

Contents list available at [Sinta](https://sinta)**A R M A T U R**

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>**Pengembangan Sistem Irigasi Cerdas Bertenaga Surya dengan Monitoring Kelembaban Tanah untuk Pertanian Berkelanjutan****Purnomo^{1*}, Sahabman Tua Pardamean Naibaho², Nabila Adelia Putri³, M. Fadhil Dzaki⁴**^{1,2,3,4} Program Studi Teknologi Rekayasa Mesin Pertanian, Politeknik Tunas Garuda, Kota Budaya Uluan Nughik Panaragan Jaya, Tulang Bawang Barat, Lampung, Indonesia**A R T I C L E
I N F O**

Keywords:
smart irrigation
solar energy
soil moisture
IoT
sustainable agriculture

A B S T R A C T

Water availability plays a vital role in maintaining agricultural productivity in Indonesia, particularly in mitigating the impacts of climate change and overcoming the inefficiencies of conventional irrigation systems. This study designs and evaluates a solar-powered smart irrigation system integrated with Internet of Things (IoT) technology to achieve efficient and sustainable water management. The system comprises an Arduino Uno controller, YL-69 soil moisture sensor, YF-S201 water flow sensor, 12V DC pump, and a 120 WP solar panel serving as an independent energy source. It operates automatically by activating the pump when soil moisture falls below a predefined threshold and deactivating it once optimal moisture levels are restored. Experimental results show that the YL-69 sensor effectively detects soil moisture within the 31–81%RH range, with an average increase of 40.6%RH after irrigation. The YF-S201 sensor demonstrated high accuracy, recording an average flow rate of 20 L/min with an error margin of only 0.89%. The pump maintained stable performance at 6.34A and 74.2W, while the solar panel and battery delivered average voltages of 11.88V and 11.64V, respectively. Overall, the system efficiently optimizes water and energy use, promoting sustainable agriculture. Future work should enhance energy capacity and sensor calibration for improved accuracy.

*Corresponding author: purnomohadaza@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i1.10493>

Received 27 October 2025; Received in revised form 12 January 2026; Accepted 25 January 2026

Available online 1 March 2026

Pendahuluan

Pertanian merupakan sektor strategis yang memiliki peran vital dalam ketahanan pangan, kesejahteraan masyarakat, serta pembangunan ekonomi nasional Indonesia [1]. Sebagai negara agraris, Indonesia memiliki potensi sumber daya alam yang melimpah dan lahan pertanian yang luas. Namun demikian, produktivitas pertanian nasional masih menghadapi berbagai tantangan, salah satunya adalah ketergantungan yang tinggi terhadap ketersediaan air irigasi [2]. Perubahan iklim, ketidakseimbangan pola curah hujan dan degradasi lingkungan telah menyebabkan ketidakpastian dalam pasokan air yang berdampak langsung terhadap hasil pertanian. Intensitas air yang terkandung dalam tanah mempengaruhi tingkat kesuburan tanah, terpenuhinya kebutuhan air merupakan faktor penting dalam melakukan fotosintesis. Pemberian air pada tanaman dilakukan untuk memenuhi kadar air yang nantinya akan digunakan untuk fotosintesis [3].

Irigasi merupakan salah satu faktor penting dalam rangka mencapai produktivitas yang baik dalam ketersediaan air di bidang pertanian maupun budidaya tanaman [12]. Proses irigasi yang dilakukan secara teratur perlu dilakukan oleh para petani maupun pelaku budidaya agar produktivitas yang baik dapat tercapai. Namun demikian, terkadang proses irigasi secara manual tidak dilakukan secara teratur yang disebabkan oleh kelalaian maupun keterbatasan akses [4]. Sistem irigasi konvensional yang selama ini digunakan di berbagai daerah umumnya masih bersifat manual dan kurang efisien dalam pemanfaatan air. Banyaknya kebocoran, distribusi air yang tidak merata, serta tidak adanya sistem pengendalian berbasis data menyebabkan penggunaan air menjadi boros dan tidak optimal. Dalam konteks inilah, konsep irigasi cerdas (smart irrigation) menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas penggunaan air di sektor pertanian [9].

Irigasi cerdas memanfaatkan teknologi berbasis sensor, Internet of Things (IoT) untuk mengatur pemberian air sesuai dengan kebutuhan nyata tanaman. Dengan sistem ini, air hanya diberikan ketika tanaman memerlukannya, dalam jumlah yang tepat, dan pada waktu yang optimal. Penerapan irigasi cerdas tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan air, tetapi juga dapat meningkatkan produktivitas lahan, mengurangi biaya operasional, serta mendukung pertanian berkelanjutan di era digital.

