

Penerapan Sistem Penyiram Otomatis Berbasis ESP32 pada Revitalisasi Urban Farming TOGA di Desa Lasem

Muchammad Rizal¹, Ardian Dwiki Putra², Madjid Al Aziz Fabiano³, Angela Fara Louis Saharani⁴, Rayhan Gumilang Ramahdan⁵

¹Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Surabaya, Indonesia

*e-mail korespondensi: angelafaralouissaharani@gmail.com

Abstract

The family medicinal plant garden in Lasem Village, Sidayu Subdistrict, Gresik Regency, had been left unmaintained because daily watering depended entirely on the limited time and energy of local residents. This condition caused unstable soil moisture and declining growth quality of medicinal plants such as ginger, turmeric, and Javanese turmeric, while the planting area had become cluttered and poorly organised. The community service program aimed to install an automatic watering technology able to maintain the garden on a fixed schedule, reorganise the planting area, and strengthen residents' independence in maintaining electrical and irrigation equipment. The program was carried out through outreach meetings, field surveys, installation of the watering system alongside physical reorganisation of the garden, hands-on training, mentoring, and formation of a resident maintenance group. An ESP32 microcontroller with built-in Wi-Fi, synchronised to internet time servers through the Network Time Protocol (NTP), a switching relay, and a small direct-current water pump was assembled and installed on site. The tool now waters the plants automatically three times a day, the maintenance group operates and cleans the equipment independently, and the garden has become clean, organised, and visually appealing. The program succeeds in freeing residents from manual watering while keeping the plants consistently healthy.

Keywords: Automatic Watering System; ESP32 Microcontroller; Urban Farming; Medicinal Plant Garden

Abstrak

Rumah tanaman obat keluarga di Desa Lasem, Kecamatan Sidayu, Kabupaten Gresik, sebelumnya tidak terurus karena kegiatan penyiraman harian sepenuhnya bergantung pada waktu dan tenaga warga yang terbatas. Kondisi tersebut menyebabkan kelembapan tanah tidak stabil dan menurunkan kualitas pertumbuhan tanaman obat seperti jahe, kunyit, dan temulawak, sementara area tanam itu sendiri terlihat kumuh dan tidak tertata. Kegiatan pengabdian ini bertujuan memasang teknologi penyiraman otomatis yang mampu merawat lahan sesuai jadwal tetap, menata ulang kondisi fisik area tanam, serta menguatkan kemandirian warga dalam merawat peralatan listrik dan jaringan air. Pelaksanaan kegiatan meliputi pertemuan sosialisasi, survei lapangan, pemasangan sistem penyiraman yang berjalan bersamaan dengan penataan fisik lahan, pelatihan langsung, pendampingan, dan pembentukan kelompok pemelihara dari perwakilan warga. Sebuah unit kendali berbasis mikrokontroler ESP32 dengan konektivitas WiFi bawaan, disinkronkan dengan waktu internet melalui protokol Network Time Protocol (NTP), dilengkapi saklar elektronik otomatis, dan pompa air kecil bertenaga listrik searah dirakit dan dipasang pada lokasi. Alat tersebut kini menyiram tanaman secara otomatis tiga kali sehari, kelompok pemelihara mampu mengoperasikan dan membersihkan peralatan secara mandiri, dan lahan tanam berubah menjadi bersih, tertata, serta memiliki nilai keindahan. Kegiatan ini berhasil membebaskan warga dari rutinitas penyiraman manual sekaligus menjaga kesehatan tanaman obat keluarga secara berkelanjutan.

