

PERANCANGAN SISTEM KONTROL OTOMATIS PADA TANAMAN MICROGREEN BERBASIS MIKROKONTROLER

Kristian Dame¹, Julie Rante^{1,*}, dan Riandy Rumambi¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik De La Salle Manado

e-mail: jrante@unikadelasalle.ac.id

Abstrak— Penelitian ini dilakukan untuk merancang sistem kontrol otomatis pada tanaman *microgreen* berbasis mikrokontroler yang dilengkapi dengan sensor *water level*, relay, pompa air, RTC, dan lampu UV. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan semua informasi tentang otomatisasi pompa air dan lampu UV pada pertumbuhan tanaman *microgreen* dapat dipantau oleh pengguna dalam hal ini masyarakat perkotaan yang memiliki lahan sempit dan ingin menanam *microgreen*. Penelitian ini menggunakan relay yang berfungsi sebagai saklar otomatis yang diprogram pada mikrokontroler. *Real time clock* berfungsi untuk mengatur waktu secara otomatis sesuai kondisi natural alam. Misalnya lampu UV akan menyala dari jam 7 pagi kemudian mati di jam 6 sore. Pengujian sistem kontrol lampu berbasis RTC menunjukkan bahwa modul RTC mampu mengatur waktu secara akurat dan *real-time*, di mana relay lampu dapat menyala dan mati secara otomatis sesuai waktu yang telah diprogram. Tegangan yang terbaca saat relay ON berkisar antara 4,46 V hingga 4,77 V. Sistem kontrol pompa air berbasis sensor level air mampu bekerja secara responsif dalam mendeteksi ketinggian air. Saat volume air kurang dari 100%, tegangan *output* sensor berkisar antara 4,50 V hingga 4,59 V, dan relay pompa dalam kondisi ON. Pompa akan otomatis berjalan setiap waktu kecuali sensor *water level* mendeteksi air habis dalam meja *microgreen*, pompa akan otomatis dimatikan oleh relay. Adapun hasil yang diharapkan yakni terciptanya inovasi dibidang teknologi pertanian khususnya budidaya *microgreen*.

Kata Kunci— *Microgreen*, Relay, Lampu UV, Pompa Air, Mikrokontroler, RTC.

I. PENDAHULUAN

Pesatnya laju pertumbuhan populasi di perkotaan dapat menimbulkan masalah lingkungan mulai dari konversi lahan sampai pada penurunan kualitas lingkungan akibat polusi dan sampah. Hal ini dibutuhkan suatu solusi agar walaupun memiliki lahan yang sempit tapi masyarakat perkotaan masih dapat menanam tanaman sebagai penghijauan dan ketahanan pangan keluarga. Urban *farming* merupakan salah satu konsep pertanian urban yang bertujuan sebagai kegiatan budidaya tanaman pada lahan sempit di wilayah perkotaan. Pertanian

urban atau pertanian perkotaan merupakan langkah antisipasi dari pemerintah untuk mengatasi terjadinya gab antara produksi bahan pangan dan laju pertumbuhan penduduk, sehingga pertanian perkotaan merupakan salah satu perangkat tambahan pembangunan sistem pangan masyarakat yang berkelanjutan. Hal ini jika dilaksanakan secara tepat dan benar maka dapat mengentaskan masalah kerawanan pangan. Tanaman yang umum digunakan pada pertanian urban ini adalah tanaman yang berumur pendek seperti aneka sayuran daun dan buah, tanaman obat serta tanaman hias [1].

