

Design of an ESP32-Based Automatic AB Mix Nutrient Control System for Hydroponic Cultivation

Perancangan Sistem Kendali Nutrisi Ab Mix Otomatis Berbasis Esp32 Untuk Hidroponik

Rafli Nauvinda Al Fitrani¹⁾, Shazana Dhiya Ayuni*²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: shazana@umsida.ac.id

Abstract. Nutrient concentration in hydroponic solutions has a significant influence on plant growth, while manually monitoring and adjusting nutrient levels requires time and accuracy. This study aims to evaluate the performance of an ESP32-based automatic AB Mix control system for monitoring and regulating nutrient concentration in hydroponic solutions. The system uses a TDS sensor to measure ppm levels and an ESP32 as the controller for DC pump actuators to add nutrients or water according to the solution conditions. Testing was conducted under two conditions, namely an initial ppm level below 700 ppm and above 800 ppm, with three tests for each condition. System performance was evaluated based on its ability to achieve the target range of 700–800 ppm. The results showed that all six tests successfully reached the target range, resulting in a system success rate of 100%. These results indicate that the ESP32-based automatic AB Mix control system is capable of regulating nutrient concentration according to the initial ppm conditions and the predetermined target range. The system can be used as an alternative to assist in the automatic monitoring and regulation of nutrient concentration in hydroponic cultivation.

Keywords - AB Mix; ESP32; Hydroponics; TDS Sensor; Automatic Control

Abstrak. Kadar nutrisi dalam larutan hidroponik sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman, sedangkan pengaturan dan pemantauan kadar nutrisi secara manual memerlukan waktu dan ketelitian. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem kontrol AB Mix otomatis berbasis ESP32 dalam memantau dan mengatur kadar nutrisi pada larutan hidroponik. Sistem menggunakan sensor TDS untuk membaca kadar PPM dan ESP32 sebagai pengendali aktuator berupa pompa DC untuk menambahkan nutrisi atau air sesuai kondisi larutan. Pengujian dilakukan pada dua kondisi, yaitu kadar PPM awal di bawah 700 ppm dan di atas 800 ppm, dengan masing-masing tiga kali pengujian. Kinerja sistem dievaluasi berdasarkan kemampuan mencapai rentang target 700–800 ppm serta nilai deviasi PPM akhir terhadap nilai referensi 750 ppm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh enam pengujian berhasil mencapai rentang target dengan tingkat keberhasilan sebesar 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem kontrol AB Mix otomatis berbasis ESP32 mampu melakukan pengendalian kadar nutrisi sesuai dengan kondisi PPM awal dan rentang target yang telah ditentukan. Sistem ini dapat digunakan sebagai salah satu alternatif untuk membantu proses pemantauan dan pengaturan nutrisi pada budidaya hidroponik secara otomatis..

Kata Kunci – AB Mix; ESP32; Hidroponik; Sensor TDS; Kontrol Otomatis

I. PENDAHULUAN

Hidroponik merupakan sistem budidaya tanaman yang menggunakan air sebagai media pertumbuhan tanaman, hal ini berbeda dengan sistem konvensional yang menggunakan tanah untuk media penanaman. Berbeda dengan tanah yang memiliki unsur hara, kebutuhan nutrisi hidroponik yang biasa disebut AB mix dicampurkan langsung ke media air sehingga akar tanaman dapat langsung menyerap unsur hara yang dibutuhkan[1]. Namun fluktuasi kadar Nutrisi AB mix yang terjadi terus menerus mengakibatkan permasalahan dalam perkembangan tanaman. Oleh karena itu pemantauan dan pengaturan nutrisi AB mix otomatis menjadi salah satu aspek yang penting dalam menjaga kondisi pertumbuhan tanaman agar tetap optimal[2][3].

Seiring berkembangnya Internet of Things (IoT), berbagai penelitian telah mengembangkan sistem monitoring nutrisi AB mix berbasis sensor tds dan mikrokontroler, termasuk penggunaan platform seperti ESP32 untuk membaca dan mengirimkan data secara real-time [4][5]. Beberapa studi sebelumnya terbatas hanya dapat memonitoring saja, sementara penelitian lain dapat mengatur kadar nutrisi AB mix dari jarak jauh tapi masih mengandalkan manusia sebagai operator[5][6]. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut lebih menekankan aspek monitoring

