

**PROTOTIPE SISTEM PENYIRAMAN BERGERAK OTOMATIS
(*SLIDING SPRINKLER*) BERBASIS ARDUINO UNO DAN *SOIL
MOISTURE SENSOR***

(SKRIPSI)

Oleh
ARDIA BASKARA SOMA



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

**PROTOTYPE SISTEM PENYIRAMAN BERGERAK OTOMATIS
(*SLIDING SPRINKLER*) BERBASIS ARDUINO UNO DAN *SOIL
MOISTURE SENSOR***

Oleh

ARDIA BASKARA SOMA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRACT

THE PROTOTYPE OF AN AUTOMATIC MOVING IRRIGATION SYSTEM BASED ON ARDUINO UNO AND SOIL MOISTURE SENSOR

By

ARDIA BASKARA SOMA

Plant cultivation activities are inseparable from the process of watering plants from seed sowing to mature plants. Watering plants on a production scale requires technological adaptation to carry out the process effectively. Plants have specific environmental conditions for growth. Therefore, plants need to be monitored and controlled well during their growth phases utilizing technology. The main purpose of this utilization is to assist farmers in time and cost efficiency, thus facilitating conventional farmers in watering activities. Hence, assistance from automatic tools capable of monitoring and controlling soil moisture in the planting media is necessary. This research process involves building a prototype irrigation system that can move according to the sensor coordinate direction in the planting media. The research process includes designing the layout, constructing irrigation pathways, collecting soil moisture data, stability data, system response, and sensor accuracy. The process begins with hypothesis design and creating schematics of the current circuitry on the tools and components used, then connecting electronic devices to form a unified system capable of reading the moisture value of the planting media. Subsequently, the data is transmitted to the microcontroller, where the sensor-transmitted data becomes output in the form of irrigation directed towards sensors with low moisture content. This process is referred to as actuator.

This research has produced a prototype that can monitor and control the moisture level in the growing media by performing irrigation on a prototype or small scale. This prototype can be used for cultivating microgreens and seed germination. The humidity indicator can be viewed in real-time using a 16x2 LCD attached to the irrigation rack. This prototype is calibrated using the linear regression method and a soil analyzer calibrator tool, resulting in a coefficient of determination or R^2 of 0.9839 or 98.4%. After the calibration stage, the sensor validation process is conducted using the input of the previous calibration data, resulting in an R^2 value of 0.999 or 99%. The sensor validation results yield an average value of 9.0, indicating that this prototype can be used effectively. Sensor and temperature monitoring data are stored on an SD card installed in the system circuit and can be displayed on the LCD. The system response time of the tool, from off to on, requires an average time of 2.02 seconds based on the test results. The average time for monitoring and activating the actuator is 5.43 seconds.

Keywords: *microcontroller, irrigation system, prototype, microgreens.*

ABSTRAK

PROTOTIPE SISTEM PENYIRAMAN BERGERAK OTOMATIS (*SLIDING SPRINKLER*) BERBASIS ARDUINO UNO DAN *SOIL MOISTURE SENSOR*

OLEH

ARDIA BASKARA SOMA

Budidaya tanaman melibatkan proses penyiraman yang dimulai sejak penanaman benih hingga tanaman mencapai kematangan. Dalam konteks produksi yang besar, penyiraman tanaman membutuhkan penerapan teknologi yang sesuai untuk menjalankan prosesnya dengan efektif. Tanaman memiliki kondisi lingkungan tertentu untuk tumbuh. Oleh karena itu, tanaman perlu dimonitoring dan dikontrol dengan baik selama fase pertumbuhannya dengan pemanfaatan teknologi. Tujuan utama dari pemanfaatan ini adalah membantu petani dalam efisiensi waktu dan biaya sehingga dapat memudahkan petani konvensional dalam melakukan kegiatan penyiraman maka diperlukan bantuan dari alat otomatis yang dapat memonitoring dan mengontrol kelembaban tanah pada media tanam. Proses penelitian ini yaitu membangun prototipe sistem penyiraman yang dapat bergerak sesuai arah kordinat sensor pada media tanam. Proses penelitian ini yaitu membuat desain rancangan, membangun jalur penyiraman, pengambilan data kelengasan tanah, data stabilitas, respon sistem, dan akurasi sensor. Proses tersebut dimulai dengan hipotesis perancangan dan membuat skematik rangkaian arus pada alat dan komponen yang digunakan, kemudian menghubungkan perangkat elektronika menjadi satu kesatuan sistem yang dapat membaca nilai kelengasan media tanam,

kemudian data akan dikirim menuju mikrokontroler yang selanjutnya data yang dikirimkan sensor akan menjadi keluaran berupa penyiraman yang dapat bergerak menuju kordinat sensor yang memiliki kadar kelembaban yang rendah, proses ini disebut sebagai aktuator.

Penelitian ini menghasilkan alat yang dapat memonitoring dan mengontrol kadar kelengasan pada media tanam dengan melakukan penyiraman dengan skala prototipe atau kecil. Alat ini dapat digunakan untuk budidaya *microgreens* dan penyemaian. Indikator kelembaban dapat dilihat secara *realtime* dengan menggunakan lcd 16x2 yang terpasang pada rak penyiraman. Alat ini dikalibrasi menggunakan metode *regresi linear* dan alat kalibrator *soil analyzer* sehingga mendapatkan koefisien determinasi atau R^2 sebesar 0,9839 atau 98,4%. Setelah tahap kalibrasi selesai dilakukan proses validasi sensor dengan menggunakan inputan data kalibrasi sebelumnya sehingga didapat nilai R^2 sebesar 0,999 atau 99%. Hasil validasi sensor ini mendapatkan nilai rerata 9.0 dan dapat dikatakan bahwa alat ini bisa digunakan. Data monitoring sensor dan suhu tersimpan pada SD card yang dipasang pada rangkaian alat dan dapat ditampilkan pada LCD. Hasil respon sistem pada alat dari keadaan mati hingga hidup memerlukan waktu 2.02 detik dari rata rata pengujian. Hasil monitoring dan menghidupkan aktuator memiliki rata rata 5,43 detik.

Kata Kunci: mikrokontroler, irigasi sistem, prototipe, microgreen

Judul Skripsi

**PROTOTYPE SISTEM PENYIRAMAN
BERGERAK OTOMATIS (SLIDING
SPRINKLER) BERBASIS ARDUINO UNO
DAN SOIL MOISTURE SENSOR**

Nama Mahasiswa

Ardia Baskara Soma

No. Pokok Mahasiswa

2014071026

Jurusan

Teknik Pertanian

Fakultas

Pertanian



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM.
NIP. 197801022003121001

Ahmad Tusi, S.TP., M.Si., Ph.D.
NIP. 198106132005011001

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP. 19621010198902002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM.

Sekretaris

Ahmad Tusi, S.TP., M.Si., Ph.D.

Penguji

Bukan Pembimbing

Dr. Siti Suharyatun, S.TP., M.Si.

2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP. 196411181989021002

Tanggal lulus ujian skripsi: **02 April 2024**

PERNYATAAN HASIL KARYA

Saya Ardia Baskara Soma NPM 2014071026. Dengan ini menyatakan bahwa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM. dan Ahmad Tusi, S.TP., M.Si., Ph.D. berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 3 April 2024
Penulis,



Ardia Baskara Soma
NPM 2014071026

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Kembang Tanjung, Kecamatan Abung Selatan, Kabupaten Lampung Utara pada hari selasa, 09 Juli 2002. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara, putra dari Bapak Abdi Soleh Dermawan dan Ibu Menik Ambar Wati, kakak dari Ratu Vania Cayadewi dan Ardia Farid Attahalalah. Penulis memulai pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 06 Kelapa Tujuh dan lulus pada tahun 2014. Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 10 Kotabumi, lulus pada tahun 2017. Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Kotabumi, lulus pada tahun 2020. Pada tahun yang sama penulis diterima sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi di Organisasi Kemahasiswaan, tingkat Fakultas sebagai Staff Ahli Dewan Perwakilan Mahasiswa (DPM) Fakultas pertanian, Universitas Lampung periode 2022 dan tahun selanjutnya penulis menjadi bagian dari Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Pertanian, Universitas Lampung periode 2023 Sebagai Kepala Departemen Komunikasi dan Informasi. Penulis juga merupakan anggota organisasi dari Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (Permatep) Fakultas Pertanian, Universitas Lampung periode 2021 - sekarang.

Penulis aktif sebagai asisten dosen mata kuliah Elektronika Industri dan Gambar Teknik pada tahun 2023. Penulis mengikuti kegiatan MSIB pada program kampus merdeka pada tahun yang sama dengan tema pembelajaran *Java Android*

Developer. Penulis aktif mengikuti kegiatan pelatihan dan sertifikasi kompetensi meliputi *Junior Web Developer*, *Study of Data Science*, dan *Machine Learning*. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari pada bulan Januari – Februari 2023 di Desa Tanjung Agung, Kecamatan Pakuan Ratu, Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung. Penulis melaksanakan praktik umum (PU) di PTPN 7 Unit Way Berulu, Kabupaten Pesawaran dengan judul ”Studi Aspek Ergonomika pada Bengkel PTPN 7 Unit Way Berulu” Selama 40 hari pada bulan Juli – Agustus 2023.

الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ

**Segala puji bagi Allah SWT, sebagai wujud, kasih sayang, bukti tulus,
bentuk rasa bersyukur dari kerja keras dan doa dari setiap yang Engkau
ucapkan kupersembahkan Skripsi ini**

Kepada :

Orangtuaku

(Bapak Abdi Soleh Dermawan dan Ibu Menik Ambar Wati)

Serta Adikku

(Ratu Vania Cayadewi dan Ardia Farid Atallah)

SANWACANA

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah SWT yang telah memberikan banyak sekali kenikmatan, kesempatan, rahmat, dan hidayah sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “PROTOTIPE SISTEM PENYIRAMAN BERGERAK OTOMATIS (*SLIDING SPRINKLER*) BERBASIS ARDUINO UNO DAN *SOIL MOISTURE* SENSOR” yang merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Sholawat serta salam tak henti hentinya penulis haturkan kepada sosok tauladan yakni Nabi Muhammad SAW, yang tentunya kita nantikan syafaatnya di hari kiamat nanti.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis banyak mendapat masukan, bantuan, dorongan, bimbingan, dan saran dari berbagai pihak. Maka, dengan segala kerendahan penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si, selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
3. Bapak Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM. selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, saran, dan motivasi;
4. Bapak Ahmad Tusi, S.TP., M.Si., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan saran dan motivasi;

5. Ibu Dr. Siti Suharyatun, S.TP., M.Si, selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran dan kritik untuk perbaikan dalam penyelesaian skripsi ini;
6. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung atas segala ilmu, pengalaman serta bantuannya yang telah diberikan baik dalam perkuliahan atau yang lainnya;
7. Bapak Abdi dan Ibu Ambar yang telah mendidik, memberikan ndi semangat, doa dan kepercayaan dalam menimba ilmu dibangku perkuliahan;
8. Saudara penulis adik Ratu dan Farid yang sudah mendoakan kakak untuk menyelesaikan skripsi ini;
9. Sahabat penulis yaitu Faiza Anindya Putri, Azril Refanzah, Galih Kuncoro Jati, Hasan Hafidzul Wahyi, Anggun Clarisa Amalia, teman teman Bahrudin dan teman teman sesama PA yang telah memberikan bantuan dan motivasi;
10. Keluarga Teknik Pertanian 2020 Trenggana Sumapala yang telah kebersamai dari awal sampai akhir, yang selalu memberikan semangat, bantuan dan motivasi;
11. Serta semua pihak yang terlibat dalam proses penulisan skripsi ini;

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari masih belum sempurna. Karena itu, kritik dan masukan dari pembaca yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih, dan penulis berharap skripsi ini dapat berguna bagi penulis dan pembacanya.