Salah satu alternatif pertanian urban bagi masyarakat perkotaan saat ini adalah *microgreen*. *Microgreen* merupakan sayuran dan herbal yang memiliki manfaat bagi kesehatan manusia karena mengandung nutrisi yang baik, kaya akan antioksidan, vitamin, mineral dan enzim, selain itu mudah untuk dicerna. Tanaman *microgreen* bersifat tanaman yang muda (bisa dipanen setelah 7 - 14 hari dari masa semai), lunak dan dapat dijadikan sebagai bibit. Selain itu, kelebihan lain dari budidaya *microgreen* adalah waktu panen yang singkat, kandungan gizi dan nutrisinya lebih tinggi dibandingkan dengan sayuran yang sama saat dewasa. Pemeliharaan *microgreen* lebih efisien karena hanya membutuhkan satu kali penyiraman dalam satu hari, ramah lingkungan, murah dan tanpa menggunakan pupuk pestisida sehingga aman dikonsumsi dalam keadaan mentah.[2].

Adapun beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan berhubungan dengan *microgreen* antara lain *Microgreens* sebagai Alternatif Budidaya Tanaman Pertanian Urban (Noor Rizkiyah dkk, 2022), Pertumbuhan dan Produksi *Microgreens* Pakcoy pada Jenis Media Tanaman dan Pupuk Organik Cair Urin Sapi (Haslinda dkk, 2024), dan Pertumbuhan dan Kualitas Berbagai Jenis Sayuran *Microgreen* pada Media Tanam yang Berbeda (Vira Sani dkk, 2024).

Pada penelitian ini akan dirancang Sistem Kontrol Otomatis pada Tanaman *Microgreen* Berbasis Mikrokontroler. Media tanam yang digunakan menggunakan *rockwool* dan air pada meja *microgreen* dalam ruangan Lab Telekomunikasi dan IoT Universitas Katolik De La Salle Manado. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan otomatisasi lampu UV dan pompa air dapat berjalan dengan baik sehingga pertumbuhan tanaman menggunakan sistem *microgreen* dapat tumbuh dengan baik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Microgreen

Microgreen merupakan sayuran kecil atau tumbuhan muda yang dapat dimakan dengan tekstur yang lunak. *Microgreen* secara umum dapat dipanen pada umur 7 - 21 hari setelah perkecambahan saat kotiledonnya terbuka dan mulai tumbuh daun pertama secara penuh. Pemanenan *microgreen* cukup dengan memotong tanaman tersebut tepat di atas permukaan medium pertumbuhannya dengan panjang sekitar 3 - 9 cm tanpa akar [3]. *Microgreen* memiliki kandungan nutrisi yang lebih tinggi dibandingkan sayuran dewasa karena metabolisme tanaman pada fase ini sangat aktif.

B. Media Tanam

Media tanam adalah komponen penting dalam budidaya *microgreen*. Media yang baik harus memiliki kemampuan menahan air dan udara yang cukup, serta bebas dari patogen. Umumnya media tanam *microgreen* tidak menggunakan tanah (*soilless*) dan lebih mengandalkan bahan seperti rockwool, cocopeat, vermiculit, atau tisu basah. Pada prinsipnya *microgreen* akan tumbuh dengan baik pada media tanam selama *microgreen* tersebut mendapat air, oksigen dan nutrisi.

Salah satu media tanam yang sering digunakan untuk *microgreen* adalah *Rockwool*. *Rockwool* terbuat dari batuan basaltik (lava padat) yang dicairkan pada 1500⁰C. Media tanam ini memiliki 95% ruang pori, sehingga memiliki kapasitas yang sangat besar untuk menahan air. Bahan ini memiliki pH sekitar 7 - 8.5 sehingga sebelum digunakan harus memastikan dulu menggunakan larutan nutrisi yang sedikit asam agar kondisi akhir penanaman menjadi netral [3].

C. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah komputer kecil yang dikemas dalam bentuk *chip* IC dan dirancang untuk melakukan tugas atau operasi tertentu. Pada dasarnya sebuah IC mikrokontroler terdiri dari satu atau lebih inti prosesor (CPU), memori (RAM dan ROM), serta perangkat *input* dan *output* yang diprogram [4]. Mikrokontroler populer seperti Arduino dan ESP32 sering digunakan karena harganya terjangkau, mudah diprogram, dan memiliki banyak antarmuka untuk sensor. Mikrokontroler dapat diprogram untuk merespons perubahan data dari sensor secara real-time. Sebagai contoh, ketika sensor kelembaban menunjukkan nilai di bawah ambang batas, sistem akan secara otomatis mengaktifkan pompa air. Integrasi dengan modul Wi-Fi atau Bluetooth juga memungkinkan monitoring jarak jauh melalui aplikasi smartphone atau dashboard berbasis web [5]. Keunggulan ini meningkatkan efisiensi dan konsistensi dalam proses budidaya *microgreen*.

D. Pompa Air

Pompa air berperan sebagai aktuator utama pada sistem kontrol otomatis budidaya *microgreen* untuk menyalurkan air (atau larutan nutrisi pada sistem hidropotik/misting) secara terukur dan konsisten. Pompa air mini yang kecil, dikenal

sebagai *water pump* atau pompa air celup, dapat dimanfaatkan pada berbagai aplikasi seperti akuarium, hidropotik, *microgreen*, dan proyek yang melibatkan penggunaan mikrokontroler [6].

E. Real Time Clock (RTC)

RTC merupakan rangkaian elektronik *embedded* sistem yang berfungsi untuk menyimpan data waktu dan tanggal dengan tingkat akurasi tinggi serta diintegrasikan dengan serial EEPROM AT24C32 untuk keperluan menyimpan data lainnya [4]. Real Time Clock (RTC) adalah modul penjejak waktu (*timekeeping*) yang menyediakan informasi detik-menit-jam-hari-tanggal-bulan-tahun secara kontinu dan akurat, sehingga sistem kontrol otomatis pada budidaya *microgreen* dapat menjalankan aksi berbasis waktu seperti penjadwalan penyiraman/pompa, pemberian pencahayaan (*photoperiod*), serta pencatatan data (*timestampling*) untuk analisis pertumbuhan dan evaluasi performa sistem.

Pada rancangan kontrol otomatis, RTC digunakan untuk :

1. Penjadwalan aktuator: pompa air diaktifkan pada jam tertentu (mis. interval harian/berkala) atau dikombinasikan dengan logika sensor (mis. *time window* + kelembapan media). Pendekatan ini umum dalam sistem penyiraman otomatis berbasis Arduino yang memanfaatkan RTC sebagai referensi waktu agar eksekusi jadwal stabil.
2. Pencatatan data bertanda waktu: data sensor (kelembapan media, suhu, RH, intensitas cahaya) disimpan beserta waktu pengukuran sehingga memudahkan pelacakan tren dan korelasi terhadap kondisi tumbuh. Penggunaan RTC untuk sinkronisasi *data logging* pada perangkat pertanian pintar juga dilaporkan dalam studi pemantauan pertanian berbasis IoT.
3. Ketahanan saat listrik padam: RTC umumnya memiliki battery backup sehingga waktu tidak hilang ketika suplai utama terputus; ini penting agar jadwal kontrol tidak “reset” setelah *power cycle*.

Dalam sistem *microgreen*, RTC dapat dipakai sebagai : kontrol berbasis jadwal (*time-based control*), dimana pompa menyala pada jam tertentu untuk durasi tertentu (mis. 10-30 detik). Hal ini berguna menjaga kelembapan media tetap stabil tanpa overwatering. Kontrol hibrida waktu + sensor, pompa hanya diizinkan menyala pada entang waktu tertentu (mis. pagi-sore), dan tetap bergantung pada pembacaan sensor kelembapan. Model ini mengurangi risiko penyiraman berlebih pada malam hari dan meningkatkan efisiensi energi/air.