Kata Kunci: Sistem Penyiram Otomatis; Mikrokontroler ESP32; Urban Farming; Tanaman Obat Keluarga

PENDAHULUAN

Desa Lasem yang terletak di Kecamatan Sidayu, Kabupaten Gresik, merupakan wilayah dengan potensi pemberdayaan lingkungan yang cukup besar, ditandai dengan keberadaan Rumah Tanaman Obat Keluarga (TOGA) yang melibatkan warga RT 5 dan RT 6 sebagai pengelola. Fasilitas ini pada mulanya dibangun untuk mendukung kemandirian kesehatan warga melalui pemanfaatan apotek hidup (Kementerian Pertanian RI, 2022; Mardiyah dkk., 2023). Sasaran kegiatan merupakan kelompok masyarakat umum yang secara ekonomi tidak bergantung langsung pada lahan tersebut, sehingga perawatan lahan bersifat sukarela dan mudah terabaikan di tengah kesibukan harian warga. Kondisi eksisting sebelum pelaksanaan kegiatan menunjukkan bahwa Rumah TOGA tidak terurus dan terbengkalai, ditandai dengan wadah tanam yang rusak, gulma yang tidak terkendali, serta tanaman yang tumbuh tidak optimal.

Hasil observasi lapangan dan diskusi kelompok terarah bersama perangkat Desa Lasem serta perwakilan warga RT 5 dan RT 6 mengidentifikasi dua rumusan masalah yang konkret. Pertama, pada aspek teknologi

dan infrastruktur pemeliharaan, penyiraman manual menggunakan selang air menyita waktu produktif warga sehingga rutinitas tersebut sering diabaikan, sementara jadwal penyiraman yang tidak teratur menyebabkan tanaman TOGA seperti jahe, kunyit, dan temulawak mengalami kekeringan atau tergenang air. Kondisi tersebut menurunkan kualitas rimpang karena tanaman ini tergolong sensitif terhadap stres air, baik kekurangan maupun kelebihan pasokan. Kedua, pada aspek tata kelola lingkungan, kondisi fisik lahan yang kumuh dan minimnya panduan perawatan mandiri menyebabkan warga belum memiliki acuan standar dalam merawat instalasi kelistrikan maupun pengelolaan air di lahan tersebut.

Penerapan teknologi penyiraman otomatis telah banyak digunakan untuk meningkatkan efisiensi budi daya berbagai komoditas hortikultura, salah satunya melalui sistem irigasi tetes cerdas berbasis ESP32 yang memadukan kendali penyiraman dengan pemantauan iklim mikro secara daring (Correa-Quiroz dkk., 2025). Pendekatan konvensional yang lebih dahulu berkembang umumnya memadukan mikrokontroler Arduino Uno dengan modul penjadwal waktu nyata (Real Time Clock) fisik seperti DS1302 agar penyiraman dapat berjalan presisi tanpa intervensi manual. Konfigurasi tersebut memiliki keterbatasan, yaitu modul RTC bergantung pada baterai cadangan dan berpotensi mengalami pergeseran (drift) pembacaan waktu, sementara Arduino Uno sendiri tidak memiliki konektivitas nirkabel bawaan sehingga penambahan fitur pemantauan memerlukan modul tambahan. Kajian komparatif kinerja menunjukkan bahwa mikrokontroler ESP32 memberikan akurasi pembacaan data yang lebih tinggi dibandingkan Arduino Uno sekaligus dilengkapi konektivitas Wi-Fi terintegrasi (Widyatmika dkk., 2021), sehingga sinkronisasi waktu dapat dilakukan langsung melalui protokol Network Time Protocol (NTP) ke server waktu internet tanpa memerlukan modul RTC fisik tambahan, sebagaimana diterapkan pada berbagai trainer dan purwarupa sistem penyiraman berbasis IoT (Farhani & Purwanto, 2025). Keunggulan ESP32 tersebut juga banyak dimanfaatkan pada berbagai konfigurasi penyiraman tanaman skala kecil, mulai dari sistem tetes pintar (Pereira dkk., 2023), penyiraman tanaman cabai (Roziqin dkk., 2025; Hanafi dkk., 2025), tanaman hias yang sensitif terhadap kelembapan media tanam (Syahputra & Ulinuha, 2025), hingga integrasi dengan sensor suhu-kelembapan udara DHT22 dan aplikasi pemantauan Blynk (Westari & Ilman, 2024), serta rumah pintar berbasis IoT secara lebih luas (Abdul Kholik dkk., 2023). Atas dasar pertimbangan tersebut, tim pelaksana memutuskan mengganti unit kendali dari Arduino Uno dan RTC DS1302 menjadi ESP32 dengan sinkronisasi waktu berbasis NTP, sekaligus membuka peluang pengembangan pemantauan jarak jauh pada tahap lanjutan program; prinsip dasar penyusunan program tetap mengacu pada literatur pemrograman Arduino (Banzi & Shiloh, 2022; Monk, 2023; Kadir, 2021) mengingat ESP32 kompatibel dengan lingkungan pengembangan Arduino IDE. Di sisi lain, pendekatan urban farming juga banyak diadopsi sebagai sarana pemberdayaan masyarakat perkotaan karena mendorong penataan lahan yang lebih efisien, hemat tempat, dan bernilai estetika (Handoko & Setiawan, 2023), termasuk ketika dipadukan dengan pengenalan teknologi IoT kepada kelompok sasaran (Widodo dkk., 2024). Kombinasi ketiga pendekatan ini menjadi dasar bagi tim pelaksana untuk merancang solusi yang tidak hanya menyelesaikan persoalan teknis penyiraman secara lebih adaptif, tetapi juga membenahi tata kelola fisik lahan secara menyeluruh.

