



Sistem Kendali Irigasi Otomatis Pada Pertanian Hidroponik Vertikal Dengan Metode *Internet Of Things (IoT)*

Mardiyansah¹, Dewi Permata Sari², RD. Kusumanto³

¹Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya

¹ma5806988@gmail.com*, ²dewi_permatasari@polsri.ac.id, ³manto_6611@yahoo.co.id

Abstract

Vertical hydroponic farming is an innovative method for cultivating plants efficiently in urban environments. However, the main challenge in managing hydroponic farming is the monitoring and regulation of proper water levels for the plants, especially on a large scale or in remote locations. To address this issue, an automatic irrigation control system using the Internet of Things (IoT) method offers a potential solution. This study proposes the development of an automatic irrigation control system integrated with IoT technology. The aim of this research is to enhance the efficiency and productivity of vertical hydroponic farming. The system utilizes ultrasonic sensors and water flow sensors directly connected to a microcontroller, which is then linked to an IoT platform via a wireless network. Data obtained from these sensors are sent to the IoT platform for real-time processing and analysis. **Keywords:** Internet of Things (IoT) Sensor Ultrasonic, Sensor Waterflow, Vertikal Farming

Abstrak

Pertanian hidroponik vertikal merupakan metode inovatif dalam budidaya tanaman secara efisien di lingkungan perkotaan. Namun, tantangan utama dalam mengelola pertanian hidroponik adalah pemantauan dan pengaturan kadar air yang tepat bagi tanaman, terutama dalam skala besar atau di lokasi terpencil. Untuk mengatasi permasalahan ini, sistem kendali irigasi otomatis menggunakan metode Internet of Things (IoT) menjadi solusi yang potensial. Studi ini mengusulkan pengembangan sistem kendali irigasi otomatis yang terintegrasi dengan teknologi IoT. Tujuan penelitian ini untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian hidroponik vertikal. Objek yang digunakan pada sistem ini terdiri dari sensor ultrasonic dan sensor debit air yang terhubung secara langsung dengan mikrokontroler, yang kemudian terhubung ke platform IoT melalui jaringan nirkabel. Data yang diperoleh dari sensor tersebut dikirim ke platform IoT untuk diproses dan dianalisis secara real-time.

Kata kunci: Internet of Things (IoT), Sensor Ultrasonik, Sensor Debit Air, Pertanian Hidroponik Vertikal

Diterima Redaksi : 02-11-2023 | Selesai Revisi : 05-11-2023 | Diterbitkan Online : 31-12-2023

1. Pendahuluan

Pertanian hidroponik vertikal telah menjadi solusi yang menjanjikan dalam menjawab tantangan global terhadap ketersediaan pangan, terutama di kawasan perkotaan yang padat. Metode ini tidak hanya efisien dalam pemanfaatan ruang, tetapi juga mengurangi konsumsi air secara signifikan dibandingkan pertanian konvensional. Namun, kesuksesan pertanian hidroponik vertikal sangat bergantung pada pengelolaan yang baik terhadap lingkungan pertumbuhan tanaman, termasuk pengaturan irigasi yang optimal. Objek yang digunakan pada sistem ini terdiri dari sensor ultrasonic dan sensor debit air yang terhubung secara langsung dengan mikrokontroler.

Irigasi merupakan aspek krusial dalam budidaya hidroponik, di mana tanaman diberi nutrisi dan air

melalui larutan nutrisi yang diatur dengan ketat. Pengaturan irigasi yang tepat memainkan peran penting dalam memastikan tanaman mendapatkan nutrisi yang cukup tanpa over-irigasi atau under-irigasi yang dapat mengganggu pertumbuhan dan kesehatan tanaman.

Dalam era digital saat ini, teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan irigasi pada pertanian hidroponik vertikal. Sistem kendali irigasi otomatis berbasis IoT memanfaatkan sensor-sensor untuk memantau kondisi tanah, suhu udara, kelembaban, dan faktor-faktor lingkungan lainnya secara real-time. Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini diintegrasikan ke dalam platform digital yang memungkinkan pengawasan dan pengaturan irigasi dari jarak jauh.