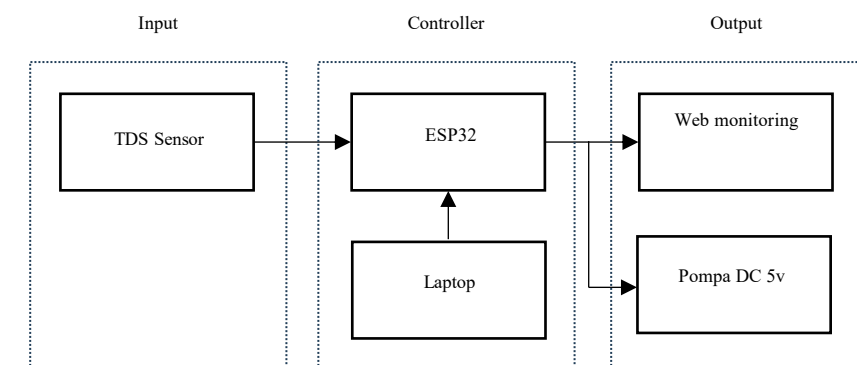
dan manusia sebagai operator dibandingkan otomatisasi sistem pengaturan kadar nutrisi AB mix dan fleksibilitas devices monitoring untuk memantau kadar nutrisi hidroponik secara near real time.

Dalam sistem hidroponik, ketidakmerataan konsentrasi nutrisi AB Mix pada larutan dapat menyebabkan tanaman memperoleh nutrisi yang tidak sesuai secara optimal[6]. Kondisi tersebut dapat dipengaruhi oleh proses pencampuran dan sirkulasi larutan yang kurang merata, sehingga diperlukan sistem monitoring dan pengendalian yang mampu memberikan informasi kondisi nutrisi secara berkala[7]. Selain itu, penggunaan sensor TDS sebagai alat ukur konsentrasi nutrisi memiliki keterbatasan berupa stabilitas pembacaan dan waktu respons terhadap perubahan kondisi larutan. Pembacaan sensor yang tidak stabil dapat menghasilkan nilai yang berfluktuasi, sedangkan waktu respons yang relatif lambat dapat menyebabkan sistem terlambat dalam mendeteksi perubahan konsentrasi nutrisi. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi kinerja sensor dan alat secara menyeluruh melalui pengukuran tingkat kesalahan, konsistensi pembacaan, stabilitas nilai, serta waktu respons alat pada kondisi operasional hidroponik. Evaluasi tersebut penting untuk memastikan bahwa sistem monitoring dan kontrol AB Mix yang dikembangkan mampu memberikan data yang representatif serta merespons perubahan konsentrasi nutrisi secara tepat[8][9].

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini difokuskan pada pengkajian kinerja alat dalam mengatur kadar nutrisi AB Mix pada larutan hidroponik berbasis ESP32[10]. Pengujian dilakukan dengan memberikan kondisi konsentrasi nutrisi pada nilai ppm di bawah dan di atas rentang target yang telah ditentukan yaitu $700 < x < 800$ ppm. Selanjutnya, dilakukan pengamatan terhadap kinerja sistem dalam merespons perubahan tersebut dan mengendalikan konsentrasi nutrisi hingga mencapai rentang ppm yang ditargetkan. Evaluasi dilakukan dengan melihat keberhasilan sistem dalam mencapai target, kestabilan pembacaan sensor, serta waktu respons alat terhadap perubahan konsentrasi nutrisi. Melalui evaluasi tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kinerja dan kelayakan sistem kendali otomatis dan monitoring nutrisi AB Mix berbasis ESP32 sebagai solusi yang sederhana dan efisien untuk membantu menjaga konsentrasi nutrisi pada sistem hidroponik[11].

II. METODE

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang meliputi perancangan sistem, pengambilan data, serta analisis kinerja sensor & Sistem otomatis[9]. Sistem ini dirancang menggunakan platform ESP32 yang terintegrasi dengan sensor tds untuk membaca kadar ppm pada larutan nutrisi AB mix dalam sistem hidroponik[9][12]. Sensor diletakan pada wadah tempat air yang sudah dicampur nutrisi AB mix dalam konsentrasi tertentu. Data analog yang dihasilkan sensor dikonversi menjadi data digital oleh mikrokontroler untuk selanjutnya ditampilkan dan digunakan untuk mengatur hidup matinya pompa nutrisi agar kadar ppm dapat mencapai target normal sekitar 700-800 ppm [13]. Arsitektur sistem kendali nutrisi hidroponik otomatis dan monitoring berbasis esp32 yang dikembangkan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Diagram tersebut menggambarkan integrasi antara sensor tds sebagai unit input, mikrokontroler sebagai pengolah sinyal dan pengendali utama sistem, serta perangkat output yang berfungsi untuk visualisasi dan aktuator alat. Konfigurasi ini menunjukkan alur pemrosesan data secara berurutan mulai dari pembacaan kadar ppm awal, pemrosesan sinyal, pengaturan otomatisasi pompa hingga penampilan hasil kinerja alat.