Berdasarkan potret sasaran dan rumusan masalah tersebut, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk: (1) menerapkan teknologi tepat guna berupa sistem penyiram otomatis berbasis mikrokontroler guna mengatasi inefisiensi dan ketidakstabilan penyiraman manual pada lahan Rumah TOGA; (2) merevitalisasi tata kelola fisik lahan melalui pendekatan urban farming agar tertata, bersih, dan memiliki nilai estetika; serta (3) meningkatkan kemandirian dan literasi warga dalam pemeliharaan infrastruktur kelistrikan dan alat melalui penyusunan buku panduan operasional dan pendampingan teknis langsung. Urgensi kegiatan ini terletak pada perlunya solusi yang berkelanjutan agar Rumah TOGA tidak kembali terbengkalai setelah program pengabdian berakhir, mengingat akar masalah utama berada pada keterbatasan waktu warga, bukan pada ketiadaan kemauan untuk merawat lahan.

METODE

Khalayak sasaran kegiatan ini adalah warga umum RT 5 dan RT 6 Desa Lasem, Kecamatan Sidayu, Kabupaten Gresik, yang tidak bergantung secara ekonomi langsung pada lahan Rumah TOGA. Kegiatan dilaksanakan di lahan Rumah TOGA RT 5 dan RT 6 pada periode Maret sampai dengan Juli 2026, dengan tahap persiapan dan koordinasi awal pada Maret–April 2026, sedangkan pelaksanaan lapangan secara intensif berlangsung pada Mei sampai dengan Juli 2026.

Metode pelaksanaan dirancang melalui lima tahapan yang saling berkesinambungan. Tahap sosialisasi dilaksanakan di Balai Desa Lasem bersama perangkat desa dan perwakilan warga untuk menyamakan persepsi mengenai urgensi revitalisasi lahan sekaligus memperkenalkan cara kerja sistem penyiram otomatis. Tahap penerapan teknologi dan revitalisasi fisik memadukan dua kegiatan yang berjalan beriringan, yaitu gotong royong membersihkan lahan dari gulma dan wadah tanam yang rusak sambil menata rak tanam bertingkat dan polibag sesuai kaidah urban farming, serta instalasi perangkat sistem penyiram otomatis di lokasi. Tahap pelatihan memberikan pembekalan langsung kepada perwakilan warga yang ditunjuk sebagai penanggung jawab, menggunakan Buku Panduan Operasional sebagai media utama. Tahap pendampingan dan evaluasi dilakukan melalui inspeksi teknis berkala serta pengamatan terhadap konsistensi kelembapan tanah dan pertumbuhan tanaman. Tahap keberlanjutan program ditutup dengan serah terima alat dan pembentukan kelompok “Kader TOGA” dari perwakilan pemuda dan ibu-ibu desa sebagai penanggung jawab pemeliharaan jangka panjang.

