

Contents list available at www.jurnal.unimed.ac.id

CESS
(Journal of Computing Engineering, System and Science)

journal homepage: <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/cess>



Sistem Pemantauan dan Kendali Budidaya Selada dalam Ruangan pada Media Tanah Berbasis *Internet of Things*

Internet of Things Based Monitoring and Control System for Indoor Lettuce Cultivation on Soil Media

Caecilia Cantica Gita Mileniae Ahen¹, Ikhwan Ruslianto², Uray Ristian^{3*}

^{1,2,3} Jurusan Rekayasa Sistem Komputer, Fakultas MIPA Universitas Tanjungpura
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak

email: ¹caeciliaahen@student.untan.ac.id, ²ikhwanruslianto@siskom.untan.ac.id, ³eristian@siskom.untan.ac.id

Submitted: 30 Juni 2022 | Revision: 26 Juli 2022 | Accepted: 31 Juli 2022

ABSTRAK

Budidaya selada perlu memperhatikan kondisi lingkungan agar pertumbuhannya optimal. Melakukan budidaya di ruangan terkontrol bertujuan agar pertumbuhan tanaman selada selalu stabil tanpa perlu mengkhawatirkan faktor alam. Penelitian ini menggunakan NodeMCU ESP32 sebagai pengendali sistem untuk melakukan pemantauan dan pengontrolan budidaya selada berbasis *Internet of Things* (IoT). Sensor pH air analog digunakan untuk memantau pH air, sensor *capacitive soil moisture* untuk memantau kelembapan tanah, dan sensor DHT11 untuk memantau suhu dan kelembapan udara. Pengontrolan kondisi ruang budidaya dapat dilakukan menggunakan sistem berdasarkan parameter pH, kelembapan tanah, kelembapan udara, suhu udara, dan intensitas cahaya yang ideal untuk pertumbuhan tanaman selada. Pengguna juga dapat melakukan pengontrolan secara manual. Hasil pengamatan selama 14 hari menunjukkan bahwa tanaman selada yang dibudidayakan berbasis sistem mengalami pertumbuhan yang subur sebesar 60% dan pertumbuhan sedang sebesar 40%. Tanaman selada yang dibudidayakan secara manual hanya mengalami pertumbuhan yang subur sebesar 10%, pertumbuhan sedang sebesar 10%, pertumbuhan kurang sebesar 30% dan sudah tidak mengalami pertumbuhan lagi karena layu atau mati sebesar 50%. Faktor yang memberikan pengaruh signifikan terhadap kesuburan budidaya tanaman selada adalah intensitas cahaya dan kelembapan tanah.

Kata Kunci: *Budidaya Selada; NodeMCU ESP32; Kelembapan Tanah; Suhu Udara; Kelembapan Udara; Pencahayaan; Website.*

*Penulis Korespondensi:
email: eristian@siskom.untan.ac.id

ABSTRACT

Lettuce cultivation needs to meet specific environmental conditions for optimal results. Cultivation is done in a controlled room so it will have stable growth without needs to worry about nature. NodeMCU ESP32 is being used as the main control system in the Internet of Things (IoT) based lettuce cultivation. Analog water pH sensor is used to monitor the pH value of water, capacitive soil moisture sensor is used to monitor the soil moisture, and DHT11 sensor is used to monitor the air temperature and air humidity. The condition of cultivation room can be controlled automatically based on the ideal pH, soil moisture, air humidity, air temperature, and the intensity of light for lettuce growth. It can also be controlled manually by user. After 14 days of observation 60% of automatically planted lettuce had great growth and the rest 40% had average growth. Only 10% of manually planted lettuce had great growth, another 10% had average growth, another 30% had poor growth, and the rest 50% were no longer growing as they had withered or died. Some factors that significantly impact the fertility of lettuce are the intensity of light and soil moisture.

Keywords: *Lettuce Cultivation; NodeMCU ESP32; Soil Moisture; Air Temperature; Humidity; Lighting; Website.*

1. PENDAHULUAN

Tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) termasuk ke dalam kelompok sayuran daun yang mengandung banyak zat gizi seperti vitamin dan mineral. Budidaya tanaman selada perlu memperhatikan beberapa kondisi lingkungan yang ideal agar dapat memperoleh hasil panen yang optimal. Ketika musim hujan tiba, tantangan yang harus dihadapi oleh para petani dalam melakukan budidaya selada menjadi lebih sulit. Curah air hujan yang berlebihan serta kurangnya sinar matahari membuat kondisi ideal untuk melakukan budidaya selada terganggu. Di sisi lain, akibat dari mewabahnya pandemi COVID-19 berpengaruh pada menurunnya krisis kesehatan masyarakat dalam nutrisi pangan. Pandemi ini dapat mengancam pasokan pangan global [1]. Agar dampak tersebut tidak semakin meluas, maka kualitas hasil pertanian khususnya budidaya selada harus dimaksimalkan. *Smart garden* adalah suatu teknologi pengolahan perkebunan menggunakan sistem cerdas di mana semua pekerjaan pengolahan kebun dikendalikan menggunakan sistem [2]. Di Era Revolusi Industri 4.0, berbagai bidang harus mengikuti perkembangan teknologi yang sedang berlangsung [3] termasuk juga pada bidang pertanian, misalnya dengan melakukan budidaya di ruang terkontrol berbasis *Internet of Things* (IoT) sangat memungkinkan sehingga pertumbuhan tanaman dapat terkendali tanpa perlu mengkhawatirkan faktor musim.

Penelitian terkait yang pernah dilakukan sebelumnya yaitu pembuatan sistem *monitoring* pH air gambut untuk persiapan penyiraman tanaman berbasis IoT menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32 dan Arduino Leonardo. Sistem yang dibangun dapat melakukan pemantauan terhadap pH air dan tinggi air di dalam penampungan. Proses *treatment* pH air dalam penelitian ini dituangkan secara manual oleh pengguna [4].

Penelitian lain yang terkait yaitu pembuatan rancang bangun rumah hijau cerdas berbasis IoT menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32. Sistem yang dibangun menggunakan basis data MySQL. Hasil dari penelitian ini yaitu sebuah sistem *smart green house* yang dapat memantau dan mengontrol suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan pH tanah melalui *website* [5].

Penelitian terkait selanjutnya adalah pembangunan sistem rumah hijau berbasis IoT untuk budidaya selada pada media hidroponik menggunakan mikroprosesor Raspberry Pi. Hasil dari penelitian ini yaitu sebuah sistem yang dapat mengamati dan mengontrol suhu, kelembapan udara, dan intensitas cahaya di dalam *green house* untuk budidaya selada hidroponik [6].

Penelitian terkait lainnya adalah pembangunan sistem pengontrolan suhu menggunakan mikroprosesor Raspberry Pi. Sistem ini menggunakan bahasa pemrograman Python. Indikasi hasil panen ditampilkan melalui Thingspeak [7].