Bandar Lampung, 3 April 2024
Penulis,

Ardia Baskara Soma

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Hipotesis	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Bayam Hijau	5
2.2 Manfaat <i>Microgreens</i> Bayam Hijau.....	6
2.3 <i>Microgreens</i>	7
2.3.1 Syarat Tumbuh <i>Microgreens</i>	8
2.3.2 Kondisi Lingkungan Tumbuhan <i>Microgreens</i>	8
2.4 Mikrokontroler	9
2.4.1 Arduino Uno R3.....	9
2.5 Sensor dan Aktuator.....	11

2.5.1. Sensor <i>Soil Moisture</i>	12
2.5.2. Sensor Suhu DHT22	13
2.5.3. Motor <i>Stepper</i> Nema-17	14
2.5.4. <i>Linear Rail</i>	16
2.5.5. Relay dan Pompa	16
2.6 Irigasi Sprinkler	18
2.7 Aplikasi Arduino IDE	19
III. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat	20
3.2 Alat dan Bahan	20
3.3 Prosedur Penelitian	20
3.4 Kriteria Desain	22
3.5. Perancangan	22
3.5.1. Perancangan Struktural	22
3.5.2. Perancangan Fungsional	26
3.5.3. Skematik Rangkaian	29
3.6. Uji Kinerja Alat	30
3.6.1. Uji Stabilitas	30
3.6.2. Respon Sistem	31
3.6.3. Akurasi	31
3.6.4. Kalibrasi dan Validasi	33
3.7. Analisis Data	34
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Skematik Rangkaian	36
4.1.1 Hasil Rancangan Prototipe Sistem Penyiraman Otomatis	38
4.1.2 Pemasangan Komponen	39

4.2 Kalibrasi dan Validasi Sensor	40
4.2.1 Kalibrasi Sensor Kelengasan Tanah	41
4.2.1.1 Kalibrasi <i>Soil Moisture Resistive</i>	42
4.2.1.2 Kalibrasi <i>Soil Moisture Capacitive</i>	44
4.2.2 Validasi Sensor <i>Soil Moisture</i>	45
4.3 Hipotesis Pembacaan Sensor	47
4.4 Pengujian Respon Sistem	47
4.5 Pengujian Stabilitas Prototipe Penyiraman	50
4.5.1 Stabilitas Sensor <i>Soil Moisture</i>	51
4.6 Pengujian Akurasi Sensor	53
4.7 Keseragaman Tetesan	55
V. KESIMPULAN.....	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN.....	63

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Spesifikasi Arduino Uno R3.	10
2. Spesifikasi sensor <i>soil moisture</i>	13
3. Spesifikasi sensor DHT22.....	14
4. Spesifikasi motor <i>stepper</i> nema-17.....	15
5. Spesifikasi <i>resistive</i> dan <i>capacitive soil moisture</i>	27
6. Spesifikasi <i>nozzle</i>	29
7. Koefisien korelasi.....	41
8. Kalibrasi tipe <i>resistive</i>	43
9. Kalibrasi tipe <i>capacitive</i>	44
10. Validasi tipe <i>resistive</i>	45
11. Uji respon sistem pembacaan sensor.....	49
12. Respon sistem aktuator.	50
13. Uji stabilitas sensor.	52
14. Uji analisis tahap 1 akurasi alat ukur	54
15. Uji analisis tahap 2 akurasi alat ukur	54
16. Kriteria tingkat keseragaman tetesan sistem irigasi tetes menurut ASAE.....	56
17. Data keseragaman tetesan air	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bayam hijau.....	6
2. Sayuran <i>microgreens</i>	7
3. Arduino Uno R3.....	11
4. <i>Soil moisture</i> sensor.....	12
5. Sensor suhu DHT22.....	14
6. Motor <i>stepper</i> Nema-17.....	15
7. <i>Linear rail</i>	16
8. Relay.....	17
9. Pompa.....	18
10. Logo aplikasi Arduino IDE.....	19
11. Diagram prosedur penelitian.....	21
12. Desain prototipe.....	23
13. Desain prototipe tampak depan.....	23
14. Desain prototipe tampak samping.....	23
15. Diagram alir sistem monitoring.....	24
16. Diagram alir sistem aktuator.....	25
17. Jenis sensor <i>soil moisture resistive</i> dan <i>capacitive</i>	27
18. Tipe <i>nozzle</i>	29
19. Grafik sistem stabil dan tidak stabil.....	31
20. Grafik respon sistem.....	32
21. Tata letak wadah penampung.....	35
22. Layout skematik rangkaian pada aplikasi <i>Fritzing</i>	36
23. Diagram skematik rangkaian pada aplikasi <i>Eagle</i>	37

24. Hasil rancangan prototipe.	39
25. Pemasangan komponen prototipe	40
26. Pengambilan data kalibrasi sensor kelengasan tanah.....	42
27. Grafik kalibrasi <i>resistive soil moisture</i> sensor	43
28. Grafik kalibrasi <i>capacitive soil moisture</i> sensor	44
29. Grafik validasi <i>resistive soil moisture</i> sensor	46
30. Uji respon sistem.....	48
31. Analisis tahap 2 keakurasian prototipe	55

Lampiran

32. Jarak jalur penyiraman	65
33. Algoritma kalibrasi dan validasi sensor	65
34. Logika sistem aktuator	66
35. Rancangan awal prototipe	67
36. Rangkaian awal prototipe.....	67
37. Pengukuran kelembaban tanah.....	68
38. Pengukuran uji kalibrasi.....	68
39. Pengukuran uji kalibrasi lanjutan.....	69
40. Pengukuran uji akurasi.....	69
41. Rangkaian akhir prototipe	70
42. Rancangan akhir prototipe	70
43. Rancangan akhir prototipe sistem penyiraman	71
44. Rancangan akhir prototipe tampak atas	71
45. Sensor dan nozzle.....	72
46. Wadah penampung.....	72
47. Desain tampak samping dan ukuran	73
48. Desain tampak depan dan ukuran	73
49. Desain tampak atas.....	74
50. Desain prototipe by Autocad 2021	74
51. Komponen <i>linear rail v-slot</i> 2020.....	75

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tumbuhan merupakan makhluk hidup yang memerlukan air untuk kelangsungan hidupnya. Tingkat kesuburan dapat diukur berdasarkan seberapa banyak air yang tersedia pada tanaman. Oleh karena itu, menjaga tanaman dengan cara menyiramnya dianggap penting karena tanaman memerlukan pasokan air yang cukup agar proses fotosintesis bisa berjalan dengan baik untuk memenuhi pertumbuhan dan perkembangannya. Selain itu, ketersediaan air yang cukup juga berperan penting dalam pertumbuhan tanaman, karena air memengaruhi kelembaban tanah. Meskipun demikian, saat ini manusia masih menghadapi kesulitan dalam hal penyiraman, karena harus dilakukan secara manual dan sulit mengetahui seberapa banyak air yang diperlukan oleh tanaman. Pasokan air yang tidak memadai dapat mengakibatkan produktivitas tanaman tidak akan mencapai tingkat maksimal.

Seiring dengan perkembangan zaman dan gaya hidup masyarakat yang mulai menerapkan pola hidup sehat, banyak orang yang mulai mengonsumsi sayuran segar yang kaya akan nutrisi (Widiwurjani et al. 2019). Namun, kurangnya lahan untuk pertanian saat ini disebabkan oleh meningkatnya kebutuhan pemukiman sebagai salah satu dampak dari peningkatan jumlah penduduk. Untuk memenuhi kebutuhan gizi masyarakat, salah satu solusinya adalah dengan mengadopsi inovasi urban gardening dan membudidayakan *microgreens* (Febriani et al. 2019).

Microgreens adalah jenis sayuran kecil atau tumbuhan muda yang dapat dimakan dengan tekstur yang lembut. Jenis sayuran kecil ini berasal dari biji-bijian

berbagai spesies sayuran, tanaman herbal aromatik, atau spesies liar yang dapat dimakan. Menurut Salim (2021), waktu panen *microgreens* tergantung pada spesies yang ditanam, namun secara umum dapat dipanen pada umur 7-21 hari setelah perkecambahan saat kotiledonnya terbuka dan mulai tumbuh daun pertama secara penuh. Pemanenan *microgreens* cukup dengan memotong tanaman tersebut tepat di atas permukaan medium pertumbuhannya dengan panjang sekitar 3-9 cm tanpa akar.

Perkembangan teknologi yang begitu pesat membuat aktifitas manusia semakin mudah terkhusus dibidang pertanian. Oleh karena itu, peneliti berkeinginan untuk membangun sebuah prototipe sistem penyiram tanaman secara otomatis berbasis Arduino. Alat ini dibuat guna membantu petani menyiram tanaman yang sebelumnya secara manual menjadi otomatis dengan sensor kelembaban tanah, pompa dan mikrokontroler. Sehingga ukuran kelembaban tanah disesuaikan berdasarkan kebutuhan air tanaman. Alat ini disertai dengan LCD (*Liquid Cristal Display*) yang berfungsi untuk memonitoring kondisi tanah, lembab atau kering sesuai dengan hasil dari sensor yang berbentuk nilai pada LCD. Alat ini dapat berguna bagi petani, dikarenakan petani tidak repot lagi dalam melakukan aktifitas seperti ini secara manual setiap waktunya, oleh karena itu penelitian ini dapat digunakan oleh individu yang gemar menanam di dalam, baik *indoor* ataupun *outdoor* dan bercocok tanam di pekarangan kecil. Pengembangan sistem ini diawali dengan menggunakan prototipe alasannya adalah dalam pengujian sistem metode prototipe hanya menggunakan bahasa program sederhana dan metode prototipe sangat cocok untuk sistem ini yang ruang lingkupnya hanya berskala kecil.