Dalam tulisan ini, kami mengusulkan konsep dan manfaat dari implementasi sistem kendali irigasi otomatis berbasis IoT pada pertanian hidroponik vertikal. Kami akan menjelaskan bagaimana teknologi ini dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air, mengoptimalkan kondisi pertumbuhan tanaman, serta memberikan dukungan untuk pertanian yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Diharapkan tulisan ini dapat memberikan wawasan yang berharga bagi para praktisi pertanian, peneliti, dan pengambil kebijakan dalam memajukan teknologi pertanian modern.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan sistem kendali irigasi otomatis pada pertanian hidroponik vertikal menggunakan teknologi Internet of Things (IoT).

2.1. Metode Sistem Kendali Berbasis Iot

Sistem kendali berbasis IoT di pertanian hidroponik vertikal mengacu pada integrasi teknologi Internet of Things (IoT) dalam mengatur dan memantau proses irigasi serta lingkungan tumbuh tanaman secara otomatis. Konsep ini menggunakan sensor-sensor yang terhubung secara nirkabel untuk mengumpulkan data tentang kelembaban tanah, suhu udara, pH larutan nutrisi, dan faktor-faktor lingkungan lainnya yang relevan.



Gambar 1. IoT

Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini dikirimkan secara langsung ke platform IoT, di mana data tersebut dianalisis dan diolah untuk memberikan informasi yang akurat dan real-time kepada petani. Berdasarkan analisis ini, sistem kemudian mengambil keputusan otomatis untuk mengatur irigasi tanaman sesuai dengan kebutuhan spesifik setiap tanaman dan kondisi lingkungan di lokasi pertanian.

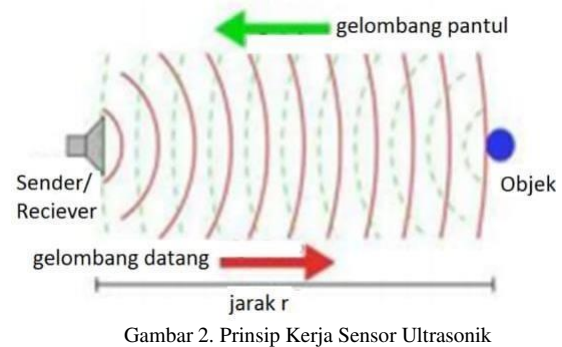
Dengan menggunakan teknologi ini, sistem kendali IoT memungkinkan pengelolaan yang lebih presisi dalam penggunaan air dan nutrisi, serta memungkinkan pengawasan dan pengaturan dari jarak jauh melalui

aplikasi atau platform web. Hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi tanaman hidroponik vertikal tetapi juga mendukung pertanian yang lebih berkelanjutan dengan mengurangi pemborosan sumber daya dan meningkatkan produktivitas hasil tanaman secara keseluruhan.

2.2. Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor HC-SR04 adalah sensor pengukur jarak berbasis gelombang ultrasonik. Keunggulan sensor ini adalah jangkauan deteksi sekitar 2 cm sampai 500 cm dengan resolusi 1 cm. Sensor HC-SR04 adalah versi low cost dari sensor ultrasonic PING buatan parallax. Perbedaannya terletak pada pin yang digunakan. HC-SR04 menggunakan 4 pin sedangkan PING buatan parallax menggunakan 3 pin. Sensor Ultrasonik tipe HC-SR04 adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur jarak dari suatu objek. Kisaran jarak yang dapat diukur yaitu sekitar 2 – 450 cm dengan akurasi yang dapat dijangkau mencapai 3mm. Prinsip kerja sensor ini adalah bekerja dengan mengirimkan pulsa ultrasonik sekitar 40 KHz, kemudian dapat memantulkan pulsa echo kembali, dan menghitung waktu yang diambil dalam mikrodetik.

