IoT.
 - Mengevaluasi keandalan sistem dalam menjaga pertumbuhan tanaman hidroponik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Alat

Seluruh komponen *hardware* yang dirangkai pada sistem kontrol dan monitoring berbasis IoT tenaga Surya meliputi ESP32, Panel Surya (PV), SCC, Baterai, Sensor TDS, Sensor pH, Sensor DHT11, Sensor Arus dan Tegangan, Pompa, LCD, dan Database (Firebase) blok diagram perancangan dapat dilihat pada gambar 1. Perancangan alat meliputi tiga poin utama, yaitu blok diagram sistem, desain 3D, dan wiring diagram sistem.

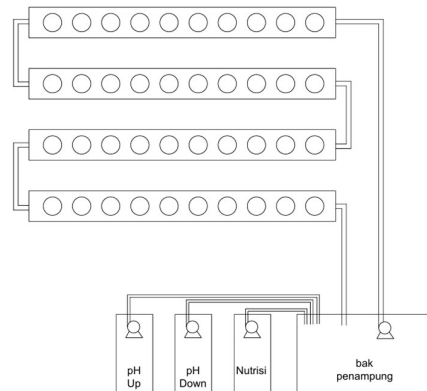
• Blok Diagram Sistem



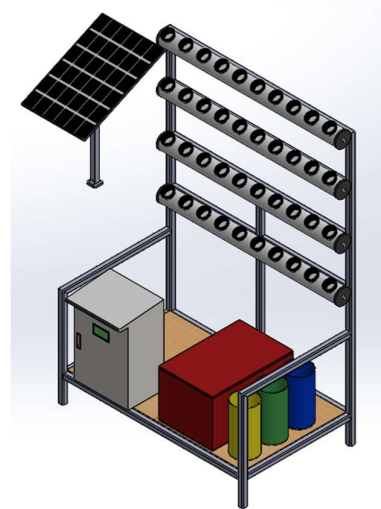
Gambar 1. Blok Diagram Sistem

• Perancangan Sistem Keseluruhan

Perancangan sistem keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2 tampak atas sistem hidroponik sistem DFT yang terdiri dari rangkaian pipa PVC yang digunakan sebagai media untuk tanaman hidroponik, nutrisi yang ada di bak penampung akan disirkulasikan oleh pompa yang akan melalui pipa - pipa yang digunakan untuk media tanaman hidroponik. Untuk perancangan alat keseluruhan meliputi instalasi *hardware* mulai dari rangka, pipa, panel box, pompa, serta panel surya seperti pada gambar 3.