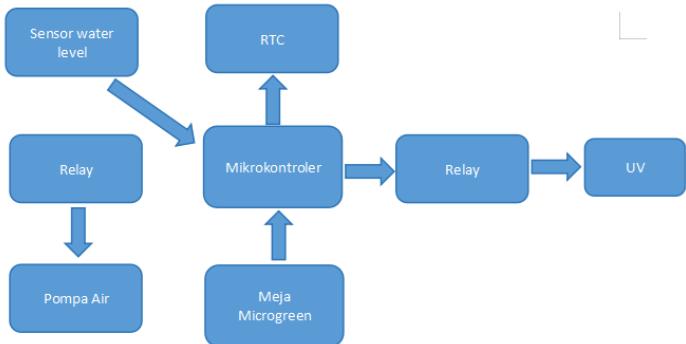
F. Lampu Ultra Violet

Lampu UV berfungsi sebagai pencahayaan pada *microgreen* yang berada dalam ruangan (*indoor*) yang nantinya akan menghasilkan panas dan menimbulkan perubahan temperatur disekitar area penanaman. Penggunaan cahaya lampu selama 12 - 18 jam per hari dalam ruang tertutup dapat menggantikan cahaya matahari 4 - 6 jam per hari tentunya dapat meningkatkan biaya produksi *microgreen* [3].

III. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Sistem

Dalam merancang sistem pada penelitian ini, penulis membuat terlebih dahulu diagram blok sistem untuk membantu mengontrol dan melihat alur sistem yang akan dibuat. Adapun diagram blok sistem dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.

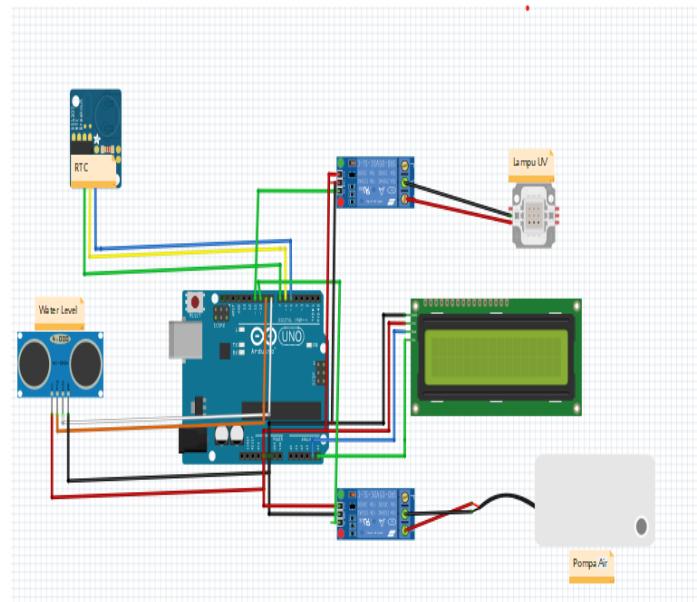


Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Dalam diagram blok tersebut terdapat beberapa komponen yang saling terhubung dan berkoordinasi. Seperti relay dan pompa air, sama halnya juga relay dengan UV (Ultra Violet). Relay akan berfungsi sesuai dengan program yang di buat pada mikrokontroler sebagai saklar otomatis. Mikokontroler akan mengolah semua informasi kemudian mengeksekusi program untuk kelangsungan sistem. RTC (*Real Time Clock*) berfungsi untuk mengatur waktu secara otomatis sesuai kondisi natural alam. Sehingga penyesuaian sistem diharapkan berjalan seperti kondisi natural. Misalnya lampu UV akan menyala dari jam 7 pagi kemudian mati di jam 6 sore. Dan pompa akan otomatis berjalan setiap waktu kecuali sensor *water level* mendeteksi air habis dalam meja *microgreen*, pompa akan otomatis dimatikan oleh relay.

B. Perancangan Sistem Perangkat Keras

Rancangan perangkat keras sistem kontrol otomatis pada tanaman *microgreen* berbasis mikrokontroler dapat dilihat pada gambar 2.