Penyiraman otomatis merupakan sebuah bentuk pengendalian tanaman dalam melakukan proses penyiraman secara konvensional menjadi otomatis dengan bantuan beberapa komponen elektronika seperti sensor, pompa, dan mikrokontroler yang dibangun menjadi satu kesatuan sebuah sistem sehingga dapat menghasilkan *output* atau keluaran berupa penyiraman tanaman. Salah satu metode penyiraman yang memiliki efisiensi cukup tinggi yaitu metode irigasi curah, dimana pada metode ini debit air dapat diatur dan memiliki tekanan

sehingga air dapat menyebar pada media tanam. Namun, penyiraman masih belum dapat menyebar luas jika hanya menggunakan metode irigasi curah karena hanya memiliki batasan cakupan tertentu. Selanjutnya, perlu dibangun sebuah jalur penggerak untuk mengarahkan *nozzle* pada irigasi *sprinkler* menuju titik kordinat media tanam yang ingin disiram.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam hal ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sebuah sistem penyiraman otomatis dengan menggunakan metode irigasi *sprinkler* ?
2. Bagaimana merancang komponen elektronika dan membangun jalur penyiraman ?
3. Bagaimana merancang sebuah sistem penyiraman otomatis yang dapat bergerak sesuai arah kordinat ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Membuat desain rancangan sistem penyiraman otomatis irigasi bertekanan yang dapat bergerak sesuai arah kordinat media tanam.
2. Melakukan pengujian pada alat seperti uji akurasi, stabilitas, respon sistem, dan keseragaman tetesan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi pada kegiatan budidaya dalam melakukan penyiraman. Sehingga dapat memberikan kontribusi pada ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya pada budidaya *microgreens* yang berbasis kontrol otomatis dengan menggunakan Arduino Uno R3 dan irigasi curah agar penyiraman yang dilakukan dapat lebih efisien dalam penggunaan air. Harapannya prototipe sistem penyiraman otomatis ini dapat membantu masyarakat yang ingin melakukan budidaya tanaman namun tidak

memiliki lahan yang cukup serta memiliki kesibukan sehingga tidak memiliki waktu untuk melakukan penyiraman secara manual.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pelaksanaan uji kinerja pada sistem penyiraman otomatis meliputi uji stabilitas, uji akurasi, respon sistem dan keseragaman tetesan.
2. Parameter lain seperti perawatan dan pemantauan perkembangan tanaman tidak dilakukan pada penelitian ini.
3. Sensor yang digunakan adalah *soil moisture* dan sensor suhu DHT 22.

1.6 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah perancangan prototipe sistem penyiraman tanaman *microgreens* pada sayuran bayam hijau dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno, aktuator pompa air dan selang yang diujungnya terdapat *nozzle* untuk memecah air menjadi atomisasi pada tanaman yang dapat bergerak sesuai *tray* yang memiliki kelembaban dibawah parameter yang ditentukan. Selain itu penyiraman otomatis ini dapat memaksimalkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang dibudidayakan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bayam Hijau

Bayam hijau atau (*Amaranthus hybridus* L.) merupakan tumbuhan yang biasa ditanam untuk dikonsumsi daunnya sebagai sayuran hijau. Tumbuhan ini dikenal sebagai sayuran sumber zat besi yang penting. Bayam merupakan tumbuhan yang berasal dari Amerika tropic, namun kini sudah tersebar di daerah tropis dan subtropis seluruh dunia. Di Indonesia, bayam dapat tumbuh sepanjang tahun tumbuh di daerah panas dan dingin, tetapi sayuran ini tumbuh lebih subur di dataran rendah pada lahan terbuka yang udaranya tidak panas (Dalimarta, 2006).

Bayam membutuhkan banyak air, sehingga cocok ditanam pada awal musim penghujan. Namun, bayam juga dapat ditanam pada awal musim kemarau pada tanah yang gembur dan subur. Penanaman bayam di lahan yang luas memerlukan pengadaan air yang bisa didapatkan dengan mengalirkan air melalui parit yang ada di antara bedengan. Bentuk dari tanaman bayam hijau ini di tampilkan pada Gambar 1.

Kingdom : Plantae
Divisi : Magnoliophyta
Sub Divisi : Magnoliopsida
Kelas : Caryophyllales
Ordo : Amaranthaceae
Famili : Amaranthus
Genus : *Amaranthus*
Spesies : *Amaranthus hybridus* L.



Gambar 1. Bayam hijau.
(Sumber : Saparinto, 2013)

2.2 Manfaat *Microgreens* Bayam Hijau

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Saparinto (2013), *Microgreens* bayam hijau memiliki banyak nutrisi seperti vitamin dan mineral yang baik untuk tubuh. Vitamin yang banyak terdapat pada *microgreens* bayam hijau yaitu vitamin A, vitamin C, vitamin B kompleks, vitamin K, dan vitamin E. Sedangkan mineral-mineral utama yang dimiliki *microgreens* bayam hijau adalah magnesium, zat besi, asam folat, kalsium, potasium, dan sodium. *Microgreen* bayam hijau juga mengandung banyak serat, klorofil, dan antioksidan. Selain itu, *microgreens* bayam hijau mengandung sedikit kalori dan lemak. Hal ini sangat baik untuk kebutuhan nutrisi pada tubuh.

Mengonsumsi *microgreens* bayam hijau memiliki banyak manfaat, yaitu dapat mengurangi radang dan meningkatkan sistem kekebalan tubuh, serta dapat mencegah anemia, *microgreens* bayam hijau merupakan salah satu sumber asupan zat besi yang baik untuk dapat mencegah anemia, menurunkan resiko penyakit kardiovaskular dan kanker, serta menurunkan resiko menderita penyakit kardiovaskular.

2.3 *Microgreens*

Microgreen adalah tanaman muda usia 7-14 hari yang dipanen lalu dikonsumsi. Kelebihan dari *microgreen* adalah mudah untuk dirawat, tidak memakan tempat, dan waktu panen yang cepat serta mempunyai nutrisi yang lebih baik dibanding tanaman dewasa. Salah satu komoditas yang sering digunakan untuk membuat *microgreens* adalah bayam hijau. Bayam hijau adalah salah satu sayuran yang kaya akan serat dan vitamin yang tentu apabila dimakan dalam bentuk *microgreens* akan semakin menambah nutrisinya. Berdasarkan penelitian Xiao et al. (2012), *microgreens* memiliki kandungan nutrisi dan vitamin yang jauh lebih tinggi, mencapai hingga 40 kali lipat dibandingkan dengan tanaman dewasa. Selain itu, hampir semua jenis *microgreens* memiliki kemampuan untuk menghasilkan senyawa bioaktif seperti asam askorbat, phyloquinone, tocopherols, karotenoid, vitamin, mineral, dan antioksidan dalam jumlah yang lebih tinggi daripada sayuran yang sudah dewasa atau matang sepenuhnya. Bentuk dari tumbuhan *microgreens* terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sayuran *microgreens*.

(Sumber : Anonim, 2017)

2.3.1 Syarat Tumbuh *Microgreens*

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nuni et al. (2022), faktor-faktor penting yang perlu diperhatikan agar tanaman ini dapat tumbuh dengan baik. Pertama-tama, *microgreens* membutuhkan media tanam yang bersih dan steril untuk mencegah infeksi dan gangguan pertumbuhan. Tanaman ini memerlukan air yang cukup, tetapi perlu dihindari genangan air yang dapat menyebabkan penyakit dan akar busuk. Selain itu, pemupukan dengan nutrisi yang tepat pada tahap awal pertumbuhan juga perlu dilakukan untuk memastikan *microgreen* mendapatkan semua nutrisi yang dibutuhkan (*optional*). Terakhir, pengawasan yang cermat terhadap kondisi *microgreens*, termasuk pemantauan rutin dan pengendalian hama serta penyakit, sangat penting untuk mendapatkan hasil yang sehat dan berkualitas. Berdasarkan pengamatan penelitian Salim (2021), penyimpanan benih *microgreens* perlu diperhatikan untuk menjaga kualitas benih dengan cara menyimpan benih pada suhu dan kelembaban rendah pada lingkungan yang terkontrol. Dengan memenuhi semua syarat ini, pertumbuhan *microgreens* dapat berhasil dan menghasilkan tanaman yang lezat dan bergizi.

2.3.2 Kondisi Lingkungan Tumbuhan *Microgreens*

Lingkungan tumbuhan *microgreens* memengaruhi pertumbuhannya secara signifikan melalui sejumlah faktor penting. Pertama-tama, menjaga suhu lingkungan pada rentang 20-25 derajat Celsius yang nyaman sangat diperlukan bagi sebagian besar jenis *microgreens*. Pencahayaan menjadi elemen penting dalam proses pertumbuhan ini; idealnya, *microgreen* membutuhkan paparan sinar matahari langsung selama 4-6 jam per hari, namun, lampu tumbuh bisa menjadi alternatif jika sinar matahari alami tidak mencukupi. Menurut Pinto (2015), air yang digunakan untuk menyiram sayuran *microgreens* memiliki pH antara 5,6 – 6,5. Budidaya *microgreens* perlu menjaga kelembaban media tanam. Kelembaban yang ideal adalah sekitar 50%, dan sebaiknya tidak kurang dari 30% atau lebih dari 80% (Putri, 2023).

2.4 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah IC didesain untuk mengatur operasi tertentu dalam sistem tersemat. Biasanya, komponen ini terdiri dari unit pemrosesan, memori, dan peripheral input/output yang terdapat dalam satu chip tunggal.

Mikrokontroler juga dikenal sebagai pengendali tertanam atau unit pengontrol mikrokontroler. Penggunaan mikrokontroler mencakup berbagai aplikasi, seperti pada kendaraan, robot, peralatan kantor, perangkat medis, pemancar radio bergerak, mesin penjual otomatis, dan peralatan rumah tangga. Saat ini, beberapa mikrokontroler telah terintegrasi dengan komponen elektronik lainnya, memungkinkannya digunakan secara fleksibel untuk berbagai keperluan. Salah satu contohnya adalah platform mikrokontroler Arduino. Upaya yang dapat dilakukan untuk pemberian irigasi salah satunya adalah dengan menggunakan sistem otomatisasi berbasis mikrokontroller untuk melakukan penyiraman sesuai dengan kebutuhan air tanaman (Candra, 2015).

2.4.1 Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 merupakan salah satu produk papan kendali dengan merek Arduino yang pada dasarnya adalah sebuah papan elektronik yang dilengkapi dengan mikrokontroler ATmega328 (sebuah chip yang berfungsi seperti sebuah komputer dalam hal fungsionalitas). Papan ini dapat digunakan untuk merancang berbagai rangkaian elektronik, mulai dari yang sederhana hingga yang kompleks. Dari mengendalikan lampu LED hingga mengatur robot, semuanya dapat diwujudkan dengan menggunakan papan ini, dengan ukuran yang relatif kecil. Bahkan, dengan penambahan komponen tambahan tertentu, pengembang dapat menggunakan papan ini untuk memonitoring dan mengontrol kondisi suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya (B. Gustomo, 2015). Mikrokontroler pada board arduino karena memiliki banyak keunggulan dalam penerapannya. Dalam menguji akuisisi dan pengukuran data dari sistem kontrol dalam perancangan teknologi tepat guna di bidang pertanian (Mareli et al, 2019). Berikut ini adalah kelebihan dari Arduino Uno :

1. Arduino Uno merupakan perangkat yang bersifat *open source* hal ini memudahkan pengguna untuk melakukan prototipe untuk melakukan uji coba merangkai sistem pada alat dan komponen yang tersedia.
2. Dapat diprogram dengan aplikasi Arduino IDE dengan syntax program beserta *library* yang terdapat banyak di forum Arduino di internet.
3. Pin yang *compatible*. Memudahkan pengguna untuk melakukan project uji coba dengan module yang sanngat banyak.
4. Memiliki *boatloader* sendiri. *Boatloader* Arduino adalah suatu fitur yang memungkinkan pengembang untuk memasukan program dari komputer ke papan Arduino
5. Software-nya bisa dijalankan pada berbagai sistem operasi komputer. software Arduino IDE, kini sudah dapat dijalankan pada berbagai jenis sistem operasi pada komputer seperti Windows, Macintosh dan Linux.