2.2.1 Prinsip Kerja Sensor Ultrasonik HC-SR04



Gambar 2. Prinsip Kerja Sensor Ultrasonik

Prinsip kerja dari sensor ultrasonik HC-SR04 adalah :

1. Menggunakan IO trigger setidaknya sinyal high selama 10us.
2. Modul HC-SR04 secara otomatis akan mengirimkan 8 kali 40 KHz dan mendeteksi apakah ada sinyal balik atau tidak.
3. Jika terdapat sinyal balik, maka durasi waktu dari output high adalah waktu dari pengiriman dan penerimaan ultrasonik.

Prinsip kerja sensor ini adalah transmitter mengirimkan sebuah gelombang ultrasonik lalu diukur dengan waktu yang dibutuhkan hingga datangnya pantulan dari objek. Lamanya waktu ini sebanding dengan dua kali jarak sensor dengan objek, sehingga jarak sensor dengan objek dapat ditentukan

2.2.2 Parameter Elektrik Sensor Ultrasonik HC-SR04

Tabel 1. Parameter Elektrik

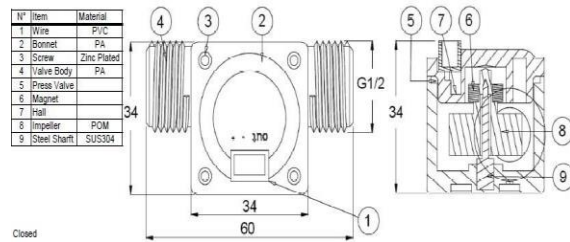
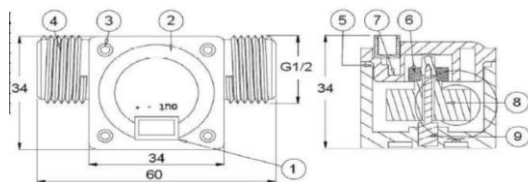
<i>Electric Parameters</i>	
<i>Working Voltage</i>	<i>DC 5 V</i>
<i>Working Current</i>	<i>15mA</i>
<i>Working Frequency</i>	<i>40Hz</i>
<i>Max Range</i>	<i>4m</i>
<i>Min Range</i>	<i>2cm</i>
<i>Measuring Angle</i>	<i>15 degree</i>
<i>Trigger Input Signal</i>	<i>10uS TTL pulse</i>
<i>Echo Output Signal</i>	<i>Input TTL lever signal and the range in proportion</i>
<i>Dimension</i>	<i>45*20*15mm</i>

2.2.3 Sensor Water Flow

Sensor Water Flow merupakan salah satu sensor untuk menghitung debit air yang mengalir serta akan menggerakkan motor dalam satuan liter. Motor akan bergerak sesuai dengan kecepatan aliran air yang mengalir. Sensor water flow ini terdiri dari katup plastik (valve body), rotor air, dan sensor Hall effect. Hall effect dapat digunakan untuk mendeteksi gerakan atau putaran apabila gerakan atau putaran tersebut dipengaruhi oleh medan magnet. Prinsip kerja dari sensor water flow yaitu memanfaatkan fenomena sensor Hall effect. Sensor Hall effect merupakan salah satu transduser yang sering digunakan untuk mendeteksi medan magnet. Effect dapat digunakan untuk mendeteksi gerakan atau putaran tersebut dipengaruhi oleh medan magnet.

Hall effect terjadi ketika konduktor pembawa arus tertahan pada medan magnet, medan memberi gaya menyamping pada muatan-muatan yang mengalir pada konduktor. Setiap perubahan medan magnet yang terjadi akan dideteksi oleh hall effect, dimana perubahan kutub utara dan selatan akan dapat memberikan input pada hall effect dan menghasilkan output berupa pulsa transisi turun (aktif low).

