

**PENGARUH PEMBERIAN AMPAS ECOENZIM TERHADAP
PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN PAKCOY
(*Brassica rapa L.*) MENGGUNAKAN SISTEM IRIGASI
OTOMATIS BERBASIS ARDUINO UNO**

(Skripsi)

Oleh

**ADAM CHAIRUL ANAM
NPM 2014121031**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**PENGARUH PEMBERIAN AMPAS ECOENZIM TERHADAP
PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN PAKCOY
(*Brassica rapa L.*) MENGGUNAKAN SISTEM IRIGASI
OTOMATIS BERBASIS ARDUINO UNO**

Oleh

ADAM CHAIRUL ANAM

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA PERTANIAN**

pada

**Jurusan Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PENGARUH PEMBERIAN AMPAS ECOENZIM TERHADAP PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN PAKCOY (*Brassica rapa L.*) MENGGUNAKAN SISTEM IRIGASI OTOMATIS BERBASIS ARDUINO UNO

Oleh

ADAM CHAIRUL ANAM

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemberian ampas ecoenzim terhadap pertumbuhan dan kualitas tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*) dengan menggunakan sistem irigasi otomatis berbasis Arduino Uno. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Lapangan Terpadu, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, dari 16 April hingga 16 Juni 2024. Metode yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan empat perlakuan dosis ampas ecoenzim (kontrol, 10 ton.ha⁻¹, 20 ton.ha⁻¹, dan 30 ton.ha⁻¹) dan empat ulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan dengan penambahan ampas ecoenzim pada media tanam memberikan pengaruh yang bervariasi terhadap pertumbuhan pakcoy. Perlakuan kontrol tanpa ampas ecoenzim menunjukkan pertumbuhan vegetatif yang lebih baik dibandingkan perlakuan dengan ampas ecoenzim. Penambahan ampas ecoenzim dengan dosis 30 ton.ha⁻¹ mampu mempertahankan kadar air tanah lebih baik dibandingkan media tanam tanpa ecoenzim. Penelitian ini mengindikasikan bahwa penggunaan ampas ecoenzim dapat menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi penggunaan air dalam budidaya pakcoy, serta merangsang penelitian lebih lanjut terkait optimalisasi penggunaan bahan organik dalam pertanian berkelanjutan.

Kata kunci: Ecoenzim, pakcoy, kadar air tanah, arduino uno

ABSTRACT

THE EFFECT OF ECOENZYME DRAINAGE ON THE GROWTH AND PRODUCTION OF PAKCOY (*Brassica rapa* L.) PLANTS USING AN AUTOMATIC IRRIGATION SYSTEM BASED ON ARDUINO UNO

By

ADAM CHAIRUL ANAM

*This study aims to analyze the effect of ecoenzyme waste on the growth and quality of pak choi (*Brassica rapa* L.) plants using an Arduino Uno-based automatic irrigation system. The study was conducted at the Integrated Field Laboratory, Faculty of Agriculture, University of Lampung, from April 16 to June 16, 2024. The method used was a Randomized Block Design (RBD) with four ecoenzyme waste dose treatments (control, 10 ton.ha⁻¹, 20 ton.ha⁻¹, and 30 ton.ha⁻¹) and four replications. The results showed that the treatment with ecoenzyme waste gave varying responses to the growth of pak choi. The control treatment without ecoenzyme waste showed better vegetative growth than the treatment with ecoenzyme waste. The addition of ecoenzyme waste at a dose of 30 ton.ha⁻¹ was able to maintain soil water content better than the planting medium without ecoenzyme. This study indicates that the use of ecoenzyme waste can be an innovative solution to improve the quality and efficiency of water use in pak choi cultivation, as well as stimulate further research related to optimizing the use of organic materials in sustainable agriculture.*

Kata kunci: *Ecoenzym, pak choi, water soil content, arduino uno*

Judul skripsi

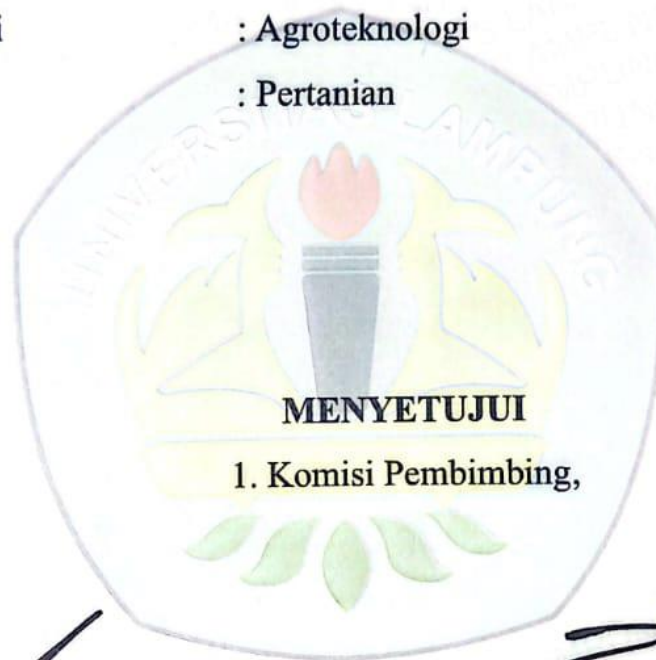
**: PENGARUH PEMBERIAN AMPAS
ECOENZIM TERHADAP PERTUMBUHAN
DAN PRODUKSI TANAMAN PAKCOY
(*Brassica rapa L.*) MENGGUNAKAN SISTEM
IRIGASI OTOMATIS BERBASIS ARDUINO
UNO**