Penelitian terkait berikutnya adalah pembangunan sistem penyiraman kebun menggunakan mikroprosesor Raspberry Pi 3. Hasil dari penelitian ini yaitu sebuah sistem yang dapat mengamati kelembapan tanah dan melakukan kontrol penyiraman [8].

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, maka diangkatlah penelitian yang membangun suatu sistem pemantauan dan kendali pH air, kelembapan tanah, suhu udara, kelembapan udara, dan cahaya ultraviolet berbasis IoT, serta mengamati pengaruhnya terhadap kesuburan tanaman selada. Beberapa NodeMCU ESP32 digunakan sebagai pengendali sistem yang bekerja secara paralel. Hal ini bertujuan agar beberapa pekerjaan dapat dilakukan dalam waktu yang bersamaan. Sistem yang dibangun diharapkan dapat diterapkan pada para petani agar dapat menghasilkan hasil panen selada yang lebih baik pada musim hujan dibandingkan dengan menggunakan sistem manual. Antarmuka berbasis *website* memudahkan pengguna dalam mengakses sistem pemantauan dan kontrol dari jarak jauh menggunakan berbagai perangkat.

2. DASAR/TINJAUAN TEORI

2.1. Budidaya Selada

Tanaman selada merupakan tanaman yang kurang tahan terhadap hujan lebat oleh karena itu budidaya selada kurang maksimal selama musim hujan [9]. Pemanenan selada dilakukan 40-50 hari setelah pindah tanam. Kondisi ideal dalam melakukan budidaya selada dapat dilihat pada Tabel 1 [10], [11]. Kondisi selada yang siap panen sekitar 40-50 hari setelah masa tanam [12].

Tabel 1. Parameter Kondisi Ideal untuk Pertumbuhan Selada

Kondisi	Parameter
pH Air	5-6,5
Kelembapan Tanah	65-78% SM
Suhu Udara	25-28 °C
Kelembapan Udara	80-90% RH
Sinar Matahari	8-12 jam / hari

2.2. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah sebuah konsep atau skenario di mana suatu obyek yang memiliki kemampuan untuk mentransfer data melalui jaringan tanpa memerlukan interaksi manusia [13]. *Internet of Things* (IoT) merupakan suatu sistem yang memanfaatkan koneksi jaringan internet dan komputer yang terintegrasi ke dalam perangkat sehari-hari menggunakan sensor, ataupun perangkat teknologi lainnya [8]. Sistem ini menggunakan basis data yang dirubah menjadi informasi untuk dikirimkan ke pengguna.

2.3. NodeMCU ESP32

NodeMCU adalah *open source firmware* dan pengembangan kit yang digunakan untuk membuat produk berbasis *Internet of Things (IoT)* [14]. NodeMCU memperoleh hak khusus dari Arduino untuk dapat menggunakan aplikasi Arduino sehingga bahasa pemrograman yang digunakan oleh NodeMCU sama dengan *board* Arduino pada umumnya [15]. NodeMCU menggunakan bahasa *scripting* Lua yang memiliki logika dan susunan pemrograman yang sama dengan bahasa C, perbedaannya hanya terletak pada sintaksnya [14]. ESP32 merupakan mikrokontroler penerus dari ESP8266 dan memiliki dua jenis pin yaitu pin analog dan pin digital [16]. Pada penelitian ini NodeMCU ESP32 digunakan sebagai pengendali sistem.

2.4. Sensor pH Air Analog

Sensor pH air analog adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur kadar pH atau derajat keasaman pada larutan yang akan diteliti [17]. Air yang bersifat asam memiliki pH antara 0 hingga 7, sedangkan air yang bersifat basa memiliki pH antara 7 hingga 14. Air murni atau akuades bersifat netral sehingga memiliki nilai pH 7 [18]. Pada penelitian ini sensor pH air analog digunakan untuk mengukur pH air yang akan digunakan untuk penyiraman.

2.5. Sensor *Capacitive Soil Moisture*

Sensor capacitive soil moisture digunakan untuk mengukur kandungan air di tanah sekitar sensor [17]. Sensor ini melewatkan arus melalui tanah untuk membaca resistansinya. Semakin banyak kadar air di dalam tanah, maka lebih mudah untuk menghantarkan listrik, sehingga resistensinya kecil. Jika kondisi tanahnya kering, maka lebih sulit untuk menghantarkan listrik, sehingga resistensinya besar [19]. Pada penelitian ini sensor *capacitive soil moisture* digunakan untuk mengukur kelembapan tanah.

2.6. Sensor DHT11

Sensor DHT11 adalah sensor untuk mengukur nilai suhu dan kelembapan udara [20]. Rentang pengukuran suhu yang dapat diukur menggunakan sensor DHT11 adalah dari 0 °C hingga 50 °C. Rentang pengukuran kelembapan yang dapat diukur menggunakan sensor DHT11 adalah dari 20-90% RH dengan nilai toleransi galat 5% RH [21]. Pada penelitian ini sensor DHT11 digunakan untuk memantau suhu dan kelembapan udara.

3. METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah pengambilan keputusan berdasarkan parameter yang ditentukan. Pembangunan sistem pemantauan dan kendali budidaya selada berbasis IoT dilakukan di lokasi *Smart Garden* FMIPA UNTAN. Rangkaian alur penelitian yang dilakukan untuk merealisasikan sistem ini meliputi studi literatur, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi sistem, dan pengujian sistem.

3.1. Studi Literatur

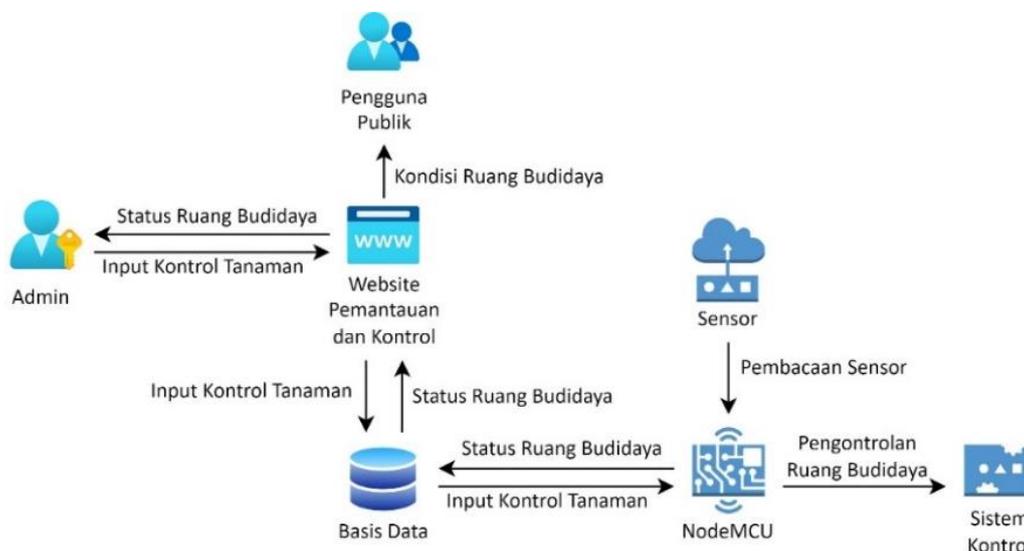
Studi literatur dilakukan untuk mencari teori dan dokumentasi pendukung. Literatur yang digunakan sebagai referensi didapatkan dari buku, jurnal, prosiding, maupun artikel yang berkaitan dengan budidaya tanaman selada dan pembangunan rumah hijau berbasis IoT. Hasil yang diperoleh dari tahap ini digunakan sebagai pendukung teori, definisi, dan acuan pembangunan sistem yang dilakukan dalam penelitian ini.