Spesifikasi yang terdapat dalam Mikrokontroller Arduino Uno R3 ini dapat ditampilkan pada Tabel 1 dengan bentuk yang dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 1. Spesifikasi Arduino Uno R3

No	Bagian	Keterangan
1	Mikrokontroler	ATMega328
2	Tegangan pengoperasian	3.3V dan 5V
3	Digital I/O Pins	14 pin (6 pin pmw)
4	Analog <i>input pins</i>	6 pin (A0-A6)
5	Tipe konektor	USB
6	<i>Flash memory</i>	32 KB
7	Dimensi	7cm x 5,4cm x 1,5cm
8	<i>Clock speed</i>	16 Mhz

(Sumber: Elga, 2023)



Gambar 3. Arduino Uno R3.
(Sumber : Arduino.biz 2023)

2.5 Sensor dan Aktuator

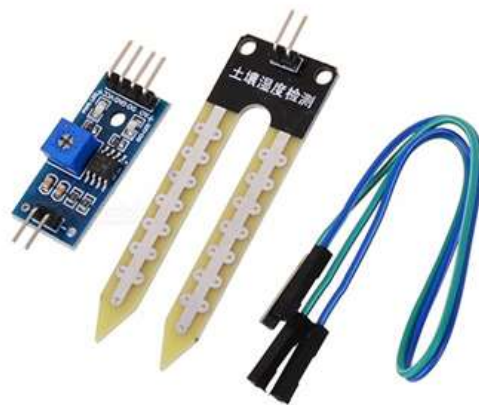
Sensor merupakan sebuah transduser yang dapat berfungsi untuk mengolah variasi gerak, panas, cahaya atau sinar, magnetis, dan kimia yang menjadi tegangan serta arus listrik. Sensor sendiri adalah komponen paling penting pada peralatan elektronik. Sensor dapat berfungsi sebagai alat yang dapat mendeteksi serta untuk mengetahui besar magnitude (Bambang, 2017). Transduser dapat berarti sebagai mengubah yang merupakan resapan dari bahasa latin *traducere*. Bentuk dari perubahan yang dimaksud adalah kemampuan suatu alat yang dapat merubah suatu energi kedalam bentuk energi yang lain. Energi yang diolah berfungsi sebagai alat penunjang dari piranti atau peralatan yang menggunakan sensor tersebut. Sensor dapat digunakan sebagai alat tambahan untuk mendeteksi energi yang diukur. Sensor yang umum digunakan pada rangkaian elektronik antara lain sensor cahaya, sensor suhu, sensor tekanan, dan masih banyak lagi (Situmorang, 2018).

Aktuator adalah sebuah perangkat atau komponen dalam sistem yang bertugas untuk mengubah energi listrik, hidraulis, atau mekanis menjadi gerakan fisik atau tindakan tertentu. Aktuator bekerja sebagai respons terhadap sinyal atau instruksi yang diterima dari sistem pengendalian atau pengawasan (Agus, 2023).

2.5.1. Sensor *Soil Moisture*

Sensor Kelembaban Tanah adalah modul yang digunakan untuk mendeteksi tingkat kelembaban dalam tanah dan dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti Arduino. Modul ini berguna dalam berbagai aplikasi seperti pertanian, perkebunan, dan sistem hidroponik dengan menggunakan media hidroton. Penggunaan Sensor Kelembaban Tanah dapat mencakup implementasi sistem otomatis penyiraman atau pemantauan tingkat kelembaban tanah pada tanaman, baik secara langsung maupun melalui jaringan online. Produk sensor yang tersedia di pasaran umumnya terdiri dari dua komponen dalam satu paket, yaitu sensor yang bertugas mendeteksi kelembaban dan modul elektronik yang berfungsi sebagai penguat sinyal.

Soil Moisture Sensor (Sensor YL) adalah sebuah jenis sensor yang fungsinya adalah untuk mengukur kelembaban tanah, prinsip operasinya adalah mendeteksi kelembaban di sekitar tanah, meskipun secara teknis sensor ini tidak dapat mendeteksi kelembaban tanah (Rikie, 2019). Bentuk dari sensor *soil moisture* pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 4 dengan spesifikasi sensor yang dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 4. *Soil moisture* sensor.

(Sumber : Sktechworks, 2023)

Tabel 2. Spesifikasi Sensor *Soil Moisture*

No	Bagian	Keterangan
1	Vin	DC 3V-5V
2	Arus	< 20 mA
3	Output	Analog 0 ~2,3V
4	Definisi pin	Pin 1 A0, 2 VCC, 3 GND

(Sumber: Depoinovasi, 2023)

2.5.2. Sensor Suhu DHT22

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Arif (2014), Sensor DHT22 adalah perangkat yang bisa mengukur suhu dan kelembaban dengan hasil keluaran berupa sinyal digital. DHT22 ini memiliki pengaturan yang sangat akurat, dengan suhu ruangan yang dapat diatur melalui nilai yang tersimpan dalam memori OTP terpadu. Selain itu, sensor DHT22 juga memiliki rentang pengukuran suhu dan kelembaban yang sangat luas. Bahkan, sensor ini dapat mengirimkan sinyal keluaran melalui kabel dengan panjang hingga 20 meter, memungkinkannya ditempatkan jauh dari titik pengukuran yang diinginkan. Sensor ini sering digunakan untuk mengawasi suhu dan kelembaban di dalam ruangan seperti kandang, kamar, gudang, dan tempat lainnya. Selain itu, sensor DHT22 juga bisa digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban udara di luar ruangan. Penelitian ini menggunakan jenis sensor suhu DHT22 yang ditampilkan pada Gambar 5 dengan spesifikasi sensor yang dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 5. Sensor suhu DHT22.

(Sumber : Components101, 2018)

Tabel 3. Spesifikasi Sensor DHT22

No	Bagian	Keterangan
1	Tegangan operasi	3.3V dan 5V
2	Output	Serial data
3	Batas temperature	-40°C - 80 °C
4	Batas kelembaban	0% - 100%
5	Akurasi	±0.5°C and ±1%
6	Arus	0.3mA – 60uA
7	Resolusi	16-bit
8	Pin	1 Vcc, 2 Data, 3 GND

(Sumber: Components 101, 2018)

2.5.3. Motor Stepper Nema-17

Motor *stepper* merupakan varian motor listrik yang secara spesifik didesain untuk bergerak dalam langkah-langkah diskrit atau sudut tertentu. Kemampuan utamanya adalah memungkinkan pengendalian posisi akurat pada poros keluaran tanpa memerlukan umpan balik posisi eksternal, seperti penggunaan *encoder*, karena motor *stepper* secara alamiah bergerak dalam langkah-langkah yang telah ditentukan sebelumnya.

Motor *stepper* NEMA 17 merupakan varian motor *stepper* yang sering ditemui dalam beragam aplikasi seperti pencetakan 3D, mesin CNC (Computer Numerical Control), printer, robotika, dan berbagai penggunaan lainnya. Label "NEMA 17" mengacu pada standar dimensi yang diperkenalkan oleh National Electrical Manufacturers Association (NEMA) di Amerika Serikat. Penelitian ini menggunakan jenis motor *stepper* nema-17 yang ditampilkan pada Gambar 6 dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 6. Motor *Stepper* Nema-17
(Sumber : Anonim, 2018)

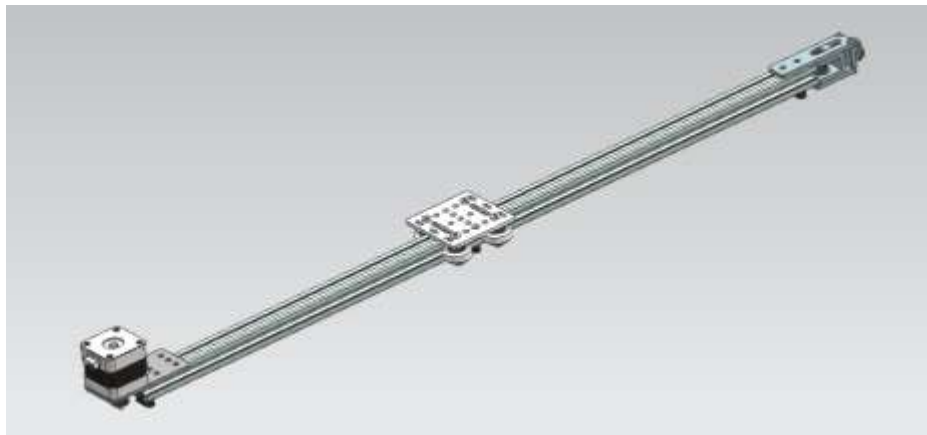
Tabel 4. Spesifikasi Motor *Stepper* Nema-17

No	Bagian	Keterangan
1	Torsi	0,3 dan 0,6 Nm
2	Jumlah langkah	200 langkah per-putaran
3	Kecepatan rotasi	500 – 3000 rpm
4	Tegangan nominal	2 – 4 VDC
5	Tahanan	1 – 5 ohm
6	Arus	0,5 – 1,5 A

(Sumber: Builder.id, 2023)

2.5.4. *Linear Rail*

Linear rail menggunakan V-Slot 2020 adalah komponen yang digunakan dalam banyak proyek mekanika, seperti mesin CNC, printer 3D, dan peralatan otomatis. Ini adalah profil aluminium dengan bentuk alur V di bagian tengahnya, yang digunakan untuk memandu pergerakan *nozzle* secara linier dengan presisi tinggi. Penelitian ini menggunakan jalur seperti yang ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Linear Rail
(Sumber : Anonim, 2018)

2.5.5. Relay dan Pompa

Penelitian yang dilakukan oleh Turang (2015), menjelaskan relay sebagai sebuah komponen elektronik yang berperan sebagai saklar elektronik yang dapat dikendalikan oleh aliran listrik. Relay beroperasi dengan prinsip menggunakan tuas saklar dan lilitan kawat yang terdapat pada batang besi yang disebut solenoid yang berdekatan. Ketika arus listrik mengalir melalui solenoid, itu akan menciptakan gaya magnet yang menarik tuas relay sehingga mengakibatkan kontak saklar tertutup. Sebaliknya, ketika arus listrik diputuskan, gaya magnet hilang, dan tuas relay kembali ke posisi awal, membuka kontak saklar. Biasanya, relay digunakan untuk mengendalikan aliran listrik atau tegangan yang memiliki nilai yang tinggi, seperti peralatan elektronik dengan arus hingga 4 Ampere atau

tegangan AC 220 V, atau peralatan dengan kebutuhan arus/tegangan yang lebih rendah, misalnya 0,1 Ampere atau tegangan DC 12 Volt.

