

# Perancangan dan Implementasi Sistem Penyiraman Otomatis Berbasis Sensor Kelembaban Tanah pada Budidaya Bawang Merah Menggunakan Arduino Uno

Fathur Rosi <sup>1)\*</sup> , Amsori <sup>2)</sup> 

<sup>1)2)</sup> Universitas Madura, Pamekasan,

<sup>1)</sup> [fathurrosir3@gmail.com](mailto:fathurrosir3@gmail.com), <sup>2)</sup> [amsoriabbei@gmail.com](mailto:amsoriabbei@gmail.com)

## Abstrak

Penyiraman merupakan salah satu faktor penting dalam budidaya bawang merah karena sangat memengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman. Praktik penyiraman yang masih dilakukan secara manual sering kali tidak mempertimbangkan kondisi kelembaban tanah secara aktual sehingga berpotensi menyebabkan ketidakseimbangan kadar air, baik berupa penyiraman berlebih maupun kekurangan air. Kondisi tersebut dapat berdampak pada rendahnya efisiensi penggunaan air dan terganggunya kebutuhan air tanaman bawang merah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem penyiraman otomatis berbasis sensor kelembaban tanah menggunakan Arduino Uno serta mengevaluasi kinerjanya pada budidaya bawang merah. Metode penelitian meliputi studi literatur, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi sistem, dan pengujian fungsional pada media tanam bawang merah. Sensor kelembaban tanah digunakan untuk membaca tingkat kelembaban tanah secara real-time, kemudian data tersebut diproses oleh Arduino Uno untuk mengendalikan pompa air melalui modul relay berdasarkan nilai ambang batas kelembaban yang telah ditentukan dari hasil uji awal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi kondisi kelembaban tanah dengan baik dan melakukan penyiraman secara otomatis ketika nilai kelembaban berada di bawah ambang batas, serta menghentikan penyiraman saat kelembaban tanah telah mencapai kondisi yang diinginkan. Sistem ini mampu menjaga kelembaban tanah pada kisaran optimal sekitar 60–70% dan meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga sekitar 35% dibandingkan metode penyiraman manual. Berdasarkan hasil tersebut, sistem penyiraman otomatis berbasis Arduino Uno dan sensor kelembaban tanah dinilai efektif, responsif, dan hemat air sehingga dapat diterapkan sebagai solusi irigasi sederhana pada budidaya bawang merah serta berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut.

**Keywords:** Arduino Uno, sensor kelembaban tanah, penyiraman otomatis, efisiensi air, bawang merah.

**Article history:** Received 5 April 2025, first decision 22 April 2025, accepted 22 August 2025, available online 28 October 2025

## I. PENDAHULUAN

Bawang merah merupakan salah satu komoditas hortikultura unggulan di Indonesia yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan pangan nasional.[1] Permintaan bawang merah yang terus meningkat menuntut adanya peningkatan produktivitas dan efisiensi dalam proses budidaya. Salah satu faktor utama yang sangat memengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman bawang merah adalah pengelolaan air, khususnya dalam menjaga kondisi kelembaban tanah yang sesuai dengan kebutuhan tanaman. Kelembaban tanah yang tidak stabil dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman tidak optimal, meningkatkan risiko penyakit, serta menurunkan kualitas dan kuantitas hasil panen.[2]

Pada praktik budidaya di lapangan, penyiraman tanaman bawang merah masih banyak dilakukan secara manual dengan mengandalkan perkiraan petani atau jadwal tertentu. Metode penyiraman manual memiliki sejumlah keterbatasan karena tidak mempertimbangkan kondisi kelembaban tanah secara aktual.[3] Perubahan cuaca, suhu lingkungan, serta karakteristik media tanam dapat menyebabkan kebutuhan air tanaman berbeda-beda setiap waktu. Akibatnya, penyiraman sering kali dilakukan secara berlebihan atau justru kurang dari kebutuhan tanaman. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada pertumbuhan tanaman, tetapi juga menyebabkan pemborosan penggunaan air yang semakin menjadi perhatian dalam sektor pertanian.[4]

Perkembangan teknologi mikrokontroler dan sensor membuka peluang untuk menerapkan sistem otomatisasi dalam bidang pertanian, termasuk pada sistem irigasi.[5] Sistem penyiraman otomatis berbasis sensor kelembaban tanah memungkinkan proses penyiraman dilakukan secara lebih terukur dan responsif terhadap kondisi tanah.[5] Beberapa penelitian sebelumnya telah melaporkan bahwa penggunaan sistem penyiraman otomatis dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan membantu menjaga kelembaban tanah pada kisaran optimal untuk

\* Fathur Rosi

pertumbuhan tanaman. Namun demikian, sebagian besar sistem yang dikembangkan masih mengandalkan teknologi berbasis Internet of Things (IoT) yang memerlukan koneksi internet serta biaya implementasi yang relatif tinggi, sehingga kurang sesuai untuk diterapkan oleh petani skala kecil atau pada wilayah dengan keterbatasan akses jaringan.[6][7]

Selain itu, penelitian yang secara khusus membahas penerapan sistem penyiraman otomatis sederhana pada budidaya bawang merah masih relatif terbatas[8]. Padahal, bawang merah memiliki karakteristik kebutuhan air yang spesifik dan sensitif terhadap perubahan kelembaban tanah. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang berfokus pada penerapan sistem penyiraman otomatis yang sederhana, berbiaya rendah, dan mudah diimplementasikan, namun tetap mampu bekerja secara efektif dalam menjaga kondisi kelembaban tanah.[9]

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem penyiraman otomatis berbasis sensor kelembaban tanah menggunakan Arduino Uno tanpa ketergantungan pada koneksi internet.[10] Sistem ini dirancang untuk membaca kondisi kelembaban tanah secara real-time dan mengendalikan pompa air secara otomatis berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditentukan.[11] Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penerapan sistem penyiraman otomatis yang aplikatif dan hemat biaya untuk budidaya bawang merah, serta pada evaluasi kinerja sistem dalam menjaga kestabilan kelembaban tanah dan meningkatkan efisiensi penggunaan air dibandingkan metode penyiraman manual.[12]

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Sistem Penyiraman Otomatis Berbasis Sensor Kelembaban Tanah

Sistem penyiraman otomatis merupakan sistem kendali yang dirancang untuk mengatur pemberian air pada tanaman secara mandiri berdasarkan kondisi aktual media tanam.[13] Sistem ini tersusun atas beberapa komponen utama yang saling terintegrasi, yaitu sensor sebagai pengumpul data, mikrokontroler sebagai pengolah data, serta aktuator sebagai pelaksana tindakan penyiraman.[14] Prinsip kerja sistem mengikuti alur input–process–output, di mana data kelembaban tanah digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan penyiraman.[15]

Dalam sistem penyiraman otomatis, data yang diperoleh dari sensor kelembaban tanah memiliki peran penting karena menjadi informasi utama bagi sistem.[16] Informasi kelembaban tanah yang akurat dan tepat waktu memungkinkan sistem menentukan kapan penyiraman perlu dilakukan dan kapan harus dihentikan.[17] Dengan demikian, sistem penyiraman otomatis dapat dipandang sebagai bentuk sederhana dari sistem informasi, karena mampu mengolah data mentah menjadi keputusan yang mendukung pengelolaan air secara efisien.[18]

Mikrokontroler berfungsi sebagai pusat kendali sistem. Arduino Uno banyak digunakan dalam pengembangan sistem penyiraman otomatis karena kemudahan pemrograman, kestabilan operasi, serta kompatibilitas dengan berbagai sensor dan modul pendukung.[19] Arduino Uno mampu membaca sinyal analog dari sensor kelembaban tanah melalui pin input analog, kemudian memproses data tersebut berdasarkan logika kontrol yang telah ditentukan untuk menghasilkan sinyal kendali ke aktuator.[20]