Dalam beberapa tahun terakhir, kesadaran akan pentingnya energi terbarukan semakin meningkat sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil. Penggunaan mesin diesel untuk memompa air di lahan perkebunan tidak hanya menyebabkan polusi udara dan emisi gas rumah kaca, tetapi juga menimbulkan biaya operasional yang tinggi dan ketergantungan terhadap ketersediaan bahan bakar. Kondisi ini mendorong kebutuhan mendesak untuk beralih ke sumber energi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan [5]. Seiring meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap dampak negatif energi fosil, permintaan terhadap teknologi energi bersih pun terus bertambah [6].

Sistem fotovoltaik surya (PV) menawarkan solusi yang efektif untuk mendukung operasional irigasi pertanian, khususnya ketika diintegrasikan dengan sistem irigasi cerdas berbasis Internet of Things (IoT) dan mikrokontroler seperti Arduino [7]. Dalam sistem ini, energi listrik yang dihasilkan panel surya digunakan untuk menyuplai daya pompa air, sensor kelembaban tanah, serta modul komunikasi secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan listrik konvensional. Arduino berperan sebagai pengendali utama yang memproses data dari sensor secara real-time dan mengaktifkan pompa hanya ketika kondisi kelembaban tanah berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan.

Integrasi PV dengan sistem IoT ini secara signifikan mampu menurunkan konsumsi energi, karena pompa air tidak

lagi beroperasi secara terus-menerus, melainkan bekerja secara otomatis dan efisien sesuai kebutuhan tanaman. Dengan demikian, system yang memanfaatkan energi matahari ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, tetapi juga dapat mengurangi emisi karbon yang dihasilkan [13].

Di Indonesia, penerapan irigasi cerdas masih tergolong baru dan terbatas pada skala penelitian atau proyek percontohan. Padahal, dengan kondisi geografis dan iklim yang bervariasi, serta meningkatnya kebutuhan pangan nasional, penerapan teknologi ini menjadi semakin mendesak. Integrasi antara teknologi, kebijakan pemerintah, dan kemampuan petani dalam mengadopsi inovasi menjadi faktor kunci keberhasilan efisiensi pengairan di lapangan. Efisiensi pengairan yang dimaksud adalah untuk memberikan air yang cukup di sekitar perakaran tetapi tidak melebihi kapasitas lapang dan sesuai kebutuhan. Dengan demikian, pemberian air pada waktu dan volume yang tepat serta efisien dan ekonomis sesuai kebutuhan tanaman dan kapasitas tanah menyerap air [8].

Oleh karena itu, penting untuk mengkaji dan memahami peran strategis irigasi cerdas dalam mendukung ketahanan pangan dan efisiensi sumber daya air di Indonesia. Melalui pemanfaatan teknologi yang tepat, sistem irigasi modern dapat menjadi langkah konkret menuju pertanian yang adaptif, efisien, dan berkelanjutan [10][11].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem irigasi cerdas berbasis energi surya yang terintegrasi dengan sistem monitoring kelembaban tanah guna meningkatkan efisiensi energi dan optimalisasi penggunaan air dalam pertanian berkelanjutan. Sistem ini memanfaatkan panel fotovoltaik sebagai sumber energi utama serta sensor kelembaban tanah yang dikendalikan oleh mikrokontroler untuk mengatur operasi pompa air secara otomatis sesuai kondisi tanah secara *real-time*.

Hipotesis penelitian ini adalah bahwa integrasi sistem fotovoltaik dengan teknologi IoT berbasis mikrokontroler mampu menurunkan konsumsi energi dan penggunaan air secara signifikan dibandingkan dengan sistem irigasi konvensional yang beroperasi secara manual atau berbasis bahan bakar fosil. Dengan pendekatan ini, penelitian ini juga menjawab pertanyaan utama mengenai sejauh mana sistem irigasi cerdas berbasis energi surya dapat meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi pemborosan sumber daya, serta mendukung keberlanjutan sistem pertanian.

Metode Penelitian

Persiapan alat dan bahan

Penelitian dan pengujian unjuk kerja alat dilakukan di Laboratorium Teknologi Rekayasa Mesin Pertanian, Politeknik Tunas Garuda, Tulang Bawang Barat, Lampung. Pengujian sistem dilaksanakan pada lahan uji skala laboratorium seluas $\pm 100 \text{ m}^2$ yang merepresentasikan kondisi lahan pertanian dataran rendah. Media tanam yang digunakan berupa tanah lempung berpasir (*sandy loam*) yang umum dijumpai pada lahan pertanian setempat.








Pengambilan data dilakukan pada kondisi lingkungan terkendali dengan intensitas cahaya matahari berkisar antara $700\text{--}1.000 \text{ W/m}^2$ pada rentang waktu pukul 09.00–15.00 WIB, yang merupakan periode efektif kerja panel surya. Parameter lingkungan yang diamati meliputi kelembaban tanah, tegangan dan arus keluaran panel surya, serta durasi operasi pompa air. Pengujian dilakukan selama 7 hari berturut-turut untuk memperoleh data yang representatif terhadap variasi kondisi cuaca harian.

