Rancang Bangun dan Implementasi Pompa Air Otomatis Bertenaga Surya untuk Sistem Penyiraman Bibit Bawang Merah di UD. Bolotani

Aldo Pratama Putra[*1], Miftakhul Huda[2], Septriandi Wirayoga[3]

[1,2,3]Prodi Teknik Elektronika Kampus Kediri,Politeknik Negeri Malang, Indonesia
Email: [1]2241190018@student.polinema.ac.id, [2]miftakhul.huda@polinema.ac.id,
[3]yoga.septriandi@polinema.ac.id

Nomor Handphone: 085784617383

Abstrak

Produktivitas bibit bawang merah (Allium cepa L.) sangat dipengaruhi oleh sistem pengairan yang pada lokasi penelitian masih dilakukan secara manual dan kurang efisien. Keterbatasan akses listrik konvensional juga menjadi kendala dalam pengoperasian pompa. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem pompa air otomatis bertenaga surya untuk penyiraman bibit bawang merah di UD. Bolotani. Sistem menggunakan dua panel surya 100 Wp yang dirangkai seri dengan total 200 Wp untuk mengisi baterai Lithium LiFePO4 24 V 15 Ah melalui MPPT Solar Charge Controller. ESP32 digunakan sebagai pengendali utama yang memproses sensor kelembapan tanah kapasitif, sensor intensitas cahaya BH1750, dan sensor pH air. Pompa DC 24 V 300 W mendistribusikan air melalui enam sprinkler. Penyiraman dijadwalkan pukul 09.00 dan 15.00 dengan mempertimbangkan kelembapan tanah, intensitas cahaya, dan pH air. Hasil pengujian menunjukkan akurasi sensor kelembapan 97,26%, sensor lux 97,20%, dan sensor pH 98,10%. Pompa menghasilkan tekanan hidrolik stabil pada 96–97 PSI. Sistem dapat beroperasi secara otomatis dan mandiri dengan dukungan energi surya, sedangkan konsumsi energi harian berada pada tingkat yang masih dapat ditopang oleh kapasitas baterai yang digunakan.

Kata kunci: ***bibit bawang merah, ESP32, panel surya, pompa air otomatis, sensor kelembapan tanah***

Abstract

The productivity of shallot seedlings (Allium cepa L.) is strongly influenced by irrigation management, which at the research site was still carried out manually and inefficiently. Limited access to conventional electricity also created difficulties in operating the irrigation pump. This study aimed to design and implement a solar-powered automatic water pump system for shallot seedling irrigation at UD. Bolotani. The system uses two 100 Wp solar panels connected in series, providing 200 Wp, to charge a 24 V 15 Ah Lithium LiFePO4 battery through an MPPT Solar Charge Controller. An ESP32 microcontroller acts as the main controller and processes data from a capacitive soil moisture sensor, BH1750 light intensity sensor, and water pH sensor. A 24 V 300 W DC pump distributes water through six sprinklers. Irrigation is scheduled at 09:00 and 15:00 based on soil moisture, light intensity, and water pH conditions. Test results showed sensor accuracies of 97.26% for soil moisture, 97.20% for light intensity, and 98.10% for water pH. The pump maintained hydraulic pressure at approximately 96–97 PSI. The system operated automatically and independently using solar energy, while its daily energy demand remained within the capability of the installed battery capacity.

Keywords: *automatic water pump, ESP32, shallot seedlings, solar panel, soil moisture sensor*

This work is an open access article and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

1. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor vital dalam perekonomian Indonesia dan bawang merah (Allium cepa L.) merupakan salah satu komoditas pertanian yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Bawang merah digunakan sebagai bahan pokok dalam berbagai masakan dan memiliki nilai pemanfaatan lain sehingga peningkatan produktivitasnya menjadi salah satu perhatian dalam kegiatan budidaya. Salah satu faktor penting yang memengaruhi produktivitas adalah pengelolaan air. Sistem penyiraman yang dilakukan secara manual membutuhkan tenaga dan waktu serta berpotensi menghasilkan distribusi air yang kurang merata.

Irigasi sprinkler menjadi salah satu alternatif karena air didistribusikan dalam bentuk butiran seperti hujan sehingga dapat menjangkau area tanaman secara lebih merata. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan sprinkler pada bawang merah dapat memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan metode konvensional, sementara teknologi hemat air juga berpotensi mengurangi penggunaan air pada lahan kering. Pemanfaatan pompa bertenaga surya kemudian dapat menjadi solusi untuk daerah yang memiliki keterbatasan akses listrik karena energi matahari dapat digunakan sebagai sumber daya utama sistem irigasi.