2.2.4 Bagian Sensor Sensor Waterflow



Gambar 3. Bagian sensor waterflow

2.2.4 Spesifikasi Sensor Waterflow

Tabel 2. Spesifikasi Sensor Waterflow

<i>Specifications</i>	
<i>Working Voltage</i>	<i>DC 4.5V – 24V</i>
<i>Normal Voltage</i>	<i>DC 5V – 18V</i>
<i>Max. Working Current</i>	<i>15mA (DC 5V)</i>
<i>Load Capacity</i>	<i>≤ 10mA (Dc 5V)</i>
<i>Flow Rate Range</i>	<i>1 – 30L/min</i>
<i>Operating Temperature</i>	<i>≤ 80 °C</i>
<i>Liquid Temperature</i>	<i>≤ 120 °C</i>
<i>Operating Humidity</i>	<i>35% ~ 90% RH</i>
<i>Allowing Pressure</i>	<i>≤ 1.75 MPa</i>
<i>Storage Temperature</i>	<i>-25% ~ 95% RH</i>
<i>Storage Humidity</i>	<i>25% ~ 95% RH</i>
<i>Electric Strenght</i>	<i>1250V/min</i>
<i>Insulations Resistance</i>	<i>≥ 100MΩ</i>
<i>External Threads</i>	<i>½”</i>
<i>Outer Diameter</i>	<i>20mm</i>
<i>Intake Diameter</i>	<i>9mm</i>
<i>Outlet Diameter</i>	<i>12mm</i>

2.3. Langkah-langkah Menggunakan IoT

Langkah-langkah umum dalam menggunakan IoT pada pertanian hidroponik vertikal:

1. Studi Pendahuluan dan Perencanaan: Lakukan studi untuk memahami kebutuhan sistem irigasi dan monitoring yang tepat untuk pertanian hidroponik vertikal. Tentukan jenis sensor yang dibutuhkan (seperti sensor kelembaban tanah, suhu, pH, cahaya) dan platform IoT yang akan digunakan.

2. Pemilihan Sensor dan Perangkat Keras: Pilih sensor-sensor yang sesuai dengan kebutuhan Anda dan pastikan kompatibilitas dengan platform IoT yang dipilih. Kalibrasi sensor-sensor tersebut untuk memastikan pengukuran yang akurat.

3. Pengembangan Perangkat Lunak (Software): Firmware Mikrokontroler: Buat program untuk mikrokontroler agar dapat mengumpulkan data dari sensor-sensor secara terus-menerus.

4. Platform IoT: Bangun atau pilih platform IoT yang dapat mengintegrasikan data dari sensor-sensor, melakukan analisis data, dan memberikan pengaturan serta visualisasi data yang diperlukan.

5. Integrasi Sensor dan Mikrokontroler: Hubungkan sensor-sensor ke mikrokontroler dan pastikan data yang diperoleh dapat dikirimkan ke platform IoT dengan lancar.

6. Pengujian dan Kalibrasi: Lakukan pengujian untuk memastikan bahwa sensor-sensor berfungsi dengan baik dan menghasilkan data yang konsisten. Kalibrasi sensor jika diperlukan untuk memastikan akurasi pengukuran.

7. Implementasi di Lapangan: Pasang sensor-sensor dan mikrokontroler pada sistem hidroponik vertikal Anda. Pastikan semua komponen terhubung dan berfungsi dengan baik dalam lingkungan pertanian yang sebenarnya.

8. Monitoring dan Pengelolaan: Gunakan platform IoT untuk memantau data secara real-time tentang kelembaban tanah, suhu, pH, dan kondisi lingkungan lainnya. Pantau respons tanaman terhadap pengaturan irigasi otomatis yang dilakukan oleh sistem.

9. Analisis dan Pengoptimalan: Analisis data yang terkumpul untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan air, kesehatan tanaman, dan produktivitas hasil. Berdasarkan analisis ini, lakukan pengoptimalan terhadap pengaturan irigasi atau kondisi lingkungan lainnya jika diperlukan.

10. Perawatan dan Pemeliharaan: Rutin periksa dan perawat sistem IoT dan sensor-sensor untuk memastikan kinerja yang optimal. Lakukan kalibrasi ulang jika diperlukan untuk menjaga akurasi pengukuran.