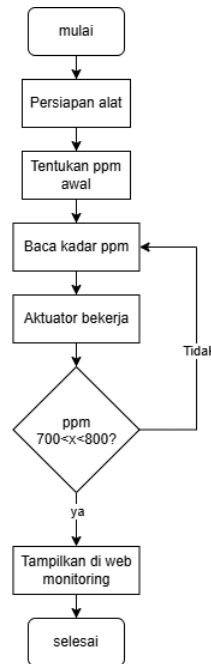


Gambar 1. Diagram Blok Sistem Kendali Otomatis & Monitoring nutrisi AB Mix

Tahap pengambilan data dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi kadar nutrisi awal di bawah 700 ppm dan kondisi kadar nutrisi awal di atas 800 ppm. Pada setiap pengujian, sistem terlebih dahulu mendeteksi kadar ppm awal larutan. Berdasarkan hasil pembacaan tersebut, ESP32 memproses data dan memberikan sinyal kendali kepada aktuator berupa pompa DC 5 volt untuk menambahkan nutrisi atau air sesuai dengan kondisi larutan[14][15]. Proses pengaturan dilakukan hingga kadar nutrisi dalam wadah berada pada rentang yang ditentukan, yaitu sekitar 700–800

ppm. Pengambilan data dilakukan secara berulang pada masing-masing kondisi untuk memperoleh gambaran mengenai konsistensi dan stabilitas kinerja sistem.

Prosedur pengujian dimulai dengan pembacaan kadar ppm awal larutan. Selanjutnya, data hasil pembacaan diproses oleh ESP32 untuk menentukan tindakan pengendalian berupa penambahan nutrisi atau air[16]. Setelah aktuator bekerja, kadar ppm larutan kembali diukur untuk mengetahui perubahan yang terjadi. Proses tersebut dilakukan hingga kadar ppm berada pada rentang target 700–800 ppm[17]. Hasil pengujian kemudian digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengendalikan kadar nutrisi sesuai dengan rentang yang telah ditentukan. Alur tahapan penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Prosedur Pengujian

Analisis kinerja sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor TDS dengan nilai pembacaan TDS meter sebagai alat pembanding. Tingkat kesalahan pembacaan sensor dihitung menggunakan persentase error dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Tingkat keberhasilan} = \frac{X_s}{X_r} \times 100\% \quad [18]$$

Di mana X_s merupakan nilai jumlah percobaan berhasil dan X_r merupakan jumlah seluruh percobaan. Selain perhitungan persentase error, dilakukan pula analisis rata-rata error dan penyimpangan data untuk menilai stabilitas serta konsistensi pembacaan sensor dalam pengukuran berulang.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Sensor

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengendalikan kadar nutrisi larutan hidroponik menggunakan sensor TDS, ESP32, dan aktuator berupa pompa DC 5 volt. Pengujian dilakukan pada dua kondisi kadar nutrisi awal, yaitu kondisi di bawah rentang target 700–800 ppm dan kondisi di atas rentang target 700–800 ppm. Pada kondisi kadar nutrisi awal di bawah 700 ppm, sistem mengaktifkan pompa nutrisi untuk menambahkan larutan AB Mix. Sementara itu, pada kondisi kadar nutrisi awal di atas 800 ppm, sistem mengaktifkan pompa air untuk menurunkan konsentrasi nutrisi dalam larutan.

Setiap pengujian diawali dengan pembacaan kadar ppm awal menggunakan sensor TDS. Nilai tersebut kemudian diproses oleh ESP32 untuk menentukan tindakan pengendalian yang sesuai. Setelah aktuator bekerja, kadar ppm kembali diukur untuk mengetahui perubahan konsentrasi larutan. Pengujian dinyatakan berhasil apabila kadar ppm akhir berada dalam rentang target 700–800 ppm.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem Kontrol AB Mix

ppm awal	Tindakan aktuator	ppm akhir	Target	Hasil
475	Pompa nutrisi on	711	700-800 ppm	Berhasil
565	Pompa nutrisi on	746	700-800 ppm	Berhasil
645	Pompa nutrisi on	782	700-800 ppm	Berhasil
835	Pompa air on	781	700-800 ppm	Berhasil
920	Pompa air on	731	700-800 ppm	Berhasil
970	Pompa air on	771	700-800 ppm	Berhasil