Penggunaan relay pada *water irrigation system* adalah sebagai saklar untuk mengaktifkan pompa. Pompa merupakan suatu alat yang berguna untuk memindahkan air dari satu tempat ke tempat lainnya dengan cara menaikkan tekanan cairan tersebut. Peningkatan tekanan cairan tersebut berfungsi untuk melawan rintangan-rintangan aliran cairan, seperti perbedaan tekanan, perbedaan ketinggian, atau hambatan gesek. Secara prinsip, pompa mengubah energi mekanik dari motor menjadi energi aliran cairan. Energi yang dihasilkan di dalam alat akan meningkatkan tekanan dan mengatasi hambatan yang terdapat pada saluran yang dilalui oleh cairan. Akan tetapi pompa tidak bisa kita gunakan secara langsung pada mikrokontroler dikarenakan pompa biasanya hanya terdiri dari dua arus yaitu positif (+) dan negatif (-). Oleh karena itu pompa tidak memiliki *serial logic* jika ingin digunakan sebagai *water irrigation system* sehingga diperlukan relay sebagai penghubung antara pompa dan mikrokontroler. Bentuk relay yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 8 dan bentuk pompa dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Relay

(Sumber : Robotantra. 2021)



Gambar 9. Pompa
(Sumber : Fanbotica. 2024)

2.6 Irigasi *Sprinkler*

Irigasi *sprinkler* adalah salah satu metode irigasi yang digunakan dalam pertanian dan pemeliharaan taman. Metode ini melibatkan penggunaan sistem perpipaan yang dilengkapi dengan *sprinkler* atau semprotan air yang dipasang di atas tanaman. Tujuannya adalah untuk menyemprotkan air ke atas tanaman dalam bentuk tetes-tetes kecil atau semprotan halus, mirip dengan hujan buatan, untuk menyediakan air secara merata ke seluruh lahan pertanian atau taman. Menurut laporan dari Balai Penelitian Tanah (2009), teknologi irigasi *sprinkler* memiliki keunggulan dalam mengurangi penggunaan air hingga 50% jika dibandingkan dengan metode penyiraman langsung. Menurut A. Tusi (2016), Sistem irigasi *sprinkler* adalah opsi yang dapat digunakan sebagai alternatif untuk memberikan air dengan tingkat efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode irigasi permukaan (*surface irrigation*). Irigasi *sprinkler* memerlukan *nozzle* untuk memecah aliran air sehingga laju air memiliki tekanan dalam melakukan proses penyiraman.

2.7 Aplikasi Arduino IDE

Perangkat lunak atau IDE (*Integrated Development Environment*) yang digunakan dalam lingkungan Arduino adalah sebuah aplikasi yang mencakup berbagai tahap dalam pengembangan perangkat lunak, termasuk editor, kompiler, dan alat pengunggah. Editor *sketch* dalam aplikasi Arduino IDE juga memiliki fitur-fitur seperti penomoran baris dan pemberian warna pada sintaksis kode sketch untuk memeriksa kesalahan sintaksis (Situmorang, 2018), Penelitian ini menggunakan aplikasi Arduino IDE versi 2.2.0, yang dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Logo aplikasi Arduino IDE
(Sumber : Arduino, 2023)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September sampai Desember 2023 di Laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian (LDAMP) Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

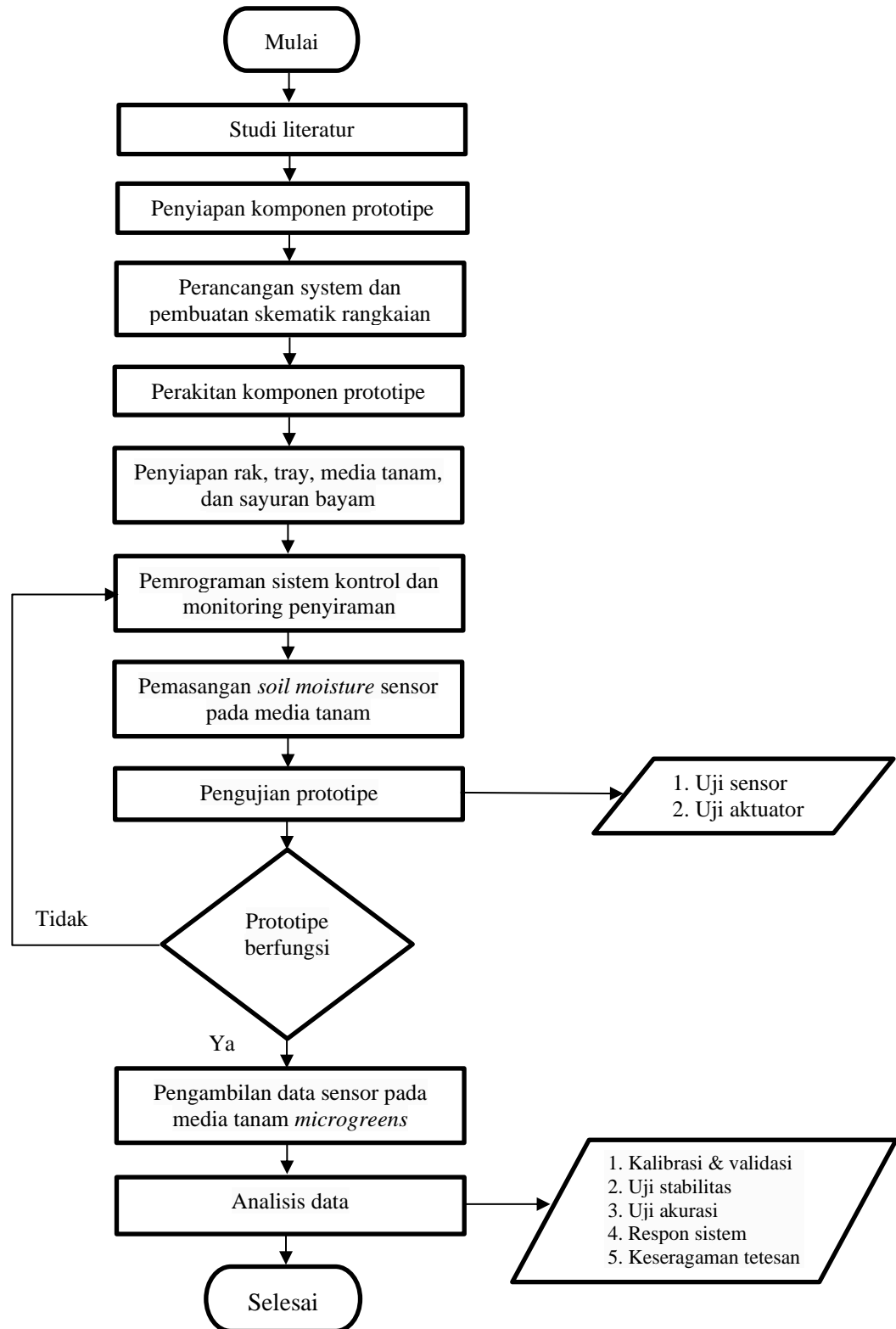
3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu laptop dengan kelengkapan *software* Arduino Ide, Firtzing, *Microsoft Office*, Aplikasi Eagle Versi 7.0, *Microsoft Edge*, *Soil Moisture*, alat tulis, Arduino Uno R3, sensor DHT22, Relay, kabel jumper, *power supply*, kotak plastik, *Motor Stepper* Nema-17, V-Slot 2020 alumunium, *bracket* dan tray set *microgreens*. Bahan yang digunakan, yaitu media tanam sekam bakar dan air.

3.3 Prosedur Penelitian

Perancangan prototipe sistem penyiraman bergerak otomatis berbasis arduino uno dan sensor *soil moisture* pada tanaman *microgreens* dilakukan dengan beberapa tahap dimulai dari studi literatur, konsep perancangan alat, pembuatan rangkaian, rancangan pengambilan data, penulisan model kalibrasi, dan analisis data.

Diagram alir pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram prosedur penelitian.

3.4 Kriteria Desain

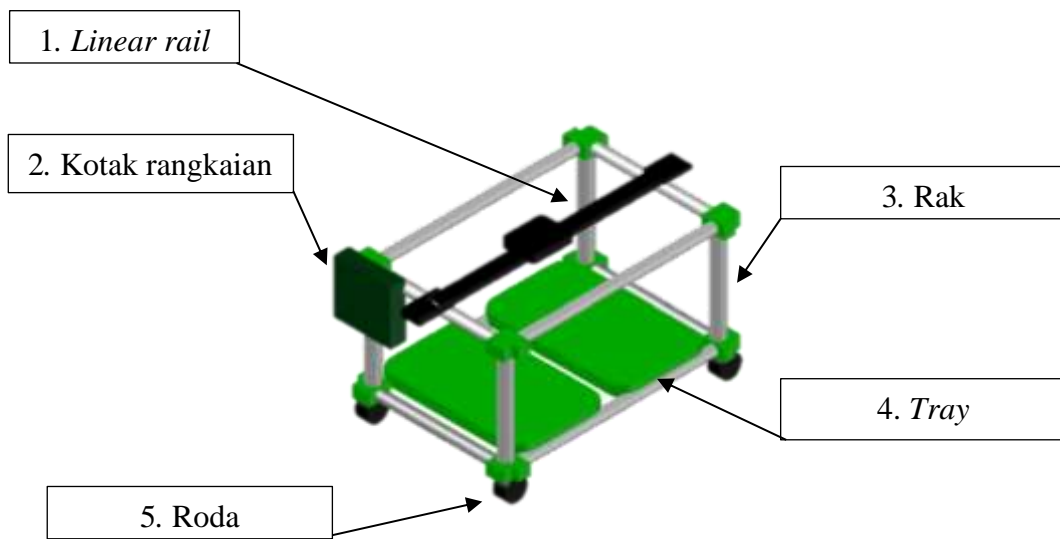
Kriteria desain prototipe ini adalah mampu mengukur kadar kelembaban media tanam dengan mendeteksi *tray* yang memiliki kadar kelembaban dibawah *setting point* yang ditentukan, sehingga mikrokontroler dapat memberikan *output* atau keluaran berupa penyiraman air sesuai dengan kebutuhan air pada media tanam menggunakan pompa. Pendeteksian dilakukan secara *realtime* dan data penyiraman tersimpan pada *memory card* yang terpasang pada rangkaian sistem. Penyiraman yang dilakukan dapat bergerak sesuai arah kordinat sensor, sehingga penyiraman otomatis ini dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi proses penyiraman. Media tanam yang digunakan dalam pengambilan data prototipe ini adalah sekam bakar dan sayuran yang digunakan yaitu bayam hijau dengan metode penyiraman irigasi *sprinkler*. Prototipe ini dapat digunakan dalam pertanian skala kecil seperti penyemaian dan sayuran mini seperti *microgreens*. Aplikasi pendukung untuk membuat sebuah rancangan alat salah satunya adalah AutoCAD (Warji, 2022).

3.5. Perancangan

Tahap perancangan alat pada penelitian ini meliputi perancangan struktural pada tahap pelaksanaan seperti rancangan rak dan *tray microgreens*, sistem penyiraman, skematik rangkaian alat, rancangan program, rancangan *linear rail* dan perakitan komponen elektronika ke mikrokontroler .

3.5.1. Perancangan Struktural

Penelitian ini dilaksanakan di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Tahapan penelitian ini yaitu merancang rak penyiraman dengan dimensi ukuran rak sepanjang 38 cm dan lebar 57 cm dan 25 cm untuk tinggi rak. Ukuran rak ini disesuaikan untuk skala prototipe atau skala kecil sehingga harapannya bisa dikembangkan dengan skala lebih besar pada penelitian selanjutnya. Desain prototipe ini dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Desain prototipe.