11. Pengembangan Berkelanjutan: Terus pantau perkembangan teknologi IoT dan pertanian hidroponik untuk memperbarui atau meningkatkan sistem sesuai dengan perkembangan terbaru.

2.4. Design 3D Pertanian Hidroponik

Pada Gambar 4 adalah desain 3d pertanian hidroponik. Desain ini akan berfungsi untuk membuat pertanian hidroponik untuk penelitian.



Gambar 4. Desain 3D Hidroponik

3. Hasil dan Pembahasan

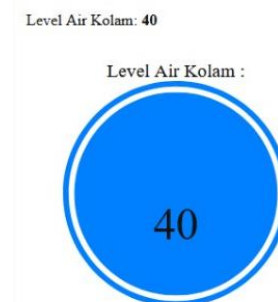
3.1 Hasil

Pada Node-RED, terdapat fitur *Node-dashboard* yang di gunakan untuk menampilkan data dari sensor atau perangkat yang terhubung, serta memberikan kemampuan untuk mengontrol dan memonitoring sistem secara langsung berupa tampilan yang dapat di lihat pada Gambar 5. Tampilan IoT Monitoring Sensor Water Flow selama 1 jam.



Gambar 5. Hasil Monitoring Sensor Waterflow

Pada Gambar 6 adalah hasil monitoring sensor ultrasonic selama kolam kosong sampai terisi penuh pada aplikasi Nodered



Gambar 6. Hasil Monitoring Sensor Ultrasonic

Pada Gambar 7 adalah tanaman selada berumur 1 minggu Setelah Penyemaian dan dipindahkan kedalam nettpot, terlihat batang tumbuh lebih panjang dan daun tumbuh lebih besar.



Gambar 7. Selada Minggu 1

Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa pada minggu kedua setelah penyemaian benih selada setelah dipindahkan ketempat media tanam yang lebih luas bisa dilihat pertumbuhan batang dan daun selada yang lebih banyak dan sehat. untuk memberikan perawatan intensif yang dibutuhkan bibit selada agar tumbuh kuat dan sehat. Dengan memperhatikan detail seperti cahaya yang optimal, kelembaban tanah yang konsisten, pemberian nutrisi yang tepat, serta kondisi lingkungan yang stabil, bibit selada akan siap untuk tahap selanjutnya dalam proses pertumbuhan.



Gambar 8. Selada Minggu 2

Pada Gambar 9 adalah Pertumbuhan tanaman selada pada minggu ketiga telah menghasilkan daun yang lebih besar dan lebih banyak dibandingkan minggu sebelumnya. Daun-daunnya sudah mencapai ukuran yang cukup untuk dipetik sebagai daun bayi atau daun muda. Dan Batang-batang selada terus menguat dan tumbuh lebih tinggi. Batang yang kuat mendukung pertumbuhan daun yang sehat dan memberikan struktur yang baik bagi tanaman untuk menyerap nutrisi dan air dari media tanam.



Gambar 9. Selada Minggu 3

Pada Gambar 10 adalah tanaman selada minggu 4 pada minggu ini tanaman sudah menunjukkan pertumbuhan batang dan daun lebih besar dan lebih signifikan dibandingkan minggu sebelumnya. Pada minggu ini tanaman sudah siap untuk dipanen



Gambar 10. Selada Minggu 4

3.2 Pembahasan

Tabel 3. Petumbuhan Selada

Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
5cm	12cm	18cm	25cm

Pada pelaksanaannya, pengujian ini dilakukan pada 3 tahap tahap pertama dilakukan pengujian alat monitoring sensor water flow dan kedua sensor ultrasonik dan ketiga pertumbuhan tanaman.

Sensor water flow atau sensor aliran air adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur laju aliran air dalam sebuah sistem. Sensor ini bekerja dengan cara mendeteksi jumlah air yang melewati sensor dalam satuan waktu tertentu. Cara kerja Sensor water flow umumnya bekerja berdasarkan prinsip mekanis

atau elektronik. Salah satu jenis yang paling umum adalah sensor impeller, yang menggunakan baling-baling kecil yang diputar oleh aliran air. Setiap putaran baling-baling menghasilkan sinyal listrik yang dapat dihitung untuk menentukan laju aliran air.