Materi utama kegiatan berupa rekayasa sistem tertanam (embedded system) yang memadukan mikrokontroler ESP32 sebagai unit kendali utama dengan memanfaatkan modul WiFi bawaan untuk sinkronisasi waktu melalui protokol Network Time Protocol (NTP) sebagai penentu jadwal presisi tanpa memerlukan modul Real Time Clock (RTC) fisik tambahan, modul Relay 2 Channel 5VDC sebagai saklar pemutus arus menuju aktuator yang dilengkapi proteksi flyback diode untuk mengamankan komponen dari lonjakan tegangan balik beban induktif pompa (Roziqin dkk., 2025), serta layar LCD 16x2 berbasis modul I2C sebagai antarmuka pemantauan waktu dan status operasional alat. Komponen-komponen kendali tersebut ditempatkan dalam kotak pelindung tahan cuaca berukuran sekitar 17 cm x 11 cm x 6 cm. Aktuator penyiraman menggunakan pompa diafragma arus searah (DC) 12 volt dengan tekanan kerja hingga 100 PSI dan debit sekitar 5 liter per menit, yang mendistribusikan air melalui jaringan pipa PVC dan nosel kerucut menuju media tanam. Konektivitas internet bagi ESP32 disediakan melalui modem WiFi portabel yang dipasang permanen di Balai Desa Lasem dan menjangkau lokasi Rumah TOGA, mengingat sinkronisasi waktu berbasis NTP mensyaratkan koneksi jaringan pada saat proses sinkronisasi berlangsung (Farhani & Purwanto, 2025). Program logika waktu ditulis dalam bahasa C++ menggunakan Arduino IDE agar pompa menyala tepat pada pukul 06.00, 12.00, dan 16.00 setiap harinya; setelah waktu berhasil disinkronkan, ESP32 mempertahankan referensi waktu secara internal dan melakukan sinkronisasi ulang secara berkala setiap kali koneksi WiFi tersedia, sehingga jadwal penyiraman tetap berjalan meskipun terjadi gangguan jaringan sesaat.

Tingkat ketercapaian keberhasilan kegiatan diukur melalui empat indikator yang bersifat terukur. Efisiensi waktu warga dinilai dari perubahan waktu yang dibutuhkan untuk menyiram secara manual, dari kondisi awal menjadi 0 jam per hari setelah seluruh aktivitas penyiraman diambil alih oleh mesin. Konsistensi suplai air dinilai dari kemampuan alat mendistribusikan air tepat tiga kali sehari secara kontinu tanpa kegagalan jadwal. Keberhasilan revitalisasi fisik dinilai secara deskriptif dari kondisi lahan yang bebas gulma dan tertatanya polibag pada rak fungsional. Adapun keberhasilan aspek literasi dan kemandirian warga dinilai secara kualitatif melalui ketersediaan dokumen panduan cetak serta kemampuan perwakilan warga mendemonstrasikan ulang langkah pembersihan pompa air pada sesi evaluasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini memberikan nilai tambah bagi warga Desa Lasem, baik dalam bentuk perubahan perilaku sosial maupun perbaikan tata kelola lingkungan, yang diharapkan memberi dampak dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