Permasalahan tersebut juga ditemukan pada UD. Bolotani, Desa Sagi, Kecamatan Plosoklaten, Kabupaten Kediri, Jawa Timur. Lahan greenhouse yang digunakan untuk pembibitan memiliki ukuran 15 × 5 m dan dilengkapi enam sprinkler. Bibit bawang merah yang digunakan berusia 1–35 hari dan ditempatkan pada tray berisi 200 lubang dengan media cocopeat. Sebelum penelitian, proses penyiraman masih dilakukan secara manual dan pengoperasian pompa masih bergantung pada sumber energi konvensional. Kondisi tersebut menjadi dasar pengembangan sistem penyiraman otomatis yang memanfaatkan energi surya serta sensor lingkungan.

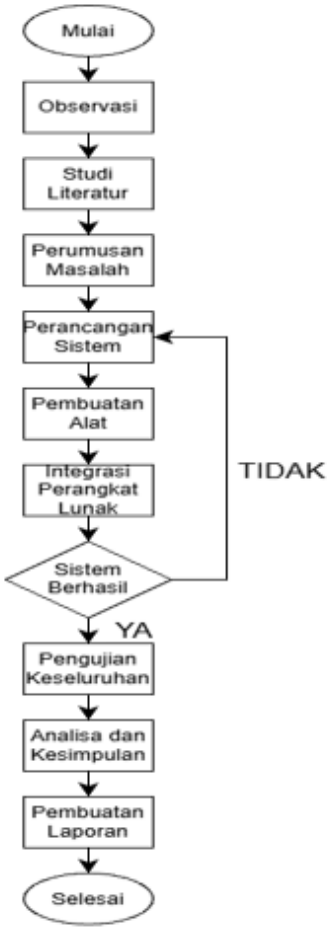
Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem pompa air otomatis bertenaga surya yang mampu mengambil keputusan penyiraman berdasarkan kondisi media tanam dan lingkungan. Sistem dirancang agar penyiraman dapat dilakukan pada waktu yang ditentukan dengan mempertimbangkan kelembapan tanah, intensitas cahaya, dan pH air, sekaligus menyediakan sumber energi mandiri dari panel surya.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan jenis pendekatan *Research and Development* (R&D) yang terbagi menjadi tahapan perancangan, kalibrasi komponen, perakitan perangkat keras, dan pengujian lapangan. Desain arsitektur elektronik dan kendali logikanya dirancang secara tertutup (*offline*) di dalam kotak panel utama, dengan memastikan sistem tidak terhubung ke antarmuka aplikasi, portal situs *web*, maupun *database* eksternal pihak ketiga demi menekan kerumitan operasional bagi petani.

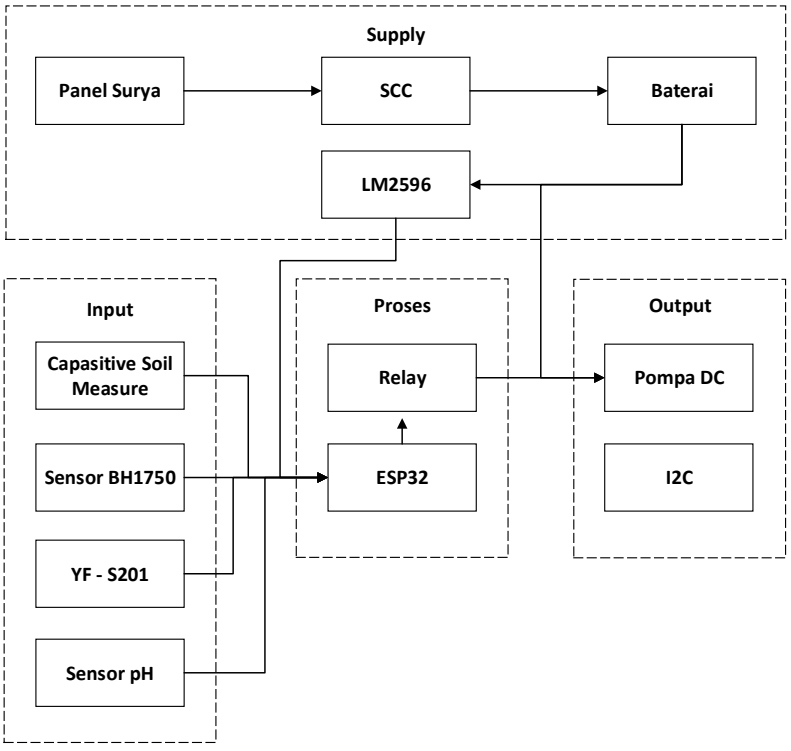
2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara berurutan meliputi observasi, studi literatur, perumusan masalah, perancangan sistem, pembuatan alat, integrasi perangkat lunak. Jika pada tahap integrasi perangkat lunak berhasil maka akan dilanjutkan pada tahap pengujian alat secara keseluruhan. Namun apabila pada tahap tersebut terdapat kesalahan atau error maka dilakukan pada tahap perancangan sistem. Setelah pengujian alat berhasil akan dilakukan analisa dan kesimpulan kemudian dilanjutkan dengan penulisan laporan. Urutan hal tersebut bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Tahapan Penelitian