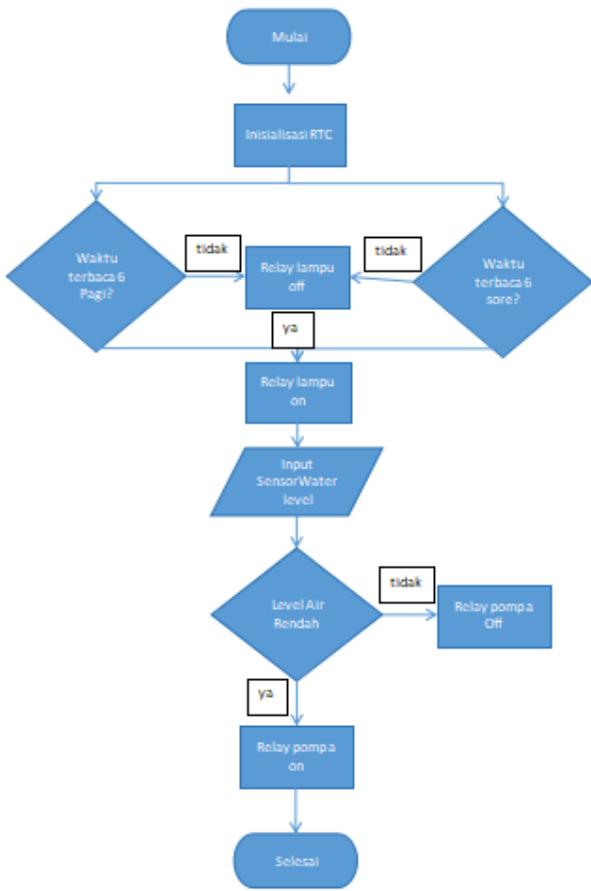


Gambar 2. Perancangan Sistem Perangkat Keras

Gambar di atas merupakan gambar 3 dimensi keseluruhan sistem yang akan dibuat dalam bentuk perangkat keras (*hardware*), sistem tersebut sebenarnya bisa juga dilihat pada diagram blok sistem, tapi pada kali ini gambar ini lebih menunjukan komponen secara 3 dimensi yang hampir serupa dengan komponen sebenarnya yang akan dibuat. Pada perancangan perangkat keras kita harus melakukan pengujian satu persatu setiap komponen yang digunakan agar terhindar dari kesalahan sistem pada saat merangkai atau menguji sistem. Gambar 2 tersebut memperlihatkan koneksi antara sensor, aktuator dan kontroler. Sensor yang digunakan pada sistem ini adalah sensor jarak, dimana sensor ini akan mendeteksi jarak air sehingga level air (*water level*) akan terbaca pada LCD atau monitor. Kemudian terdapat aktuator berupa *relay* yang berfungsi sebagai saklar otomatis untuk pompa air dan lampu UV. Terdapat juga komponen RTC (*Real Time Clock*), komponen ini berfungsi untuk mengatur waktu dari nyala lampu UV. Dan bagian utama dari komponen ini yaitu mikrokontroler dengan jenis arduino uno, yang mana mikrokontroler berfungsi untuk mengolah semua data dari sensor yang dijadikan sebagai *input* dan memerintah aktuator untuk bertindak sebagai keluaran (*output*) sistem.

C. Perancangan Sistem Perangkat Lunak

Rancangan sistem perangkat lunak (*software*) dan alur kerja dalam rancangan pemrograman dapat dilihat pada bagan diagram alir yang ada pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Perancangan Sistem Perangkat Lunak