1. Nilai Tambah dan Perubahan Perilaku Masyarakat

Perubahan paling nyata dari kegiatan ini terlihat pada aspek perilaku warga dalam memelihara Rumah TOGA. Sebelum kegiatan berlangsung, perawatan lahan bergantung penuh pada inisiatif perorangan yang tidak konsisten, sehingga fasilitas tersebut mudah terbengkalai ketika warga disibukkan oleh pekerjaan utama masing-masing. Melalui pembentukan kelompok “Kader TOGA” yang beranggotakan perwakilan pemuda dan ibu-ibu desa, tanggung jawab pemeliharaan kini terbagi secara terstruktur dan tidak lagi bertumpu pada satu atau dua individu. Pelatihan teknis dan penyerahan Buku Panduan Operasional turut mengubah pola pikir warga dari sekadar pengguna pasif menjadi pengelola yang mandiri, ditunjukkan dengan kemampuan perwakilan Kader TOGA mendemonstrasikan ulang langkah pemeriksaan indikator pada layar LCD, pembersihan filter pompa dari sumbatan lumut, serta penerapan protokol keselamatan dasar kelistrikan di area lembap.

Gambar 2. Demonstrasi Alat Penyiram Otomatis Besbasis ESP 32



2. Revitalisasi Fisik Lahan dan Kinerja Sistem Penyiram Otomatis

Revitalisasi fisik mengubah wajah Rumah TOGA dari lahan yang kumuh dan dipenuhi gulma menjadi area tanam yang tertata mengikuti kaidah urban farming, dengan rak tanam bertingkat dan polibag jahe, kunyit, serta kencur yang disusun berdasarkan kebutuhan intensitas cahaya matahari. Perubahan tata letak ini berjalan beriringan dengan instalasi sistem penyiram otomatis, yaitu panel kendali berbasis ESP32 dan Relay 2 Channel yang ditempatkan dalam kotak tahan cuaca, terhubung dengan pompa air DC 12V yang menarik pasokan dari tandon menuju jaringan pipa distribusi ke setiap rak. Hasil uji coba di lapangan menunjukkan bahwa sistem mampu mengeksekusi penyiraman secara presisi dan mandiri tiga kali sehari pada pukul 06.00, 12.00, dan 16.00 tanpa memerlukan intervensi manual, dengan waktu yang tersinkronisasi secara otomatis melalui jaringan WiFi lokal di Balai Desa Lasem. Ringkasan capaian terhadap indikator keberhasilan yang ditetapkan pada tahap perencanaan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Capaian indikator keberhasilan program

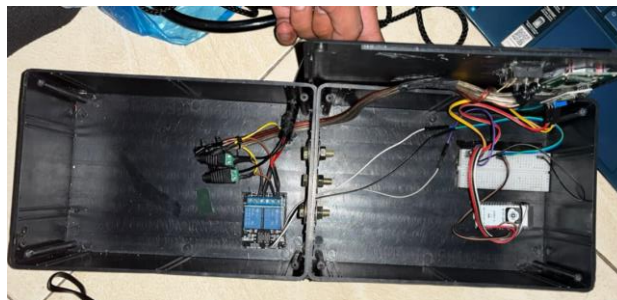
Indikator Keberhasilan	Target Luaran	Status Capaian
Alih tugas penyiraman manual ke sistem otomatis	Waktu warga untuk menyiram menjadi 0 jam/hari	Tercapai
Ketepatan jadwal penyiraman otomatis	Distribusi air tiga kali sehari (06.00, 12.00, 16.00) tanpa gagal	Tercapai
Revitalisasi fisik lahan	Lahan bebas gulma dan polibag tertata pada rak fungsional	Tercapai

Kemandirian pemeliharaan alat oleh warga	Tersedia buku panduan cetak dan warga mampu mendemonstrasikan perawatan pompa	Tercapai
--	---	----------

Status ketercapaian pada Tabel 1 disusun berdasarkan hasil pengamatan dan evaluasi tim pelaksana pada akhir periode kegiatan lapangan. Secara keseluruhan, keempat indikator yang ditetapkan berhasil dipenuhi, sehingga warga tidak lagi perlu meluangkan waktu untuk menyiram secara manual dan kelembapan tanah pada media tanam tetap terjaga secara konsisten sepanjang hari.