3.2. Analisis Kebutuhan

Tahap analisis kebutuhan dilakukan untuk menentukan kebutuhan sistem. Kebutuhan sistem dibagi menjadi dua yaitu kebutuhan perangkat keras dan kebutuhan perangkat lunak. Kebutuhan perangkat keras terdiri dari NodeMCU ESP32, sensor pH air analog versi 2, sensor *water level*, sensor *capacitive soil moisture*, dan sensor DHT11.

3.3. Perancangan Sistem

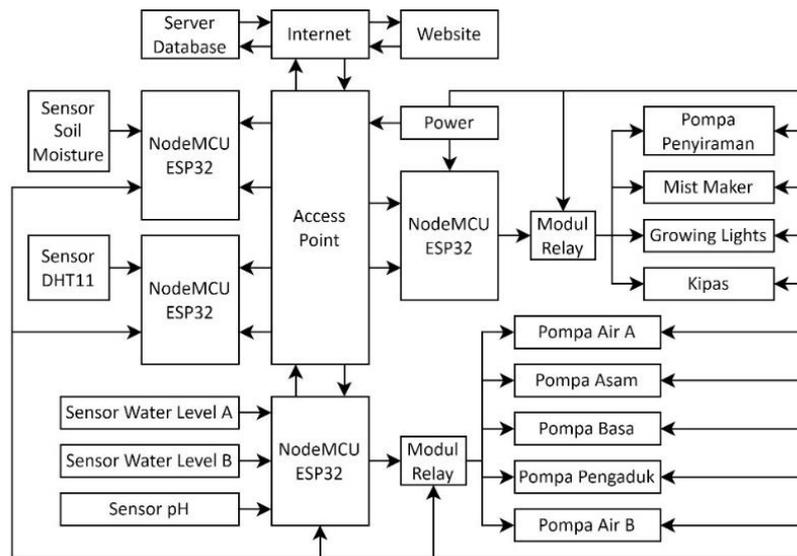
Pada tahap perancangan sistem dilakukan pembuatan rancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Sensor mengirimkan hasil pembacaan kepada NodeMCU. Hasil pembacaan tersebut kemudian diproses dan disimpan ke dalam basis data. Hasil pemrosesan dari NodeMCU digunakan untuk melakukan pengontrolan sistem di ruang budidaya serta dikirimkan ke dalam basis data untuk kemudian ditampilkan pada website. Terdapat 2 kategori pengguna yaitu pengguna publik dan admin. Pengguna publik dapat memantau kondisi ruang budidaya melalui *website*. Admin dapat memantau seluruh kondisi dan status di ruang budidaya serta memasukkan data berupa pengontrolan budidaya tanaman melalui *website*. Data pengontrolan tersebut disimpan ke dalam basis data dan dikirimkan kepada NodeMCU selaku pengendali sistem. NodeMCU akan mengendalikan sistem kontrol di ruang budidaya berdasarkan masukan perintah dari pengguna. Rancangan umum arsitektur sistem pemantauan dan kendali budidaya tanaman selada dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan Arsitektur Sistem Pemantauan dan Kendali Budidaya Selada

3.3.1. Perancangan Perangkat Keras

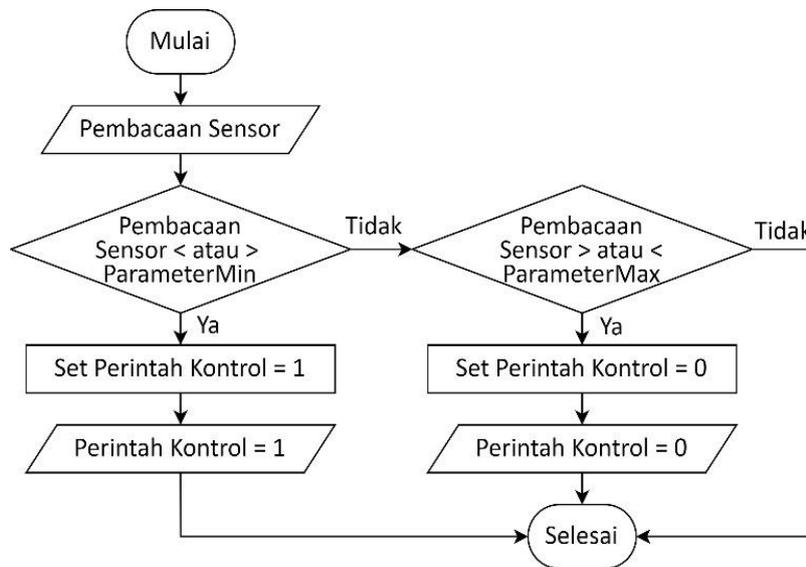
Perancangan perangkat keras terdiri dari sistem masukan dan keluaran. Terdapat 4 NodeMCU ESP32 yang digunakan. Masukan pada sistem terdiri dari sensor pH air analog, sensor *water level*, sensor *capacitive soil moisture*, dan sensor DHT11. Keluaran pada sistem terdiri dari pompa air A, pompa air B, pompa titrasi asam, pompa titrasi basa, pompa pengaduk, pompa penyiraman, kipas, *mist maker*, dan *growing lights*. Gambaran sistem masukan dan keluaran kendali budidaya selada dapat dilihat pada Gambar 2.