2.2 Diagram Blok Sistem



Gambar 2 Diagram Blok Sistem

Berdasarkan diagram blok pada Gambar 2, sistem ini beroperasi dengan sumber energi utama yang berasal dari panel surya berkapasitas 200Wp. Energi yang dihasilkan tersebut diregulasi oleh modul *Solar Charge Controller* (SCC) tipe MPPT untuk disimpan dengan aman ke dalam baterai *Lithium* LiFePO4 24V 15Ah. Dari baterai, tegangan didistribusikan secara terpisah; jalur tegangan 24V dialirkan ke *relay* untuk aktuator, sementara jalur lainnya melewati modul *step-down* LM2596 untuk diturunkan menjadi 5V guna memenuhi kebutuhan daya mikrokontroler ESP32 beserta seluruh perangkat sensor. Sistem memulai siklusnya dengan melakukan pemantauan kondisi lingkungan secara terus-menerus melalui sensor-sensor yang terpasang di area lahan.

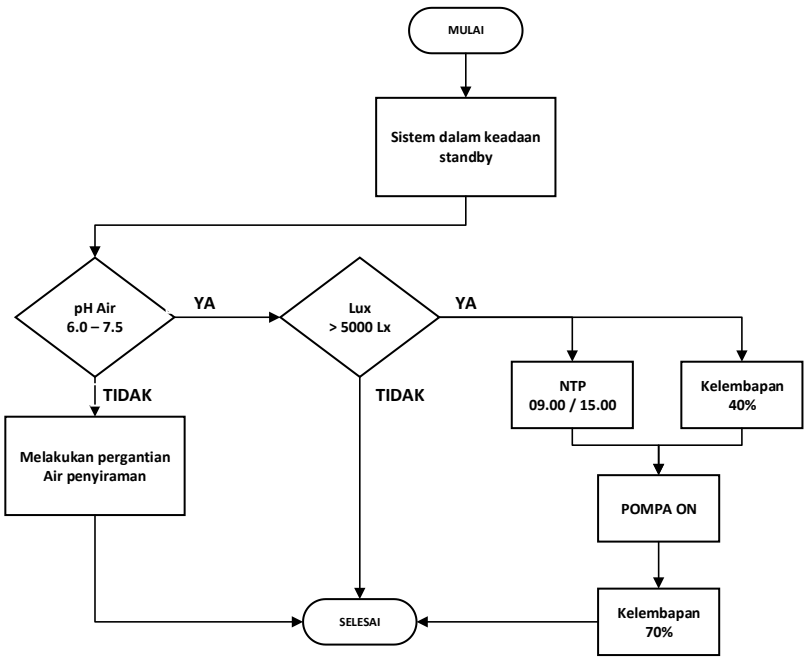
Sensor *Capacitive Soil Moisture* V1.2 digunakan untuk membaca tingkat kelembapan media tanam, sensor lux BH1750 mendeteksi intensitas cahaya matahari untuk mengenali kondisi cuaca, dan sensor pH E-201C memeriksa tingkat keasaman air penyiraman di penampungan. Hasil pembacaan dari ketiga sensor tersebut dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses sebagai acuan pengambilan keputusan. Ketika parameter waktu menunjukkan jadwal penyiraman (pukul 09.00 atau 15.00 WIB), kelembapan tanah berada di bawah ambang batas 70%, intensitas cahaya terbaca di atas 5.000 Lux yang menandakan cuaca cerah, serta pH air berada di rentang aman, sistem akan memberikan perintah untuk mengaktifkan pompa.

Perintah dari ESP32 dikirimkan berupa sinyal kontrol menuju modul *relay* 30A. *Relay* tersebut berfungsi sebagai saklar yang menghubungkan arus besar dari baterai untuk menyalakan motor pompa air DC 24V 300W.

Proses penyiraman akan terus berjalan dan baru dihentikan ketika sensor kelembapan tanah mencatatkan nilai di atas 70%, yang menandakan bahwa kebutuhan air tanaman telah terpenuhi. Dengan demikian, pengendalian pada sistem ini tidak lagi mengandalkan intervensi manual, melainkan terpusat pada logika ESP32 yang mengintegrasikan jadwal, kondisi penguapan cuaca, dan batas kelembapan untuk memastikan bahwa pompa air bekerja seefisien mungkin guna mendukung pertumbuhan optimal bibit bawang merah.

2.3 Perencangan Logika Sistem

Perancangan logika sistem menggambarkan alur kerja dan proses pengambilan keputusan dari proses penyiraman lahan bibit bawang merah. Untuk alur logika sistem ini dapat di tunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Flowchart Sistem