Dalam pembuatan sistem irigasi cerdas bertenaga surya dengan monitoring kelembaban tanah ini digunakan beberapa komponen utama, antara lain panel surya, baterai penyimpan energi, mikrokontroler Arduino Uno, sensor kelembaban tanah, modul kendali pompa, serta sistem distribusi

air. Pada tahap perancangan, dilakukan penentuan konfigurasi rangkaian dan koneksi prototipe perangkat keras sistem monitoring yang disesuaikan dengan karakteristik masing-masing sensor dan mikrokontroler.

Tahap pengembangan perangkat lunak meliputi pemrograman Arduino Uno untuk pengolahan data sensor secara *real-time*, pengambilan keputusan pengaktifan pompa berdasarkan ambang batas kelembaban tanah, serta perancangan sistem monitoring yang digunakan untuk menampilkan data hasil pengukuran. Dengan tahapan ini, sistem yang dirancang dapat diuji secara terukur dan direplikasi pada kondisi lingkungan yang serupa.

Tabel 1. Kebutuhan alat dan bahan

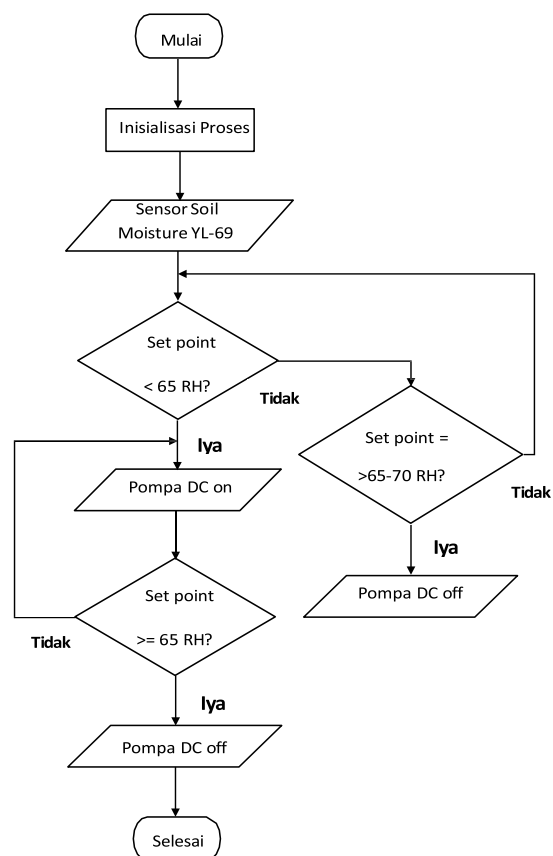
No	Nama Barang	Contoh Gambar
1.	Panel Surya 120 wp	
2.	Pompa air DC 12V	
3.	Sensor Soil Moisture YL-69	
4.	Baterai 12v 7Ah	
5.	Arduino Uno	
6.	Solar cell controller	
7.	Selang air 1/2 inch	

Setelah menyelesaikan proses pembuatan, proses selanjutnya adalah pembuatan alat sesuai dengan konsep yang telah direncanakan. Proses pembuatan alat

mencakup seluruh sistem Irigasi, termasuk pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak. Setelah selesai dibuat dan sesuai dengan konsep, dilakukan pengujian untuk memastikan bahwa keseluruhan sistem berfungsi dengan baik. Pengujian melibatkan pengambilan data seperti pengujian sensor, kinerja sprinkler, dan sistem panel surya. Setelah mengumpulkan semua data yang dibutuhkan, dilakukan pengolahan dan analisis data untuk mendapatkan pembahasan dan kesimpulan dari hasil penelitian.

Flowchart sistem irigasi cerdas

Dalam membuat sebuah sistem irigasi cerdas ini terdapat serangkain langkah yang harus diikuti, dimulai dari input sampai dengan output. Proses ini dapat diilustrasikan melalui suatu diagram alur.



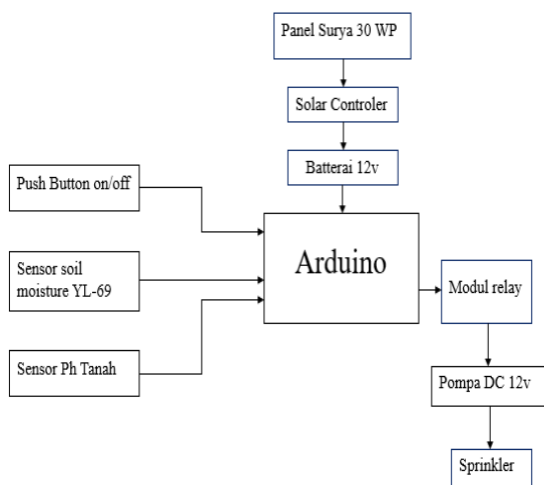
Gambar 1. Flowchart Sistem Irigasi

Perangkat akan mulai beroperasi ketika mulai dijalankan. Setelah terinisialisasi, akan ditetapkan titik maksimum dan minimum kelembaban serta pH tanah. Selama pengujian sensor terhadap

kelembaban suhu tanah terdapat dua kemungkinan kondisi yaitu, suhu kelembaban telah mencapai titik yang ditentukan atau suhu kelembaban kurang dari titik yang ditentukan. Jika suhu kelembaban kurang dari titik yang ditentukan maka, pompa DC akan *on*, sehingga sprinkler akan menyala.