Nama Mahasiswa : Adam Chairul Anam

Nomor Pokok Mahasiswa : 2014121031

Program Studi : Agroteknologi

Fakultas : Pertanian

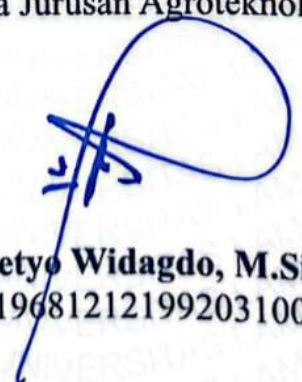


1. Komisi Pembimbing,


Ir. Herry Susanto, M.P.
NIP 196301151987031001


Purba Sanjaya, S.P., M.Si.
NIP 198805112019031012

2. Ketua Jurusan Agroteknologi,


Ir. Setyo Widagdo, M.Si.
NIP 196812121992031004

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Ir. Herry Susanto, M.P.



Anggota Pembimbing

: Purba Sanjaya, S.P., M.Si.

Penguji
Bukan Pembimbing

: Prof. Dr. Ir. Dermiyati, M.Agr.Sc.



2. Dekan Fakultas Pertanian

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

NIP 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 3 Juni 2025

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **PENGARUH PEMBERIAN AMPAS ECOENZIM TERHADAP PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN PAKCOY (*Brassica rapa L.*) MENGGUNAKAN SISTEM IRIGASI OTOMATIS BERBASIS ARDUINO UNO** merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 3 Juni 2025

Penulis,



Adam Chairul Anam
2014121031

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Tanjung Anom, Kecamatan Terusan Nunyai, Kabupaten Lampung Tengah, Lampung pada 17 September 2002. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Tata Gandara dan Samiati.

Penulis mengawali sekolah di SD Negeri 1 Bandar Sakti pada 2008-2014. Sekolah Menengah Pertama di SMP Islam Terpadu Bustanul Ulum Terbanggi Besar pada 2014-2017. Sekolah Menengah Atas di MAN 1 Lampung Tengah pada 2017-2020. Penulis melanjutkan pendidikan Sarjana di Universitas Negeri Lampung, diterima sebagai mahasiswa Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian melalui jalur SBMPTN.

Penulis selama masa pendidikan aktif dalam organisasi internal kampus Persatuan Mahasiswa Agroteknologi (Perma AGT) sebagai anggota bidang Dana dan Usaha pada 2022 dan anggota bidang Eksternal pada 2023. Penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode I pada Januari-Februari 2022 di Desa Sidodadi, Kecamatan Air Hitam, Kabupaten Lampung Barat. Penulis telah melaksanakan Magang (Praktik Umum) di Pusat Penelitian Teh dan Kina (PPTK) Bandung pada Juni-Agustus 2023.

MOTTO

"Implementasi Menghidupkan Pengetahuan."

(Adam Chairul Anam)

"Allah menyatakan bahwasanya tidak ada Tuhan melainkan Dia (yang berhak disembah), yang menegakkan keadilan. Para malaikat dan orang-orang yang berilmu (juga menyatakan yang demikian itu). Tidak ada Tuhan melainkan Dia (yang berhak disembah), yang Maha Perkasa lagi Maha Bijaksana."

(QS. Al-Imran (3):18)

"Wahai orang-orang yang beriman, bersabarlah kamu, kuatkanlah kesabaranmu, tetaplah bersiap siaga di perbatasan (negerimu), dan bertakwalah kepada Allah agar kamu beruntung."

(QS. Al-Imran (3):200)

"Sesungguhnya, beserta kesulitan ada kemudahan."