Sensor kelembaban tanah merupakan komponen kunci yang berfungsi mengukur kandungan air dalam media tanam.[21] Sensor tipe analog yang umum digunakan bekerja berdasarkan perubahan konduktivitas atau resistansi tanah. Nilai pembacaan sensor akan berbeda pada kondisi tanah kering, lembab, dan basah.[22] Nilai ini selanjutnya dibandingkan dengan nilai ambang batas (threshold) untuk menentukan status penyiraman. Akurasi pembacaan sensor, cara pemasangan, serta proses kalibrasi awal sangat memengaruhi kualitas keputusan sistem.[23]

Untuk mengendalikan pompa air yang memerlukan daya lebih besar, sistem menggunakan modul relay sebagai saklar elektronik.[24] Relay memungkinkan sinyal bertegangan rendah dari Arduino Uno mengendalikan perangkat bertegangan lebih tinggi secara aman.[25] Pompa air mini DC berperan sebagai aktuator yang mengalirkan air ke media tanam. Pompa jenis ini banyak digunakan karena ukurannya ringkas, konsumsi daya rendah, dan sesuai untuk sistem irigasi otomatis skala kecil.[26]

### B. Metode Pengendalian Penyiraman Berbasis Ambang Batas

Metode pengendalian penyiraman otomatis yang umum digunakan adalah metode berbasis ambang batas kelembaban tanah (threshold-based control).[27] Metode ini bekerja dengan membandingkan nilai kelembaban tanah yang terbaca sensor dengan nilai ambang yang telah ditetapkan.[28] Apabila nilai kelembaban berada di

bawah ambang batas, sistem akan mengaktifkan pompa air, sedangkan ketika nilai kelembaban telah mencapai atau melebihi ambang batas, sistem akan menghentikan penyiraman.[29]

Pendekatan threshold termasuk ke dalam kendali ON–OFF yang sederhana dan mudah diimplementasikan pada mikrokontroler dengan sumber daya terbatas.[30] Keunggulan metode ini terletak pada kesederhanaan algoritma, keandalan operasi, serta kemudahan penyesuaian parameter sesuai kebutuhan tanaman.[31] Meskipun demikian, fluktuasi kecil pada nilai sensor di sekitar ambang batas berpotensi menyebabkan pompa sering menyala–mati, sehingga diperlukan penyesuaian threshold atau jeda pembacaan untuk menjaga stabilitas sistem.[32]

### C. Sistem Irigasi Otomatis Non-IoT

Sistem irigasi otomatis dapat dikembangkan dengan atau tanpa integrasi Internet of Things (IoT).[33][34] Pada penelitian ini, sistem yang dikembangkan bersifat non-IoT, yaitu bekerja secara mandiri tanpa ketergantungan pada jaringan internet.[35] Seluruh proses pengambilan keputusan dilakukan secara lokal oleh mikrokontroler berdasarkan data sensor yang diperoleh secara real-time.[36], [37]

Pendekatan non-IoT memiliki keunggulan dalam hal kesederhanaan implementasi, biaya yang lebih rendah, serta keandalan operasional pada wilayah dengan keterbatasan infrastruktur jaringan.[38] Sistem ini lebih mudah diterapkan oleh petani skala kecil karena tidak memerlukan perangkat komunikasi tambahan atau pemantauan berbasis aplikasi.[39][40] Meskipun tidak menyediakan fitur pemantauan jarak jauh, sistem non-IoT tetap efektif dalam memenuhi kebutuhan dasar penyiraman otomatis berbasis kondisi tanah.[41], [42]

### D. Budidaya Bawang Merah dan Kebutuhan Kelembaban Tanah

Bawang merah merupakan tanaman hortikultura yang memiliki kebutuhan air spesifik dan sensitif terhadap perubahan kelembaban tanah.[43] Kondisi tanah yang terlalu kering dapat menghambat pertumbuhan dan pembentukan umbi, sedangkan tanah yang terlalu basah berpotensi menyebabkan pembusukan umbi dan gangguan pertumbuhan. Oleh karena itu, pengelolaan penyiraman yang tepat menjadi faktor penting dalam budidaya bawang merah.[44]

Penerapan sistem penyiraman otomatis berbasis sensor kelembaban tanah memungkinkan pengendalian kelembaban media tanam secara lebih terukur dibandingkan penyiraman manual.[45] Penyiraman dilakukan berdasarkan kondisi aktual tanah, sehingga fluktuasi kelembaban dapat diminimalkan dan kebutuhan air tanaman dapat terpenuhi secara lebih konsisten.[46]

### E. Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis berbasis sensor kelembaban tanah dan mikrokontroler mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air serta menjaga kelembaban tanah pada kisaran optimal.[47] Beberapa penelitian mengembangkan sistem berbasis Arduino atau ESP32 dengan tambahan fitur IoT untuk pemantauan jarak jauh, sedangkan penelitian lain menekankan kesederhanaan sistem non-IoT untuk aplikasi skala kecil.[48][49] Secara umum, hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penyiraman berbasis kondisi tanah lebih efektif dibandingkan penyiraman manual berbasis jadwal.[50], [51]

Meskipun demikian, penelitian yang secara khusus berfokus pada penerapan sistem penyiraman otomatis sederhana pada budidaya bawang merah masih terbatas.[52] Selain itu, evaluasi efisiensi penggunaan air pada sistem non-IoT juga belum banyak dibahas secara spesifik.[53], [54] Oleh karena itu, penelitian ini mengisi celah tersebut dengan mengembangkan dan mengevaluasi sistem penyiraman otomatis berbasis Arduino Uno dan sensor kelembaban tanah yang sederhana, aplikatif, dan sesuai untuk budidaya bawang merah.[55], [56]

## III. METODE

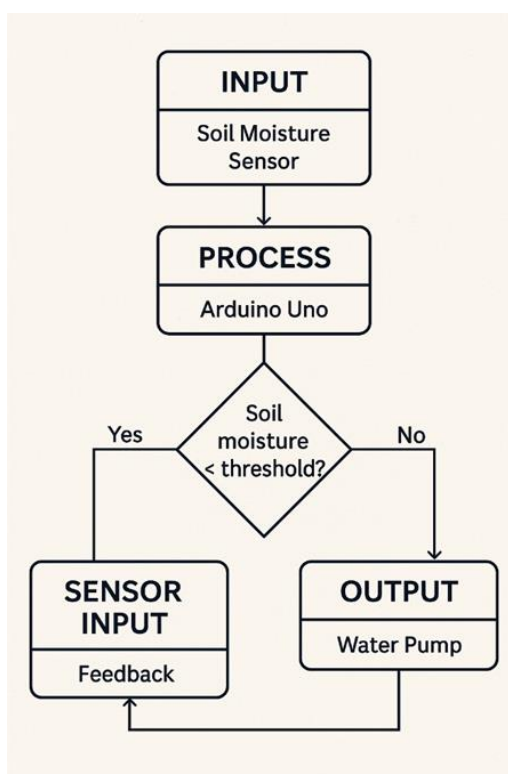
### A. Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (Research and Development/R&D) yang berfokus pada perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem penyiraman otomatis berbasis sensor kelembaban tanah dan mikrokontroler[57] Arduino Uno untuk budidaya bawang merah. Pendekatan eksperimen digunakan untuk menguji kinerja sistem pada kondisi operasional nyata, sedangkan data numerik hasil pembacaan sensor dimanfaatkan sebagai dasar evaluasi kuantitatif sederhana untuk menilai respons sistem terhadap perubahan

kelembaban tanah.[58] Tahapan penelitian disusun secara kronologis meliputi analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian fungsional dan evaluasi kinerja sistem.[59]