Gambar diagram alir ini menggambarkan algoritma kerja dari sistem otomasi berbasis mikrokontroler yang menggunakan modul RTC (*Real Time Clock*) dan sensor level air untuk mengontrol dua buah perangkat elektronik, yaitu lampu dan pompa air, melalui modul relay. Terdapat 2 buah relay yang mana relay 1 untuk mengontrol lampu dan relay kedua untuk mengontrol pompa air. Sistem dimulai dengan proses inisialisasi komponen, khususnya modul RTC, yang berfungsi sebagai sumber acuan waktu nyata. Setelah sistem aktif, algoritma utama melakukan pembacaan waktu secara berkala dari RTC. Selanjutnya, dilakukan proses pengambilan keputusan berdasarkan waktu:

1. Jika waktu yang terbaca adalah pukul 06.00 pagi, maka sistem akan mengaktifkan relay lampu untuk menyalakan pencahayaan secara otomatis. Hal ini bertujuan untuk mendukung aktivitas pagi hari tanpa perlu intervensi manual.
2. Jika waktu yang terbaca adalah pukul 18.00 (6 sore), maka sistem akan mematikan relay lampu, yang berarti lampu dinonaktifkan, mengikuti logika penghematan energi saat malam hari.

Setelah logika pengaturan lampu berdasarkan waktu selesai dijalankan, sistem kemudian membaca data dari sensor level air. Sensor ini mendeteksi ketinggian air dalam suatu wadah (misalnya, tandon air). Jika level air terdeteksi rendah,

maka sistem akan mengaktifkan relay pompa untuk menyalakan pompa air dan mengisi kembali wadah air. Sebaliknya, jika level air cukup, maka relay pompa akan dimatikan, sehingga pompa tidak beroperasi. Seluruh proses ini bekerja secara *looping* atau (berulang terus-menerus) sehingga sistem selalu memantau kondisi waktu dan level air secara *real-time*, memastikan bahwa perangkat yang dikendalikan selalu berada pada status operasional yang tepat.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah sistem berhasil dirancang secara menyeluruh, peneliti kemudian melanjutkan kegiatan dengan melakukan proses akuisisi data serta pengujian sistem untuk mengevaluasi performa dan fungsionalitasnya. Adapun beberapa tahapan pengujian sebagai berikut:

A. Pengujian Sensor Jarak dengan Relay Pompa Air

Data pengujian sensor jarak yang merupakan *water level* (level air) dari sistem ini dapat dilihat pada tabel 1 berikut :

Tabel 1. Pengujian Sensor Jarak

Nomor Percobaan	Persentase Volume Air	Status Relay	Tegangan
1	0 %	ON	4.50 Volt
2	18 %	ON	4.52 Volt
3	43 %	ON	4.52 Volt
4	50 %	ON	4.57 Volt
5	100 %	OFF	-0.08 Volt

Data yang diperoleh menunjukkan hasil pengujian sistem kontrol pompa air menggunakan sensor *water level* (level air) dimana jenis sensor yang digunakan adalah HCSR04 yang diintegrasikan dengan modul relay. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara persentase volume air, status relay, dan tegangan keluaran sensor dalam sistem otomatisasi. Dari tabel tersebut terlihat saat volume air masih di bawah 100%, tegangan yang terbaca dari sensor *water level* berkisar antara 4.52 Volt hingga 4.59 Volt, dan relay dalam kondisi ON, artinya pompa bekerja untuk mengisi air dalam tandon. Ketika volume air mencapai 100%, terjadi perubahan signifikan pada tegangan keluaran (*output*) sensor, yakni menjadi -0.08 Volt, dan relay otomatis OFF, yang menandakan pompa dimatikan. Tegangan yang terbaca negatif yakni -0.08 Volt pada titik ini dapat mengindikasikan sensor berada dalam kondisi jenuh atau sistem mendeteksi bahwa tidak perlu lagi dilakukan pengisian air dalam tandon.