(QS. Al-Insyirah (94):6)

SANWACANA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, karena atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Pengaruh Pemberian Ampas Ecoenzim terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa L.*) Menggunakan Sistem Irigasi Otomatis Berbasis Arduino Uno**. Tujuan dari penulisan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Pertanian di Universitas Lampung.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, oleh karena itu ucapan terima kasih penulis kepada:

- (1) Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
- (2) Ir. Setyo Widagdo, M.Si., selaku Ketua Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
- (3) Ir. Herry Susanto, M.P. selaku Dosen Pembimbing Akademik dan dosen Pembimbing Utama yang telah membimbing, menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam melaksanakan penelitian dan penulisan skripsi;
- (4) Purba Sanjaya, S.P., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah membimbing dan memberi arahan dari awal melaksanakan penelitian dan penulisan skripsi;
- (5) Prof. Dr. Ir. Dermiyati, M.Agr.Sc., selaku Dosen Penguji yang telah memberi masukan, dan saran kepada penulis untuk penelitian dan penulisan skripsi;
- (6) Seluruh Dosen Jurusan Agroteknologi yang telah membekali penulis dengan ilmu yang bermanfaat;

- (7) Staf dan karyawan bidang akademik serta Administrasi Jurusan Agroteknologi yang telah membantu penulis dan mengarahkan setiap proses yang dibutuhkan penulis dalam menyelesaikan berkas penunjang skripsi ini;
- (8) Keluarga terutama kedua orang tua penulis Bapak Tata Gandara dan Ibu Samiati adikku Intan Nazwa Nabila, yang telah memberikan nasihat, motivasi, semangat, serta dukungan fisik maupun materi, dan doa yang selalu dipanjatkan agar penulis dapat menyelesaikan pendidikan di Universitas Lampung dengan baik;
- (9) Teman-teman Jurusan Agroteknologi angkatan 2020;
- (10) Seluruh pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Bandar Lampung, 3 Juni 2025

Penulis



Adam Chairul Anam

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Kerangka Pemikiran	5
1.5 Hipotesis.....	8
II. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Botani Pakcoy (<i>Brassica rapa L.</i>)	9
2.2 Karakteristik Pakcoy (<i>Brassica rapa L.</i>).....	9
2.3 Syarat Tumbuh Tanaman Pakcoy (<i>Brassica rapa L.</i>)	10
2.4 Kebutuhan Air Tanaman Pakcoy (<i>Brassica rapa L.</i>)	11
2.5 Peran Bahan Organik terhadap Tanaman	12
2.6 Ampas Ecoenzim.....	12
2.7 Mikrokontroler Arduino Uno dan Sensor Kadar Air Tanah	13
III. METODE PENELITIAN	16
3.1 Waktu dan Tempat	16
3.2 Alat dan Bahan	16
3.3 Metode.....	16
3.4 Pelaksanaan	17
3.4.1 Perancangan Perangkat Keras	18
3.4.2 Pembuatan Skema Rangkaian	19

3.4.3 Pemasangan Komponen	19
3.4.4 Kalibrasi Alat	19
3.4.5 Perlakuan Alat	20
3.4.6 Penyemaian	20
3.4.7 Pemindahan Tanam	21
3.4.8 Pemeliharaan	22
3.4.8 Pemanenan	21
3.5 Pengamatan Tanaman.....	22
3.5.1 Tinggi Tanaman	22
3.5.2 Jumlah Daun.....	23
3.5.3 Bobot Segar Tanaman	23
3.5.4 Bobot Segar Akar	23
3.5.5 Panjang Akar	23
3.5.6 Diameter Bonggol	23
3.5.7 Bobot Kering Tanaman	24
3.5.8 Bobot Kering Akar	24
3.5.9 Kadar Air Harian.....	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	
Error! Bookmark not defined.	
4.1 Hasil Penelitian.....	
Error! Bookmark not defined.	
4.1.1 Tinggi Tanaman	
Error! Bookmark not defined.	
4.1.2 Jumlah Daun.....	
Error! Bookmark not defined.	
4.1.3 Bobot Segar Tanaman	
Error! Bookmark not defined.	
4.1.4 Bobot Segar Akar	
Error! Bookmark not defined.	
4.1.5 Panjang Akar	
Error! Bookmark not defined.	
4.1.6 Diameter Bonggol	
Error! Bookmark not defined.	
4.1.7 Bobot Kering Tanaman	
Error! Bookmark not defined.	
4.1.8 Bobot Kering Akar	
Error! Bookmark not defined.	
4.1.9 Kadar Air Harian.....	
Error! Bookmark not defined.	
4.1.10 Uji Kandungan Ampas Ecoenzim	
Error! Bookmark not defined.	
4.2 Pembahasan.....	

Error! Bookmark not defined.