## B. Perangkat dan Bahan

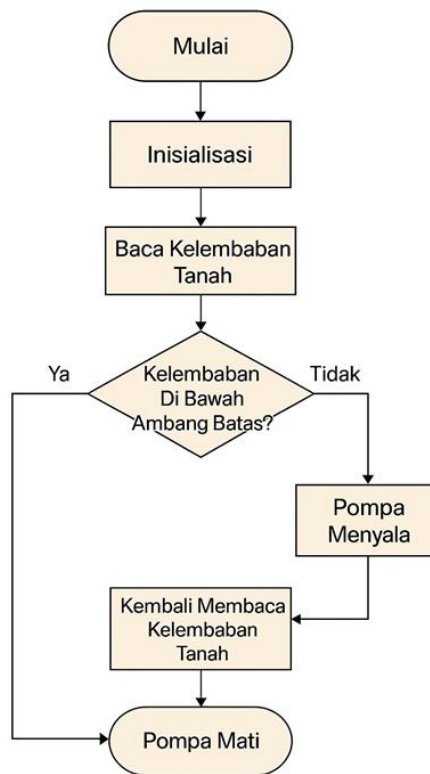
Sistem dikembangkan menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali utama, sensor kelembaban tanah sebagai input, modul relay sebagai pengendali daya, serta pompa air mini DC sebagai aktuator penyiraman.[60] Komponen pendukung meliputi catu daya/adaptor, kabel penghubung, serta media perakitan rangkaian.[61] Pengujian dilakukan pada media tanam bawang merah menggunakan tanah sebagai media, air sebagai sumber irigasi, dan wadah tanam untuk memudahkan pemasangan sensor serta distribusi air.[62] Konfigurasi koneksi antar komponen disusun agar pembacaan sensor dapat diproses Arduino secara real-time dan keluaran kontrol dapat mengaktifkan pompa melalui relay.[63] Diagram blok sistem disajikan pada Gambar 1 untuk menunjukkan hubungan input–proses–kontrol–output dan alur umpan balik setelah penyiraman.



Gambar 1. Diagram blok sistem penyiraman otomatis berbasis Arduino Uno dan sensor kelembaban tanah.

## C. Implementasi Sistem dan Logika Kontrol

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE. Program melakukan pembacaan nilai sensor secara periodik, kemudian membandingkannya dengan nilai ambang batas (threshold) kelembaban yang ditentukan berdasarkan uji awal pada kondisi tanah kering, lembab, dan basah.[64] Ketika nilai kelembaban berada di bawah threshold, Arduino mengirimkan sinyal kontrol untuk mengaktifkan relay sehingga pompa menyala dan penyiraman berlangsung.[65] Sebaliknya, ketika kelembaban mencapai atau melebihi threshold, sinyal kontrol dihentikan sehingga relay memutuskan arus dan pompa berhenti. Mekanisme ini membentuk loop umpan balik, yaitu sensor kembali membaca perubahan kelembaban setelah penyiraman untuk menentukan apakah penyiraman perlu dilanjutkan atau dihentikan.[66] Untuk menjaga kestabilan keputusan kontrol dan menghindari kondisi pompa sering menyala–mati akibat fluktuasi kecil, sistem menggunakan jeda pembacaan yang wajar sehingga nilai sensor lebih stabil sebelum keputusan dieksekusi.[67] Alur kerja sistem, mulai dari pembacaan sensor kelembaban tanah, proses perbandingan nilai ambang, hingga keputusan pengaktifan pompa air, ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart logika kerja sistem penyiraman otomatis berdasarkan nilai kelembaban tanah.

#### D. Prosedur Pengujian dan Evaluasi Kinerja

Pengujian dilakukan bertahap dimulai dari pengujian komponen untuk memastikan sensor, Arduino, relay, dan pompa bekerja normal, kemudian dilanjutkan pengujian integrasi untuk memastikan komunikasi antar komponen berjalan baik.[68] Setelah sistem terintegrasi, dilakukan pengujian fungsional pada media tanam bawang merah untuk menilai ketepatan sistem dalam menyalakan pompa saat kelembaban berada di bawah threshold dan mematikan pompa ketika kelembaban mencapai kondisi yang ditetapkan.[69] Parameter yang diamati meliputi nilai kelembaban sebelum dan sesudah penyiraman, status pompa, serta konsistensi respons sistem pada beberapa siklus pengamatan.[70] Kinerja sistem dievaluasi berdasarkan akurasi pembacaan sensor, ketepatan keputusan penyiraman, responsivitas terhadap perubahan kelembaban, stabilitas operasi, serta efisiensi penggunaan air melalui perbandingan antara penyiraman otomatis dan penyiraman manual.[71]

## IV. HASIL

Pengujian sistem penyiraman otomatis dilakukan untuk mengevaluasi kinerja pembacaan sensor kelembaban tanah, respons sistem terhadap perubahan kondisi media tanam, serta kemampuan sistem dalam mengendalikan proses penyiraman secara otomatis. Penyajian hasil mengikuti alur kerja sistem, dimulai dari pembacaan sensor, respons pengendalian pompa air, kestabilan kelembaban tanah, hingga evaluasi efisiensi penggunaan air.

Hasil pembacaan sensor kelembaban tanah menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan kadar air pada media tanam bawang merah secara konsisten. Pada kondisi tanah kering, nilai kelembaban berada pada kisaran rendah, sedangkan pada kondisi tanah lembab hingga basah, nilai kelembaban meningkat secara bertahap. Pola ini menunjukkan bahwa sensor dapat membedakan kondisi kelembaban tanah dan menyediakan data yang digunakan sebagai dasar keputusan penyiraman. Ringkasan rentang pembacaan sensor pada beberapa kondisi media tanam ditunjukkan pada Tabel 4.1.

| Kondisi media tanam | Rentang kelembaban (%) | Rata-rata (%) | Interpretasi sistem    |
|---------------------|------------------------|---------------|------------------------|
| Kering              | 20–35                  | 28            | Perlu penyiraman       |
| Lembab              | 45–65                  | 55            | Mendekati ambang batas |
| Basah               | 70–90                  | 80            | Tidak perlu penyiraman |

Tabel 4.1. Ringkasan pembacaan sensor kelembaban tanah pada beberapa kondisi media tanam

Selanjutnya, pengujian respons sistem menunjukkan bahwa pompa air aktif (ON) secara otomatis ketika nilai kelembaban tanah berada di bawah nilai ambang batas (threshold) yang ditetapkan. Sebaliknya, pompa berhenti (OFF) ketika nilai kelembaban tanah telah mencapai atau melebihi threshold. Pola ON/OFF ini muncul secara berulang pada setiap siklus pengujian, sehingga menunjukkan bahwa logika kontrol berjalan sesuai rancangan. Contoh hasil beberapa siklus pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.2 dengan threshold sebesar 60%.

| Siklus | Kelembaban awal (%) | Status pompa | Durasi pompa ON (menit) | Kelembaban akhir (%) | Keterangan                       |
|--------|---------------------|--------------|-------------------------|----------------------|----------------------------------|
| 1      | 48                  | ON lalu OFF  | 1,5                     | 66                   | Pompa aktif saat < 60%           |
| 2      | 52                  | ON lalu OFF  | 1,0                     | 63                   | Berhenti saat $\geq$ 60%         |
| 3      | 45                  | ON lalu OFF  | 2,0                     | 70                   | Kenaikan kelembaban paling besar |
| 4      | 55                  | ON lalu OFF  | 1,0                     | 62                   | Kontrol stabil                   |
| 5      | 50                  | ON lalu OFF  | 1,0                     | 61                   | Sesuai logika kontrol            |