3. Keunggulan Sistem dan Peluang Pengembangan

Keunggulan utama sistem yang dibangun terletak pada pemanfaatan konektivitas WiFi bawaan ESP32 untuk sinkronisasi waktu melalui protokol NTP, sehingga tim pelaksana tidak perlu menyediakan modul RTC fisik terpisah beserta baterai cadangannya, sekaligus membuka ruang pengembangan fitur pemantauan jarak jauh tanpa perlu mengganti unit kendali di masa mendatang. Sistem tetap bebas dari biaya operasional bulanan karena layanan sinkronisasi waktu NTP bersifat publik dan gratis, serta disusun dari komponen elektronik berbiaya rendah yang mudah diperoleh di toko elektronik terdekat sehingga memudahkan Kader TOGA melakukan penggantian suku cadang secara mandiri di masa mendatang. Keandalan sistem turut didukung oleh riset pendahuluan tim pelaksana berupa pengujian stabilitas sinkronisasi waktu NTP pada jaringan WiFi lokal beserta mekanisme mempertahankan referensi waktu secara internal apabila koneksi terputus sementara, serta pengujian proteksi flyback diode pada modul relay saat menangani beban induktif motor pompa (Roziqin dkk., 2025), sehingga risiko korsleting pada instalasi di area semi-terbuka dapat diminimalkan. Meskipun demikian, sistem ini masih memiliki keterbatasan, antara lain jadwal penyiraman yang bersifat tetap dan belum menyesuaikan diri secara otomatis terhadap kondisi cuaca atau kelembapan tanah aktual, misalnya pada hari hujan ketika penyiraman tambahan sesungguhnya tidak diperlukan, serta ketergantungan proses sinkronisasi waktu pada ketersediaan jaringan WiFi di lokasi meskipun gangguan jaringan sesaat tidak langsung mengganggu jadwal yang sedang berjalan. Peluang pengembangan ke depan dapat diarahkan pada penambahan sensor kelembapan tanah sebagai pemicu penyiraman adaptif sebagaimana diterapkan pada berbagai sistem sejenis (Nanda dkk., 2024; Roziqin dkk., 2025), perluasan cakupan titik penyiraman untuk mengakomodasi penambahan jumlah polibag, serta integrasi dasbor pemantauan jarak jauh berbasis aplikasi seperti Blynk yang secara teknis telah dimungkinkan oleh konektivitas WiFi ESP32 yang telah terpasang (Westari & Ilman, 2024).



Gambar 1. Wujud fisik Panel Kendali Elektronik (kiri) dan Skema 3D Jaringan Pompa Irigasi (kanan).

KESIMPULAN

Berdasarkan pelaksanaan dan hasil kegiatan yang telah diuraikan, dapat disimpulkan beberapa hal berikut.

1. Sistem penyiram otomatis berbasis mikrokontroler ESP32 dengan sinkronisasi waktu Network Time Protocol (NTP), Relay 2 Channel, dan pompa air DC 12V berhasil dirancang, dirakit, dan dioperasikan pada lahan Rumah TOGA RT 5 dan RT 6 Desa Lasem untuk menyiram tanaman secara otomatis tiga kali sehari.