Setelah sistem dihidupkan, mikrokontroler berada dalam keadaan siaga atau *standby* untuk memantau parameter lingkungan secara terus-menerus. Tahap pertama adalah validasi kualitas air, di

mana sistem memastikan tingkat keasaman air di penampungan berada pada rentang aman 6,0 hingga 7,5. Apabila nilai pH berada di luar rentang tersebut, sistem akan memblokir perintah penyiraman dan memberikan indikasi untuk melakukan pergantian air penyiraman guna mencegah kerusakan pada bibit bawang merah. Jika pH air memenuhi syarat, alur berlanjut ke tahap validasi cuaca dengan mengevaluasi intensitas cahaya matahari di sekitar lahan. Sistem akan membatalkan penyiraman dan langsung mengakhiri siklus jika intensitas cahaya terbaca di bawah batas 5.000 Lux, yang mengindikasikan cuaca sedang mendung atau menjelang malam. Sebaliknya, jika cuaca terdeteksi cerah dengan intensitas cahaya melebihi 5.000 Lux, sistem akan mengaktifkan pompa air berdasarkan dua kondisi pemicu utama. Pemicu pertama adalah kecocokan jadwal waktu (*Network Time Protocol* atau NTP) yang secara otomatis akan menghidupkan pompa pada pukul 09.00 dan 15.00. Pemicu kedua merupakan langkah pengaman darurat yang akan langsung menyalakan pompa di luar jadwal apabila tingkat kelembapan media tanam anjlok hingga menyentuh angka kritis 40%. Selama proses penyiraman berlangsung, sensor secara konstan memantau resapan air hingga tingkat kelembapan tanah merangkak naik dan mencapai batas ideal sebesar 70%. Setelah target kelembapan tersebut tercapai, pompa akan dimatikan secara otomatis, yang sekaligus mengakhiri satu siklus irigasi dan mengembalikan keseluruhan sistem ke mode siaga.

2.4 Perancangan Rulebase Penyiraman

Dalam merancang sistem kontrol otomatis menggunakan mikrokontroler ESP32, diperlukan sebuah *rulebase* (basis aturan) yang berfungsi sebagai logika pengambilan keputusan (algoritma kontrol). *Rulebase* ini mengintegrasikan seluruh pembacaan sensor untuk menentukan apakah aktuator (Pompa DC 24V 300W) harus menyala (ON) atau mati (OFF).

Berdasarkan observasi secara langsung pada lahan bibit bawang merah di UD. Bolotani, rentang kelembapan optimal lahan bibit bawang merah sekitar 50% - 70% dan, penentuan batas ambang (*set point*) dari masing-masing variabel input ditetapkan sebagai berikut:

1. Sensor pH Air (Kualitas Air)
   - Normal (Aman): $6{,}0 \leq pH \leq 7{,}5$
   - Tidak Normal : $pH < 6{,}0$ (Asam) atau $pH > 7{,}5$ (Basa)
2. Sensor Kelembapan Tanah Kapasitif (Kebutuhan Air)
   - Cukup Air (Batas Atas): Kelembapan $\geq 70\%$
   - Butuh Air (Batas Aman): Kelembapan 41% - 69%
   - Kering Darurat (Batas Bawah): Kelembapan $\leq 40\%$
3. Sensor Intensitas Cahaya / Lux BH1750 (Kondisi Cuaca)
   - Cerah: Lux > 5.000 Lx
   - Mendung/Malam: Lux $\leq$ 5.000 Lx
4. Waktu / NTP (Jadwal Penyiraman)
   - Sesuai Jadwal: Pukul 09.00 dan 15.00 WIB
   - Luar Jadwal: Waktu selain pukul 09.00 dan 15.00 WIB

Dari batasan parameter di atas, dirumuskan logika *If-Then* (Jika-Maka) yang membentuk kondisi operasional keseluruhan sistem. Tabel *rulebase* berikut menunjukkan kemungkinan kondisi yang terjadi di lahan UD. Bolotani:

Tabel 1 Rulebase Sistem Penyiraman Otomatis

Rule	pH Air	Cuaca (Lux)	Jadwal	Kelembapan	Pompa
1	Normal	Cerah	Sesuai	≤ 40%	ON
2	Normal	Cerah	Sesuai	41% - 69%	ON
3	Normal	Cerah	Sesuai	≥ 70%	OFF
4	Normal	Mendung	Sesuai	≤ 40%	ON
5	Normal	Mendung	Sesuai	41% - 69%	OFF
6	Normal	Mendung	Sesuai	≥ 70%	OFF
7	Normal	Cerah	Luar	≤ 40%	ON
8	Normal	Cerah	Luar	41% - 69%	OFF
9	Normal	Cerah	Luar	≥ 70%	OFF
10	Normal	Mendung	Luar	≤ 40%	ON
11	Normal	Mendung	Luar	41% - 69%	OFF
12	Normal	Mendung	Luar	≥ 70%	OFF
13	Tidak Normal	Cerah / Mendung	Sesuai / Luar	≤ 40%	OFF
14	Tidak Normal	Cerah / Mendung	Sesuai / Luar	41% - 69%	OFF
15	Tidak Normal	Cerah / Mendung	Sesuai / Luar	≥ 70%	OFF

1. 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kalibrasi Sensor BH1750

Kalibrasi sensor lux BH1750 dilakukan untuk meningkatkan presisi pembacaan sensor terhadap kondisi cuaca sekitar *greenhouse*. Dalam proses kalibrasi ini, peneliti menggunakan luxmeter sebagai pembancing nilai dari sensor lux BH1750. Pada Kalibrasi dan pengujian kali ini, waktu yang digunakan mulai dari jam 06.00 hingga lux menyentuh angka 0 atau tidak ada cahaya matahari sama sekali (18.00), selain itu juga dilakukan pengujian pada kondisi mendung.