Tabel 4.2. Respons pompa berdasarkan kelembaban tanah per siklus (threshold = 60%)

Selama pengujian, sistem juga menunjukkan kemampuan menjaga kelembaban tanah pada kisaran yang relatif stabil. Setelah pompa bekerja, kelembaban tanah meningkat dan berada pada rentang yang ditargetkan, kemudian turun kembali secara bertahap akibat penguapan dan penyerapan air oleh tanaman. Ketika nilai kelembaban turun melewati threshold, sistem kembali mengaktifkan pompa sehingga terbentuk mekanisme umpan balik yang mempertahankan kelembaban pada rentang kerja yang diinginkan. Contoh perubahan kelembaban terhadap waktu beserta status pompa ditunjukkan pada Tabel 4.3.

| Waktu (menit) | Kelembaban (%) | Status pompa | Keterangan                         |
|---------------|----------------|--------------|------------------------------------|
| 0             | 58             | ON           | Di bawah threshold, mulai menyiram |
| 10            | 66             | OFF          | Kelembaban naik, pompa berhenti    |
| 30            | 62             | OFF          | Turun perlahan                     |
| 50            | 58             | ON           | Turun < threshold, siram ulang     |
| 60            | 67             | OFF          | Naik setelah penyiraman            |
| 90            | 61             | OFF          | Mendekati threshold                |
| 100           | 59             | ON           | Siram ulang                        |
| 110           | 68             | OFF          | Naik setelah penyiraman            |

Tabel 4.3. Contoh perubahan kelembaban tanah terhadap waktu dan status pompa

Evaluasi efisiensi penggunaan air menunjukkan perbedaan antara penyiraman otomatis dan penyiraman manual. Pada sistem otomatis, pompa hanya aktif ketika kelembaban tanah berada di bawah threshold, sedangkan pada penyiraman manual durasi penyiraman cenderung tetap berdasarkan kebiasaan/jadwal. Estimasi penggunaan air dihitung berdasarkan durasi total penyiraman dan debit pompa (L/menit), sehingga menghasilkan estimasi volume air harian. Perbandingan estimasi penggunaan air ditunjukkan pada Tabel 4.4.

| Metode   | Frekuensi (kali/hari) | Durasi tiap penyiraman (menit) | Total durasi (menit/hari) | Debit pompa (L/menit) | Estimasi volume (L/hari) |
|----------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Manual   | 2                     | 5,0                            | 10,0                      | 1,2                   | 12,0                     |
| Otomatis | 3                     | 2,2 (rata-rata)                | 6,5                       | 1,2                   | 7,8                      |

Tabel 4.4. Perbandingan estimasi penggunaan air (manual vs otomatis)

Berdasarkan Tabel 4.4, sistem penyiraman otomatis mampu menurunkan estimasi penggunaan air sekitar **35%** dibandingkan penyiraman manual, karena penyiraman hanya dilakukan saat diperlukan dan dihentikan ketika kelembaban telah mencapai nilai target.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis berbasis sensor kelembaban tanah dan Arduino Uno dapat beroperasi sesuai fungsi yang dirancang, yaitu mendeteksi kondisi kelembaban tanah, mengendalikan pompa air secara otomatis, serta menjaga kelembaban tanah pada kisaran yang ditetapkan selama pengujian.

## V. PEMBAHASAN

### A. Analisis Kinerja Sistem Penyiraman Otomatis

Berdasarkan hasil pengujian, sistem penyiraman otomatis yang dikembangkan mampu menjalankan fungsi kendali penyiraman secara stabil pada media tanam bawang merah. Sistem bekerja dengan prinsip umpan balik, yaitu membaca kelembaban tanah melalui sensor, memprosesnya di Arduino Uno, lalu mengaktifkan atau menghentikan pompa sesuai kondisi tanah. Pola kerja ini menunjukkan bahwa logika pengendalian berbasis ambang batas berjalan sesuai rancangan dan dapat diterapkan pada otomasi penyiraman skala sederhana.

Kinerja sistem sangat dipengaruhi oleh pembacaan sensor kelembaban tanah. Selama pengujian, sensor mampu menunjukkan perbedaan nilai pada kondisi tanah kering hingga basah secara konsisten. Konsistensi ini penting karena keputusan penyiraman sepenuhnya bergantung pada nilai yang terbaca. Apabila pembacaan sensor tidak stabil, sistem berpotensi menyalakan atau mematikan pompa pada waktu yang tidak tepat. Pada penelitian ini, kestabilan pembacaan sensor membantu sistem menghasilkan keputusan kontrol yang lebih andal.

Respons sistem juga menunjukkan bahwa Arduino Uno mampu memproses data sensor dan mengendalikan relay dengan baik. Ketika kelembaban berada di bawah ambang batas, pompa segera aktif dan penyiraman berjalan. Sebaliknya, ketika kelembaban telah mencapai nilai yang ditetapkan, pompa berhenti secara otomatis. Respons yang berulang pada setiap siklus pengujian menunjukkan bahwa integrasi perangkat keras dan perangkat lunak sudah berjalan baik serta mendukung reliabilitas operasional sistem.

Selain itu, penerapan jeda pembacaan membantu mengurangi dampak fluktuasi kecil nilai sensor, sehingga keputusan ON/OFF pompa lebih stabil. Dengan demikian, sistem tidak hanya bekerja “otomatis”, tetapi juga memiliki mekanisme yang mendukung kestabilan kontrol agar lebih sesuai untuk penggunaan berulang.

### B. Dampak Pengendalian Kelembaban Tanah terhadap Pertumbuhan Bawang Merah

Bawang merah merupakan tanaman yang sensitif terhadap perubahan kelembaban tanah. Tanah yang terlalu kering dapat menghambat pertumbuhan, sedangkan tanah yang terlalu basah meningkatkan risiko gangguan pada zona perakaran dan potensi pembusukan umbi. Karena itu, pengendalian kelembaban tanah yang stabil menjadi faktor penting untuk menciptakan kondisi tumbuh yang lebih optimal.

Sistem penyiraman otomatis pada penelitian ini dirancang untuk menjaga kelembaban tanah berada pada rentang yang ditetapkan. Ketika kelembaban turun, sistem melakukan penyiraman; ketika kelembaban sudah mencapai nilai target, sistem menghentikan penyiraman. Mekanisme ini membantu mengurangi fluktuasi kelembaban yang biasanya terjadi pada penyiraman manual berbasis perkiraan, sehingga kondisi media tanam menjadi lebih terkontrol.

Walaupun penelitian ini tidak mengukur parameter agronomis secara rinci (misalnya tinggi tanaman, jumlah daun, bobot umbi, atau kualitas panen), kestabilan kelembaban tanah yang dicapai sistem dapat dipandang sebagai kondisi pendukung untuk perawatan tanaman yang lebih konsisten. Dengan lingkungan tanah yang lebih stabil, risiko stres kekeringan atau kelebihan air dapat ditekan, sehingga perawatan budidaya menjadi lebih terukur..