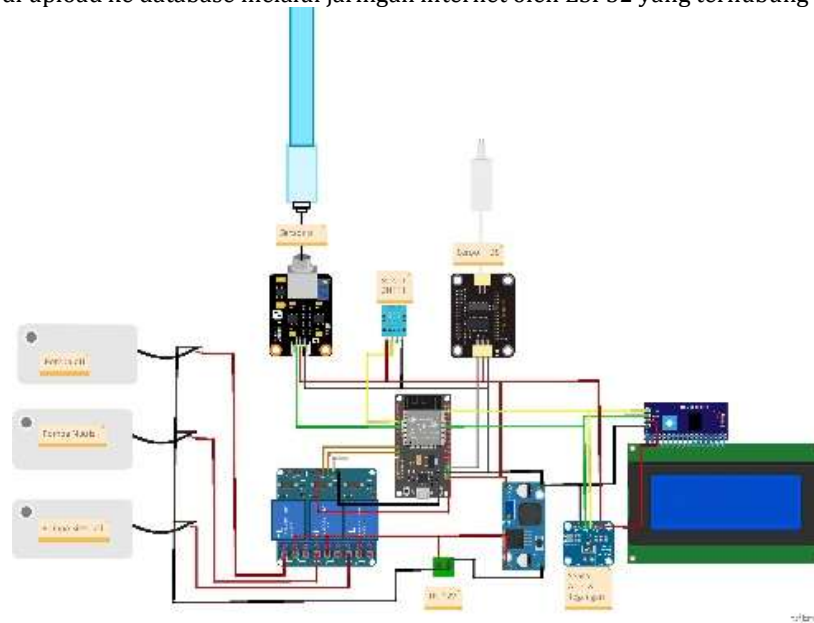
Gambar 2. Tampak Atas Sistem Hidroponik



Gambar 3. Sistem Keseluruhan

• Wiring Diagram Sistem

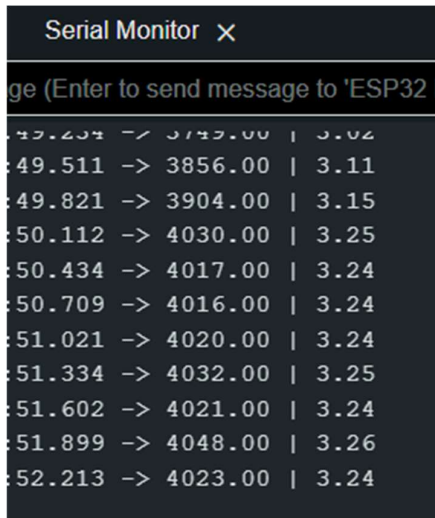
Wiring diagram sistem meliputi sensor pH, sensor TDS, sensor DHT11, sensor arus dan tegangan, LCD 20x4, buck converter, dan relay yang masing masing terhubung ke pin ESP32 untuk mengirim dan menerima data yang kemudian diolah dan di upload ke database melalui jaringan internet oleh ESP32 yang terhubung ke Wifi.



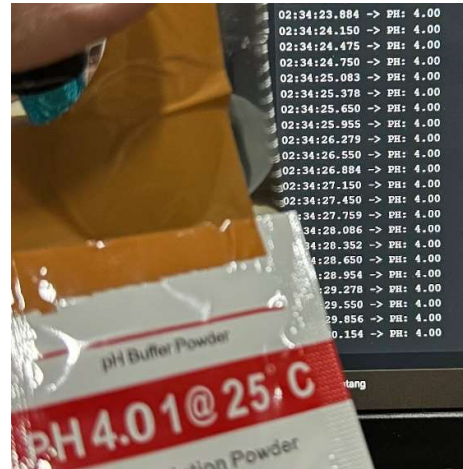
Gambar 4 Wiring Diagram Sistem

• Pengujian Sensor pH

Pengujian dan kalibrasi sensor pH dilakukan beberapa kali hingga menghasilkan nilai yang akurat dan stabil, dalam pengujian sensor pH ini menggunakan alat pH meter dan pH buffer sebagai referensi nilai pH yang akurat untuk proses kalibrasi seperti pada gambar 1.6. Nilai pembacaan sensor pH adalah berupa analog yang akan dikonversi di ADC (*analog to digital converter*) 12BIT pada ESP32 seperti pada gambar 1.5 agar data pembacaan sensor pH dapat ditampilkan menjadi nilai standart berdasarkan proses konversi dari satuan Bit ke pH.



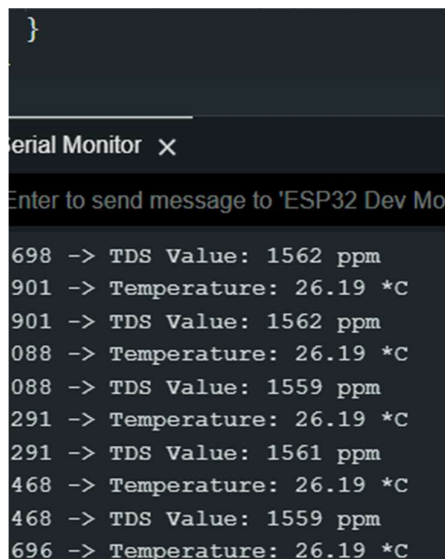
Gambar 5. Nilai ADC



Gambar 6. Hasil Kalibrasi menggunakan buffer

- **Pengujian Sensor TDS**

Pengujian sensor TDS ini untuk menguji keakuratan pembacaan sensor berdasarkan alat ukur TDS meter yang sudah ter kalibrasi, sensor ini digunakan untuk mengukur kepekatan kadar nutrisi yang digunakan pada tanaman hidroponik. Data keluaran sensor berupa analog yang nantinya akan dikonversi oleh 12BIT ADC (*analog to digital converter*) oleh ESP32 agar dapat ditampilkan nilai standart.