Pada saat *sprinkler* menyala maka sensor kelembaban dan pH tanah akan membaca kadar air dan pH yang sesuai untuk tumbuhan, jika data hasil sudah mencukupi atau sudah di batas maksimal kadar kelembaban dan pH tanah maka sensor akan mematikan pompa air, sehingga proses penyiraman tanaman sesuai dengan kadar air yang di butuhkan. Jika suhu dan kelembaban tanah berada dalam kisaran yang ditentukan (65%RH - 70%RH) maka pompa air tidak menyala, pompa air akan menyala pada saat kelembaban tanah kurang dari kisaran yang telah ditentukan (<65%RH), setelah pompa menyala pompa akan terus mengukur kelembaban tanah sehingga apabila kelembaban telah mencapai kisaran yang ditentukan (65%RH - 70%RH) maka pompa akan berhenti.

Blok Diagram Sistem Irigasi



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Irigasi

Berdasarkan blok diagram di atas, panel surya menyuplai tegangan untuk baterai, baterai mensuplai tegangan untuk Arduino, sensor *soil moisture YL-69* dan pompa air. Sensor *soil moisture YL-69*

mengukur kelembaban pada tanah dan akan memberi informasi data kelembaban tanah[19]. Kemudian, data tersebut akan masuk ke arduino yang akan mengaktifkan modul *relay*, modul *relay* akan menghidupkan pompa sehingga pada saat kelembaban tanah kurang dari standar yang ditentukan maka pompa akan menyala, sedangkan apabila kelembaban tanah sudah cukup maka pompa akan mati.

Pada penelitian ini berfokus pada sistem irigasi pada tanaman yang bertujuan untuk mengontrol kelembaban tanah guna mengoptimalkan pertumbuhan tanaman. Langkah yang dilakukan pertama, menyiapkan bahan seperti pipa air, selang air, pompa air DC, *soil moisture YL-69*, baterai 12V, panel surya, *solar cell controler*, kabel dan beberapa alat seperti alat potong, *screw driver*, serta alat dan bahan lainnya. Tahap yang dilakukan selanjutnya untuk memulai perancangan adalah membuat desain *hardware* dan *software* sistem.

Desain *hardware* mencakup penataan jalur pipa air yang akan mengalirkan air ke area yang membutuhkan, serta penempatan sistem irigasi agar air dapat menyebar dengan merata di permukaan tanah. Sementara itu, sistem kontrol pompa air dirancang menggunakan sensor kelembaban tanah (*soil moisture YL-69*) yang akan mendeteksi tingkat kelembaban tanah dan memberikan sinyal untuk mengaktifkan atau mematikan pompa sesuai kebutuhan. Sistem ini diharapkan dapat bekerja secara otomatis dan terus-menerus memantau kondisi tanah tanpa perlu campur tangan manusia, sehingga mengurangi risiko *over-irrigation* atau *under-irrigation*.

Metode yang diterapkan untuk pengumpulan data adalah dengan menggunakan Arduino Uno, yang berfungsi untuk mengatur dan mengontrol sistem irigasi. Arduino Uno akan mengumpulkan data tentang kelembaban tanah dan kualitas tanah secara berkala melalui sensor-sensor yang terpasang [14]. Data yang dikumpulkan akan diproses secara kualitatif

untuk memastikan bahwa sistem irigasi berjalan dengan baik dan kondisi lahan tetap stabil. Dengan pemantauan yang teratur, sistem ini dapat secara otomatis menyesuaikan jumlah air yang diberikan kepada tanaman berdasarkan kebutuhan kelembaban tanah.

Metode Pengujian dan Validasi Sistem Irigasi Cerdas

Setelah seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak terintegrasi, tahap selanjutnya adalah pengujian dan validasi kinerja sistem irigasi cerdas bertenaga surya. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa panel surya, sensor kelembaban tanah, dan sistem kendali berbasis mikrokontroler berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang.

Pengujian dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu pengujian fungsional, pengujian kinerja panel surya, dan pengujian sistem secara keseluruhan. Setiap parameter pengujian dilakukan secara berulang sebanyak tiga kali pada kondisi lingkungan yang relatif sama untuk meningkatkan keandalan data dan mengurangi pengaruh kesalahan pengukuran.

Pengujian fungsional dilakukan untuk memastikan setiap sensor dan aktuator bekerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan. Akurasi sensor kelembaban tanah diuji dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi (*soil moisture meter*), kemudian dihitung nilai selisih (*error*) dan rata-rata deviasi dari hasil pengukuran tersebut.