### C. Perbandingan Penyiraman Otomatis dan Penyiraman Manual

Perbedaan utama penyiraman otomatis dan manual terletak pada dasar pengambilan keputusan. Penyiraman manual umumnya dilakukan berdasarkan jadwal atau perkiraan visual, sehingga tidak selalu sesuai dengan kondisi aktual tanah. Kondisi cuaca, suhu, dan laju penguapan dapat berubah, sehingga kebutuhan air tanaman pun tidak selalu sama dari waktu ke waktu. Hal ini dapat menyebabkan penyiraman berlebih atau sebaliknya kurang dari kebutuhan tanaman.

Pada sistem otomatis, penyiraman dilakukan berdasarkan pembacaan kelembaban tanah secara real-time. Penyiraman hanya terjadi ketika tanah benar-benar berada di bawah ambang batas. Pendekatan ini membuat penyiraman menjadi lebih tepat waktu dan lebih konsisten, karena keputusan didasarkan pada data kondisi tanah, bukan kebiasaan.

Dari sisi efisiensi air, sistem otomatis cenderung lebih hemat karena pompa berhenti saat kelembaban mencapai batas yang ditetapkan. Hal ini berbeda dengan penyiraman manual yang berpotensi menggunakan air lebih banyak karena biasanya dilakukan dengan durasi atau volume yang relatif tetap tanpa evaluasi langsung setelah penyiraman. Penghematan air yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa kontrol berbasis sensor dapat membantu menekan pemborosan air pada proses budidaya.

Selain efisiensi air, sistem otomatis juga memberi keuntungan operasional karena mengurangi kebutuhan tenaga dan waktu untuk penyiraman rutin. Setelah sistem terpasang dan parameter ditentukan, intervensi pengguna menjadi minimal. Namun, penyiraman manual tetap dapat berperan sebagai cadangan apabila terjadi gangguan pada sistem, sehingga pendekatan otomatis dapat dipandang sebagai solusi pendukung untuk meningkatkan efisiensi dan konsistensi perawatan.

### D. Perbandingan Sistem Penyiraman Non-IoT dan Sistem Berbasis IoT

Sistem yang dikembangkan pada penelitian ini menggunakan pendekatan non-IoT, yaitu sistem bekerja mandiri tanpa koneksi internet. Seluruh proses pengambilan keputusan dilakukan secara lokal oleh mikrokontroler berdasarkan data sensor. Keunggulan pendekatan ini adalah kesederhanaan desain, biaya implementasi lebih rendah, serta keandalan operasional pada wilayah yang memiliki keterbatasan jaringan atau pengguna yang tidak membutuhkan pemantauan jarak jauh.

Sementara itu, sistem berbasis IoT umumnya menawarkan fitur tambahan seperti pemantauan real-time melalui aplikasi, penyimpanan data historis, serta pengaturan parameter dari jarak jauh. Fitur tersebut bermanfaat untuk skala lahan yang lebih luas atau kebutuhan monitoring yang intensif. Namun, sistem IoT biasanya memerlukan biaya tambahan, perangkat komunikasi, serta ketergantungan pada koneksi internet yang stabil.

Dalam konteks penelitian ini, pendekatan non-IoT dinilai sesuai karena fokus utama adalah menghasilkan sistem penyiraman otomatis yang sederhana, aplikatif, dan terjangkau untuk budidaya bawang merah. Meskipun tidak memiliki fitur monitoring jarak jauh, sistem tetap mampu memenuhi kebutuhan dasar otomasi penyiraman dan meningkatkan efisiensi penggunaan air.

### E. Keterbatasan Sistem dan Ancaman Validitas Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, sensor kelembaban tanah yang digunakan berpotensi mengalami penurunan performa apabila digunakan dalam jangka panjang, terutama karena faktor lingkungan dan penggunaan berulang pada media tanam. Kondisi tersebut dapat memengaruhi kestabilan pembacaan dan pada akhirnya memengaruhi keputusan penyiraman.

Kedua, nilai ambang batas kelembaban ditentukan berdasarkan uji awal pada media tanam tertentu. Nilai ini dapat berbeda apabila sistem diterapkan pada jenis tanah, tingkat porositas, atau kondisi lingkungan yang berbeda. Oleh karena itu, penerapan pada lokasi lain memerlukan penyesuaian ambang batas agar sistem tetap bekerja optimal.

Ketiga, evaluasi penelitian lebih menekankan aspek teknis sistem seperti respons kontrol, kestabilan kerja, dan efisiensi air. Parameter agronomis seperti pertumbuhan tanaman dan kualitas panen belum dianalisis secara

kuantitatif, sehingga dampak langsung terhadap hasil panen belum dapat disimpulkan secara kuat dari penelitian ini.

#### F. Rekomendasi Pengembangan dan Penelitian Lanjutan

Pengembangan berikutnya disarankan untuk meningkatkan ketahanan dan akurasi sistem. Pertama, penggunaan sensor kelembaban tanah tipe kapasitif dapat dipertimbangkan karena umumnya lebih tahan terhadap korosi dan lebih stabil untuk penggunaan jangka panjang. Kedua, sistem dapat menerapkan kontrol yang lebih adaptif seperti hysteresis atau rentang ambang ganda untuk mengurangi kondisi pompa sering menyala–mati akibat fluktuasi kecil di sekitar ambang batas.

Selain itu, penelitian lanjutan disarankan melakukan pengujian jangka panjang dan pada skala lahan yang lebih luas agar evaluasi kinerja lebih representatif. Pengukuran volume air yang lebih presisi juga dapat ditambahkan agar perhitungan efisiensi air semakin kuat. Terakhir, apabila dibutuhkan, integrasi pemantauan berbasis IoT dapat dijadikan pengembangan lanjutan untuk memberikan fitur monitoring dan pencatatan data penyiraman, dengan tetap mempertimbangkan biaya dan kebutuhan pengguna.

### VI. KESIMPULAN

Sistem penyiraman otomatis pada budidaya bawang merah berbasis Arduino Uno dan sensor kelembaban tanah berhasil dirancang dan diimplementasikan. Sistem bekerja secara efektif dalam mengendalikan penyiraman berdasarkan kondisi kelembaban tanah, yaitu mengaktifkan pompa saat kelembaban berada di bawah ambang batas dan mematikan pompa ketika kelembaban mencapai nilai yang ditetapkan. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu menjaga kelembaban tanah pada kisaran yang diinginkan serta meningkatkan efisiensi penggunaan air dibandingkan penyiraman manual, dengan penghematan sekitar 30–35%.

Secara teknis, sistem menunjukkan kinerja yang stabil dan berpotensi diterapkan pada budidaya sederhana skala kecil hingga menengah. Namun, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, terutama pada ketahanan sensor untuk penggunaan jangka panjang serta belum tersedianya fitur pemantauan jarak jauh.

Pengembangan selanjutnya disarankan menggunakan sensor kelembaban tipe kapasitif yang lebih tahan terhadap korosi, menerapkan kontrol yang lebih adaptif agar keputusan ON/OFF pompa lebih stabil, serta mempertimbangkan integrasi pemantauan berbasis IoT apabila diperlukan oleh pengguna. Dengan demikian, sistem ini dapat menjadi solusi praktis untuk mendukung penerapan pertanian cerdas (smart agriculture) yang lebih efisien, khususnya pada budidaya bawang merah.

**Kontribusi Penulis:** (Amsori) bertanggung jawab pada perancangan sistem, perakitan alat, dan pengujian kinerja penyiraman otomatis. (Fathur Rosi) bertanggung jawab pada pemrograman Arduino, analisis data, serta penyusunan naskah. Kedua penulis berkontribusi pada pengumpulan data, evaluasi hasil, dan finalisasi artikel

Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang telah diterbitkan.

Pendanaan: -

Ucapan Terima Kasih: -

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan.