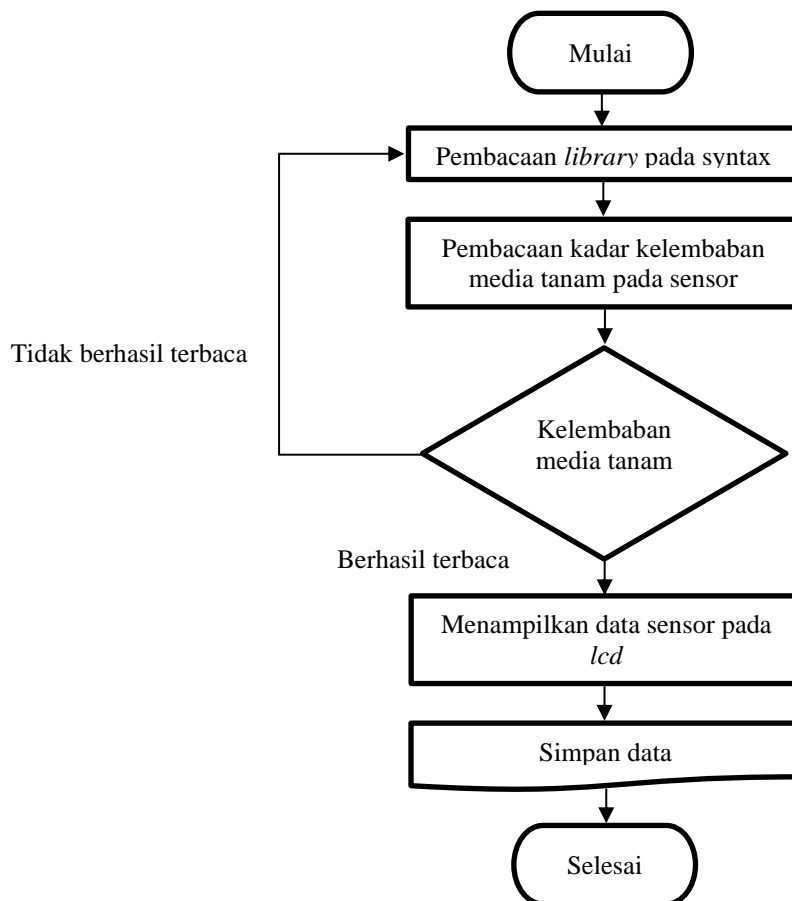


Gambar 13. Desain prototipe tampak depan.

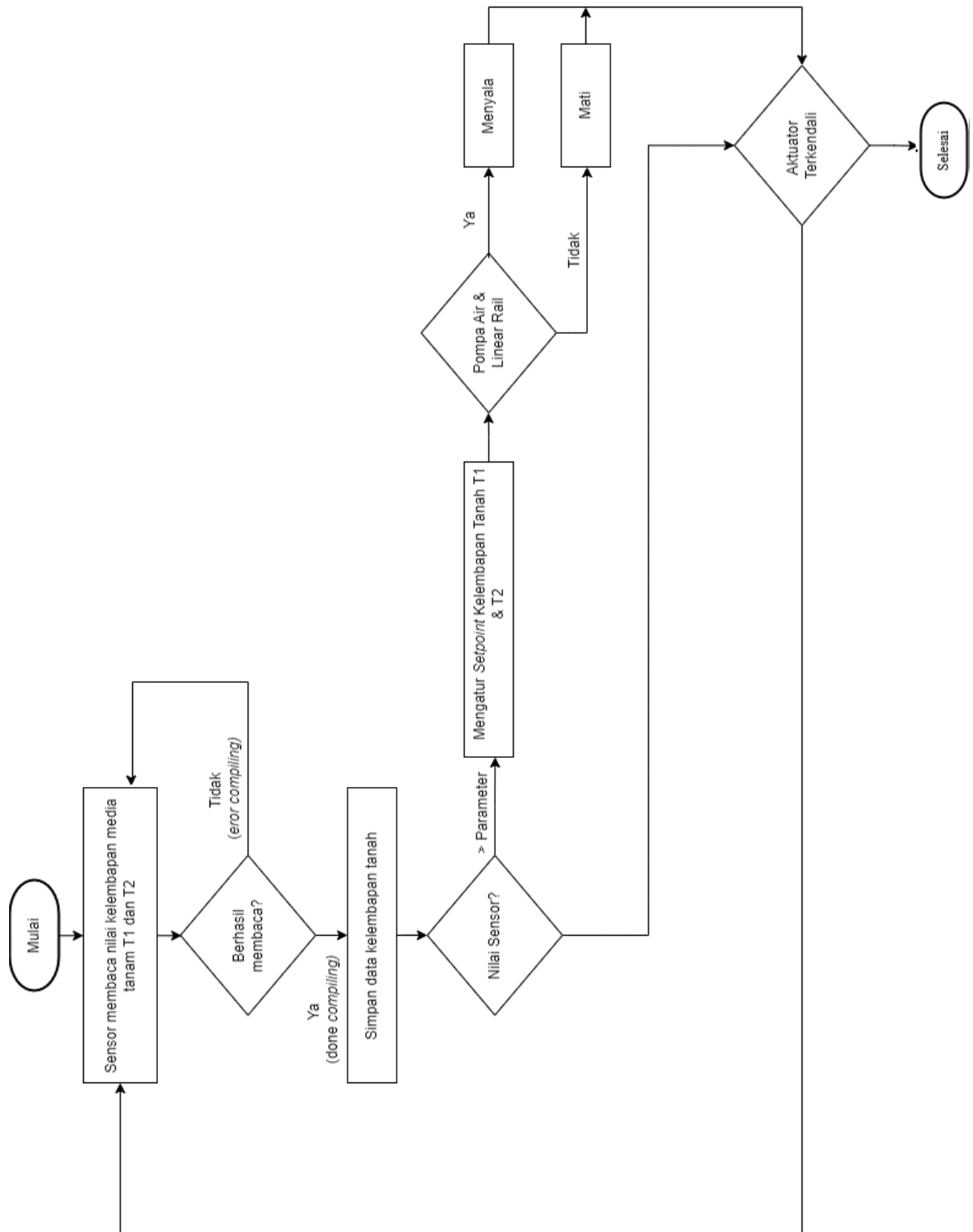


Gambar 14. Desain prototipe tampak samping.

Mekanisme prototipe ini adalah penyiraman dilakukan secara otomatis dengan pembacaan sensor pada media tanam sekam bakar, kemudian sensor akan membaca nilai kelembaban pada media tanam, ketika nilai yang didapat dibawah parameter yang ditentukan maka sensor akan mengirim data agar Arduino dapat menghidupkan pompa air, dan proses penyiraman dilakukan, ketika pompa hidup mikrokontroler akan mengaktifkan motor *stepper* untuk menggerakkan selang menuju arah kordinat sensor yang media tanamnya memiliki kadar kelembaban dibawah parameter. Diagram alir proses monitoring sensor kelembaban tanah pada Gambar 15 dan Gambar 16 untuk diagram alir sistem aktuator.



Gambar 15. Diagram alir sistem monitoring



Gambar 16. Diagram alir sistem aktuator

3.5.2. Perancangan Fungsional

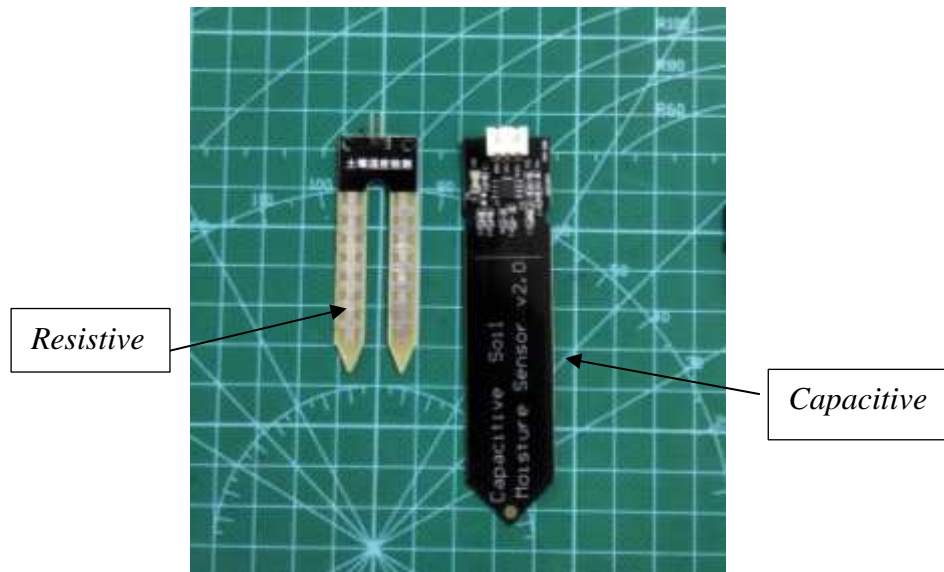
Rancangan fungsional dilakukan dengan perakitan komponen elektronika dan alat alat yang dibutuhkan dalam pembuatan tempat pertumbuhan *microgreens* seperti rak, *tray* serta komponen perakitan linear rail seperti V-slot 2020, *nozzle*, *bracket* serta komponen elektronika seperti mikrokontroler, sensor, kabel dan komponen pendukung lainnya. Sehingga dari semua alat dan komponen yang dirakit menjadi satu kesatuan sistem yang dapat melakukan proses penyiraman secara otomatis dan bisa bergerak sesuai *tray* yang memiliki kadar kelembaban dibawah *setting point*.

a. Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 digunakan sebagai mikrokontroler atau basis sistem dari komponen elektronika yang digunakan pada penelitian ini. Tipe R3 ini memiliki beberapa pin yang digunakan untuk merancang sistem penyiraman pada prototipe ini antara lain yaitu pin VCC berfungsi sebagai arus 5v, pin GND berfungsi sebagai arus (-), pin *digital*, pin *analog*, dan beberapa pin pendukung lainnya. Spesifikasi Arduino R3 dapat dilihat pada Tabel 1.

b. Soil Moisture Sensor

Sensor kelembaban tanah atau *soil moisture* sensor digunakan untuk mengetahui kadar kelembaban media tanam pada prototipe ini. Penelitian ini menggunakan dua jenis sensor *soil moisture* untuk mendapatkan nilai perbandingan dari kedua sensor. Sensor yang digunakan yaitu jenis sensor *soil moisture resistive* dan *capacitive*. Jenis sensor *soil moisture* dapat dilihat pada Gambar 17 dan spesifikasi dari kedua jenis sensor dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 17. Jenis sensor *soil moisture resistive* dan *capacitive*

Tabel 5. Spesifikasi *resistive* dan *capacitive soil moisture*

Spesifikasi	<i>Resistive</i> sensor	<i>Capacitive</i> sensor
<i>Operating voltage</i>	3.3V-5V	3.3V-5V
<i>Chip</i>	LM393	PH2.54-3P
<i>Output mode</i>	DO/AO	AO
<i>Probe dimension</i>	6cm x 2cm	9cm x 2cm

(Sumber: Sktechworks, 2023)

Sensor *soil moisture resistive* digunakan untuk membaca data kelembaban media tanam dengan cara sebuah tegangan listrik diberikan pada elektroda sensor dan sinyal keluarannya direkam oleh sistem pengukuran. Nilai resistansi yang tercatat kemudian dikonversi menjadi persentase kelembaban tanah sedangkan untuk sensor jenis *capacitive* ini menggunakan dua elektroda yang berperan sebagai pemancar dan penerima. Saat sensor dimasukkan ke dalam tanah, kandungan air di tanah akan mempengaruhi konstanta dielektrik, yang mengindikasikan kemampuan tanah untuk menyimpan energi listrik. Ketika kadar air meningkat, konstanta arus juga ikut meningkat, sehingga nilai kapasitansi sensor akan semakin tinggi. Kemudian, mengukur perubahan kapasitansi ini, sensor dapat menentukan tingkat kelembaban tanah.