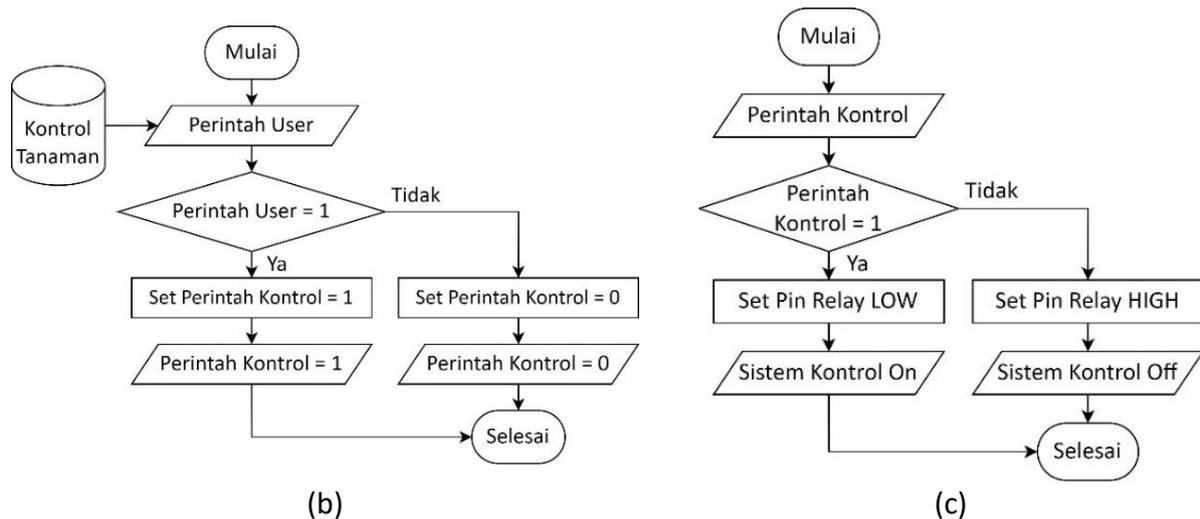
Gambar 2. Masukan dan Keluaran pada Sistem Pemantauan dan Kendali Budidaya Selada

3.3.2. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada NodeMCU ESP32 dilakukan untuk menentukan alur program yang bekerja pada perangkat NodeMCU ESP32. Nilai yang diperoleh dari pembacaan sensor dijadikan sebagai penentu keputusan dalam mengontrol perangkat keluaran dengan mengacu kepada batasan parameter pada Tabel 1. Pembatasan kondisi parameter adalah agar tanaman dapat memperoleh kondisi yang optimal untuk pertumbuhannya sehingga kualitas tanaman yang dihasilkan akan terjaga. Secara umum, alur kerja yang terjadi pada NodeMCU ESP32 dapat dilihat pada Gambar 3.



(a)



Gambar 3. Alur Kerja pada NodeMCU ESP32 (a) Alur Keputusan Pengontrolan Berbasis Sistem (b) Alur Keputusan Pengontrolan Manual (c) Alur Pengontrolan Sistem Kendali

3.4. Implementasi Sistem

Tahap implementasi sistem dilakukan berdasarkan rancangan program yang telah dibuat. Tahap ini mengimplementasikan perancangan yang telah dibuat ke dalam rangkaian perangkat dan kode-kode program. Langkah pertama yang dilakukan yaitu membangun perangkat keras. Setelah perangkat keras selesai dibangun, maka dilakukan pembangunan perangkat lunak untuk memprogram perangkat keras yang telah dibangun. Perangkat lunak tersebut terintegrasi dengan perangkat keras yang dibangun sehingga dapat melakukan pemantauan dan mengendalikan perangkat keras agar sistem dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan.

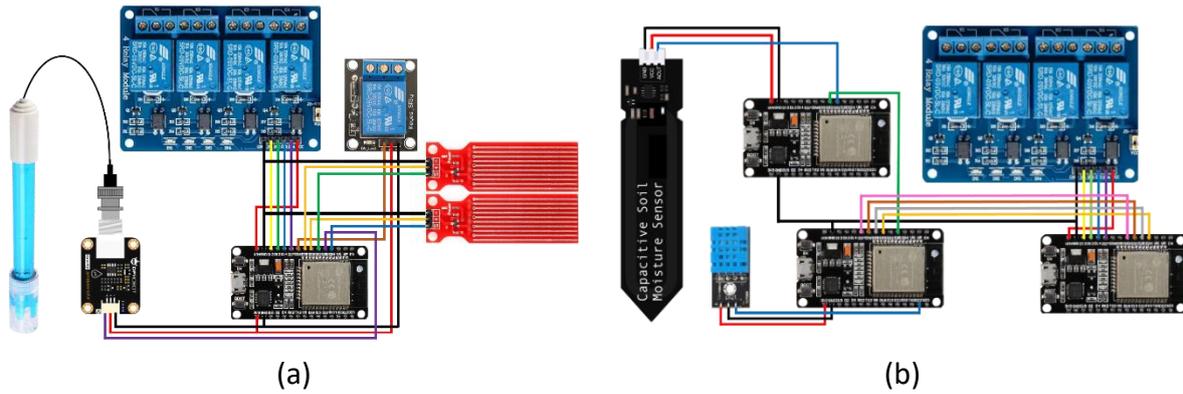
3.5. Pengujian Sistem

Pada tahap ini dilakukan sejumlah pengujian untuk memastikan apakah sistem yang telah dibangun dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan rancangan. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian alat dan kinerja sistem. Dilakukan juga pengujian perbandingan pertumbuhan selada selama 14 hari pengamatan dengan membandingkan selada hasil budidaya berbasis sistem dan manual.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras berupa proses perakitan komponen-komponen yang digunakan dalam sistem sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Implementasi perangkat keras yang dilakukan terdiri dari implementasi sistem air penyiraman dan sistem budidaya tanaman selada. Sistem penyiraman meliputi sistem pembacaan dan kontrol pH air serta sistem pembacaan dan kendali tinggi air. Sistem budidaya selada meliputi sistem pembacaan dan kendali kelembapan tanah, sistem pembacaan dan kendali suhu, sistem pembacaan dan kendali kelembapan udara, serta sistem kendali pencahayaan. Implementasi perangkat keras sistem pemantauan dan kendali budidaya tanaman selada dapat dilihat pada Gambar 4.