Pengujian panel surya dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus keluaran panel pada kondisi intensitas cahaya yang berbeda. Pengukuran dilakukan secara periodik pada interval waktu tertentu, kemudian dianalisis menggunakan nilai rata-rata, simpangan baku, dan persentase deviasi untuk mengetahui kestabilan suplai energi ke baterai penyimpanan.

Pengujian akhir sistem irigasi cerdas dilakukan dengan mengoperasikan sistem secara otomatis pada lahan uji dan

mengamati respons sistem terhadap perubahan kelembaban tanah. Parameter yang dianalisis meliputi waktu respons sistem dalam mengaktifkan pompa, durasi operasi pompa, serta kecukupan energi yang disuplai oleh panel surya. Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk mengevaluasi unjuk kerja sistem secara keseluruhan.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, unjuk kerja sistem irigasi cerdas bertenaga surya dievaluasi berdasarkan beberapa aspek utama, yaitu akurasi pengukuran sensor, responsivitas sistem, keandalan sistem dalam menyerap dan menyuplai energi, serta kemudahan pengoperasian. Pendekatan ini memungkinkan hasil penelitian untuk dievaluasi secara objektif dan mendukung validitas ilmiah sistem yang dikembangkan.

Hasil dan Pembahasan

Pengujian sensor *Soil Moisture YL-69*

Tabel 2. Pengujian Sensor YL-69

No	Air dalam tanah	YL-69(1)	YL-69(2)	Ket
1	100ml	49%	47%	Kering
2	200ml	69%	71%	Lembab
3	300ml	74%	76%	Lembab
4	400ml	76%	81%	Jenuh
5	500ml	80%	84%	Jenuh
6	600ml	80%	81%	Jenuh
7	700ml	82%	83%	Jenuh
8	800ml	80%	80%	Jenuh
9	900ml	80%	84%	Jenuh
10	1000ml	80%	86%	Jenuh

Dari tabel 2 dapat diketahui bahwa sensor YL-69 berhasil mendeteksi perubahan kelembaban tanah secara signifikan. Pada percobaan pertama, ketika tanah kering (100 ml air), pembacaan sensor berada di kisaran 47-49%RH. Seiring dengan perubahan air, pembacaan kelembaban meningkat secara substansial, mencapai kisaran 69-71%RH pada percobaan kedua (200ml air), yang

dikategorikan sebagai “lembab”. Hal ini menunjukkan bahwa sensor mampu membedakan kondisi tanah kering dan lembab.

Dari data tersebut, semakin banyak air yang ditambahkan maka persentase kelembaban tanah meningkat sebesar 3.89%. Penambahan air lebih lanjut tidak menghasilkan peningkatan kelembaban yang signifikan, menunjukkan bahwa tanah telah jenuh. Secara keseluruhan hal ini menunjukkan bahwa sensor dapat secara konsisten mendeteksi kondisi jenuh air dan tanah kering tanpa fluktuasi besar, meskipun ada sedikit perbedaan antar kedua sensor.

Pengujian sensor *Water flow* YF-S201

Data pada tabel 3 menunjukkan data hasil pengujian pembacaan dari sensor aliran air YF-S201. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur debit (laju aliran) dan volume air yang mengalir melalui sensor.

Tabel 3. Pengujian Sensor YF-S201

No	Vol air (liter)	Laju aliran/ min	Vol air (liter)	Waktu (detik)
1	5	18.48	52	17
2	10	16.67	10.4	33
3	15	18.17	15.2	52
4	20	20	20	68
5	25	18.11	25.09	85
6	30	32	30.2	103
7	35	17.17	35.15	122

Laju aliran yang diukur oleh sensor YFS201 dalam liter/menit cenderung konsisten, Hal ini ditunjukkan dari hasil rata-rata pengukuran volume (20,177liter) yang mendekati rata-rata volume target 34 (20liter), dengan selisih yang minimal (0,177liter) dan tingkat eror yang rendah, hanya 0,89%.

Secara keseluruhan hubungan antara volume air yang mengalir dan waktu yang dibutuhkan menunjukkan bahwa sensor berfungsi untuk memantau penggunaan air secara *real-time*.

Pengujian Kinerja Pompa Irigasi Dan Panel Surya

Pengujian kinerja pompa bertujuan untuk mengetahui arus dan beban yang alami oleh pompa pada saat bekerja.

Tabel 4 Kinerja Pompa Irigasi

Waktu (WIB)	Beban Pompa (Ampere)	Daya Pompa (Watt)
10.00	6.4	76
10.10	6.2	73
10.20	6.1	70
10.30	6,5	77
10.40	6.5	75

Pengujian menunjukkan bahwa arus beban pompa berada dalam kisaran 6,1A hingga 6,5A dan daya pompa 70Watt hingga 77Watt. Fluktuasi kecil ini normal dan dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti variasi tegangan sumber daya atau beban kerja pompa yang berubah-ubah. Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa pompa beroperasi dengan kinerja yang relatif stabil.