V. SIMPULAN DAN SARAN	25
5.1 Simpulan.....	25
5.2 Saran.....	25
DAFTAR PUSTAKA	26
LAMPIRAN.....	

Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data Sifat Fisik Tanah yang Digunakan pada Penelitian	
Error! Bookmark not defined.	
2. Rekapitulasi Hasil Analisis Ragam Pertumbuhan Tanaman Pakcoy	
Error! Bookmark not defined.	
3. Pengaruh Ampas Ecoenzim terhadap Tinggi Tanaman Pakcoy	
Error! Bookmark not defined.	
4. Pengaruh Ampas Ecoenzim terhadap Jumlah Daun Tanaman Pakcoy	
Error! Bookmark not defined.	
5. Pengaruh Ampas Ecoenzim terhadap Bobot Segar Tanaman Pakcoy	
Error! Bookmark not defined.	
6. Pengaruh Ampas Ecoenzim terhadap Bobot Segar Akar Tanaman Pakcoy	
Error! Bookmark not defined.	
7. Pengaruh Ampas Ecoenzim terhadap Panjang Akar Tanaman Pakcoy	
Error! Bookmark not defined.	
8. Pengaruh Ampas Ecoenzim terhadap Diameter Bonggol Tanaman Pakcoy	
Error! Bookmark not defined.	
9. Pengaruh Ampas Ecoenzim terhadap Bobot Kering Tanaman Pakcoy	
Error! Bookmark not defined.	
10. Pengaruh Ampas Ecoenzim terhadap Bobot Kering Akar Tanaman Pakcoy	
Error! Bookmark not defined.	
11. Hasil Analisis Kimia Ampas Ecoenzim	
Error! Bookmark not defined.	

12.	Data Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Tinggi Tanaman Pakcoy	37
13.	Uji Homogenitas Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Tinggi Tanaman Pakcoy..... Error! Bookmark not defined.	
14.	Analisis Ragam Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Tinggi Tanaman Pakcoy..... Error! Bookmark not defined.	
15.	Data Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Jumlah Daun Tanaman Pakcoy	
	Error! Bookmark not defined.	
16.	Uji Homogenitas Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Jumlah Daun Tanaman Pakcoy	
	Error! Bookmark not defined.	
17.	Analisis Ragam Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Jumlah Daun Tanaman Pakcoy	
	Error! Bookmark not defined.	
18.	Data Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Bobot Segar Tanaman Pakcoy.....	
	Error! Bookmark not defined.	
19.	Uji Homogenitas Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Bobot Segar Tanaman Pakcoy	
	Error! Bookmark not defined.	
20.	Analisis Ragam Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Bobot Segar Tanaman Pakcoy	
	Error! Bookmark not defined.	
21.	Data Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Bobot Segar Akar Tanaman Pakcoy.....	
	Error! Bookmark not defined.	
22.	Uji Homogenitas Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Bobot Segar Akar Tanaman Pakcoy	
	Error! Bookmark not defined.	
23.	Analisis Ragam Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Bobot Segar Akar Tanaman Pakcoy	
	Error! Bookmark not defined.	
24.	Data Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Panjang Akar Tanaman Pakcoy.....	
	Error! Bookmark not defined.	
25.	Uji Homogenitas Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Panjang Akar Tanaman Pakcoy	
	Error! Bookmark not defined.	

26. Analisis Ragam Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Panjang Akar Tanaman Pakcoy
Error! Bookmark not defined.
27. Data Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Diameter Bonggol Tanaman Pakcoy
Error! Bookmark not defined.
28. Uji Homogenitas Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Diameter Bonggol Tanaman Pakcoy
Error! Bookmark not defined.
29. Analisis Ragam Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Diameter Bonggol Tanaman Pakcoy
Error! Bookmark not defined.
30. Data Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Bobot Kering Tanaman Pakcoy
Error! Bookmark not defined.
31. Uji Homogenitas Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Bobot Kering Tanaman Pakcoy
Error! Bookmark not defined.
32. Analisis Ragam Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Bobot Kering Tanaman Pakcoy
Error! Bookmark not defined.
33. Data Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Bobot Kering Akar Tanaman Pakcoy
Error! Bookmark not defined.
34. Uji Homogenitas Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Bobot Kering Akar Tanaman Pakcoy
Error! Bookmark not defined.
35. Analisis Ragam Pengaruh Penambahan Ampas Ecoenzim terhadap Variabel Bobot Kering Akar Tanaman Pakcoy
Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran	8
2. Tata letak percobaan	18
3. Kadar air tanah harian	
Error! Bookmark not defined.	
4. Penyiapan media tanam	45
5. Penyemaian benih pakcoy	45
6. Pencampuran media tanam	46
7. Alat dan penanaman pakcoy	46
8. Bak penampungan air	47
9. Jamur <i>tricker inkap</i> pada media tanam pakcoy	47
10. Hama ulat tritip (<i>plutella xylostella</i>)	48
11. Penimbangan bobot basah tanaman	48
12. Pengovenan sampel tanaman	49
13. Penimbangan bobot basah dan kering akar	49
14. Hasil uji laboratorium ampas ekoenzim	50
15. Kode yang dimasukkan ke dalam arduino uno	51
16. Lanjutan kode yang dimasukkan ke dalam arduino uno	52
17. Lanjutan kode yang dimasukkan ke dalam arduino uno	53