Ketersediaan Data: -

Persetujuan Berdasarkan Informasi ORCID: Tidak tersedia.

Penulis Pertama: https: -

Penulis Kedua: https: -

Penulis Ketiga: -

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Irfianto, M. D. M. Puspitasari, E. M. Indrawati, and A. Suwardono, “Efektivitas Penyiram Tanaman Bawang Merah Otomatis Menggunakan Sensor Moisture Soil dan Modul GSM,” *Nusantara of Engineering (NOE)*, vol. 8, no. 01, pp. 242–249, Apr. 2025, doi: 10.29407/noe.v8i01.23283.

- [2] Susilawati *et al.*, “GROWTH AND YIELD OF SHALLOT UNDER SEVERAL LEVELS OF SOIL WATER TABLE,” *Russ J Agric Socioecon Sci*, vol. 114, no. 6, pp. 199–206, Jun. 2021, doi: 10.18551/rjoas.2021-06.23.
- [3] - Sutardi *et al.*, “Double Production of Shallot (*Allium cepa* L var. *aggregatum*) based on Climate, Water, and Soil Management in Sandy Land,” *Int J Adv Sci Eng Inf Technol*, vol. 12, no. 5, pp. 1756–1767, Sep. 2022, doi: 10.18517/ijaseit.12.5.14698.
- [4] G. A. Sopha and A. M. Efendi, “Effect of different types of mulch on bulb yield of shallot,” *E3S Web of Conferences*, vol. 306, p. 05004, Sep. 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202130605004.
- [5] P. M. N. P. M. R. sivaji M. Malathi, “Exploring Various Applications of Micro Controller,” *Electrical and Automation Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 47–53, May 2022, doi: 10.46632/eae/1/1/8.
- [6] M. Dhanaraju, P. Chenniappan, K. Ramalingam, S. Pazhanivelan, and R. Kaliaperumal, “Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture,” *Agriculture*, vol. 12, no. 10, p. 1745, Oct. 2022, doi: 10.3390/agriculture12101745.
- [7] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Dian Tri Agustina, Triana Selvia Khusnul Khotimah, and Tarisha Ramadhanty, “Analisis Kinerja Jaringan 5G dalam Meningkatkan Konektivitas Internet of Things (IoT),” *Jurnal Informatika Dan Teknologi Komputer (JITEK)*, vol. 5, no. 1, pp. 56–62, Mar. 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i1.5836.
- [8] Sigit Prakosa Adhi Nugraha, Yohanes Tri Novia Putra, Rizal Agri Wahyuadi, Raka Dian Mahardi, Muhammad ‘Atiq, and Danang Hendrawan, “Sistem Pompa Air Otomatis Berbasis Arduino Uno Untuk Optimalisasi Penyiraman Tanaman Menggunakan Sensor Soil Moisture,” *Jurnal Sains dan Ilmu Terapan*, vol. 7, no. 2, pp. 193–202, Dec. 2024, doi: 10.59061/jsit.v7i2.910.
- [9] Hadi Zakaria, “Smart Water Automation System to Regulate Watering of Horticultural Plants with Arduino-based Fuzzy Logic,” *International Journal of Integrative Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 263–278, Feb. 2025, doi: 10.55927/ijis.v4i2.24.
- [10] A. Arbain, R. A. Susilo, A. S. Akbar, M. Wahyu, and M. Risky, “Arduino-Based Overcurrent Relay Design with Very Inverse Type,” *International Journal of Current Science Research and Review*, vol. 07, no. 11, Nov. 2024, doi: 10.47191/ijcsrr/V7-i11-41.
- [11] Y. Tjandi and S. Kasim, “Electric Control Equipment Based on Arduino Relay,” *J Phys Conf Ser*, vol. 1244, no. 1, p. 012028, Jun. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1244/1/012028.
- [12] S. A. Hamoodi, A. N. Hamoodi, and G. M. Haydar, “Automated irrigation system based on soil moisture using arduino board,” *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 9, no. 3, pp. 870–876, Jun. 2020, doi: 10.11591/eei.v9i3.1736.
- [13] N. Aisyah, D. Ulhaq, A. Dharmawan, and R. Purbakawaca, “DESIGN OF AN IOT-BASED SMART IRRIGATION SYSTEM USING SOIL MOISTURE SENSORS FOR WATER EFFICIENCY,” *JoP*, vol. 11, no. 1, pp. 89–97, 2025.
- [14] H. T. Ciptaningtyas, I. A. Sabilla, and M. F. Abdillah, “Shallot Automated Fertilization and Irrigation Device Using Solar-Powered IoT Based on ESP-NOW and LoRa,” in *2024 International Conference on Computer Engineering, Network, and Intelligent Multimedia (CENIM)*, IEEE, Nov. 2024, pp. 1–6. doi: 10.1109/CENIM64038.2024.10882691.
- [15] R. Rosalinda, M. T. Sapsal, M. Achmad, H. Olly Sanny, M. Ahmad, and S. Suhardi, “Automation of a Combustion Engine-Driven Sprinkler Irrigation Pump in Shallot (*Allium ascalonicum*) Cultivation,” *Salaga Journal*, pp. 27–36, May 2025, doi: 10.70124/salaga.v3i1.1823.
- [16] Z. Ren *et al.*, “Temperature and Humidity Effects on SAW Hydrogen Sensor and Compensation Method,” *IEEE Sens J*, vol. 24, no. 14, pp. 22317–22325, Jul. 2024, doi: 10.1109/JSEN.2024.3408283.
- [17] A. Aurora, “Algorithmic Correction of MOS Gas Sensor for Ambient Temperature and Relative Humidity Fluctuations,” *IEEE Sens J*, vol. 22, no. 15, pp. 15054–15061, Aug. 2022, doi: 10.1109/JSEN.2022.3185176.
- [18] Kanimozhi A and R. Vadivel, “Optimized water management for precision agriculture using IoT-based smart irrigation system,” *World Journal of Advanced Research and Reviews*, vol. 21, no. 3, pp. 802–811, Mar. 2024, doi: 10.30574/wjarr.2024.21.3.0682.
- [19] R. H. Sudhan, M. G. Kumar, A. U. Prakash, S. A. R. Devi, and S. P., “ARDUINO ATMEGA-328 MICROCONTROLLER,” *IJIREEICE*, vol. 3, no. 4, pp. 27–29, Apr. 2015, doi: 10.17148/IJIREEICE.2015.3406.
- [20] M. Abdulhamid and K. Njoroge, “Irrigation system based on Arduino uno microcontroller,” *Poljoprivredna tehnika*, vol. 45, no. 2, pp. 67–78, 2020, doi: 10.5937/PoljTeh2002067A.
- [21] I. Dirlik, F. Uğurlar, and C. Kaya, “Sensor-Guided Smart Irrigation for Tomato Production: Comparing Low and Optimum Soil Moisture in Greenhouse Environments,” *Food Energy Secur*, vol. 14, no. 2, Mar. 2025, doi: 10.1002/fes3.70082.