Soil moisture sensor bisa digunakan pada beberapa jenis media tanam seperti tanah, sekam, sekam bakar, rockwol, cocopet, dan pasir. Pada penelitian yang dilakukan oleh Suharyatun (2021), penggunaan biochar sekam padi sebagai bahan pembenah tanah sudah banyak dilakukan terkhusus dibidang pertanian, Oleh karena itu peneliti berkenan menggunakan sekam bakar sebagai media tanam dikarenakan daya serap air pada sekam bakar cukup baik. Sensor kelembaban tanah ini bekerja dengan menghantarkan listrik pada media tanam, kemudian nilai *resistive* arus akan diproses oleh modul sensor dan dikirimkan menuju mikrokontroler sebagai basis sistem.

c. Pompa Air

Pompa digunakan sebagai *output* atau keluaran ketika sensor membaca media tanam memiliki kadar kelembaban atau kekurangan air maka pompa akan diaktifkan untuk mendorong air dari wadah menuju media tanam sehingga proses penyiraman dapat dilakukan. Pada penelitian ini pompa yang digunakan yaitu pompa dc 5v ukuran 24mm x 45mm x 33mm dengan kemampuan arus air yang dapat dialirkan 240 liter per jam, dan daya dorong maksimum 1 m.

d. Nozzle

Nozzle digunakan untuk atomisasi atau pemecah air agar air yang didorong pompa menjadi butir butiran atau biasa disebut irigasi curah (*sprinkler*). Penelitian ini menggunakan tiga tipe varian *nozzle* untuk mendapatkan perbandingan nilai keseragaman tetesan. Tipe *nozzle* dapat dilihat pada Gambar 18.

Gambar 18. Tipe *nozzle*Tabel 6. Spesifikasi *nozzle*

Spesifikasi	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
Tekanan kerja	1.5kgf – 3.0kgf	1.5kgf – 3.0kgf	2kgf - 3kgf
Radius semprot	0.7 – 0.9	0.7 – 0.9	0.7 – 0.9
Aliran	8 – 10L/H	8 – 10L/H	8 – 10L/H
Ukuran <i>nozzle</i>	0.5mm	0.5mm	0.8mm

(Sumber: FastPRO, 2024)

Spesifikasi *nozzle* yang digunakan pada penelitian ini memiliki tekanan kerja 1.5 – 3.0 kgf, radius penyiraman 0,7 – 0,9 meter dengan aliran 8 – 10 liter per jam. Namun, pada penelitian ini *nozzle* yang digunakan memiliki sedikit modifikasi terkhusus saat penyiraman.

3.5.3. Skematik Rangkaian

Penelitian ini akan dibangun dengan skematik rangkaian PCB menggunakan aplikasi Eagle. *Board* Arduino akan digabungkan dengan komponen elektronika lain menjadi sebuah *board single* ataupun *double layer* untuk melakukan pemrosesan sistem penyiraman otomatis pada sayuran *microgreens*. Rangkaian yang dibangun memiliki fungsi sebagai alat monitoring dan kontroling.

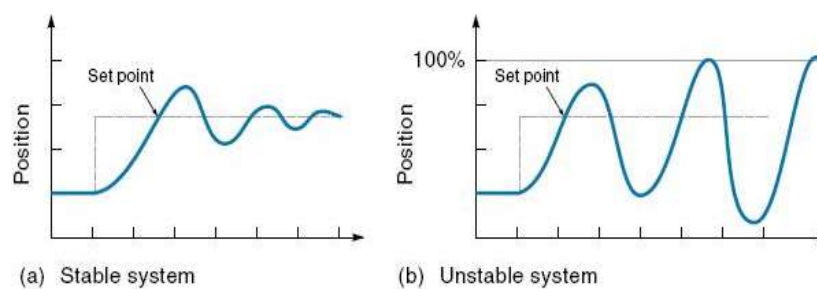
3.6. Uji Kinerja Alat

Uji kinerja pada alat sistem penyiraman otomatis ini dilakukan dengan uji stabilitas, kecepatan respon sistem, kalibrasi, dan validasi sensor pada saat alat dioperasikan.

3.6.1. Uji Stabilitas

Uji stabilitas sensor adalah proses evaluasi yang dilaksanakan guna menilai sejauh mana kemampuan suatu sensor dalam menjaga konsistensi pengukuran suatu parameter dalam jangka waktu tertentu. Evaluasi ini melibatkan perbandingan antara pembacaan sensor dengan nilai yang diukur oleh perangkat pengukuran yang lebih akurat. Hasil dari evaluasi ini berguna untuk menentukan apakah sensor tersebut bisa digunakan untuk pengambilan data atau tidak.

Suatu alat monitoring dapat dikatakan stabil jika variable yang dikendalikan selalu berada ataupun mendekati nilai yang telah ditentukan atau *setpoint*. Sistem penyiraman otomatis memiliki proses pengambilan data pada media tanam untuk mendapatkan tingkat kelembaban, hal ini agar ketika data sensor sudah melebihi *setpoint* maka pompa akan menyala untuk memberikan pasokan air yang cukup pada tanaman. Berikut grafik sistem stabil dan tidak stabil yang ditampilkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Grafik sistem stabil dan tidak stabil

(Sumber : Anonim 2020)

Penelitian ini melakukan pengujian stabilitas alat yang dilakukan selama 5 kali percobaan. Perbedaan besaran setting point *soil analyzer* yang dibuat antara 30%,

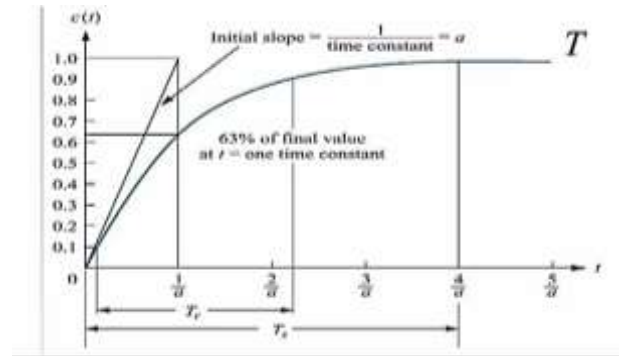
40%, 50%, 60%, dan 70%. Data tersebut diambil dengan interval 3 menit dalam beberapa pengujian.

3.6.2. Respon Sistem

Respon sistem adalah perubahan perilaku *output* sebagai hasil dari perubahan sinyal *input*. Respon sistem dinyatakan dalam bentuk kurva yang digunakan sebagai dasar untuk menganalisis sifat sistem, selain menggunakan persamaan matematis. Ada dua jenis respon sistem yang dapat dibedakan, yaitu respon waktu dan respon frekuensi. Respon waktu adalah respons yang menentukan kinerja sistem berdasarkan pengamatan terhadap bagaimana bentuk output sistem berubah seiring berjalannya waktu. Sementara respon frekuensi adalah respons yang mengukur kinerja sistem dengan memperhatikan besarnya dan sudut fase dari penguatan (*output/input*) sistem terhadap sinyal sinus pada berbagai frekuensi yang berbeda.

Respon sistem dapat digunakan untuk mengidentifikasi stabilitas, karakteristik transien, kesalahan steady state, dan aspek lain yang berhubungan dengan kualitas dan keamanan sistem. Untuk menganalisis respon sistem, berbagai metode dapat diterapkan, termasuk metode grafis, metode matematika, dan pendekatan numerik.

Menurut hasil penelitian Prasetyo (2017), respon sistem dapat menjelaskan seberapa cepat alat bekerja ketika menghadapi gangguan dan perubahan waktu. Respon sistem ini umumnya terdiri dari dua jenis, yaitu respon *transient* dan respon *steady state* yang terlihat pada Gambar 20. Respon *transient* ini dapat menunjukkan durasi waktu mulai dari sistem dioperasikan (pada titik 0) sampai mencapai kondisi *steady state*. Respon dari kondisi *steady state* dapat menentukan lamanya waktu ketika sistem telah mencapai keadaan seimbang hingga waktu tak terbatas atau waktu yang telah ditetapkan pada alat.



Gambar 20. Grafik respon sistem

(Sumber : Anonim, 2023)

Penelitian ini melakukan pengujian respon sistem dengan beberapa uji, yaitu lama waktu untuk menghidupkan alat hingga sensor dapat membaca dengan stabil, dan lama waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses *close looping* pada mekanisme prototipe. Setelah respon sistem untuk pengiriman data sensor didapatkan berikutnya adalah pengujian untuk respon untuk respon pada saat monitoring dan kontroling aktuator.

3.6.3. Akurasi

Penelitian ini menguji tingkat keakuratan pada nilai kadar kelembaban pada media tanam. Persamaan dalam menghitung tingkat keakurasian pada sebuah alat sebagai berikut:

$$\left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |SP - N_{Ai}|}{SP}\right) \times 100\%$$

Keterangan :

SP : Nilai *setting point*

Nai : nilai aktual pertama

N : jumlah data

3.6.5. Kalibrasi dan Validasi

Kalibrasi adalah proses untuk menentukan akurasi nilai yang ditunjukkan oleh alat pengukur dan bahan pengukur dengan cara membandingkannya dengan standar pengukuran. Menurut Adhi (2023), penggunaan metode kalibrasi yang didasarkan pada metode perbandingan dan interpolasi untuk meningkatkan akurasi pengukuran sensor. Sensor dan instrumen elektronik seperti sensor suhu, sensor kelembaban, dan sensor tekanan perlu dikalibrasi untuk memastikan keakuratan dan konsistensi dalam memberikan data pengukuran (Widianto, 2023). Hasil dari pengukuran tersebut adalah peneliti dapat mengetahui perbandingan nilai antara alat yang dirancang dengan nilai yang ditetapkan. Hal tersebut bertujuan untuk meningkatkan akurasi dari sebuah sensor untuk dapat mengukur nilai dari sensor.

Penelitian ini menggunakan metode kalibrasi regresi linear dimana nilai yang diperoleh pada sensor akan dimasukkan kedalam Microsoft excel kemudian diolah menjadi sebuah grafik regresi sehingga *output* yang diperoleh dari hasil pengolahan nilai atau data tersebut dapat menjadi sebuah variabel matematika untuk pembacaan sensor. Variabel tersebut kemudian dimasukkan kedalam *syntax* Arduino agar pembacaan sensor memiliki sedikit perbandingan dengan kalibrator. Proses kalibrasi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan variasi kelengasan tanah dengan penambahan air pada alat ukur sekitar 50 ml selama 5 kali jadi dapat disimpulkan proses kalibrasi menggunakan 500ml arang sekam dan 500ml air.

Metode analisis dalam pengambilan data pada penelitian ini yaitu menggunakan metode regresi linear. Analisis data menggunakan regresi linear merupakan metode untuk memproyeksikan nilai dari satu set data yang tidak diketahui dalam hal ini yaitu data sensor dengan menggunakan nilai dari data lain yang telah diketahui (kalibrator). Secara matematis, teknik ini mewakili variabel yang tidak diketahui atau bergantung pada variabel yang sudah diketahui atau independen melalui persamaan linier. Adapun bentuk dari persamaan linear seperti berikut;

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon$$

Dalam konteks regresi linear, tujuan utamanya adalah menemukan garis regresi terbaik yang dapat memprediksi nilai dari variabel dependen berdasarkan nilai dari variabel independen. Garis regresi terbaik didefinisikan sebagai garis yang memiliki jumlah kesalahan kuadrat paling kecil antara nilai-nilai yang diprediksi oleh garis tersebut dan nilai-nilai aktual. Aplikasi yang digunakan untuk proses analisis regresi linear ini adalah Microsoft Excel. Perangkat yang digunakan pada proses kalibrasi penelitian ini adalah *Soil Analyzer*.