Sensor ultrasonik adalah perangkat yang menggunakan gelombang suara dengan frekuensi tinggi untuk mendeteksi objek atau mengukur jarak. Sensor ini memancarkan gelombang ultrasonik dan menerima kembali pantulan gelombang tersebut dari sensor waterflow.

Perbandingan pertumbuhan pada tanah kurang baik dikarenakan tanah yang tidak diketahuinya unsur hara yang terdapat pada tanah. Sedangkan pada pertumbuhan tanaman pada pertanian horizontal cenderung memiliki tingkat kehijauan yang lebih tinggi dan pertumbuhan yang lebih konsisten dibandingkan dengan tanaman pada pertanian vertikal. Hal ini disebabkan oleh kontrol lingkungan yang lebih baik pada sistem horizontal dan diketahuinya unsur hara yang digunakan pada pertanian yang digunakan.

4. Kesimpulan

1. Penggunaan sistem kendali irigasi otomatis dalam hidroponik vertikal menunjukkan peningkatan debit air secara konsisten setiap 10 menit, mencapai total 4000 liter dalam 1 jam. Distribusi air yang seragam ini memberikan kondisi yang optimal bagi tanaman dengan memastikan pasokan air yang stabil dan efisien, tanpa risiko kebocoran atau hambatan yang mengganggu.
2. Ketinggian air dalam kolam aquaponik meningkat dari 0 cm hingga 40 cm selama 25 menit, menunjukkan peningkatan yang konsisten dalam penyediaan air untuk tanaman dan ikan. Sistem ini vital untuk menjaga kondisi lingkungan yang optimal dalam kolam, memastikan bahwa baik tanaman maupun ikan mendapatkan jumlah air yang tepat sesuai dengan kebutuhan mereka.
3. Pertumbuhan tanaman selada caipira dalam empat minggu menunjukkan peningkatan yang signifikan dari minggu ke minggu. Mulai dari tinggi dan diameter yang stabil pada minggu pertama, hingga pertumbuhan yang konsisten dan peningkatan maksimal pada minggu keempat, menandakan bahwa sistem irigasi yang efektif mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal hingga fase panen.
4. Pertanian vertikal dan horizontal merupakan dua proses inovatif dalam pengembangan sistem pertanian modern yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan lahan dan sumber daya alam.

5. Pertumbuhan populasi global dan tekanan terus-menerus terhadap sumber daya alam memunculkan kebutuhan akan sistem pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan. Pertanian vertikal, yang memanfaatkan ruang secara vertikal dengan memanfaatkan tumpukan lapisan, dan pertanian horizontal, yang mengikuti konsep tradisional lahan terbuka, keduanya memiliki potensi untuk menjadi solusi inovatif dalam memenuhi kebutuhan pangan yang terus meningkat