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pakcoy (*Brassica rapa L.*), sebagai anggota famili *Brassicaceae*, memiliki keunggulan dalam hal adaptasi lingkungan. Tanaman ini mampu tumbuh subur di berbagai kondisi, baik di dataran rendah maupun tinggi, asalkan mendapatkan sinar matahari yang cukup (Edi, 2010). Dengan siklus hidup yang relatif singkat, yaitu sekitar 40–50 hari setelah tanam, serta kemampuannya beradaptasi terhadap berbagai kondisi cuaca dan serangan hama (Wahyuningsih, 2016), pakcoy menjadi komoditas yang menarik bagi petani. Selain itu, tingginya nilai ekonomi serta permintaan pasar yang signifikan terhadap pakcoy semakin mendorong pengembangannya dalam sektor pertanian (Nurhasanah, 2015). Keunggulan-keunggulan inilah yang menjadikan pakcoy sebagai salah satu komoditas hortikultura yang penting. Menurut Badan Pusat Statistik (2024), produksi pakcoy pada tahun 2023 di Indonesia sebesar 686.876 ton.

Kekurangan bahan organik dalam media tanam menjadi kendala utama dalam budidaya pakcoy, karena berpengaruh terhadap sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Tanah dengan kandungan bahan organik yang rendah cenderung menjadi lebih padat dan memiliki kemampuan menyerap air yang rendah, sehingga kurang mendukung perkembangan akar tanaman (Agustina dkk., 2015). Kondisi ini berdampak negatif terhadap ketersediaan unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman, menyebabkan keterbatasan dalam penyerapan nutrisi yang esensial bagi perkembangan vegetatif pakcoy. Selain itu, keterbatasan bahan organik juga dapat menurunkan aktivitas mikroorganisme tanah yang berperan dalam siklus nutrisi, sehingga keseimbangan ekosistem tanah terganggu. Pemberian pupuk organik menjadi salah satu solusi dalam meningkatkan kualitas

tanah, karena dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah (Prizal dkk., 2017). Pupuk organik berperan dalam meningkatkan kapasitas tanah dalam menyimpan air dan menyediakan nutrisi, sehingga dapat mendukung pertumbuhan akar dan bagian vegetatif tanaman dengan lebih optimal. Dengan demikian, tanaman pakcoy yang ditanam dalam media yang kaya bahan organik lebih mampu beradaptasi terhadap cekaman lingkungan, seperti kekeringan, serta memiliki produktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang tumbuh di tanah dengan kandungan bahan organik yang rendah.

Kekurangan air merupakan salah satu kendala utama dalam budidaya pakcoy, terutama di daerah yang memiliki keterbatasan sumber daya air. Media tanam yang ideal bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman sebaiknya berada dalam kondisi kapasitas lapang, yaitu keadaan di mana media tanam cukup lembap dan mampu menahan jumlah air terbanyak yang tersedia bagi tanaman (Perwitasari dkk., 2012). Kondisi ini penting untuk memastikan bahwa tanaman memperoleh pasokan air yang memadai guna mendukung proses pertumbuhan tanaman pakcoy. Jika ketersediaan air dalam media tanam tidak mencukupi, tanaman pakcoy dapat mengalami stres fisiologis yang berujung pada gangguan metabolisme, seperti penurunan laju fotosintesis dan transpirasi. Akibatnya, pertumbuhan tanaman menjadi terhambat sehingga produktivitasnya pun menurun secara signifikan.

Selain ketersediaan air dalam media tanam, efisiensi sistem irigasi juga berperan dalam memastikan distribusi air yang optimal bagi tanaman. Sistem irigasi yang kurang efisien dapat menyebabkan pemborosan air serta ketidakmerataan penyiraman, yang berdampak pada pertumbuhan tanaman yang tidak seragam (Susilowati dkk., 2023). Ketidakseimbangan ini dapat mempengaruhi kualitas dan kuantitas hasil panen pakcoy, karena tanaman yang mengalami defisit air akan menunjukkan pertumbuhan yang lebih lambat dibandingkan dengan tanaman yang mendapatkan pasokan air yang cukup. Oleh karena itu, penerapan sistem irigasi yang tepat, seperti irigasi tetes maupun irigasi berbasis sensor kelembapan tanah, menjadi strategi penting dalam mendukung efisiensi pengelolaan sumber daya air.

Sistem tersebut tidak hanya berperan dalam mengoptimalkan penggunaan air dengan menyalurkannya secara terukur sesuai kebutuhan tanaman, tetapi juga mampu menjaga kestabilan kondisi tanah agar tetap sesuai dengan syarat tumbuh optimal pakcoy. Dengan demikian, penggunaan teknologi irigasi modern dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan produktivitas tanaman sekaligus mendukung prinsip pertanian berkelanjutan.

Penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa penerapan teknik pertanian berkelanjutan, seperti pertanian organik dan *smart farming*, berperan dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air pada budidaya pakcoy. Sutanto dkk. (2012) menyatakan bahwa penerapan bahan organik dalam sistem pertanian organik mampu meningkatkan kapasitas tanah dalam menyimpan air, sehingga ketersediaan air bagi tanaman menjadi lebih stabil dan berkelanjutan. Dengan meningkatnya kapasitas penyimpanan air tanah, tanaman pakcoy dapat memperoleh pasokan air yang cukup untuk mendukung pertumbuhan optimalnya, terutama di lahan dengan kondisi air yang terbatas. Selain itu, pemanfaatan teknologi dalam *smart farming* juga berkontribusi terhadap efisiensi penggunaan air dalam sistem pertanian. Silvia (2014) menunjukkan bahwa penggunaan sensor kelembaban tanah dan sistem irigasi cerdas memungkinkan distribusi air yang lebih terkontrol dan tepat sasaran. Dengan teknologi ini, kebutuhan air tanaman dapat dipenuhi secara optimal berdasarkan kondisi tanah dan lingkungan, sehingga mencegah pemborosan air serta meningkatkan produktivitas tanaman. Oleh karena itu, integrasi antara pertanian organik dan smart farming menjadi pendekatan yang efektif dalam mewujudkan sistem budidaya pakcoy yang lebih efisien dan berkelanjutan. Dengan demikian, kombinasi antara pertanian organik dan *smart farming* dapat menjadi solusi yang efektif untuk mengatasi tantangan kekurangan air dalam budidaya pakcoy.

Ampas ecoenzim, sebagai produk sampingan dari proses pembuatan ecoenzim, merupakan salah satu bahan organik yang memiliki potensi yang belum tergarap secara maksimal. Penelitian Smith (2020) menunjukkan bahwa ampas ecoenzim mengandung berbagai enzim yang memiliki aplikasi potensial dalam bidang

pertanian. Ampas ecoenzim, yang merupakan residu dari proses fermentasi sampah organik, memiliki potensi besar dalam mendukung praktik pertanian berkelanjutan. Sebagai pupuk organik yang kaya akan nutrisi, ampas ecoenzim berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah dengan menyediakan unsur hara esensial yang diperlukan bagi pertumbuhan tanaman (Paendong dkk., 2023). Selain itu, penggunaan ampas ecoenzim dalam media tanam mampu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan aerasi, serta memperbesar kapasitas tanah dalam menyimpan air, sehingga tanaman dapat tumbuh lebih optimal, terutama pada lahan yang kurang subur. Selain itu, ampas ecoenzim berperan dalam meningkatkan populasi mikroorganisme tanah yang terlibat dalam proses dekomposisi dan penguraian bahan organik, sehingga mendukung keseimbangan ekosistem tanah. Dengan demikian, pemanfaatan ampas eco-enzim tidak hanya berpotensi meningkatkan produktivitas pertanian, tetapi juga berkontribusi dalam menjaga keberlanjutan sistem pertanian serta kelestarian lingkungan. Namun, hingga saat ini, pemanfaatan ampas ecoenzim masih sangat terbatas. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya lebih lanjut untuk meningkatkan kesadaran dan pengetahuan masyarakat mengenai potensi manfaat ampas ecoenzim, sehingga dapat mendorong pemanfaatannya yang lebih luas.

Penggunaan sensor *soil moisture* memerlukan suatu alat untuk mengoperasikan sensor tersebut. Menurut Pambudi dkk. (2020), penggunaan sensor soil moisture dapat dioperasikan dengan Mikrokontroler Arduino berbasis IoT (*Internet of Thing*). Penggunaan Mikrokontroler Arduino Uno dan sensor pendeteksi kadar air membuat air mengalir secara otomatis dan presisi. Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pertumbuhan tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*) pada beberapa taraf pemberian air yang dikontrol secara presisi menggunakan mikrokontroler arduino. Dengan penerapan IoT pada alat ini diharapkan bisa mengefisiensikan penggunaan air serta memudahkan petani dalam pengairan. Dalam penerapan IoT ini perlu diketahui kadar air kapasitas lapang dalam budidaya pakcoy. Pakcoy dapat ditanam sepanjang kapasitas lapang sebesar 50%-70% (Hadisuwito, 2016). Kapasitas lapang adalah jumlah air maksimum yang dapat disimpan oleh suatu tanah dan dipengaruhi oleh gravitasi

bumi. Kadar air yang sesuai atau optimal dapat meningkatkan hasil produksi dan efisiensi penggunaan air (Husdi, 2018). Pentingnya kadar air kapasitas lapang ini bisa dikontrol dengan sensor *soil moisture*. Alat ini bisa mendeteksi kadar air dan membaca kelembapan tanah, kemudian data tersebut ditampilkan di monitor komputer.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- (1) Apakah penambahan beberapa dosis ampas ecoenzim pada media tanam dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*)?
- (2) Apakah penambahan ampas ecoenzim pada media tanam dapat meningkatkan kemampuan media tanam dalam mempertahankan kadar air tanah?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- (1) Mengetahui pengaruh media tanam dengan pemberian beberapa dosis ampas ecoenzim pada pertumbuhan dan produksi pakcoy (*Brassica rapa L.*);
- (2) Mengetahui kemampuan media tanam dengan penambahan ampas ecoenzim dalam mempertahankan kadar air tanah.