- [22] I. Dirlik, F. Uğurlar, and C. Kaya, "Sensor-Guided Smart Irrigation for Tomato Production: Comparing Low and Optimum Soil Moisture in Greenhouse Environments," *Food Energy Secur*, vol. 14, no. 2, Mar. 2025, doi: 10.1002/fes3.70082.
- [23] Mrs. K. Anusha, "Automated Irrigation System Using Temperature Sensor and Soil Humidity Sensor," *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, vol. 12, no. 6, pp. 1365–1370, Jun. 2024, doi: 10.22214/ijraset.2024.63315.
- [24] S. S. K. B. *et al.*, "Smart Irrigation System Using Soil Moisture Prediction with Deep CNN for Various Soil Types," *Artificial Intelligence and Applications*, vol. 3, no. 2, pp. 200–210, Oct. 2024, doi: 10.47852/bonviewAIA42021514.
- [25] M. M. dos Santos *et al.*, "Intelligent system for automated soil moisture monitoring," *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 29, no. 2, 2025, doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v29n2e279856.
- [26] M. A. Gümüşer, A. Pichlhöfer, and A. Korjenic, "A Comparison of Capacitive Soil Moisture Sensors in Different Substrates for Use in Irrigation Systems," *Sensors*, vol. 25, no. 5, p. 1461, Feb. 2025, doi: 10.3390/s25051461.
- [27] Kanimozhi A and R. Vadivel, "Optimized water management for precision agriculture using IoT-based smart irrigation system," *World Journal of Advanced Research and Reviews*, vol. 21, no. 3, pp. 802–811, Mar. 2024, doi: 10.30574/wjarr.2024.21.3.0682.
- [28] J. N. Ndunagu, K. E. Ukhurebor, M. Akaaza, and R. B. Onyancha, "Development of a Wireless Sensor Network and IoT-based Smart Irrigation System," *Appl Environ Soil Sci*, vol. 2022, pp. 1–13, Jun. 2022, doi: 10.1155/2022/7678570.
- [29] Q. Duodu, W. K. Torgby, and J. E. Dzata, "Sensor-based Irrigation System (Case Study for Agogo Farmers)," *Int J Comput Appl*, vol. 185, no. 28, pp. 19–23, Aug. 2023, doi: 10.5120/ijca2023923029.
- [30] M. , S. M. , M. M. , R. M. , & A. M. Mamun, "Design and Development of an Automatic Prototype Smart Irrigation Model," *Australian Journal of Engineering and Innovative Technology*, pp. 119–127, Oct. 2021, doi: 10.34104/ajeit.021.01190127.
- [31] R. S. Ferrarezi, S. K. Dove, and M. W. van Iersel, "An Automated System for Monitoring Soil Moisture and Controlling Irrigation Using Low-cost Open-source Microcontrollers," *Horttechnology*, vol. 25, no. 1, pp. 110–118, Feb. 2015, doi: 10.21273/HORTTECH.25.1.110.
- [32] F. R. Saputri, R. Linelson, M. Salehuddin, D. M. Nor, and M. I. Ahmad, "Design and development of an irrigation monitoring and control system based on blynk internet of things and thingspeak," *PLoS One*, vol. 20, no. 4, p. e0321250, Apr. 2025, doi: 10.1371/journal.pone.0321250.
- [33] P. Chattopadhyay, H. P. Patel, and V. Parmar, "Internet of Things (IoT) in Smart Agriculture," in *2022 3rd International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC)*, IEEE, Aug. 2022, pp. 536–540. doi: 10.1109/ICESC54411.2022.9885655.
- [34] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Dian Tri Agustina, Triana Selvia Khusnul Khotimah, and Tarisha Ramadhanty, "Analisis Kinerja Jaringan 5G dalam Meningkatkan Konektivitas Internet of Things (IoT)," *Jurnal Informatika Dan Teknologi Komputer (JITEK)*, vol. 5, no. 1, pp. 56–62, Mar. 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i1.5836.
- [35] U. H. Uchenna, O. D. Ogobuchi, U. E. Umoren, N. I. Chineme, and U. O. Matthew, "Enhancing Precision Irrigation with IoT-enabled Water Management Mobile App," *HAFED POLY Journal of Science, Management and Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 98–108, May 2024, doi: 10.4314/hpjsmt.v5i2.8.
- [36] Kanimozhi A and R. Vadivel, "Optimized water management for precision agriculture using IoT-based smart irrigation system," *World Journal of Advanced Research and Reviews*, vol. 21, no. 3, pp. 802–811, Mar. 2024, doi: 10.30574/wjarr.2024.21.3.0682.
- [37] A. F. Rachman, F. P. E. Putra, S. Syirofi, and D. Wahid, "Case Study of Computer Network Development for the Internet Of Things (IoT) Industry in an Urban Environment," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 1, pp. 399–407, Aug. 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4302.
- [38] Kanimozhi A and R. Vadivel, "Optimized water management for precision agriculture using IoT-based smart irrigation system," *World Journal of Advanced Research and Reviews*, vol. 21, no. 3, pp. 802–811, Mar. 2024, doi: 10.30574/wjarr.2024.21.3.0682.
- [39] U. H. Uchenna, O. D. Ogobuchi, U. E. Umoren, N. I. Chineme, and U. O. Matthew, "Enhancing Precision Irrigation with IoT-enabled Water Management Mobile App," *HAFED POLY Journal of Science, Management and Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 98–108, May 2024, doi: 10.4314/hpjsmt.v5i2.8.

- [40] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, R. N. Saputra, F. M. Haris, and S. N. R. Barokah, "Application of Internet of Things Technology in Monitoring Water Quality in Fishponds," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 1, pp. 356–361, Jul. 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4231.
- [41] Budi Gunawan, Arbi Alfian Mas'ud, Khasanul Khakim, Muhammad Febriyanda Wiryawan, and Reza Rachmat Setyabudi, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Irigasi Otomatis Berbasis IoT untuk Tanaman Stevia," *Mars : Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 6, pp. 40–51, Nov. 2024, doi: 10.61132/mars.v2i6.492.
- [42] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Maktsuful Ghummah, Moh. Amrullah, and Rafli Hidayatullah, "Studi Kinerja Mesh Network untuk Penerapan Internet of Things (IoT) di Lingkungan Perkotaan," *Jurnal Informatika Dan Teknologi Komputer (JITEK)*, vol. 5, no. 1, pp. 63–73, Mar. 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i1.5895.
- [43] A. Polakitan, H. N. Salamba, and C. N. Manoppo, "The Effect of Watering Techniques for Increasing the Yield of Shallots (*Allium cepa* L) in Dry Land," *E3S Web of Conferences*, vol. 361, p. 04021, Nov. 2022, doi: 10.1051/e3sconf/202236104021.
- [44] T. Dewi, R. D. Yustika, and F. D. Arianti, "Enhancement of Production and Food Security Through Sustainable Shallot Cultivation," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 1364, no. 1, p. 012052, Jun. 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1364/1/012052.
- [45] A. Soussi, E. Zero, R. Sacile, D. Trinchero, and M. Fossa, "Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review," *Sensors*, vol. 24, no. 8, p. 2647, Apr. 2024, doi: 10.3390/s24082647.
- [46] A. A.R. Hari, N. C. Kumar, K. Srinivasulu, M. and M. Kumar, G, "Laboratory Evaluation of Soil Moisture Sensors for Precision Irrigation in Agriculture," *International Journal of Environment and Climate Change*, vol. 14, no. 8, pp. 321–332, Aug. 2024, doi: 10.9734/ijecc/2024/v14i84353.
- [47] M. Rafiquzzaman, "Introduction to Microcontrollers," in *Microcontroller Theory and Applications with the PIC18F*, Wiley, 2017, pp. 1–16. doi: 10.1002/9781119448457.ch1.
- [48] H. T. Ciptaningtyas, I. A. Sabilla, and M. F. Abdillah, "Shallot Automated Fertilization and Irrigation Device Using Solar-Powered IoT Based on ESP-NOW and LoRa," in *2024 International Conference on Computer Engineering, Network, and Intelligent Multimedia (CENIM)*, IEEE, Nov. 2024, pp. 1–6. doi: 10.1109/CENIM64038.2024.10882691.
- [49] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Dian Tri Agustina, Triana Selvia Khusnul Khotimah, and Tarisha Ramadhanty, "Analisis Kinerja Jaringan 5G dalam Meningkatkan Konektivitas Internet of Things (IoT)," *Jurnal Informatika Dan Teknologi Komputer (JITEK)*, vol. 5, no. 1, pp. 56–62, Mar. 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i1.5836.
- [50] A. F. Rachman, F. P. E. Putra, S. Syirofi, and D. Wahid, "Case Study of Computer Network Development for the Internet Of Things (IoT) Industry in an Urban Environment," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 1, pp. 399–407, Aug. 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4302.
- [51] I. Hidayatullah, M. H. Khairi, I. Maulana, and F. P. Eka Putra, "Analisis Protokol Keamanan Jaringan dalam Era Internet of Things (IoT)," *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 8, no. 2, pp. 356–366, Jul. 2025, doi: 10.29408/jit.v8i2.30257.
- [52] A. Priyati, M. Sahbandi, G. Putra, and D. Setiawati, "The Design of Automatic Sprinkler based on Arduino Uno Microcontroller," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 355, no. 1, p. 012088, Nov. 2019, doi: 10.1088/1755-1315/355/1/012088.
- [53] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Maktsuful Ghummah, Moh. Amrullah, and Rafli Hidayatullah, "Studi Kinerja Mesh Network untuk Penerapan Internet of Things (IoT) di Lingkungan Perkotaan," *Jurnal Informatika Dan Teknologi Komputer (JITEK)*, vol. 5, no. 1, pp. 63–73, Mar. 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i1.5895.
- [54] I. Hidayatullah, M. H. Khairi, I. Maulana, and F. P. Eka Putra, "Analisis Protokol Keamanan Jaringan dalam Era Internet of Things (IoT)," *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 8, no. 2, pp. 356–366, Jul. 2025, doi: 10.29408/jit.v8i2.30257.
- [55] S. B. Arun, K. B. Nandan, P. H. Vardhan, and T. M. Rajath, "Arduino Based Automatic Irrigation Control System By Utilizing Moisture Content," *Journal of Mines, Metals and Fuels*, pp. 1–4, Jul. 2022, doi: 10.18311/jmmf/2022/30659.
- [56] S. Burok, F. P. Eka Putra, Akmal, and L. Fermadi, "Anti - Klon Pendekatan Ringan untuk Mendeteksi Serangan Kloning RFID," *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 8, no. 2, pp. 458–468, Jul. 2025, doi: 10.29408/jit.v8i2.30392.
- [57] D. Ortiz, A. G. Litvin, and M. G. Salas Fernandez, "A cost-effective and customizable automated irrigation system for precise high-throughput phenotyping in drought stress studies," *PLoS One*, vol. 13, no. 6, p. e0198546, Jun. 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0198546.