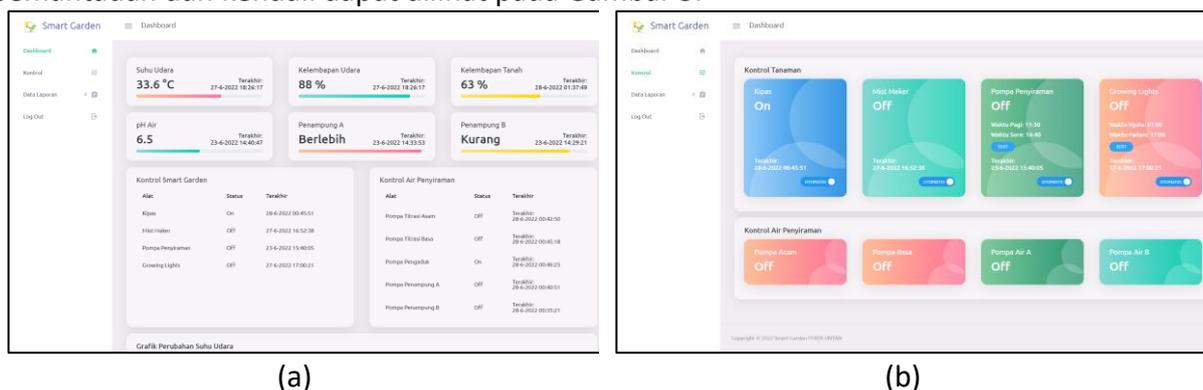


Gambar 4. Implementasi Perangkat Keras (a) Sistem Air Penyiraman (b) Sistem Budidaya Selada

Pengontrolan dapat dilakukan secara manual maupun otomatis melalui antarmuka *website*. Semua data hasil pembacaan sensor dan status pengontrolan sistem dikirimkan kepada *server* melalui jaringan internet agar pengguna dapat memantau hasil pembacaan sensor dan status pengontrolan sistem melalui *website*. Kondisi pH air, kelembapan tanah, suhu udara, kelembapan udara dan pencahayaan dapat dikendalikan menggunakan pompa titrasi, pompa penyiraman, kipas, *mist maker* dan *growing lights* berdasarkan parameter pada Tabel 1.

4.2. Implementasi Perangkat Lunak

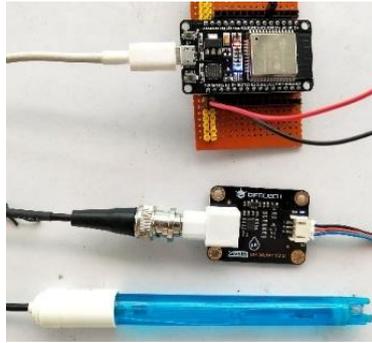
Implementasi perangkat lunak berupa proses pembuatan kode program untuk melakukan pemantauan dan kendali budidaya tanaman selada. Tampilan antarmuka *website* pemantauan dan kendali dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Antarmuka *Website* Pemantauan dan Kendali Budidaya Selada (a) Halaman *Dashboard* Pemantauan (b) Halaman Kendali

4.3. Pengujian Pembacaan pH Air

Pengujian pembacaan pH air dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor pH air analog versi 2 dengan hasil pembacaan alat ukur pH meter digital. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. NodeMCU yang digunakan untuk pembacaan pH dapat dilihat pada Gambar 6 dan hasil pengukuran pada Tabel 2. Rata-rata galat absolut hasil pengukuran pH air adalah 0,01 dengan rata-rata persentase galat 0,22%.



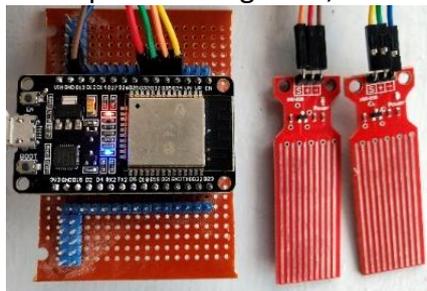
Gambar 6. Implementasi NodeMCU ESP32 Sistem Pembacaan Sensor pH Air

Tabel 2. Hasil Pengukuran Sensor pH Air Analog Versi 2 dan Alat Ukur pH Meter Digital

Pengukuran	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rata-rata
Sensor	2,48	5,94	2,51	2,52	4,82	4,86	12,63	8,29	6,96	7,05	5,806
Alat Ukur	2,47	5,91	2,51	2,53	4,82	4,9	12,62	8,3	6,95	7,04	5,805
Galat Absolut	0,01	0,03	0	0,01	0	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,013
Galat (%)	0,17	0,52	0	0,17	0	0,69	0,17	0,17	0,17	0,17	0,224

4.4. Pengujian Pembacaan Tinggi Air

Pengujian pembacaan ketinggian air dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor *water level* dengan hasil pembacaan alat ukur meteran. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. NodeMCU yang digunakan untuk pembacaan tinggi air dapat dilihat pada Gambar 7 dan hasil pengukuran pada Tabel 3. Rata-rata galat absolut hasil pengukuran tinggi air adalah 0,03 cm dengan rata-rata persentase galat 0,1%.



Gambar 7. Implementasi NodeMCU ESP32 Sistem Pembacaan Sensor *Water Level*

Tabel 3. Hasil Pengukuran Sensor *Water Level* dan Alat Ukur Meteran

Pengukuran	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rata-rata
Sensor (cm)	31,6	31,8	32,4	30,7	30,9	31,6	31,4	31,3	31,7	32,1	31,55
Alat Ukur (cm)	31,6	31,8	32,4	30,7	31	31,6	31,4	31,3	31,6	32	31,54
Galat Absolut (cm)	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0,1	0,1	0,03
Galat (%)	0	0	0	0	0,32	0	0	0	0,32	0,32	0,095

4.5. Pengujian Pembacaan Kelembapan Tanah

Pengujian pembacaan kelembapan tanah dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor *capacitive soil moisture* dengan hasil pembacaan alat ukur *soil meter*. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. NodeMCU yang digunakan untuk pembacaan kelembapan tanah dapat dilihat pada Gambar 8 dan hasil pengukuran pada Tabel 4. Rata-rata galat absolut hasil pengukuran kelembapan tanah adalah 0,9% SM dengan rata-rata persentase galat 1,86%.



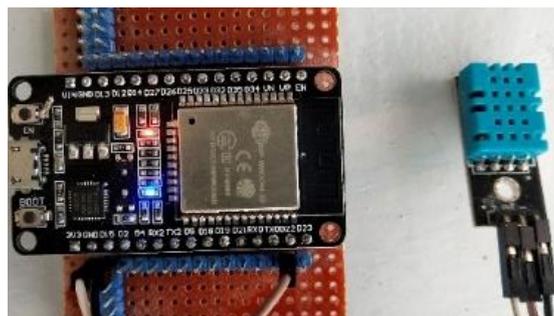
Gambar 8. Implementasi NodeMCU ESP32 Sistem Pembacaan Sensor *Capacitive Soil Moisture*

Tabel 4. Hasil Pengukuran Sensor *Capacitive Soil Moisture* dan Alat Ukur *Soil Meter*

Pengukuran	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rata-rata
Sensor (% SM)	40	50	20	80	70	45	55	60	30	35	48,5
Alat Ukur (% SM)	41	50	18	78	68	45	55	60	29	34	47,8
Galat Absolut (% SM)	1	0	2	2	2	0	0	0	1	1	0,9
Galat (%)	2,06	0	4,12	4,12	4,12	0	0	0	2,06	2,06	1,856

4.6. Pengujian Pembacaan Suhu Udara

Pengujian pembacaan suhu udara dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor DHT11 dengan hasil pembacaan alat ukur termometer digital. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. NodeMCU yang digunakan untuk pembacaan suhu udara dapat dilihat pada Gambar 8 dan hasil pengukuran pada Tabel 5. Rata-rata galat absolut hasil pengukuran suhu udara adalah 0,57 °C dengan rata-rata persentase galat 1,89%.