1.4 Kerangka Pemikiran

Permasalahan kekurangan air dalam budidaya pakcoy merupakan hambatan utama yang mempengaruhi produktivitas serta kualitas hasil panen. Tanaman pakcoy, yang memerlukan pasokan air yang cukup untuk pertumbuhan optimalnya, menjadi rentan terhadap stres kekeringan ketika kebutuhan airnya tidak terpenuhi. Hal ini dapat menyebabkan daun layu, pertumbuhan terhambat, dan, akhirnya,

menurunkan kualitas serta kuantitas panen yang dihasilkan. Dalam konteks ini, pendekatan pertanian organik muncul sebagai solusi yang berkelanjutan. Pertanian organik menekankan penggunaan praktik ramah lingkungan, seperti pengomposan, penggunaan tutupan tanah, dan pemilihan varietas tanaman yang lebih toleran terhadap kekeringan (Sutanto, 2012). Praktik-praktik ini membantu meningkatkan kandungan bahan organik dalam tanah, meningkatkan kemampuan tanah dalam menahan air, serta menjaga kelembapan tanah secara lebih baik, sehingga mengurangi dampak kekurangan air pada budidaya pakcoy. Dengan demikian, pendekatan pertanian organik menawarkan solusi yang komprehensif dalam mengatasi tantangan kekurangan air, sambil menjaga keberlanjutan budidaya tanaman pakcoy secara efektif.

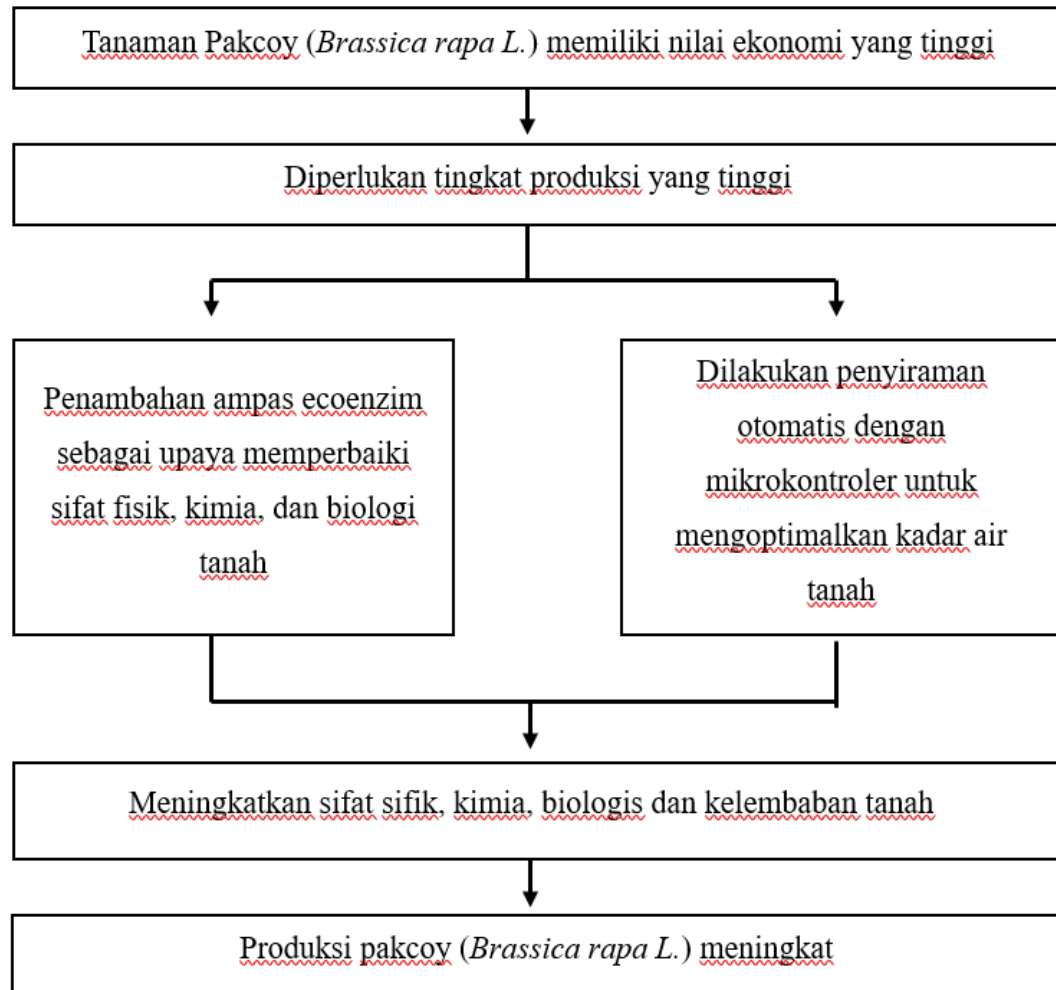
Salah satu faktor yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil yang maksimal dalam melakukan budidaya tanaman sawi pakcoy adalah penggunaan media tanam. Media tanam merupakan tempat bagi tanaman, khususnya akar, dalam mendapat nutrisi atau unsur hara yang dibutuhkan tanaman untuk tumbuh dan berkembang (Perwitasari dkk., 2012). Pemilihan media tanam yang tepat dan sesuai dengan kebutuhan budidaya pakcoy sangat penting. Media tanam yang ideal untuk pakcoy harus memiliki beberapa sifat, yaitu memiliki rongga udara yang cukup, bersifat drainase yang baik, dan memiliki kemampuan untuk menahan air. Dengan demikian, pemilihan media tanam yang tepat akan berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman pakcoy.