Tabel 2 Kalibrasi dan Pengujian Sensor Bh1750

Waktu	Sensor Lux BH1750 (Lx)	Luxmeter (Lx)	Kondisi	Error (%)	Akurasi
06.00	1085	1126	Pagi	3.6%	96.4%
07.00	3561	3686	Pagi	3.3%	96.7%
08.00	9726	9876	Panas	1.5%	98.5%
09.00	19925	21967	Panas	9.2%	90.8%
10.00	46036	47921	Panas	3.9%	96.1%
11.00	70763	71814	Terik	1.4%	98.6%
12.00	46873	47270	Terik	1.1%	98.9%
13.00	154263	154834	Terik	0.3%	99.7%
14.00	82106	82309	Terik	0.2%	99.8%
15.00	20712	21973	Berawan	5.7%	94.3%
16.00	8071	8418	Mendung	4.1%	95.9%
17.00	3669	3790	Mendung	3.1%	96.9%
18.00	0	0	Malam	0%	100%
Rata Rata :				2.8%	97.2%

Hasil dari pengujian dengan luxmeter sebagai pembanding menunjukkan bahwa nilai error yang terukur cukup bervariasi. Setelah dilakukan perhitungan, akurasi dari perbandingan nilai lux dari sensor BH1750 dan Luxmeter bernilai 97.2%.

3.2 Kalibrasi Sensor Kelembapan Kapasitif V1.2

Pada pengujian sensor ini, dilakukan pengujian pada 3 parameter tanah yang berbeda. Untuk alat pembanding pada pengujian sensor kelembapan kapasitif V1.2 kali ini menggunakan hygrometer.

Tabel 3 Kalibrasi dan Pengujian Sensor Kelembapan Kapasitif V1.2

Keterangan Uji	Sensor Kelembapan Kapasitif V1.2	Hygrometer	Error (%)	Akurasi
Kering	34%	35%	2.85%	97.15%
Kering	35%	35%	0%	100%
Lembab	53%	56%	5.35%	94.65%
Lembab	57%	56%	1.78%	98.22%
Basah	71%	70%	1.42%	98.58%
Basah	70%	71%	1.40%	98.60%
Rata Rata :			2.73%	97.26%

Setelah melakukan pengujian menggunakan 3 tanah dengan kondisi yang berbeda, pembacaan sensor menunjukkan tingkat keakuratan yang cukup tinggi terhadap alat ukur referensi, dengan nilai error yang bervariasi antara 0% hingga 5.55% dan rata rata error sebesar 2.73%.

3.3 Kalibrasi pH Air E-201C

Kalibrasi sensor pH Air E-201C dilakukan untuk meningkatkan presisi pembacaan sensor terhadap kondisi air untuk menyiram bibit bawang merah di *greenhouse.* Dalam proses kalibrasi ini peneliti menggunakan 2 cairan buffer yaitu 7.00 dan 4.00.

Tabel 4 Kalibrasi dan Pengujian Sensor pH Air E-201C

Sensor pH air	Cairan pH	Error (%)	Akurasi
6.99	7.00	0.14%	99.86%
6.99	7.00	0.14%	99.86%
7.10	7.00	1.42%	98.58%
7.15	7.00	2.14%	97.86%
7.20	7.00	2.85%	97.18%
4.00	4.00	0%	100%
4.07	4.00	1.75%	98.25%
4.07	4.00	1.75%	98.25%
4.15	4.00	3.75%	96.25%
4.20	4.00	5.00%	95.00%
Rata Rata :		1.89%	98.10%

Hasil pengujian pada 2 cairan menunjukkan bahwa pembacaan sensor menunjukkan tingkat kesesuaian yang cukup baik terhadap kedua cairan pembanding, dengan nilai error yang bervariasi antara 0% hingga 5.00% dan rata- rata error sebesar 1,89%.

3.4 Kalibrasi *Water Flow* YF-S201

Pengujian dan kalibrasi sensor *Water Flow* dilakukan untuk memvalidasi tingkat akurasi pembacaan volume aliran air. Metode pengujian ini dilakukan dengan cara mengalirkan air melewati sensor menuju wadah ukur hingga terisi sesuai dengan kapasitas volume yang tertera pada masing-masing wadah.