Berdasarkan Tabel 1, sistem mampu mengubah kadar nutrisi awal yang berada di bawah maupun di atas rentang target menuju nilai yang mendekati rentang 700–800 ppm. Pada kondisi awal di bawah 700 ppm, tiga dari tiga pengujian berhasil mencapai rentang target. Pengujian dengan nilai awal 475 ppm menghasilkan kadar akhir sebesar 711 ppm, sedangkan nilai awal 565 ppm dan 645 ppm masing-masing berubah menjadi 746 ppm dan 782 ppm.

Pada kondisi awal di atas 800 ppm, tiga dari tiga pengujian juga berhasil mencapai rentang target. Nilai awal sebesar 835 ppm berhasil diturunkan menjadi 781 ppm, sedangkan nilai awal 920 ppm dan 970 ppm masing-masing menghasilkan kadar akhir 731 ppm dan 771 ppm.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem kontrol mampu memberikan respons sesuai dengan kondisi kadar nutrisi awal. Ketika kadar ppm berada di bawah batas minimum, sistem mengaktifkan pompa nutrisi untuk meningkatkan konsentrasi larutan. Sebaliknya, ketika kadar ppm berada di atas batas maksimum, sistem mengaktifkan pompa air untuk menurunkan konsentrasi larutan. Dengan demikian, logika kendali yang diterapkan pada ESP32 dapat digunakan untuk mengarahkan kadar nutrisi menuju rentang target yang telah ditentukan.

Analisis Deviasi Sensor terhadap Alat Standar

Analisis tingkat keberhasilan dilakukan untuk mengetahui persentase pengujian yang mampu mencapai kadar nutrisi pada rentang 700–800 ppm. Pengujian dinyatakan berhasil apabila nilai ppm akhir berada di dalam rentang tersebut. Berdasarkan hasil pengujian, terdapat 6 pengujian yang berhasil mencapai rentang target dari total 6 pengujian. Dengan demikian, tingkat keberhasilan sistem dapat dihitung sebagai berikut:

Tabel 2. Rekapitulasi Tingkat Keberhasilan Sistem

Kondisi pengujian	Jumlah pengujian	Berhasil	Tidak berhasil	Tingkat keberhasilan (%)
ppm awal < 700	3	3	0	100
ppm awal > 800	3	3	0	100
Total	3	3	0	100

Berdasarkan Tabel 2, tingkat keberhasilan sistem pada kedua kondisi pengujian adalah sebesar 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mengendalikan kadar nutrisi pada seluruh pengujian hingga mencapai rentang target 700–800 ppm. Pada kondisi ppm awal di bawah 700 ppm, sistem berhasil meningkatkan kadar nutrisi melalui penambahan larutan AB Mix hingga mencapai rentang target. Sementara itu, pada kondisi ppm awal di atas 800 ppm, sistem berhasil menurunkan kadar nutrisi melalui penambahan air hingga kadar ppm berada dalam rentang target.

Tabel 3. Rekapitulasi Deviasi Pembacaan ppm

Ppm awal tds sensor	Ppm akhir tds sensor	Ppm akhir tds meter	Deviasi (ppm)	Deviasi (%)
475	711	718	7	0,97
565	746	752	6	0,8
645	782	775	7	0,9
835	781	789	8	1,01
920	731	724	7	0,97
970	771	779	8	1.03

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan respons aktuator sesuai dengan kondisi kadar nutrisi yang terdeteksi oleh sensor TDS. Meskipun seluruh pengujian berhasil mencapai rentang target, perubahan nilai ppm pada setiap pengujian tidak selalu memiliki besaran yang sama. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh karakteristik pembacaan sensor TDS, proses pencampuran larutan setelah penambahan nutrisi atau air, volume larutan dalam wadah, serta durasi pengoperasian pompa. Faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan perubahan kadar ppm yang berbeda pada setiap kondisi pengujian. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem telah mampu menjalankan fungsi pengendalian kadar nutrisi secara otomatis sesuai dengan rentang target yang telah ditentukan.