Gambar 8. Implementasi Sistem Pembacaan Suhu Udara Menggunakan DHT11 pada NodeMCU ESP32

Tabel 5. Hasil Pengukuran Suhu Udara Sensor DHT11 dan Alat Ukur Termometer Digital

Pengukuran	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rata-rata
Sensor (°C)	30,2	30,1	30	30	29,9	29,6	29,5	29,5	31	31,8	30,16
Alat Ukur (°C)	30,2	30,1	30,1	30,2	29	28,8	28,8	28,9	32,6	32,6	30,13
Galat Absolut (°C)	0	0	0,1	0,2	0,9	0,8	0,7	0,6	1,6	0,8	0,57
Galat (%)	0	0	0,33	0,66	2,98	2,65	2,32	1,99	5,31	2,65	1,89

4.7. Pengujian Pembacaan Kelembapan Udara

Pengujian pembacaan kelembapan udara dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor DHT11 dengan hasil pembacaan alat ukur higrometer digital. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. NodeMCU yang digunakan untuk pembacaan kelembapan udara sama seperti pengujian pengukuran suhu udara dan hasil pengukuran kelembapan udara pada Tabel 6. Rata-rata galat absolut hasil pengukuran kelembapan udara adalah 1,4% RH dengan rata-rata persentase galat 2,04%.

Tabel 6. Hasil Pengukuran Kelembapan Udara Sensor DHT11 dan Alat Ukur Higrometer Digital

Pengukuran	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rata-rata
Sensor (% RH)	69	69	70	70	70	70	71	68	64	64	68,5
Alat Ukur (% RH)	68	69	70	72	71	71	74	66	66	66	69,3
Galat Absolut (% RH)	1	0	0	2	1	1	3	2	2	2	1,4
Galat (%)	1,46	0	0	2,92	1,46	1,46	4,38	2,92	2,92	2,92	2,044

4.8. Pengujian Respon Modul Relay

Pengujian respon modul *relay* bertujuan untuk mengetahui waktu respon proses nyala atau padam pada sistem kipas, *mist maker*, pompa penyiraman, dan *growing lights*. Masing-masing pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan.

Tabel 7. Waktu Respon Proses Nyala dan Padam pada Modul Relay

No.	Kipas (Detik)		Mist Maker (Detik)		Pompa Penyiraman (Detik)		Growing Lights (Detik)	
	Nyala	Padam	Nyala	Padam	Nyala	Padam	Nyala	Padam
1.	9	8	6	12	4	9	5	5
2.	7	3	3	13	9	2	2	2
3.	1	7	9	15	10	6	6	3
4.	7	4	4	3	3	9	6	5
5.	3	6	10	5	2	6	3	9
6.	6	3	3	13	5	13	1	10
7.	7	7	2	2	9	9	3	7
8.	2	13	1	12	1	11	4	3
9.	2	12	1	3	7	10	8	9
10.	5	14	5	10	1	11	3	10

Rata-rata	4,9	7,7	4,4	8,8	5,1	8,6	4,1	6,3
Tercepat	1	3	1	2	1	2	1	2
Terlama	9	14	10	15	10	13	8	10

Berdasarkan Tabel 7, waktu respon tercepat yang diperoleh untuk menyalakan sistem kendali adalah 1 detik dan terlama adalah 10 detik. Waktu respon tercepat yang diperoleh untuk memadamkan sistem kendali adalah 2 detik dan terlama adalah 15 detik. Lama waktu respon bergantung pada kecepatan dan kestabilan kondisi internet di ruang budidaya dan siklus baris kode program yang sedang dieksekusi. Waktu respon untuk memadamkan sistem kendali lebih lambat karena terdapat baris program untuk menghitung durasi sistem kontrol.

4.9. Riwayat Pemantauan Kondisi Ruang Budidaya

Rata-rata kondisi ruang budidaya selama siang dan malam dalam 14 hari masa pengamatan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Riwayat Pemantauan Kondisi Ruang Budidaya

No.	Tanggal	Kelembapan Tanah (%)		Kelembapan Udara (%)		Suhu Udara (°C)	
		Siang	Malam	Siang	Malam	Siang	Malam
1.	30 April 2022	68,67	71,42	76,83	86,5	30,58	25,97
2.	1 Mei 2022	68,67	70,5	73,33	87,58	30,36	25,68
3.	2 Mei 2022	69,5	71,17	76,08	88,17	30,45	26,67
4.	3 Mei 2022	68,58	70,17	75,42	87,83	31,06	26,07
5.	4 Mei 2022	68,67	71,08	82	88,5	28,77	25,62
6.	5 Mei 2022	68,83	70,42	77,75	88	29,97	25,94
7.	6 Mei 2022	68,42	70,75	75,17	88,17	31,21	26,35
8.	7 Mei 2022	69,33	70,25	76,58	88,5	30,61	26,03
9.	8 Mei 2022	68,58	71,25	74,25	88,5	30,4	25,61
10.	9 Mei 2022	69,67	70,25	80,17	87,5	29,48	26,45
11.	10 Mei 2022	69,42	71,33	74,25	86,42	31,17	27,37
12.	11 Mei 2022	68,33	71	78,33	86,67	30,16	27,65
13.	12 Mei 2022	71,08	70,5	77,75	88,83	29,6	26,02
14.	13 Mei 2022	68,58	71,25	78,17	87,83	30,4	26,13
Rata-rata		69,02	70,81	76,86	87,79	30,3	26,25

Riwayat penyalakan sistem kendali selama 14 hari masa pengamatan di dalam ruang budidaya dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Riwayat Sistem Kendali Selama Masa Pengamatan 14 Hari

Durasi	Sistem Kontrol			
	Kipas	Mist Maker	Pompa Penyiraman	Growing Lights
Total	200j 25m 41d	143j 26m 57d	6j 23m 27d	140j 0m 53d
Rata-rata	14j 19m 11d	10j 14m 51d	0j 27m 40d	10j 0m 4d

Riwayat pemantauan kondisi ruang budidaya pada Tabel 8 menunjukkan bahwa selama 14 hari masa pengamatan, rata-rata menyala pengontrolan kipas adalah 14 jam 19 menit 11 detik setiap hari dan berhasil memenuhi suhu udara ideal pada malam hari dengan hasil 26,25 °C namun belum berhasil memenuhi suhu udara ideal pada siang hari dengan hasil 30,3 °C. Rata-rata menyala pengontrolan mist maker adalah 10 jam 14 menit 51 detik setiap hari berhasil memenuhi kelembapan udara ideal pada malam hari dengan hasil 87,79% RH namun belum

berhasil memenuhi kelembapan udara ideal pada siang hari dengan hasil 76,86% RH. Rata-rata menyala pengontrolan pompa penyiraman adalah 0 jam 27 menit 40 detik setiap hari berhasil memenuhi kelembapan tanah ideal sepanjang hari dengan hasil antara 69,02-70,81% SM. Rata-rata menyala pengontrolan growing lights adalah 10 jam 0 menit 4 detik setiap hari dan berhasil memenuhi kebutuhan sinar matahari ideal dengan hasil 10 jam.