Tabel 5 Kalibrasi dan Pengujian Sensor *Water Flow* YF-S201

Keterangan	Sensor YF-S201	Wadah Ukur	Error (%)	Akurasi
Botol 600ml	0.59	0.60	1.67%	98.33%
Botol 600ml	0.60	0.60	0%	100%
Botol 600ml	0.61	0.60	1.67%	98.33%
Botol 1.5L	1.48	1.50	1.33%	98.67%
Botol 1.5L	1.50	1.50	0.00%	100%
Botol 1.5L	1.52	1.50	1.33%	98.67%
Galon 5L	4.90	5.00	2.00%	98.00%
Galon 5L	5.05	5.00	1.00%	99.00%
Galon 5L	5.00	5.00	0.00%	100%
Rata Rata :			1.80%	98.20%

Setelah melakukan pengujian menggunakan 3 wadah ukur dengan kapasitas yang berbeda (600 ml, 1.5 L, dan 5 L), pembacaan sensor menunjukkan tingkat keakuratan yang tinggi terhadap alat ukur referensi. Nilai error yang dihasilkan bervariasi antara 0% hingga 3.33%, dengan rata-rata error hanya sebesar 1.80%.

3.5 Pengujian Pompa Air DC

Pengujian pompa ini diperlukan untuk memastikan bahwa pompa bekerja dengan tegangan dan arus yang sesuai dengan spesifikasi pompa tersebut. Selain itu, dilakukan pengujian suhu pompa selama penyiraman guna memastikan bahwa pompa tidak bekerja terlalu keras dan dapat digunakan dalam jangka waktu yang lebih panjang. Pompa yang digunakan pada pengujian atau penyiraman ini menggunakan Pompa DC 24V 300W dengan perhitungan arus tanpa beban berkisar 12.5A.

Tabel 6 Pengujian Pompa Air DC

Kondisi	Baterai Awal	Baterai Akhir	Waktu	Performa Pompa			
				V	I	W	Wh
PV ON	25.60V	25.52V	10m22d	25.60	15.20	389	67
PV OFF	26.70V	26.20V	08m08d	26.70	14.81	395	53

Tabel 7 Pengujian Suhu Pompa Air DC

Pompa			Suhu Awal	Suhu Akhir	Waktu
V	I	W			
25.17	14.93	375	28.7 °C	29.5 °C	5 Menit 40 Detik
25.12	14.54	365	28.7 °C	30.6 °C	8 Menit 10 Detik
25.09	14.86	372	28.7 °C	32.0 °C	10 menit 20 Detik

Pengujian performa dan suhu pada pompa air DC 24V 300W dilakukan untuk memastikan keandalan aktuator selama proses penyiraman berlangsung. Secara kelistrikan, pompa menarik arus aktual berkisar antara 14,81 A hingga 15,20 A, sedikit lebih tinggi dari arus nominalnya akibat beban

kerja tambahan untuk mendistribusikan air ke enam buah *sprinkler* yang memicu tekanan balik (*backpressure*) di dalam pipa. Kinerja ini sangat dipengaruhi oleh ketersediaan suplai daya; saat panel surya aktif mengisi daya (PV ON), terjadi pembagian beban (*load sharing*) yang membuat penurunan tegangan baterai sangat minim, yakni hanya 0,08 V selama durasi penyiraman lebih dari 10 menit. Sebaliknya, saat penyiraman terjadi tanpa suplai panel surya (PV OFF), baterai mengalami kemerosotan tegangan (*voltage sag*) yang lebih tajam sebesar 0,50 V dalam waktu 8 menit karena harus menanggung beban arus secara mandiri.

Meskipun bekerja dengan beban arus yang cukup besar, pengujian termal membuktikan bahwa pompa sangat aman dari risiko panas berlebih (*overheating*). Kenaikan suhu bodi pompa terpantau sangat landai, dengan titik suhu maksimal hanya mencapai 32,0 °C dari suhu awal 28,7 °C setelah beroperasi maksimal selama 10 menit 20 detik. Kestabilan suhu ini dapat dipertahankan berkat adanya mekanisme pendinginan alami (*natural cooling*), di mana aliran fluida air yang secara konstan melewati bagian dalam pompa bertindak menyerap dan membuang panas dari motor. Dengan demikian, aktuator terbukti memiliki performa mekanik dan termal yang tangguh untuk menjalankan rutinitas irigasi harian di lahan bibit bawang merah.

3.6 Analisis Konsumsi Energi

Tabel 8 Penggunaan Daya Harian

Tanggal	Pagi 09.00	Sore 15.00	Total Harian
4 Juni 2026	35 Wh	24 Wh	59 Wh
5 Juni 2026	39 Wh	27 Wh	66 Wh
6 Juni 2026	32 Wh	-	32 Wh
7 Juni 2026	34 Wh	29 Wh	63 Wh
8 Juni 2026	39 Wh	33 Wh	72 Wh
9 Juni 2026	43 Wh	30 Wh	73 Wh
10 Juni 2026	28 Wh	32 Wh	60 Wh