Daftar Rujukan

- [1] Peraturan Presiden Republik Indonesia, Nomor 22, Tentang Rencana Umum Energi Nasional, Tahun 2017 (Indonesian).
- [2] Outlook Energi Indonesia 2018, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2018 (Indonesian).
- [3] IRENA, Renewable Energy Prospects: Indonesia, a REmap analysis, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 2017, www.irena.org/remap
- [4] R. B. Yuliandi, T. Dewi, and Rusdianasari, "Comparison of Blade Dimension Design of a Vertical Wind Turbine Applied in Low Wind Speed," In proceeding of E3S Web of Conferences EDP Sciences, Vol. 68, p. 01001, 2018.
- [5] A. T. Wardhana, A. Taqwa and T. Dewi, "Design of Mini Horizontal Wind Turbine for Low Wind Speed Area," In Proceeding of Journal of Physics: Conference Series Vol. 347, No. 1, p. 01202, 2019.
- [6] Sarwono, T. Dewi, and RD Kusumanto, "Geographical Location Effects on PV Panel Output - Comparison Between Highland and Lowland Installation in South Sumatra, Indonesia," Technology Reports of Kansai University, Vol. 63, No. 02, pp. 7229–7243, 2021. ISSN: 04532198.
- [7] K. Junaedi, T. Dewi, and M. S. Yusi, "The Potential Overview of PV System Installation at the Quarry Open Pit Mine PT. Bukit Asam, Tbk Tanjung Enim," Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control, Vol. 6, No. 1, pp. 41–50, 2021. <https://doi.org/10.22219/kinetik.v6i1.1148>.
- [8] S. Nurjanah, T. Dewi, and Rusdianasari (2021). Dusting and Soiling Effect on PV Panel Performance: Case Study Open-pit Mining in South Sumatra, Indonesia. Paper presented at the Proceedings of 2021 International Conference on Electrical and Information Technology (IEIT), 251-256.
- [9] Indrayani, Y. Dinata, T. Dewi. A Study of Archimedes Screw Turbine Scheme of Pico-Hydro Power Plant Using the Utilized Irrigation Water, Technology Reports of Kansai University, Vol. 64, No. 6, pp. 8075-8086, 2022.
- [10] Dewi, T., P. Risma, Y. Oktarina, M.T. Roseno, H.M. Yudha, A. S. Handayani, and Y. Wijanarko, "A Survey on Solar Cell; The Role of Solar Cell in Robotics and Robotic Application in Solar Cell industry," in Proceeding Forum in Research, Science, and Technology (FIRST), 2016. Retrieved from <http://eprints.polsri.ac.id/3576/3/C4.pdf>.
- [11] C. N. L. Dos Santos, Agrivoltaic system: a possible synergy between agriculture and solar energy, MSc Thesis, Dept. of Energy Tech., KTH, School of Industrial Engineering Management, 2020.
- [12] S. Kim and S. Kim, Performance Estimation Modeling via Machine Learning of an Agrophotovoltaic System in South Korea, Energies, Vol. 14, No 20, pp. 6274, 2021. <https://doi.org/10.3390/en14206724>.
- [13] S. Amaducci, X. Yin, and M. Colauzzi, Agrivoltaic systems to optimize land use for electric energy production, Applied

- Energy, Vol. 220, pp. 545–561, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.081>
- [14] P. E. Campana, B. Stridh, S. Armaducci, and M. Colauzzi, Optimisation of vertically mounted agrivoltaic systems, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 325, pp. 129091, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129091>.
- [15] A. Feuerbacher, M. Laub, P. Högy, C. Lippert, L. Pataczek, S. Schindele, C. Wieck, and S. Zikeli, An analytical framework to estimate the economics and adoption potential of dual land-use systems: The case of agrivoltaics, *Agricultural Systems*, Vol. 192, p. 103193, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103193>
- [16] S. Gorjian, E. Bousi, Ö. E. Özdemir, M. Trommsdorff, N. M. Kumar, A. Anand, K. Kant, and S. S. Chopra, Progress and challenges of crop production and electricity generation in agrivoltaic systems using semi-transparent photovoltaic technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 158, p. 112126, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112126>.
- [17] M. Alam, T. Dewi, and Rusdianasari, "Performance Optimization of Solar Powered Pump for Irrigation in Tanjung Raja, Indonesia," 2022 International Conference on Electrical and Information Technology (IEIT), Malang, Indonesia, 2022, pp. 196–201, doi: 10.1109/IEIT56384.2022.9967873.
- [18] Mases, Y., Dewi, T., & Rusdianasari (2021). *Solar Radiation Effect on Solar Powered Pump Performance of an Automatic Sprinkler System*. Paper presented at the Proceedings of 2021 International Conference on Electrical and Information Technology (IEIT), 246-250.
- [19] P. P. Putra, T. Dewi, Rusdianasari, "MPPT Implementation for Solar-powered Watering System Performance Enhancement," *Technology Reports of Kansai University*, Vol. 63, No. 01, pp. 6919–6931, 2021. ISSN: 04532198.