- [58] A. Syafrudin, J. Jackson, and Y. Afrida, "Study On Implementation Of Watergate Control System From Manual To Automatic Based Arduino Nano ATmega328," *Emerging Information Science and Technology*, vol. 5, no. 1, May 2024, doi: 10.18196/eist.v5i1.22424.
- [59] J. A. T. Urmeneta and J. R. N. de los Santos, "PlantOne: An Arduino-based Ph and Moisture Based Soil Plant Identifier," in *2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)*, IEEE, Dec. 2020, pp. 1–5. doi: 10.1109/HNICEM51456.2020.9400019.
- [60] S. B. Arun, K. B. Nandan, P. H. Vardhan, and T. M. Rajath, "Arduino Based Automatic Irrigation Control System By Utilizing Moisture Content," *Journal of Mines, Metals and Fuels*, pp. 1–4, Jul. 2022, doi: 10.18311/jmmf/2022/30659.
- [61] V. M. Cvjetkovic and M. Matijevic, "Overview of Architectures with Arduino Boards as Building Blocks for Data Acquisition and Control Systems," *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, vol. 12, no. 07, pp. 10–17, Jul. 2016, doi: 10.3991/ijoe.v12i07.5818.
- [62] S. B. Arun, K. B. Nandan, P. H. Vardhan, and T. M. Rajath, "Arduino Based Automatic Irrigation Control System By Utilizing Moisture Content," *Journal of Mines, Metals and Fuels*, pp. 1–4, Jul. 2022, doi: 10.18311/jmmf/2022/30659.
- [63] M. Papoutsidakis, A. Chatzopoulos, C. Drosos, and K. Kalovrextis, "An Arduino Family Controller and its Interactions via an Intelligent Interface," *Int J Comput Appl*, vol. 179, no. 30, pp. 5–8, Mar. 2018, doi: 10.5120/ijca2018916684.
- [64] J. M. K S and Dr. P. Savant, "A Research paper on Auto Controlling Irrigation System Using Arduino UNO," *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, vol. 10, no. 4, pp. 1207–1212, Apr. 2022, doi: 10.22214/ijraset.2022.41401.
- [65] S. A. Hamoodi, A. N. Hamoodi, and G. M. Haydar, "Automated irrigation system based on soil moisture using arduino board," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 9, no. 3, pp. 870–876, Jun. 2020, doi: 10.11591/eei.v9i3.1736.
- [66] A. K. M. D. Lopez, E. R. A. Balleza, P. K. V. Viaña, M. A. M. Gonzales, S. M. C. Diwa, and J. A. Limos-Galay, "Solar-powered automatic plant watering system with moisture sensor using Arduino Uno," *International Journal of Research Studies in Educational Technology*, vol. 8, no. 3, Jul. 2024, doi: 10.5861/ijrset.2024.8027.
- [67] A. Kandwal, A. Shakya, A. Ramola, and A. Vidhyarthi, "Development and Analysis of Novel IoT Based Resistive Soil Moisture Sensor using Arduino UNO," in *Proceedings of the 2nd International Conference on ICT for Digital, Smart, and Sustainable Development, ICIDSSD 2020, 27-28 February 2020, Jamia Hamdard, New Delhi, India*, EAI, 2021. doi: 10.4108/eai.27-2-2020.2303177.
- [68] R. Sruthi, S. Swytha, K. Varsha, and P. Kavitha, "Microcontroller Based Automatic Irrigation and Fertilisation System Using Soil Moisture Sensor and Ph Sensor," *J Phys Conf Ser*, vol. 1964, no. 5, p. 052003, Jul. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1964/5/052003.
- [69] M. Narji, R. Agustino, D. Setiadi, and M. R. Effendi, "Simulasi Otomatisasi Sistem Penyiraman Tanaman Menggunakan Moisture Sensor Berbasis Mobile," *Jurnal Teknologi Informatika dan Komputer*, vol. 8, no. 1, pp. 215–227, Mar. 2022, doi: 10.37012/jtik.v8i1.853.
- [70] R. Annisa, K. Saleh, M. R. Bahtiar, and A. R. B. Rodzikin, "DESIGN OF AN AUTOMATIC HANDWASHING TOOL USING INFRARED SENSOR BASED ON ARDUINO NANO IN PHYSICS DEPARTMENT OF SRIWIJAYA UNIVERSITY," *Indonesian Physical Review*, vol. 7, no. 2, pp. 231–239, Mar. 2024, doi: 10.29303/ipr.v7i2.270.
- [71] F. F. L. dos Santos *et al.*, "CONFIDENCE ANALYSIS AND CALIBRATION OF A FC-28 SOIL MOISTURE SENSOR MOUNTED ON A MICROCONTROLLER PLATFORM," *Nativa*, vol. 9, no. 1, pp. 123–128, Feb. 2021, doi: 10.31413/nativa.v9i1.9152.