2. Revitalisasi fisik lahan dengan pendekatan urban farming berhasil mengubah Rumah TOGA yang semula kumuh dan terbengkalai menjadi lahan yang tertata, bersih, dan memiliki nilai estetika.
3. Pembentukan Kader TOGA disertai penyusunan Buku Panduan Operasional dan pelatihan teknis terbukti meningkatkan kemandirian warga dalam memelihara alat dan instalasi kelistrikan secara berkelanjutan.
4. Kelebihan sistem terletak pada konektivitas WiFi bawaan yang meniadakan kebutuhan modul RTC fisik, biaya operasional yang tetap rendah tanpa langganan bulanan, dan kemudahan perawatan, sedangkan kekurangannya adalah jadwal penyiraman yang masih tetap, ketergantungan sinkronisasi waktu pada jaringan WiFi, dan belum menyesuaikan diri terhadap kondisi cuaca atau kelembapan tanah secara real-time.
5. Pengembangan lanjutan dapat diarahkan pada penambahan sensor kelembapan tanah, perluasan titik penyiraman, dan integrasi pemantauan jarak jauh untuk meningkatkan presisi serta fleksibilitas sistem di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Kholik M, Setiawan B, Fauzi A. Design and Implementation of a Smart Home System with the Internet of Things (IoT) Using ESP32. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*. 2023;13(1):22–30.
- Banzy M, Shiloh M. *Getting Started with Arduino*. 4th ed. 2022.
- Correa-Quiroz JJ, Toribio-Barrueto MA, Castro-Vargas C. IoT System with ESP32 for Smart Drip Irrigation and Climate Monitoring in Greenhouses. *Emerging Science Journal*. 2025;9(3):1133–1157.
- Farhani R, Purwanto H. Smart Garden Online Automatic Plant Watering – IoT Control and Monitoring Trainer. *As-Sulthan Journal of Education*. 2025;3(1):65–72.
- Hanafi A, Yuniar AP, Ananda SD, Pramono P. Sistem Penyiraman Otomatis Tanaman Cabai Berbasis ESP32 dan Internet of Things. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis (SENATIB)*. 2025:467–472.
- Handoko A, Setiawan B. Implementasi Urban Farming sebagai Sarana Pemberdayaan Masyarakat Perkotaan. *Jurnal Pengabdian Pemberdayaan Masyarakat*. 2023;7(1):22–30.
- Kadir A. *Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroler dan Arduino*. 2021.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. *Pedoman Pemanfaatan Tanaman Obat Keluarga (TOGA)*. 2022.
- Mardiyah S, Riyanto Y, Soedjarwo S. Pemanfaatan Tanaman Toga sebagai Minuman Kesehatan Tradisional bagi Perempuan di Desa Dukuhmojo. *ABSYARA: Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*. 2023;4(1):1–10.
- Monk S. *Programming Arduino: Getting Started with Sketches*. 3rd ed. 2023.
- Nanda AP, Jeprianto J, Mahdi MI. Sistem Otomatis Penyiraman Tanaman Berbasis Sensor Kelembapan Tanah untuk Peningkatan Produktivitas Pertanian. *Technologia: Jurnal Ilmiah*. 2024;15(4):764.
- Pereira GP, Chaari MZ, Daroge F. IoT-Enabled Smart Drip Irrigation System Using ESP32. *IoT*. 2023;4(3):221–243.
- Roziqin M, Haq SZN, Saputra A. Rancang Bangun Penyiraman Tanaman Cabai Otomatis Menggunakan ESP32 dan Sensor Kelembapan Tanah. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*. 2025;13(3S1).
- Syahputra AB, Ulinuha A. Integrasi Komponen Elektronika Berbasis ESP32 dan Sensor Kelembapan untuk Penyiraman Otomatis pada Tanaman Anggrek. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*. 2025;14(1):47–55.
- Westari D, Ilman S. Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis IoT Menggunakan ESP32, Moisture Sensor, DHT22 Sensor dan Blynk. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*. 2024;3(4):314–321.
- Widodo B, Sastrawan U, Kuntari W, Sayekti A. Peningkatan Kesadaran Urban Farming dan Pemanfaatan Teknologi IoT Melalui Workshop Inovatif di SMKS Bhinneka Karya 5 Boyolali. *Jurnal Abdimas ADPI Sains dan Teknologi*. 2024;5(3):19–26.
- Widyatmika IPAW, Indrawati NPAW, Prastya IWWA, Darminta IK, Sangka IGN, Sapteka AANG. Perbandingan Kinerja Arduino Uno dan ESP32 terhadap Pengukuran Arus dan Tegangan. *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*. 2021;13(1):37–45.