Gambar 7. Nilai pembacaan sensor



Gambar 8. Nilai pembacaan TDS meter

Pengujian Sensor DHT11 dan sensor Arus dan Tegangan

Pengujian dilakukan dalam beberapa tahapan. Untuk sensor DHT, pengujian dilakukan dengan memasang sensor dalam lingkungan hidroponik dan membandingkan hasilnya dengan termometer standar sebagai pembanding. Data dikumpulkan setiap 10 menit selama 24 jam untuk mendapatkan tren perubahan suhu dan kelembaban. Sedangkan untuk sensor arus dan tegangan, pengujian dilakukan dengan menghubungkan sensor ke sistem kelistrikan hidroponik untuk memantau konsumsi daya pompa dan perangkat lainnya. Hasil pengukuran dibandingkan dengan alat ukur digital untuk memastikan akurasi sensor



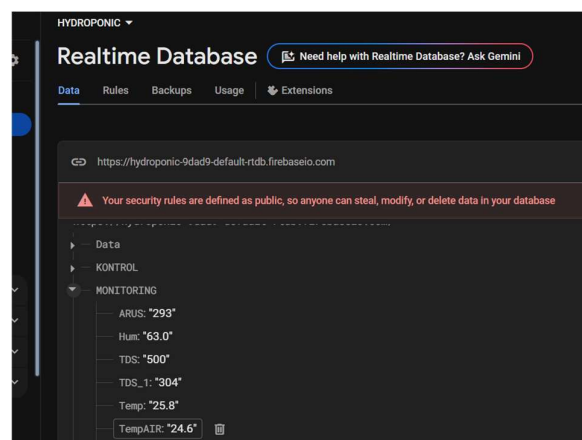
Gambar 9. Hasil pembacaan sensor DHT 11 dan INA219

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor DHT memiliki akurasi yang cukup baik dengan selisih rata-rata kurang dari 2°C untuk suhu dibandingkan dengan alat referensi. Namun, terdapat latensi atau *delay* dalam pembacaan data pada kondisi perubahan suhu yang cepat. Sensor arus dan tegangan menunjukkan hasil yang cukup akurat dengan selisih kurang dari 0.2V pada pengukuran tegangan dan 0.1A pada pengukuran arus dibandingkan dengan alat ukur digital. Penggunaan sensor ini memungkinkan pemantauan konsumsi daya secara *real-time*, sehingga efisiensi energi dalam sistem hidroponik dapat lebih terjaga.

Secara keseluruhan, pengujian menunjukkan bahwa sensor DHT dan sensor arus/tegangan dapat digunakan untuk pemantauan kondisi lingkungan dan kelistrikan dalam sistem hidroponik dengan tingkat akurasi yang memadai. Meskipun terdapat sedikit deviasi pada hasil pengukuran, sensor ini tetap dapat digunakan dengan melakukan kalibrasi secara berkala.

• Pengujian Database (Firebase)

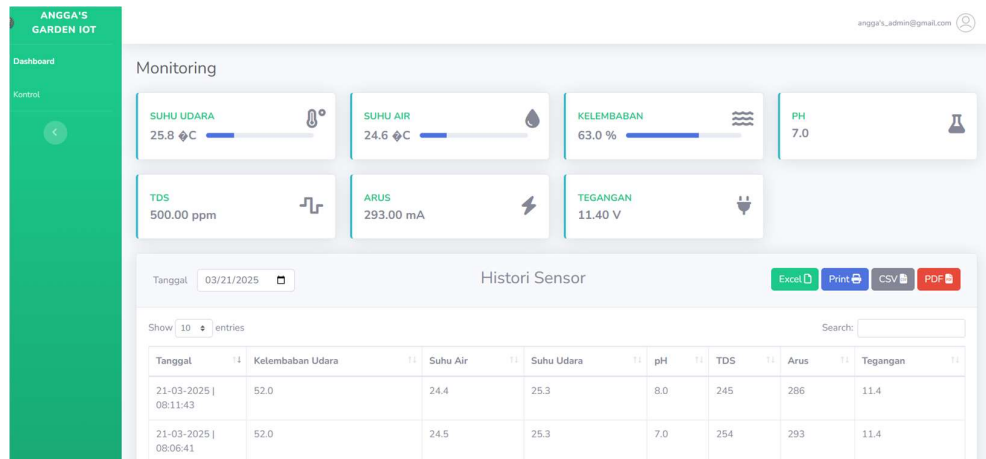
Dalam sistem monitoring hidroponik berbasis IoT, database berperan penting dalam menyimpan dan mengelola data sensor secara *real-time*. *Firebase*, digunakan sebagai layanan *database* berbasis *cloud*, menawarkan solusi yang efisien dengan fitur sinkronisasi data yang cepat dan dukungan akses dari berbagai platform. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kecepatan dan stabilitas *Firebase* dalam menyimpan serta menerima data sensor yang dikirim oleh ESP32.