Dari nilai rata-rata besar arus dan daya dengan pembebanan pompa dalam 5 kali pengambilan data, dan interval waktu pengamatan per-sepuluh menit dari pukul 10.00 sampai 10.40, besar arus 6,34A dan daya 74,2Watt. Dalam pengujian ini tidak menunjukkan adanya lonjakan atau penurunan drastis yang bisa mengindikasikan masalah pada pompa. Hal Ini menandakan pompa bekerja dalam kondisi normal dan optimum selama periode pengamatan.

Pengambilan data Panel Surya

Data pada tabel 5 merupakan data hasil pengujian pada panel surya. Pada pengujian panel surya diambil nilai rata – rata tegangan panel surya dan tegangan pada baterai, dalam 5 kali pengambilan data dengan interval waktu per-sepuluh menit dari pukul 10.00 sampai 10.40 panel surya menghasilkan tegangan 11,88V dan tegangan baterai 11,64V.

Tabel 5 Panel Surya

Waktu (WIB)	V P. Surya (Volt)	V Baterai (Volt)
-------------	-------------------	------------------

10.00	12.3	12
10.10	12	11.6
10.20	11.6	11.5
10.30	11.8	11.5
10.40	11.7	11.6

Dalam pengujian ini penurunan tegangan dari panel surya disebabkan oleh kondisi intensitas cahaya matahari yang berubah. Ketika pompa menyala maka pompa akan menarik daya dari baterai disaat yang sama, intensitas sinar matahari berkurang sehingga tegangan yang dikeluarkan panel surya menjadi tidak stabil, sehingga proses pengisian daya menjadi kurang efektif [30].

Pengujian *Sprinkler*

Dari data pengujian *sprinkler* dibawah terlihat bahwa presentase kelembaban yang diambil merupakan rata-rata dari kedua sensor, sehingga dapat mengontrol luasan area penyiraman. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan penyesuaian yang efektif terhadap kondisi kelembaban tanah, dengan respon yang cukup, dalam hal volume air dan durasi penyiraman. Dari data tersebut juga menunjukkan bahwa penyiraman rata-rata selama 4 menit dan 25 detik dengan volume air rata-rata 20,23liter berhasil meningkatkan kelembaban tanah secara signifikan.

Tabel 6 Data pengujian *sprinkler*

Wkt siram (dtk)	Jml air (ltr)	Kelembaban awal		Kelembaban akhir	
		(1) %	(2) %	(1) %	(2) %
271	22.26	28	30	61	73
252	19.44	30	35	71	78
240	19.50	25	32	68	72
233	19.73	30	38	68	65
270	20.20	33	30	69	74
Ave	20.23	29.2	33	67.4	72.4

Pada sensor YL-69 (1), kelembaban rata-rata naik sebesar 38,2%RH, sementara pada sensor YL-69 (2), kelembaban naik sebesar 39,4%RH.

Sensor YL-69(1) dan YL-69(2) menunjukkan peningkatan kelembaban yang signifikan, terlihat adanya perbedaan pembacaan antara keduanya. Pada setiap sesi penyiraman, kedua sensor mencatat nilai kelembaban awal dan akhir yang sedikit berbeda. Hal ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor, seperti variasi alami dalam distribusi air di dalam tanah atau sedikit perbedaan kalibrasi antara kedua sensor itu sendiri. Namun, karena keduanya menunjukkan peningkatan yang sama, dapat disimpulkan bahwa kedua sensor berfungsi dengan baik dan memberikan data yang akurat secara konsisten. Kenaikan kelembaban yang konsisten ini menunjukkan bahwa penyiraman yang dilakukan efektif dalam meningkatkan kadar air di dalam tanah.

Evaluasi pengembangan sistem irigasi cerdas tenaga Surya dengan monitoring kelembaban tanah untuk Pertanian Berkelanjutan

a. Teknis Operasional

Untuk merancang sistem irigasi cerdas bertenaga surya hingga dapat beroperasi secara otomatis, diperlukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Posisikan panel surya di lokasi yang tidak terhalang oleh bayangan pohon atau bangunan agar mendapatkan paparan sinar matahari maksimal. Sambungkan panel surya ke pengontrol pengisian daya (*charge controller*) yang terhubung ke baterai. Pengontrol ini melindungi baterai dari pengisian berlebih dan pengosongan total, yang dapat merusak baterai.
2. Pastikan semua komponen elektronik terhubung sesuai dengan wiring diagram.
3. Tancapkan soil moisture sensor YL-69 di area lahan yang akan disiram untuk memantau kondisi tanah.
4. Setelah program arduino diunggah, lakukan uji coba sistem secara menyeluruh. Pastikan pompa menyala saat tanah kering dan mati saat tanah basah. Lakukan penyesuaian pada ambang batas kelembaban jika diperlukan.

b. Pemeliharaan alat sistem irigasi

Berikut adalah panduan pemeliharaan sistem irigasi cerdas bertenaga surya dengan monitoring kelembaban tanah:

1. Panel surya merupakan sumber energi utama dalam sistem irigasi sehingga kondisinya harus selalu optimal, bersihkan permukaan panel secara rutin dari debu, kotoran, atau serpihan daun. Pastikan panel surya terpasang pada sudut yang optimal untuk penyerapan sinar matahari.
2. Akurasi sensor kelembaban tanah sangat penting agar sistem dapat menyiram dengan optimal. Hal ini memastikan data yang dihasilkan akurat dan tidak hanya bersifat relatif. Periksa sensor secara berkala untuk memastikan tidak ada kotoran atau korosi pada *probe*-nya.
3. Baterai berfungsi untuk menyimpan energi dari panel surya dan menjaga sistem tetap beroperasi saat tidak ada sinar matahari. Periksa kapasitas baterai secara rutin dan pastikan semua kabel yang terhubung ke baterai terpasang erat dan tidak ada tanda-tanda korosi.
4. Pompa air adalah komponen yang paling sering bergerak dan dapat mengalami penyumbatan. Sehingga perlu pemeriksaan dan pembersihan secara berkala agar tidak terjadi sumbatan.

Analisa Kebutuhan Sistem Irigasi Skala Besar

Untuk mengairi lahan pertanian seluas 1 hektar dengan spesifikasi alat yang digunakan, berikut adalah perhitungan kebutuhan *sprinkler*. Kebutuhan *sprinkler* dihitung berdasarkan luas lahan dan area semprot per-*sprinkler*.

1. Luas Lahan: 1 hektar = 10.000 m^2
2. Luas semprot *sprinkler* = 25 m^2
3. Kebutuhan Jumlah *sprinkler*
= Luas Lahan/Luas Semprot
= 10.000 m^2 /25 m^2
= 400 Unit
4. Kemampuan *sprinkler* dengan luasan semprot 25 m^2 = 1.020 liter/jam
5. Lama penyiraman

$$\begin{aligned} &= \text{Jumlah } \textit{sprinkler} \times \text{kebutuhan } \textit{sprinkler} \\ &= 400 \times 1.020 \text{ Liter/Jam} \\ &= 408.000 \text{ Liter/jam} \\ &= 1 \text{ jam (dengan luasan 1 hektar)} \end{aligned}$$

Secara teoritis, dibutuhkan waktu 1 jam dengan 400 *sprinkler* jika ingin menyiram seluruh area secara bersamaan.

Jika *sprinkler* yang dibutuhkan 400 maka untuk kebutuhan pompa, baterai, dan panel surya sama dengan jumlah *sprinkler*, karena 1 *sprinkler* adalah sama dengan 1 komponen lainnya. Namun, dalam praktiknya, sistem irigasi modern biasanya membagi lahan menjadi beberapa zona dan menyiramnya secara bergantian.

Kesimpulan

Proses perancangan sistem irigasi cerdas bertenaga surya melibatkan dua tahapan utama, yaitu perancangan perangkat keras dan pengembangan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras difokuskan pada pemilihan komponen utama untuk membentuk sistem yang mandiri, meliputi panel surya, *Solar Charge Controller (SCC)*, baterai sebagai penyimpan energi, pompa dan *sprinkler* sebagai aktuator, serta Arduino UNO sebagai pengontrol utama. Untuk mendukung fungsi kecerdasan sistem, sensor kelembaban tanah YL-69 dan sensor aliran air YF-S201 diintegrasikan guna menyediakan data *real-time*, sehingga proses penyiraman hanya dilakukan saat diperlukan dan dengan volume air yang terukur. Pada tahap pengembangan perangkat lunak, Arduino diprogram untuk mengolah data sensor dan mengendalikan pompa secara otomatis, sehingga sistem dapat beroperasi secara efisien tanpa intervensi manual.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem irigasi cerdas bertenaga surya secara umum dapat berfungsi dengan baik. Sensor kelembaban tanah YL-69 mampu mendeteksi perubahan kondisi tanah dari kering hingga jenuh air, dengan rentang pengukuran antara 31%RH hingga 81%RH. Nilai rata-rata kelembaban tanah awal tercatat sebesar 29,2%RH pada sensor YL-

69(1) dan 33%RH pada sensor YL-69(2), kemudian meningkat menjadi 67,4%RH dan 72,4%RH setelah penyiraman, dengan rata-rata peningkatan sebesar 40,6%RH. Meskipun demikian, sensor YL-69 menunjukkan keterbatasan dalam membedakan tingkat kejenuhan tanah yang tinggi serta terdapat inkonsistensi pembacaan antar sensor. Sebaliknya, sensor aliran air YF-S201 menunjukkan kinerja yang lebih akurat dengan rata-rata laju aliran 20 liter/menit dan tingkat kesalahan hanya sebesar 0,89%, sehingga mampu mengukur volume air rata-rata sebesar 20,61 liter secara andal. Pompa irigasi bekerja relatif stabil dengan arus rata-rata 6,34A dan daya 74,2W.