B. Pengujian RTC (Real Time Clock) dengan Relay Lampu

Data pengujian selanjutnya yaitu RTC dengan relay yang terhubung dengan lampu UV dan dapat dilihat pada tabel 2 berikut :

Tabel 2. Pengujian RTC

Nomor Percobaan	Waktu	Status Relay	Tegangan
1	21 : 18	OFF	0 Volt
	21 : 19	ON	4.75 Volt
2	21 : 22	OFF	0 Volt
	21 : 23	ON	4.77 Volt
3	21 : 38	OFF	0 Volt
	21 : 39	ON	4.54 Volt
4	21 : 41	OFF	0 Volt
	21 : 42	ON	4.46 Volt
5	21 : 44	OFF	0 Volt
	21 : 45	ON	4.46 Volt

Tujuan dari pengujian kali ini untuk mengevaluasi kinerja sistem kontrol lampu otomatis berbasis RTC (*Real Time Clock*) dan modul relay, yang dirancang untuk mengaktifkan dan menonaktifkan lampu secara otomatis pada waktu-waktu tertentu. Data yang diperoleh menunjukkan adanya pola perubahan status relay yang sesuai dengan perubahan waktu yang terbaca dari modul RTC.

Pada setiap titik waktu yang diuji, sistem secara berulang mematikan (OFF) dan menyalakan (ON) relay, yang merepresentasikan kondisi lampu mati dan menyala. Ketika relay berada dalam kondisi OFF, tegangan yang terbaca pada *output* adalah 0 Volt, yang menandakan bahwa tidak ada tegangan kerja yang diberikan ke beban (lampa), sehingga lampu berada dalam keadaan tidak aktif. Sebaliknya, ketika RTC membaca waktu yang telah diprogram untuk menyalakan lampu, sistem mengaktifkan relay. Hal ini ditandai dengan peningkatan tegangan *output* menjadi 4,46 V hingga 4,77 V. Nilai tegangan ini menunjukkan bahwa arus listrik telah disalurkan ke lampu melalui relay, dan lampu berada dalam kondisi aktif atau menyala. Konsistensi tegangan selama relay dalam status ON menunjukkan bahwa sistem menyediakan suplai daya yang stabil kepada beban. Selanjutnya, data menunjukkan bahwa perubahan status relay terjadi pada selang waktu sekitar beberapa detik, yang menunjukkan bahwa sistem membaca waktu dari RTC secara berkala dan memberikan perintah logika kepada relay dengan respons yang cepat. Seluruh siklus kerja ini memperlihatkan bahwa modul RTC mampu bekerja secara *real-time*, dan modul relay berfungsi secara responsif dan akurat sesuai dengan kondisi waktu yang telah ditentukan sebelumnya.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem kontrol otomatis berbasis mikrokontroler berhasil dirancang dan diimplementasikan untuk mendukung pertumbuhan tanaman *microgreen*. Sistem ini terdiri dari mikrokontroler Arduino, modul RTC, sensor *water level* (HC-SR04), serta dua buah relay untuk mengontrol pompa air dan lampu UV secara otomatis.
2. Pengujian sistem kontrol lampu berbasis RTC menunjukkan bahwa modul RTC mampu mengatur waktu secara akurat dan *real-time*, di mana relay lampu dapat menyala dan mati secara otomatis sesuai waktu yang telah diprogram.

Tegangan yang terbaca saat relay ON berkisar antara 4,46 V hingga 4,77 V, menunjukkan distribusi daya yang stabil kepada beban.

3. Sistem kontrol pompa air berbasis sensor level air mampu bekerja secara responsif dalam mendeteksi ketinggian air. Saat volume air kurang dari 100%, tegangan *output* sensor berkisar antara 4,50 V hingga 4,59 V, dan relay pompa dalam kondisi ON. Ketika air mencapai level maksimal 100%, sistem mendeteksi tegangan -0,08 V, yang akan memicu relay untuk OFF secara otomatis dan menghentikan kerja pompa.
4. Sistem secara keseluruhan mampu bekerja secara berulang (*looping*) tanpa memerlukan intervensi manual, dengan integrasi antara sensor, kontrol waktu, dan aktuator berjalan secara sinkron. Hal ini membuktikan bahwa sistem efektif untuk diaplikasikan dalam otomasi pertanian skala kecil, khususnya untuk budidaya *microgreen*.