Gambar 10. Pengujian *Firebase*

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *Firebase* mampu menyimpan data dengan latensi rata-rata 1 detik pada kondisi jaringan stabil. Pada kondisi jaringan yang lemah, terdapat peningkatan latensi hingga 2 - 5 detik, namun data tetap tersimpan dengan baik setelah koneksi kembali normal. Kecepatan pengambilan data juga tergolong cepat dengan rata-rata waktu respons kurang dari 1 detik untuk permintaan data dalam jumlah kecil hingga menengah. *Firebase* menunjukkan performa yang baik dalam menjaga konsistensi data, dengan data yang diterima sesuai dengan data yang dikirim.

Namun, pada kondisi tanpa koneksi internet, data tidak dapat langsung dikirim, tetapi *Firebase* mampu melakukan sinkronisasi ulang secara otomatis setelah koneksi terhubung kembali. Hal ini menunjukkan bahwa *Firebase* memiliki mekanisme buffering yang baik untuk menangani data yang tertunda atau *delay*.

- **Pengujian website**

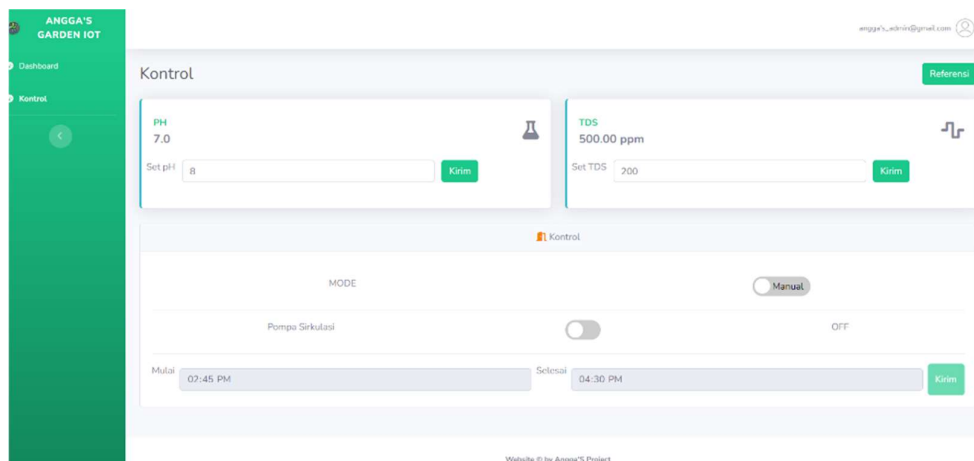
Gambar 11. Tampilan *dashboard* IoT

Dashboard sistem hidroponik ini berfungsi sebagai antarmuka untuk menampilkan data sensor secara *real-time* serta menampilkan riwayat pengukuran sensor dalam bentuk tabel yang dapat diekspor. Untuk memastikan sistem berjalan dengan optimal, dilakukan serangkaian pengujian yang mencakup validasi data, responsivitas antarmuka, kecepatan pembaruan data, serta fungsionalitas fitur yang ada seperti filter tanggal dan ekspor data.