• Evaluasi Kinerja Sistem Monitoring Nutrisi AB Mix

Perbedaan perubahan kadar ppm yang terjadi pada setiap pengujian terutama dipengaruhi oleh kondisi kadar nutrisi awal, volume larutan dalam wadah, jumlah larutan yang ditambahkan, serta durasi pengoperasian pompa. Pada kondisi kadar ppm awal di bawah 700 ppm, sistem bekerja dengan mengaktifkan pompa nutrisi untuk meningkatkan konsentrasi larutan hingga berada pada rentang target 700–800 ppm. Sementara itu, pada kondisi kadar ppm awal di atas 800 ppm, sistem mengaktifkan pompa air untuk menurunkan konsentrasi nutrisi hingga mencapai rentang yang telah ditentukan. Perbedaan nilai ppm awal menyebabkan besarnya perubahan kadar ppm pada setiap pengujian tidak sama.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan respons aktuator sesuai dengan kondisi kadar ppm yang terdeteksi. Pada seluruh enam pengujian, kadar ppm akhir berhasil berada dalam rentang target 700–800 ppm. Meskipun demikian, nilai ppm akhir pada setiap pengujian menunjukkan hasil yang berbeda. Perbedaan tersebut dapat terjadi karena karakteristik pembacaan sensor TDS, proses pencampuran larutan setelah penambahan AB Mix atau air, serta perbedaan waktu kerja pompa pada masing-masing kondisi. Setelah larutan ditambahkan, proses pencampuran juga dapat memengaruhi kestabilan pembacaan sensor sebelum nilai ppm menunjukkan kondisi yang lebih stabil.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol AB Mix telah mampu menjalankan proses pengendalian kadar nutrisi secara otomatis pada kondisi ppm awal di bawah 700 ppm maupun di atas 800 ppm. Tingkat keberhasilan sebesar 100% pada enam pengujian menunjukkan bahwa pada kondisi pengujian yang dilakukan, sistem berhasil mengarahkan kadar ppm akhir ke dalam rentang target 700–800 ppm. Namun, jumlah pengujian yang terbatas membuat hasil tersebut lebih tepat digunakan untuk menunjukkan kinerja sistem pada kondisi pengujian penelitian ini, bukan sebagai dasar untuk menyatakan bahwa sistem akan selalu mencapai hasil yang sama pada seluruh kondisi penggunaan.

VII. SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian alat kontrol AB Mix otomatis berbasis ESP32, dapat disimpulkan bahwa sistem telah berhasil melakukan pemantauan dan pengendalian kadar nutrisi larutan hidroponik secara otomatis menggunakan sensor TDS dan pompa DC. Sistem mampu merespons kondisi kadar ppm awal dengan menambahkan nutrisi ketika ppm berada di bawah 700 ppm dan menambahkan air ketika ppm berada di atas 800 ppm. Dari enam pengujian yang dilakukan, yaitu tiga pengujian pada kondisi ppm awal di bawah 700 ppm dan tiga pengujian pada kondisi ppm awal di atas 800 ppm, seluruh pengujian berhasil mencapai rentang target 700–800 ppm sehingga diperoleh tingkat keberhasilan sebesar 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan fungsi pengendalian kadar nutrisi sesuai dengan kondisi dan rentang target yang telah ditentukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak/Ibu Dosen Pembimbing atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang diberikan selama proses penelitian ini sehingga penelitian dapat berjalan dengan lancar.

Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada rekan-rekan di Laboratorium Teknik Elektro yang telah menyediakan fasilitas, membantu pengambilan data, serta mendukung kegiatan penelitian dengan penuh kerjasama. Bantuan dan dukungan dari semua pihak sangat berarti bagi kelancaran penelitian ini.