3.7. Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini meliputi antara lain analisis data hasil kalibrasi dan validasi sensor *soil moisture* menggunakan metode statistik regresi linear untuk mendapatkan nilai perbandingan antara sensor yang dirancang dengan alat kalibrator yang tersedia. Proses analisis data selanjutnya adalah mengetahui akurasi sensor yang dirancang, kemudian pengambilan data respon sistem dan data stabilitas sensor. Kemudian analisis data terakhir yaitu analisis keseragaman tetesan pada media tanam. Hasil data yang didapat akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

Penelitian ini menggunakan sistem irigasi *sprinkler* atau biasa disebut dengan irigasi bertekanan, sistem irigasi ini merupakan salah satu irigasi yang memiliki efisiensi dan efektifitas yang cukup tinggi, mekanisme dari irigasi ini yaitu pompa akan memberikan tekanan untuk mendorong air menuju selang, diujung selang terdapat sebuah *nozzle* yang berfungsi untuk memecah air menjadi butiran dan disebar merata dipermukaan media tanam. Oleh karena itu sangat diperlukan untuk mengambil keseragaman tetesan pada media tanam untuk mendapatkan nilai sebaran air dilakukan dengan metode Christiansen (1942). Pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu untuk mengukur data keseragaman tetesan dengan menggunakan tiga tipe *nozzle*, pompa dc 5v, dan media tanam arang sekam.

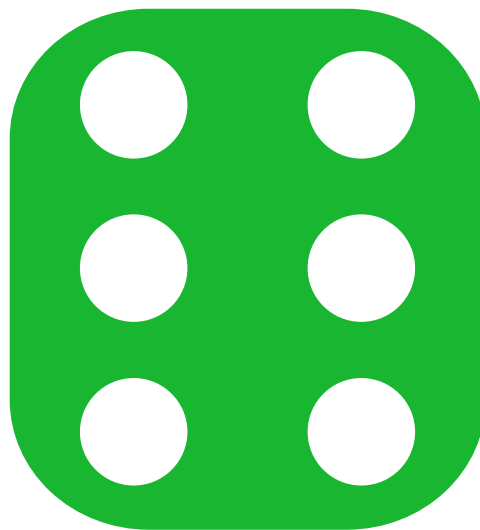
Nilai keseragaman tetesan (Emission Uniformity) dapat dihitung dengan persamaan Christiansen (1942) dalam Rai (2010).

$$CU = 100\% \left(1 + \frac{D}{\bar{y}} \right) \dots\dots\dots (1)$$

$$D = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan CU adalah koefisien keseragaman (%); D, simpangan baku; \bar{y} , harga pengamatan rerata; y_i , nilai pengamatan; dan n, jumlah pengamatan.

Pengambilan data keseragaman tetesan pada penelitian ini menggunakan gelas ukur berjumlah 6 wadah penampung dengan diameter ukuran 5,5 cm yang diletakan dibawah tray *microgreens*. *Nozzle* diletakan setinggi 16 cm dari media tanam. Media tanam yang digunakan dalam pengambilan data ini adalah sekam bakar dengan *setting point* kelembaban 50% sesuai refrensi penelitian sebelumnya (Putri, 2023). Tata letak wadah yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Tata letak wadah penampung

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini menghasilkan alat yang dapat memonitoring dan mengontrol kadar kelembaban media tanam berupa penyiraman dengan sistem irigasi bertekanan atau *sprinkler*. Proses penyiraman dilakukan sesuai dengan arah kordinat sensor yang mendeteksi kadar kelembaban di bawah parameter yang ditetapkan. Prototipe ini memungkinkan pemantauan secara *realtime* dengan data monitor yang disimpan pada kartu memori. Penggunaan prototipe ini sangat berguna untuk keperluan penyemaian dan budidaya microgreens. Dalam penelitian ini, percobaan dilakukan dengan media tanam *microgreens*. Sensor kelembaban tanah yang digunakan adalah tipe resistif karena tipe ini memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe kapasitif. Sebelum digunakan dalam kegiatan budidaya, sensor dikalibrasi dengan perangkat analisis tanah *soil analyzer* untuk mendapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9839 atau 98,4% dan persamaan yang sesuai, yaitu $y = 0,8363x + 2,884$. Validasi sensor menghasilkan nilai rata-rata error sekitar 1% sedangkan rerata yang dihasilkan adalah sekitar 99% sehingga dapat dikatakan bahwa pembacaan sensor *soil moisture* tersebut akurat karena nilai rerata yang didapatkan <1 .
2. Uji Stabilitas yang dilakukan dapat dikatakan cukup stabil karena alat dapat mempertahankan jumlah kebutuhan air tanaman sesuai pembacaan pada

sensor, Hasil respon sistem prototipe ini mampu memberikan *output* berupa penyiraman otomatis yang dapat bergerak dengan rentang waktu 5 detik.

3. Nilai Keseragaman yang diperoleh pada penelitian ini sangat baik menurut klasifikasi penelitian sebelumnya dengan nilai 88% dengan 6 gelas per 2 menit hitungan

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, penulis dapat memberikan saran sehingga dapat membantu untuk penelitian yang berikutnya :

1. Pengambilan data kalibrasi sensor kelembaban tanah bisa menggunakan cara gravimetri untuk mendapatkan nilai perbandingan yang lebih akurat.
2. Penggunaan pompa yang memiliki kapasitas lebih besar dapat meningkatkan keseragaman tetesan pada media tanam.
3. Penggunaan papan PCB pada prototipe ini dapat meningkatkan stabilitas pembacaan sensor.
4. Perbaiki desain untuk sistem pembacaan sensor ketika sedang melakukan penyiraman.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsada B., Suprianto B., 2017. *Aplikasi Sensor Ultrasonik Untuk Deteksi Posisi Jarak Pada Ruang Menggunakan Arduino Uno*. Jurnal Teknik Elektro, Volume 06 Nomor 02 Tahun 2017, 137 – 145.
- Agus M., Rifki H., Aan B., Yuris S., 2023. *Sensor dan Aktuator: Konsep Dasar dan Aplikasi*, Penerbit Widina Media Utama, Bandung
- Ardeana G.M., Rikie, K., 2019. *Mengatur Kelembaban Tanah Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah yl-69 Berbasis Arduino Pada Media Tanam Pohon Gaharu*. Jurnal of Education and Information Communication Technology. Tulungagung
- Almatsier, S. 2004. *Prinsip Dasar Ilmu Gizi*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Anonim. 2020. *Sistem Kendali Umpan : Stabilitas Sistem Kendali*. <https://kuliah.unpatti.ac.id/mod/page/view.php?id=28>. Diakses pada 1 September 2023.
- Arduino. 2022. *Software*. <https://www.arduino.cc/en/software>. Diakses pada 1 September 2023.
- Brainkart. 2017. *Time Response Analysis*. https://www.brainkart.com/article/Time-response-analysis_12842/. Diakses pada 6 Oktober 2023.
- [BPT] Balai Penelitian Tanah. 2009. *Teknik irigasi diminati petani bawang Donggala*. Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 31(6): 1-19.
- B. Gustomo. 2015. *Pengenalan Arduino Dan Pemrogramannya*. Bandung : Informatika Bandung.
- Candra, H., Triyono, S., Kadir, M. Z., dan Tusi, A. ., 2015. *Rancang Bangun D Uji Kinerja Sistem Kontrol Otomatis Pada Irigasi Tetes Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega*, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung,

- Dr. Mohamad Agus Salim, Drs. MP. 2021. *Budidaya Microgreens: Sayuran Kecil Kaya Nutrisi dan Menyehatkan*. Yayasan Lembaga Pendidikan dan Pelatihan Multiliterasi Bandung.
- Dalimartha, S. 2006. *Atlas Tumbuhan Obat Indonesia Jilid 4*. Puspa Swara, Anggota IKAPI. Jakarta.
- Daniel Alexander Octavianus Turang, 2015, *Pengembangan Sistem Relay Pengendalian Dan Penghematan Pemakaian Lampu Berbasis Mobile*. Teknik Informatika. Sekolah Tinggi Teknologi Bontang, Bontang.
- Elga Aris Prastyo. 2023. *Penjelasan tentang Mikrokontroler ATmega328P pada Arduino Uno*. Penjelasan tentang Mikrokontroler ATmega328P pada Arduino Uno/. Diakses pada 22 Januari 2024.
- Edgar P., Agostinho A., A. Aguiar., Isabel M.P.L.V.O., Ferreira., 2015, *Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces*, Journal of Food Composition and Analysis. Amsterdam.
- Febriani, V., Nasrika, A., Munasari, T., Permatasari, Y, Talitha., Widiatningrum., 2019. *Analisis Produksi Microgreens Brassica oleracea Berinovasi Urban Gardening Untuk Peningkatan Mutu Pangan Nasional*, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia.
- Khairunnisa, P., Fitriyah, H., Primananda, R., 2023. *Pengendalian Kelembapan Media Tanam pada Budidaya Microgreen Bunga Matahari menggunakan Regresi Linier berbasis Arduino*. Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer. Universitas Brawijaya, Malang.
- Nofal, G., Putri, T., Shinta, 2022. *Teknik Budidaya Microgreens*. Bening. Palembang.
- Prabowo, A., Hendriadi, A., 2004. *Pengelolaan Irigasi Hemat Air di lahan Kering Aplikasi Irigasi Tetes dan Curah*, Banten.
- Telaumbanua, M., Baene, K., Ridwan., Haryanto, A., Wisnu, F., Suharyatun, S., 2019. *Irrigation Water Gate Monitoring System Based on The Internet of Things Using Microcontroller*. Department of Agricultural Engineering, University of Lampung, Lampung
- Saparinto, C. 2013. *Grow your own vegetables-panduan praktis menanam 14 Sayuran Konsumsi Populer di Pekarangan*. Yogyakarta: Penebar Swadaya. 180 hlm. Diakses pada tanggal 1 September 2023
- Suharyatun, S., Warji, W., Haryanto, A., Anam, K., 2021. *Pengaruh Kombinasi Biochar Sekam Padi dan Pupuk Organik Berbasis Mikroba Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Sayuran*. Jurusan Teknik

Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Bandar Lampung.

- Tusi, A., Lanya, B., 2016, *Rancangan Irigasi Sprinkler Portable Tanaman Pakchoy*, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung
- Warji W, Tamrin T, Kuncoro, S., Sudarsan, 2022. *Design of Fermentation Liquid Mixer of Coffee Beans*. Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Widiwurjani, Guniarti and Andansari, P. 2019. *Status Kandungan Sulforaphane Microgreens Tanaman Brokoli (Brassica oleracea L.) pada Berbagai Media Tanam dengan Pemberian Air Kelapa sebagai Nutrisi*. ejournal unsika kediri, 4(1), pp. 34–38. Diakses pada tanggal 1 september 2023
- Xiao, Z., Lester, G., Luo, Y., Wang, Q., 2012. *Penilaian Konsentrasi Vitamin dan Karotenoid untuk Produk Makanan yang muncul : Mikrogreen yang Dapat Dimakan*, Pertanian dan Kimia Pangan, 60(31), pp. 7644–7651. doi: 10.1021/jf300459b Diakses pada tanggal 1 September 2023