B. Saran

Adapun saran untuk pengembangan sistem ini yaitu :

1. Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem ini dapat dilengkapi dengan modul komunikasi nirkabel seperti WiFi (ESP8266/ESP32) agar dapat dimonitor dan dikontrol secara jarak jauh melalui perangkat mobile atau komputer.
2. Akurasi pembacaan sensor HC-SR04 dapat ditingkatkan dengan menambahkan pelindung (*waterproof casing*) serta menggunakan teknik filterisasi data (*misalnya moving average*) untuk mengurangi noise.
3. Sistem sebaiknya dilengkapi dengan indikator atau notifikasi (*misalnya buzzer atau LED*) sebagai tanda ketika air dalam tandon telah habis atau terdapat gangguan operasional lainnya.
4. Untuk aplikasi skala besar, disarankan menggunakan mikrokontroler dengan performa lebih tinggi dan kapasitas I/O yang lebih banyak, serta sensor air berbasis prinsip kapasitif atau ultrasonik industri agar lebih presisi dan tahan terhadap kondisi lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Noor Rizkiyah, Prasmita Dian Wijayanti, Fatchur Rozei (2022), Microgreens sebagai Alternatif Budidaya Tanaman Pertanian Urban, Prosiding Seminar Nasional Magister Agribisnis, Vol. 3 No. 1, ISBN 978-623-98158-0-6, Hal.21-27.
- [2] Vira Yunia H Sani, Mahayu Woro Lestari, Istirochah Pujiwati (2024), Pertumbuhan dan Kualitas Berbagai Jenis Sayuran Microgreen pada Media Tanam yang Berbeda, Jurnal Agronomia, Vol.12 No.1, pp. 380-390
- [3] Dr. Muhamad Agus Salim, Drs., MP., (2021), Buku Berjudul Budidaya Microgreens:Sayuran Kecil Kaya Nutrisi dan Menyehatkan, Yayasan Lembaga Pendidikan dan Pelatihan Multiliterasi Jawa Barat ISBN 978-623-97126-3-1.
- [4] Harun Kurniawan, Yudi Sutanto,(2022), Perancangan dan Pembuatan Smart Garden Lamp Berbasis Internet of

- Things (IoT) Menggunakan Mikrokontroler untuk Efisiensi Penggunaan Energi Listrik, Jurnal teknologi Informasi, Vol XVII, no.2, ISSN 1907-2430.
- [5] M. Sharma and R. Patel, "IoT based real-time monitoring and controlling of smart agriculture system using Arduino," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 9, no. 5, pp. 2985–2989, 2020.
 - [6] Haarisah Yustika Putri Al-Jufri, Oni Novianti, Ghibran Muhammad, Revangga Adytya, Agung Nugroho Pramidhita, (2023), Otomatisasi Pertanian dengan Sensor Soil Moisture, Sensor Cahaya, LED Grow Lamps, dan Pompa Air untuk Pertumbuhan Tanaman Optimal, Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, Vol.11 No.3, p-ISSN:2303-0577, e-ISSN. 2830-7062.
 - [7] Haslinda, Syamsia Syamsia, Abubakar Idhan, (2024), Pertumbuhan dan Produksi Microgreens Pakcoy pada Jenis Media Tanam dan Pupuk Organik Cair Urin Sapi, *J.Agroplantae*, Vol.13 No.1, Hal. 1-9, DOI: <https://doi.org/10.51978/agro.v12i2.695>
 - [8] T. Ayoub Shaikh, T. Rasool, and F. Rasheed Lone, "Virtual sensors for smart farming: An IoT- and AI-enabled approach," *Internet of Things*, vol. 32, p. 101611, Jul. 2025, doi: 10.1016/j.compag.2022.107119.