Dari sisi pasokan energi, panel surya mampu menyuplai kebutuhan daya sistem, namun tegangan keluaran panel surya yang memiliki nilai rata-rata 11,88V sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari dan beban pompa. Kondisi ini menyebabkan tegangan baterai menurun hingga nilai rata-rata 11,64V saat sistem beroperasi. Secara keseluruhan, sistem berhasil menjalankan proses irigasi dengan baik, dengan rata-rata volume air yang dikeluarkan sebesar 20,23 liter untuk meningkatkan kelembaban tanah dalam waktu penyiraman rata-rata 4 menit 25 detik.

Berdasarkan hasil pengujian dan kendala yang ditemukan, sistem irigasi cerdas bertenaga surya ini masih menghadapi dua tantangan utama. Pertama, ketergantungan pasokan energi pada kondisi cuaca menyebabkan fluktuasi kinerja sistem, khususnya pada saat intensitas cahaya matahari rendah. Oleh karena itu, untuk menjamin operasi sistem secara kontinyu selama ± 8 jam per hari dengan beban pompa sekitar 74W, penggunaan panel surya yang direkomendasikan adalah dengan kapasitas minimal 150WP yang dipadukan dengan baterai berkapasitas minimal 12V 100Ah. Konfigurasi ini diharapkan mampu menyediakan cadangan energi yang cukup serta menjaga kestabilan tegangan sistem. Kedua, akurasi sensor kelembaban tanah YL-69 masih bersifat

relatif karena belum dilakukan proses kalibrasi terhadap alat ukur kelembaban tanah standar. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan kalibrasi sensor atau penggunaan sensor kelembaban tanah berbasis kapasitif agar data yang dihasilkan lebih akurat dan representatif. Dengan perbaikan pada aspek pasokan energi dan akurasi sensor, sistem irigasi cerdas ini berpotensi menjadi solusi yang andal dan berkelanjutan untuk mendukung efisiensi air dan energi di sektor pertanian.

Referensi

- [1] Y. Soelaeman and Maswar, 2014, Integration of crop-livestock-biogas and the effect of dried sludge manure on the growth and yield of maize on ultisol soil, *Agrivita*, vol. 36, no. 2, pp. 160–168, doi: 10.17503/Agrivita-2014-36-2-p160-168.
- [2] S. Subiyakto, 2017, Hama Penggerek Tebu dan Perkembangan Teknik Pengendaliannya, *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, vol. 35, no.4, p.179, doi: 10.21082/jp3.v35n4.2016.p179186.
- [3] N.Nurdiana, 2021, Monitoring Kelembaban Tanah pada Penyiraman Tanaman Otomatis, vol. 18, no. 1, p. p-ISSN.
- [4] A. Tahtawi, dkk., 2018, Desain Awal Pengembangan Sistem Kontrol Irigasi Otomatis Berbasis Node Nirkabel dan Internet-of-Things, *Ktrl.Inst (J.Auto.Ctrl.Inst)*, vol. 10, no. 2.
- [5] B. Yousef, Rahaf Amjad, Nourah A. Alajmi and Hegazy Rezk, 2022, Feasibility of integrated photovoltaic and mechanical storage systems for irrigation purposes in remote areas: Optimization, energy management, and multicriteria decision-making, *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 38, doi: 10.1016/j.csite.2022.102363.
- [6] D. Wichelns and J. D. Oster, 2006, Sustainable irrigation is necessary

- and achievable, but direct costs and environmental impacts can be substantial, *Agric Water Manag*, vol. 86, no. 1–2, pp. 114–127, doi: 10.1016/j.agwat.2006.07.014.
- [7] Janine W. Powell, Jon M. Welsh, David Pannell and Ross Kingwell, 2019, Can applying renewable energy for Australian sugarcane irrigation reduce energy cost and environmental impacts? A case study approach, *J Clean Prod*, vol. 240, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118177.
- [8] S. K. Saptomo, dkk., 2013, *Irigasi Curah Otomatis Berbasis Sistem Pengendali Mikro (Microcontroller System Based Automated Sprinkle Irrigation)*.
- [9] D. Prayama, dkk., 2018, *Rancang Bangun Alat Pengontrol Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah di Area Pertanian*.
- [10] F. A. Siregar, 2023, *Pengembangan Sistem Pertanian Berkelanjutan Untuk Mencapai Keberlanjutan Pangan*.
- [11] E. Efendi, 2016 *Implementasi sistem pertanian-berkelanjutan*.
- [12] Iqrima, dkk., 2017, *Metode Irigasi Curah dan Irigasi Tetes*.
- [13] H. P. Bambang, 2019, *Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif*.
- [14] S. Yaakub dan R. Meilano, 2019, *Potensi Sensor Kelembaban Tanah YL-69 Sebagai Pemonitor Tingkat Kelembaban Media Tanam Palawija*, <https://ojs.politeknikjambi.ac.id/elti>