Berdasarkan data pada Tabel 8, pola konsumsi energi pompa menunjukkan bahwa sistem penyiraman beroperasi secara dinamis dan adaptif terhadap kondisi lingkungan lahan. Secara umum, konsumsi energi pada jadwal penyiraman pagi pukul 09.00 cenderung lebih dominan dengan rentang pemakaian 28 Wh hingga 43 Wh, dibandingkan dengan jadwal sore pukul 15.00 yang hanya memakan daya sekitar 24 Wh hingga 33 Wh. Tingginya konsumsi daya di pagi hari ini mengindikasikan bahwa pompa harus menyala lebih lama untuk memulihkan tingkat kelembapan tanah yang telah menyusut drastis akibat siklus penguapan sepanjang siang dan malam sebelumnya. Di samping itu, algoritma respons cerdas dari sistem terbukti berfungsi dengan sangat baik pada tanggal 6 Juni 2026, di mana tidak ada catatan konsumsi daya sama sekali pada jadwal penyiraman sore. Hal ini terjadi karena sensor berhasil mendeteksi cuaca mendung melalui rendahnya intensitas cahaya, sehingga sistem secara otomatis membatalkan aktuasi pompa untuk mencegah pemborosan air sekaligus menghindari potensi kejenuhan air pada media tanam. Secara keseluruhan, akumulasi total daya harian bergerak secara fluktuatif namun sangat efisien, yakni dari titik terendah 32 Wh hingga titik maksimal 73 Wh. Rentang konsumsi energi yang rendah ini membuktikan bahwa manajemen beban dinamis pada sistem beroperasi dengan sangat optimal, sehingga baterai aman dari risiko pengurasan daya secara berlebihan (*over-discharge*).

3.7 Analisa Penggunaan dan Pendapatan Energi Harian

Pengujian penggunaan dan pendapatan energi harian dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem pembangkit listrik tenaga surya dalam memenuhi kebutuhan energi pada sistem penyiraman otomatis. Analisis dilakukan dengan membandingkan energi yang dihasilkan oleh panel surya dengan

energi yang digunakan oleh sistem selama proses penyiraman. Energi yang dihasilkan panel surya diperoleh berdasarkan hasil pengukuran selama proses pengujian, sedangkan penggunaan energi sistem diperoleh dari total energi yang digunakan oleh pompa pada setiap proses penyiraman.

Tabel 9 Pendapatan Energi Panel Surya dan Penggunaan Energi Sistem

Tanggal	Pendapatan PV (Wh)	Penggunaan Pompa (Wh)	Penggunaan Sistem (Wh)	Total (Wh)
4 Juli	277.78	59	83,76	142.76
5 Juli	218.86	66	83,76	149.76
6 Juli	275.59	32	83,76	115.76
7 Juli	302.32	63	83,76	146.76
8 Juli	196.02	72	83,76	155.76
9 Juli	170.08	73	83,76	156.76
10 Juli	200.34	97	83,76	180.76

Berdasarkan data hasil pengujian yang disajikan pada tabel neraca energi harian (4 hingga 10 Juli), dapat dilakukan analisis perbandingan antara total produksi energi dari panel surya (Pendapatan PV) dengan total konsumsi energi keseluruhan. Total penggunaan daya pada sistem irigasi cerdas ini terbagi menjadi dua komponen utama, yaitu beban statis (penggunaan sistem) dan beban dinamis (penggunaan pompa).

Beban statis, yang merepresentasikan konsumsi daya *standby* dari mikrokontroler, modul sensor, dan komponen kendali lainnya, tercatat stabil secara konstan sebesar 83,76 Wh setiap harinya. Sementara itu, beban dinamis dari pompa air berfluktuasi secara signifikan bergantung pada frekuensi dan durasi penyiraman yang dipengaruhi oleh tingkat kelembapan tanah aktual. Konsumsi daya pompa terendah terjadi pada tanggal 6 Juli sebesar 32 Wh, sedangkan lonjakan tertinggi terjadi pada tanggal 10 Juli yang mencapai 97 Wh. Akumulasi dari kedua jenis beban tersebut menghasilkan total konsumsi harian sistem yang bervariasi pada rentang 115,76 Wh hingga 180,76 Wh.

4. KESIMPULAN

Sistem pompa air otomatis bertenaga surya berhasil dirancang dan diimplementasikan untuk penyiraman bibit bawang merah di UD. Bolotani. Sistem mampu mengintegrasikan dua panel surya 100 Wp, baterai Lithium LiFePO4 24 V 15 Ah, MPPT Solar Charge Controller, ESP32, sensor kelembapan tanah, sensor intensitas cahaya, sensor pH, sensor water flow, pompa DC 24 V 300 W, dan enam sprinkler dalam satu sistem penyiraman otomatis. Pengujian menunjukkan akurasi sensor kelembapan tanah sebesar 97,26%, sensor BH1750 sebesar 97,20%, dan sensor pH sebesar 98,10%. Pompa bekerja dengan suhu maksimum bodi 32 °C. Sistem juga mampu membatalkan penyiraman ketika kondisi lingkungan tidak memenuhi parameter dan menyediakan proteksi berdasarkan kualitas air serta kelembapan media. Dari sisi energi, konsumsi penyiraman harian hasil pengujian berada pada kisaran 60–73 Wh pada hari pengujian, sementara sistem secara keseluruhan dilaporkan memiliki rata-rata konsumsi 96,5 Wh per hari. Secara keseluruhan, sistem dapat beroperasi otomatis dan mandiri dengan dukungan energi surya serta kapasitas baterai yang memadai.