Pengujian pertama dilakukan dengan membandingkan data sensor yang ditampilkan di *dashboard* dengan data yang dikirim oleh sensor dan disimpan di *Firestore*. Hasilnya menunjukkan bahwa data yang ditampilkan akurat dan tidak mengalami perbedaan nilai antara data *real-time* dan data histori yang tersimpan. Selain itu, dashboard mampu memperbarui data hampir secara instan dengan latensi 1 – 5 detik, hal ini menunjukkan integrasi sistem yang baik antara ESP32, *Firestore*, dan tampilan UI.

Selain itu, fitur filter tanggal dan ekspor data ke berbagai format (Excel, CSV, PDF, dan Print) juga diuji. Fitur filter dapat menampilkan data sesuai dengan rentang waktu yang dipilih, sementara fitur ekspor berfungsi dengan baik, menghasilkan file dengan format yang rapi dan sesuai dengan tampilan pada dashboard. Hal ini menunjukkan bahwa dashboard tidak hanya mampu menampilkan data dengan akurat tetapi juga menyediakan kemudahan bagi pengguna dalam menganalisis data lebih lanjut.

Sistem kontrol pada *dashboard* ini memungkinkan pengguna untuk mengatur parameter pH dan TDS secara langsung dengan memasukkan nilai *set point* yang diinginkan untuk dikirimkan ke sistem. Selain itu, terdapat fitur pengendalian pompa sirkulasi yang dapat diatur dalam mode manual atau otomatis, dengan jadwal mulai dan selesai yang bisa disesuaikan berdasarkan waktu. Dengan tampilan yang sederhana dan intuitif, pengguna dapat dengan mudah memonitor serta mengontrol kondisi hidroponik secara efisien. *Dashboard* ini juga dilengkapi dengan tombol referensi yang kemungkinan berfungsi sebagai panduan atau informasi tambahan mengenai parameter yang diatur seperti pH dan TDS yang akan diberikan.

Gambar 12. Tampilan *dashboard* control

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol dan monitoring hidroponik berbasis IoT dengan tenaga surya. Sistem ini mengintegrasikan berbagai sensor seperti pH, TDS, suhu, kelembaban, serta sensor arus dan tegangan untuk memastikan lingkungan pertumbuhan tanaman agar tetap optimal. Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai pusat pengendali yang menghubungkan sistem dengan database Firebase untuk penyimpanan dan pemantauan data secara real-time.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja secara otomatis dalam mengatur pompa berdasarkan parameter yang ditentukan, dengan data sensor yang ditampilkan secara akurat di dashboard berbasis web. Penggunaan PLTS sebagai sumber energi utama juga terbukti mampu mengurangi ketergantungan terhadap listrik PLN, sehingga lebih hemat biaya dan ramah lingkungan.