4.10. Perbandingan Pertumbuhan Selada

Perbandingan kondisi tanaman selada menggunakan sistem yang dibangun dan secara manual dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan Kondisi Tanaman Selada Hasil Budidaya Berbasis Sistem dan Manual

No.	Tanggal	Sistem			Manual		
		Hidup	Layu	Mati	Hidup	Layu	Mati
1.	30 April 2022	10	0	0	10	0	0
2.	1 Mei 2022	10	0	0	10	0	0
3.	2 Mei 2022	10	0	0	10	0	0
4.	3 Mei 2022	10	0	0	10	0	0
5.	4 Mei 2022	10	0	0	9	0	1
6.	5 Mei 2022	10	0	0	9	0	1
7.	6 Mei 2022	10	0	0	8	1	1
8.	7 Mei 2022	10	0	0	7	1	2
9.	8 Mei 2022	10	0	0	5	3	2
10.	9 Mei 2022	10	0	0	5	2	3
11.	10 Mei 2022	10	0	0	5	2	3
12.	11 Mei 2022	10	0	0	5	0	5
13.	12 Mei 2022	10	0	0	5	0	5
14.	13 Mei 2022	10	0	0	5	0	5

Perbandingan pertumbuhan tanaman selada menggunakan sistem yang dibangun dan secara manual dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Perbandingan Pertumbuhan Tanaman Selada Hasil Budidaya Berbasis Sistem dan Manual

No.	Tanggal	Sistem				Manual			
		Subur	Sedang	Kurang	Tidak Ada	Subur	Sedang	Kurang	Tidak Ada
1.	30 April 2022	10	0	0	0	10	0	0	0
2.	1 Mei 2022	9	1	0	0	3	3	4	0
3.	2 Mei 2022	9	1	0	0	2	4	4	0
4.	3 Mei 2022	10	0	0	0	4	2	4	0
5.	4 Mei 2022	10	0	0	0	4	2	3	1
6.	5 Mei 2022	9	1	0	0	3	3	3	1
7.	6 Mei 2022	9	1	0	0	3	3	2	2
8.	7 Mei 2022	8	2	0	0	2	3	2	3
9.	8 Mei 2022	9	1	0	0	1	4	0	5
10.	9 Mei 2022	9	1	0	0	2	3	0	5
11.	10 Mei 2022	8	2	0	0	2	2	1	5
12.	11 Mei 2022	7	3	0	0	2	2	1	5

13.	12 Mei 2022	6	4	0	0	1	3	1	5
14.	13 Mei 2022	6	4	0	0	1	1	3	5

Berdasarkan Tabel 10 diketahui bahwa 100% tanaman selada yang dibudidayakan berbasis sistem dapat bertahan hidup selama 14 hari pengamatan, sedangkan 50% tanaman selada yang dibudidayakan secara manual mengalami kematian selama 14 hari pengamatan. Hasil pengamatan pada Tabel 11 menunjukkan bahwa tanaman selada yang dibudidayakan menggunakan sistem menggunakan sistem mengalami pertumbuhan yang subur sebesar 60% dan pertumbuhan sedang sebesar 40%. Berbanding terbalik dengan tanaman selada yang dibudidayakan secara manual hanya mengalami pertumbuhan yang subur sebesar 10% dan pertumbuhan sedang sebesar 10%, sisanya mengalami pertumbuhan kurang sebesar 30% dan sudah tidak mengalami pertumbuhan lagi karena layu atau mati sebesar 50%.

4.11. Analisis Faktor

Pengukuran intensitas cahaya diketahui bahwa pada budidaya selada secara manual tanaman yang berada di baris depan memperoleh intensitas cahaya sebesar 1734 lux dan tanaman selada yang berada di baris belakang memperoleh intensitas cahaya sebesar 627 lux. Tanaman selada memerlukan sinar matahari yang cukup untuk melakukan fotosintesis. Pada musim hujan, kesuburan tanaman selada dapat terganggu karena jumlah air yang diterima oleh tanaman selada berlebihan. Penyiraman selada sebaiknya dilakukan hanya di sekitaran akarnya saja, bukan mengenai daunnya. Tanaman selada yang dibudidayakan secara manual terpapar oleh air hujan dan tidak memperoleh sinar matahari yang cukup. Dari pengamatan yang dilakukan, pada hari ke-12 seluruh tanaman selada yang dibudidayakan secara manual di baris belakang telah mati dikarenakan kurangnya cahaya dan banyaknya air hujan yang terpapar. Sedangkan untuk budidaya selada menggunakan sistem, baik tanaman selada yang berada di baris depan maupun baris belakang memperoleh cahaya matahari yang cukup merata yaitu 2283 lux untuk di baris depan dan 2244 lux untuk di baris belakang, sehingga baik tanaman selada yang berada di bagian depan maupun bagian belakang dapat tumbuh lebih baik.

Terdapat 2 buah faktor yang memberikan pengaruh signifikan terhadap kesuburan budidaya tanaman selada, yaitu intensitas cahaya dan kelembapan tanah. Intensitas cahaya dibuktikan bahwa seluruh tanaman selada yang dibudidayakan secara manual di barisan belakang yang hanya memperoleh sedikit cahaya tidak mampu bertahan hidup hingga hari ke-12 pengamatan. Kelembapan tanah dibuktikan bahwa seluruh tanaman selada yang dibudidayakan menggunakan sistem dengan kelembapan tanah yang terkontrol mengalami pertumbuhan yang subur dan sedang. Namun kebanyakan selada yang dibudidayakan secara manual mengalami pertumbuhan yang kurang dan tidak ada pertumbuhan lagi. Oleh karena tanaman selada yang dibudidayakan secara manual sering terpapar oleh air hujan, maka kelembapan tanahnya menjadi terlalu tinggi. Kelembapan tanah yang terlalu tinggi ditambah dengan kurangnya intensitas cahaya untuk melakukan fotosintesis mengakibatkan akar dan batang tanaman mudah membusuk karena kelebihan kadar air, sehingga tanaman lebih mudah layu atau mati.