2. 5. DAFTAR PUSTAKA

[1] S. Fibriani, F. Krismiratsih, dan I. Puspitasari, “Penerapan sistem irigasi sprinkle pada kegiatan budidaya bawang merah (Allium cepa L.): Studi kasus di Kecamatan Rejoso, Kabupaten Nganjuk,” Jurnal Pertanian Agroteknologi, vol. 13, no. 2, pp. 96–105, 2025.

[2] G. Ekşi, A. M. G. Özkan, dan M. Koyuncu, “Garlic and onions: An eastern tale,” Journal of Ethnopharmacology, vol. 253, p. 112675, 2020, doi: 10.1016/j.jep.2020.112675.

[3] A. J. Chakraborty et al., “Allium cepa: A treasure of bioactive phytochemicals with prospective health benefits,” Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2022, doi: 10.1155/2022/4586318.

[4] S. F. Batubara et al., “Evaluasi status hara makro nitrogen, fosfor, dan kalium di lahan sawah irigasi Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara,” Jurnal Agrikultura, vol. 35, no. 1, pp. 59–70, 2024.

[5] N. S. Aryani, E. Santosa, S. Zaman, dan D. P. Hapsari, “Kebutuhan air irigasi empat varietas bawang merah,” Jurnal Hortikultura Indonesia, vol. 15, pp. 77–83, 2024.

[6] R. Fadhilah, M. N. Murtadho, F. J. P. Putra, M. H. Hakim, dan S. Baiturrohmah, “Penerapan teknologi pembangkit listrik tenaga surya untuk penyiraman tanaman,” Jurnal Ilmiah Multidisiplin Terpadu, vol. 8, no. 11, pp. 291–296, 2024.

[7] I. S. P. Muchtar, Saidah, dan Y. P. Rahardjo, “The effect of sprinkler irrigation system on shallot growth and yields in dry land of Sigi District,” IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 472, p. 012018, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/472/1/012018.

[8] A. Suriadi, Mardiana, H. Sa’Dyah, dan M. Nazam, “Feasibility of water-saving technology to improve shallot productivity in dryland of Eastern Indonesia,” IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 1107, p. 012072, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1107/1/012072.

[9] P. Rejekiningrum, Y. Apriyana, dan Harmanto, “The application of solar water pump for drip irrigation to increase shallot yield on dry land,” IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 648, p. 012091, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/648/1/012091.

[10] A. Habibi, D. Prasetyo, dan R. Nugroho, “Application of IoT-based soil moisture sensors for efficient irrigation management in onion cultivation,” Journal of Agricultural Technology and Innovation, vol. 15, no. 2, pp. 112–121, 2024.

[11] A. Ramadhani, H. Yusuf, dan S. Mardiana, “Automatic watering system for local red onion (Allium cepa L. var. aggregatum) using Arduino-based soil moisture sensor,” Indonesian Journal of Agricultural Research, vol. 29, no. 3, pp. 201–209, 2022.

[12] K. Hariyadi, M. Kamil, dan P. Ananda, “Sistem pengecekan pH air otomatis menggunakan sensor pH probe berbasis Arduino pada sumur bor,” Rang Teknik Journal, vol. 3, no. 2, pp. 340–346, 2020.

[13] H. W. Wardana, Minto, dan I. Ummah, “Pembuatan pompa air tenaga surya untuk irigasi persawahan bagi masyarakat Desa Mlaras Sumobito Jombang,” Jurnal Pemberdayaan Masyarakat (JPM), vol. 8, no. 2, pp. 166–171, 2023.

[14] A. A. Rashad et al., “Uji fungsi dan kalibrasi sensor water flow YF-S201 berbasis Arduino Uno pada mesin penjernih air sungai,” Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer (TEKNIK), vol. 3, no. 2, pp. 1–9, 2023.

[15] A. A. Abdelmoneim et al., “Calibration of Low-Cost Capacitive Soil Moisture Sensors for Irrigation Management Applications,” Sensors, vol. 25, no. 343, pp. 1–16, 2025, doi: 10.3390/s25020343.

[16] Y. Simamora, M. S. Dewy, A. I. Silitonga, dan M. F. Immanuel, “Penerapan sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis tenaga surya bagi petani kacang panjang di Desa Kota Datar,” SELAPARANG, vol. 9, no. 4, pp. 2352–2363, 2025.

[17] D. F. W. Permana et al., “Budidaya bawang merah di Kabupaten Brebes,” Jurnal Bina Desa, vol. 3, no. 2, pp. 125–132, 2021.

[18] S. Hadi et al., “Smart Farming System pada Tanaman Bawang Merah berbasis Internet of Things,” SISTEMASI, vol. 12, no. 3, pp. 739–753, 2023