Integrasi IoT dalam sistem ini memungkinkan pemantauan dan pengendalian dari jarak jauh, sehingga meningkatkan efisiensi pertanian hidroponik. Dengan sistem ini, diharapkan teknologi pertanian modern dapat semakin berkembang dan berkontribusi dalam meningkatkan produktivitas serta keberlanjutan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. I. Perkotaan, "Ferdi Gultom, Sugeng Harianto," pp. 49–72, 2022.
- [2] E. Efendi, "Implementasi Sistem Pertanian Berkelanjutan dalam Mendukung Produksi Pertanian," *J. War.*, vol. 47, pp. 1689–1699, 2016.
- [3] A. P. Sudarmo, "Pemanfaatan Pertanian Secara Hidroponik Untuk Mengatasi Keterbatasan Lahan Pertanian Di Daerah Perkotaan," *J. Biol.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–8, 2014.
- [4] D. Komaludin, "Penerapan Teknologi Internet of Thing (IoT) pada bisnis budidaya tanaman Hidroponik sebagai langkah efisiensi biaya perawatan," *Pros. FRIMA (Festival Ris. Ilm. Manaj. dan Akuntansi)*, no. 1, pp. 682–690, 2018, doi: 10.55916/frima.v0i1.255.
- [5] A. D. Purwanto, F. Supegina, and T. M. Kadarina, "Sistem Kontrol Dan Monitor Suplai Nutrisi Hidroponik Sistem Deep Flow Technique (DFT) Berbasis Arduino NodeMCU Dan Aplikasi Android," *J. Teknol. Elektro*, vol. 10, no. 3, p. 152, 2020, doi: 10.22441/jte.v10i3.002.
- [6] Yunus Pebriyanto, Nenry Kurniawati, Made Dirgantara, and Dita Monita, "Penerapan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Sebagai Sumber Energi Alternatif Dalam Budidaya Sistem Hidroponik Di Umkm Maestro Borneo Hidroponik Farm Palangka Raya," *J-ABDI J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 2, no. 8, pp. 5725–5732, 2023, doi: 10.53625/jabdi.v2i8.4485.
- [7] T. Puspita, Y. R. Deni, and A. I. Darmawan, "Pres (Photovoltaic Renewable Energy Resources): Rancang Bangun Esp Berbasis Modul Surya 50 WP Pada Sistem Hidroponik DFT (Deep Flow Technique)," *J. Ris. Rumpun Ilmu Tanam.*, vol. 2, no. 1, pp. 3–5, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.55606/jurrit.v2i1.1770>
- [8] M. Y. Puriza, W. Yandi, and A. Asmar, "Perbandingan Efisiensi Konversi Energi Panel Surya Tipe Polycrystalline dengan Panel Surya Monocrystalline Berbasis Arduino di Kota Pangkalpinang," *J. Ecotipe (Electronic, Control. Telecommun. Information, Power Eng.)*, vol. 8, no. 1, pp. 47–52, 2021, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v8i1.2034.
- [9] "Perencanaan PLTS Rooftop Sistem Hybrid Pada Rumah Tinggal di Hayam Wuruk Residence – Denpasar Menggunakan Software Homer & Sunny Design", [Online]. Available: <https://repository.pnb.ac.id/8273/>
- [10] R. H. Hilmy, R. Susana, F. Hadiatna, J. T. Elektro, F. T. Industri, and K. Bandung, "Rancang Bangun Smart Grow Box Hidroponik untuk Pertumbuhan Tanaman Microgreen Berbasis Internet of Things," vol. 10, no. 2, 2021.
- [11] M. R. Juanda, "Rancang Bangun Aplikasi Mobile Berbasis Internet Of Things Untuk Pemantauan Nutrisi Tanaman Selada Hidroponik," vol. 5, no. 2, pp. 23–25, 2020.
- [12] T. Dano, "MSI Transaction on Education Rancang Bangun Sistem Monitoring PLTS Off-Grid Berbasis IoT MSI Transaction on Education," vol. 4, no. 2, pp. 71–84, 2023.
- [13] M. W. Hamdani, "Perancangan dan Implementasi Metode Kontrol Fuzzy Logic Mamdani pada Sistem Kontrol TDS dan pH Hidroponik," *JTT (Jurnal Teknol. Terpadu)*, vol. 10, no. 2, pp. 171–183, 2022, doi: 10.32487/jtt.v10i2.1555.
- [14] D. Srivastava, A. Kesarwani, and S. Dubey, "Measurement of Temperature and Humidity by using Arduino Tool and DHT11," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 05, no. 12, pp. 876–878, 2018, [Online]. Available: www.irjet.net
- [15] D. Erwanto, D. A. Widhining K., and T. Sugiarto, "Sistem Pemantauan Arus Dan Tegangan Panel Surya Berbasis Internet of Things," *Multitek Indones.*, vol. 14, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.24269/mtkind.v14i1.2195.
- [16] M. Babiuch, P. Foltyniek, and P. Smutny, "Using the ESP32 microcontroller for data processing," *Proc. 2019 20th Int. Carpathian Control Conf. ICC 2019*, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/CarpathianCC.2019.8765944.

- [17] D. Setiawan, H. Jaya, S. Nurarif, T. Syahputra, and M. Syahril, "Implementasi Esp32-Cam Dan Blynk Pada Wifi Door Lock System Menggunakantechnik Duplex," *J. Sci. Soc. Res.*, vol. 5, no. 1, p. 159, 2022, doi: 10.54314/jssr.v5i1.807.
- [18] R. J. Gunadi, R. Tanone, and Y. R. Beeh, "497193-None-5057a1Cb," vol. 4, no. 2, pp. 282–291, 2020.