5. KESIMPULAN

Hasil pengamatan selama 14 hari menunjukkan bahwa tanaman selada yang dibudidayakan menggunakan sistem mengalami pertumbuhan yang subur sebesar 60% dan pertumbuhan sedang sebesar 40%, sedangkan tanaman selada yang dibudidayakan secara manual hanya mengalami pertumbuhan yang subur sebesar 10%, pertumbuhan sedang sebesar 10%,

pertumbuhan kurang sebesar 30% dan sudah tidak mengalami pertumbuhan lagi karena layu atau mati sebesar 50%. Faktor yang memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan tanaman selada adalah intensitas cahaya dan kelembapan tanah.

Sistem kendali kelembapan tanah dan intensitas cahaya dapat diterapkan sebagai solusi bagi para petani dalam melakukan budidaya selada menggunakan media tanah di ruang tertutup ketika musim pancaroba. Dengan adanya sistem ini, para petani tetap produktif dalam menghasilkan tanaman selada.

Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan menggunakan kombinasi media tanam dan kondisi lingkungan yang berbeda. Hal itu bertujuan untuk mengetahui kombinasi media tanam dan parameter lingkungan yang efektif untuk meningkatkan kualitas pertumbuhan tanaman selada.

REFERENSI

- [1] N. Lutfiani, F. P. Oganda, F. Agustin, Q. Aini, and U. Rahardja, "Desain dan Metodologi Teknologi Blockchain untuk Monitoring Manajemen Rantai Pasokan Makanan yang Terdesentralisasi," *InfoTekJar J. Nas. Inform. dan Teknol. Jar.*, vol. 5, no. 1, pp. 18–25, Sep. 2020.
- [2] Faridah, "Aplikasi Pengontrolan Kelembaban Tanah pada Smart Garden Menggunakan Sensor Soil Moisture," *J. Tek.*, vol. 17, no. 2, pp. 78–83, Dec. 2019.
- [3] Sudaryono, U. Rahardja, and E. P. Harahap, "Implementation of Information Planning and Strategies Industrial Technology 4.0 to Improve Business Intelligence Performance on Official Site APTISI," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, vol. 1179, no. 1, p. 012111, doi: 10.1088/1742-6596/1179/1/012111.
- [4] Solihin, D. Triyanto, and U. Ristian, "Sistem Monitoring pH Air dan Kontrol Pompa Air untuk Persiapan Penyiraman Tanaman Berbasis Internet of Things (Studi Kasus: Smart Garden FMIPA UNTAN)," *Coding J. Komput. dan Apl.*, vol. 9, no. 02, pp. 239–249, Oct. 2021.
- [5] Hendra, D. Triyanto, and U. Ristian, "Rancang Bangun Smart Green House Berbasis Internet of Things," *Coding J. Komput. dan Apl.*, vol. 9, no. 3, pp. 352–363, 2021.
- [6] G. M. Bonde, D. P. M. Ludong, and M. E. I. Najoran, "Smart Agricultural System in Greenhouse based on Internet of Things for Lettuce (*Lactuca sativa* L.)," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 10, no. 1, pp. 9–16, Jan. 2021.
- [7] E. P. Harahap, M. A. Ngadi, U. Rahardja, F. R. Azhari, and K. Zelina, "Internet of Things Based Humidity Control and Monitoring System," *Ilk. J. Ilm.*, vol. 13, no. 2, pp. 175–186, Aug. 2021, doi: 10.33096/ilkom.v13i2.852.175-186.
- [8] A. F. Anggriawan, D. Darlis, and A. Novianti, "Implementasi Smart Garden Watering pada Taman Asrama Universitas Telkom Berbasis Android Menggunakan Antares Database," in *e-Proceeding of Applied Science*, 2019, vol. 5, no. 2, pp. 1549–1558.
- [9] S. Sinaga, "Pengaruh Komposisi Media Tanam dan Frekuensi Penyiraman Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.)," Universitas Sumatera Utara, Medan, 2022.
- [10] S. V. Asprillia, "Pertumbuhan dan Produksi Selada (*Lactuca sativa* L.) pada Pemberian Berbagai Jenis Pupuk Organik," Universitas Diponegoro, 2017.
- [11] H. M. Ulfa, "Rancang Bangun Sistem Pengendali Suhu dan Kelembapan Tanah Bilik Tanaman Selada Berbasis IoT 'Perancangan Arduino untuk Pengendali Suhu dan Kelembapan Tanah pada Bilik Tanaman Selada,'" Politeknik Negeri Jakarta, 2021.
- [12] S. Z. Abidin, Oktavianus, and S. A. Adimihardja, "Pertumbuhan dan Produksi Varietas Selada (*Lactuca sativa* L) pada Berbagai Dosis Pupuk Organik Rumpun Laut," *J. Agronida*,

- vol. 3, no. 2, pp. 68–75, 2017.
- [13] D. A. Muktiawan and Nurfiana, "Sistem Monitoring Penyimpanan Kebutuhan Pokok Berbasis Internet of Things (IoT)," *Explor. J. Sist. Inf. dan Telemat. (Telekomunikasi, Multimedia, dan Inform.)*, vol. 9, no. 1, pp. 88–98, Jun. 2018.
- [14] H. Pamungkas, "Implementasi NodeMCU ESP8266 untuk Penghematan Energi Listrik Studi Kasus di Kontrakan Dr. Alik," Universitas Pelita Bangsa, Bekasi, 2020.
- [15] C. D. N. Tulle, "Monitoring Volume Cairan dalam Tabung (Drum Silinder) dengan Sensor Ultrasonik Berbasis Web," Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer AKAKOM, Yogyakarta, 2017.
- [16] Muliadi, A. Imran, and M. Rasul, "Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan ESP32," *J. Media Elektr.*, vol. 17, no. 2, pp. 73–79, 2020.
- [17] Somantri and C. Mamun, "Sistem Monitoring Pemeliharaan Tanaman Cabe Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Mobile Apps," *J. Indones. Sos. Teknol.*, vol. 2, no. 4, pp. 679–690, Apr. 2021.
- [18] J. Karangin, B. Sugeng, and Sulardi, "Uji Keasaman Air dengan Alat Sensor pH di STT Migas Balikpapan," *J. Kacapuri*, vol. 2, no. 1, pp. 65–72, 2019.
- [19] Husdi, "Monitoring Kelembapan Tanah Pertanian Menggunakan Soil Moisture Sensor FC-28 dan Arduino Uno," *Ilk. J. Ilm.*, vol. 10, no. 2, pp. 237–243, Aug. 2018.
- [20] M. F. Wicaksono, "Implementasi Modul WiFi NodeMCU ESP8266 untuk Smart Home," *Komputika J. Tek. Komput. Unikom*, vol. 6, no. 1, pp. 1–6, Sep. 2017.
- [21] H. Prasetyo, "Sistem Informasi Suhu, Cuaca, dan Polusi Udara Menggunakan Metode Neural Network di Taman Rekreasi Sengkaling Universitas Muhammadiyah Malang," Universitas Muhammadiyah Malang, Malang, 2018.