REFERENSI

- [1] I. Rosyidah, "Implementasi Pengolahan Citra Untuk Mendeteksi Kadar Nutrisi AB MIX Tanaman Pakcoy Hidroponik Implementation of Image Processing On Hydroponic Pakcoy Plants To Detect AB MIX Nutrient Levels," vol. 6, pp. 5–10, 2024.
- [2] B. Prasetya, A. B. Setiawan, and B. F. Hidayatulail, "Fuzzy Mamdani Pada Tanaman Tomat Hidroponik," *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 228–263, 2019, doi: 10.21070/jeee-u.v3i2.2471.
- [3] B. Control, P. U. Trichoderma, and G. Conditions, "Table of Contents Table of Contents : الإستشهاد المطلوب 1 .pp, 3 .on, 62 .lov," 4, 2026, doi: 10.21070/ijins.v26i3.2062.
- [4] Zidan Nur Fauzan, Indah Sulistiyowati, Syamsudduha Syahririni, and Agus Hayatal Falah, "Prototipe Jembatan dengan Sistem Buka Tutup Otomatis Menggunakan Sensor Inframerah Berbasis IoT," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 24, no. 1, pp. 13–28, 2025, doi: 10.31358/techne.v24i1.518.
- [5] Haryanto, D. Anis Anggraini, M. Ulum, and A. Fiqhi Ibadillah, "Image Processing Based Aquaponics Monitoring System," *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 37–59, 2021, doi: 10.21070/jeeu.v5i1.1220.
- [6] O. Pasokan, N. Berbasis, and T. Surya, "Solar-Powered IoT-Based Nutrient Supply Automation for Supporting the Performance of Hydroponic Farming Systems," vol. 10, no. 2, 2026.
- [7] G. R. Auwali, A. Ahfas, and S. D. Ayuni, "Alat Kontrol dan Pengaman Sepeda Motor Menggunakan ESP 32 Cam Berbasis Telegram untuk Meminimalisasi Pencurian," *MALCOM Indones. J. Mach. Learn. Comput. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 219–229, 2023, doi: 10.57152/malcom.v3i2.923.
- [8] E. A. S. Aji, J. Jamaaluddin, A. Ahfas, and S. D. Ayuni, "Leak Monitoring in Split Duct Air Conditioner Based on Internet of Things," *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 176–187, 2023, doi: 10.21070/jeeu.v7i2.1678.
- [9] S. D. Ayuni, S. Syahririni, and J. Jamaaluddin, "Lapindo Embankment Security Monitoring System Based on IoT," *Elinvo (Electronics, Informatics, Vocat. Educ.*, vol. 6, no. 1, pp. 40–48, 2021, doi: 10.21831/elinvo.v6i1.40429.
- [10] S. Syahririni and D. Hadidjaja, "Aplikasi Alat Ukur Partikulat Dan Suhu Berbasis Iot," *Dinamik*, vol. 25, no. 1, pp. 1–9, 2020, doi: 10.35315/dinamik.v25i1.7512.
- [11] M. K. S. Burrage PS Brinckerhoff CE, "Table of Contents Table of Contents ي ر ت ك د ه ب ح ا ص م ز ا ي پ ا ت ر ي س ز ا," *Eur. Univ. Inst.*, vol. 27, no. 2, pp. 2–5, 2012, doi: 10.21070/ijins.v27i4.2328.
- [12] R. A. Panjaitan, "PROTOTYPE SISTEM PEMBERIAN NUTRISI OTOMATIS PADA TANAMAN HIDROPONIK SELADA DENGAN WICK SYSTEM BERBASIS INTERNET OF THING (IoT)," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 2, pp. 927–934, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i2.4063.
- [13] D. Pandu Nanggala, I. Sulistiyowati, and D. Hadidjaja Rasjid Saputra Prodi Teknik Elektro, "Prototipe Perangkat Biawak Otomatis untuk Kolam Ikan Nila Berbasis Smartphone Smartphone-based Automatic Monitor Lizard Trap Prototype for Tilapia Fish Ponds," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 133, pp. 133–140, 2024.
- [14] A. Ramadhan, J. Jamaaluddin, and S. D. Ayuni, "Alat Pendeteksi Dini Kebakaran dan Pemadam Otomatis Dilengkapi dengan Video Streaming Berbasis Internet of Things," *SinarFe7*, vol. 4, no. 1, pp. 645–649, 2021.
- [15] M. A. Sahuri, D. H. R. S, and A. Wisaksono, "R ANCANG B ANGUN A LAT M ONITORING K ONDISI S UHU T UBUH DAN J ANTUNG," vol. 26, pp. 68–79, 2021.
- [16] J. Y. Mahardika, I. Anshory, D. H. R. Saputra, and I. Sulistiyowati, "Rancang Bangun Sistem Pembersih Saluran Air Pada Kluster Perumahan Berbasis Arduino Uno," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, pp. 124–131, 2024.
- [17] A. Ahfas, M. B. Ulum, D. H. R. Saputra, and S. Syahririni, "Automatic Spray Disinfectant Chicken with Android Based on Arduino Uno," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 519, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/519/1/012013.
- [18] M. Shenbagam, S. Venkataraman, B. Mukherjee, and S. Member, "Simultaneous Proportional Control of Two Degrees-of-Freedom Human Machine Interface Using Highly Sparse Sonomyography," 2026.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.