Penggunaan ampas ecoenzim sebagai bahan organik dalam budidaya pakcoy dapat meningkatkan hasil panen dan kualitas produk, sekaligus mengurangi dampak lingkungan (Rana, 2023). Dengan demikian, penerapan pertanian organik dengan menggunakan ampas ecoenzim adalah langkah yang dapat menguntungkan dan berkelanjutan. Kondisi air terpenuhi berdampak positif bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Pada kondisi tersebut, turgor sel akan terjaga, sehingga terjadi pembelahan sel secara aktif. Apabila tekanan turgor menurun, maka tanaman akan menghentikan perbesaran sel dan mengakibatkan tanaman menjadi kerdil. Selain itu, kekurangan air dapat memengaruhi proses

pengangkutan hara dan air pada tanaman. Oleh karena itu, perlu diterapkan mikrokontroler Arduino sebagai alat penyiraman otomatis secara presisi berbasis IoT pada lahan budidaya pakcoy. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman pakcoy. Kadar air tanah pada tingkat 40% dari kapasitas lapang sering dianggap kurang memadai untuk pertumbuhan optimal tanaman pakcoy. Kondisi ini menyebabkan tanaman mengalami stres kekeringan, yang dapat mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman (Anjarwati, 2022) .

Penelitian kali ini mengeksplorasi potensi penerapan ampas ecoenzim sebagai solusi yang diharapkan dapat meningkatkan ketersediaan air bagi tanaman pakcoy. Ampas ecoenzim diharapkan dapat berperan dalam meningkatkan retensi air tanah, serta meningkatkan kapasitas penyimpanan air dalam tanah pada tingkat kelembapan yang diperlukan untuk pertumbuhan optimal tanaman. Melalui penerapan ampas ecoenzim ke dalam tanah pada kadar air acuan 40%, diharapkan mampu meningkatkan daya tampung air tanah, mempertahankan kelembapan tanah yang diperlukan, serta mengurangi dampak stres kekeringan yang dapat memengaruhi pertumbuhan dan kualitas panen tanaman pakcoy. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menjelajahi potensi solusi inovatif menggunakan ampas ecoenzim dalam mengatasi kekurangan air pada budidaya pakcoy, pada kondisi lingkungan dengan kadar air tanah yang kurang memadai.

Penelitian yang dapat dilakukan mencakup penerapan ampas ecoenzim pada media tanam pakcoy, serta pengelolaan irigasi otomatis menggunakan mikrokontroler Arduino Uno. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai dosis optimal ampas ecoenzim dalam mendukung konservasi air, serta meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi pertumbuhan pakcoy (*Brassica rapa L.*). Tata alur pemikiran disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pemikiran

1.5 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan pada penelitian ini adalah:

- (1) Pemberian dosis ampas ecoenzim 30 ton.ha⁻¹ dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*);
- (2) Penambahan ampas ecoenzim pada media tanam dapat mempertahankan kadar air tanah lebih baik dibandingkan tanpa penambahan ampas ecoenzim.

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Botani Pakcoy (*Brassica rapa L.*)

Pakcoy, yang juga dikenal sebagai sawi sendok, merupakan salah satu jenis sayuran yang populer dan banyak dikonsumsi oleh masyarakat. Di Indonesia, tanaman ini telah dibudidayakan secara luas menggunakan berbagai metode, baik modern maupun tradisional. Tanaman pakcoy memiliki beberapa karakteristik morfologis yang khas, seperti pertumbuhan yang tegak, daun yang padat dan berwarna hijau segar, serta batang daun yang kuat, lebar, dan berwarna putih (Rukmana, 2007). Karakteristik ini menjadikan pakcoy sebagai sayuran yang mudah dikenali dan bernilai ekonomis tinggi dalam sektor pertanian hortikultura.

Secara taksonomi, pakcoy diklasifikasikan ke dalam *Kingdom Plantae*, yang mencakup seluruh tumbuhan. Tanaman ini termasuk dalam Divisi *Spermatophyta*, yaitu kelompok tumbuhan berbiji, dan tergolong dalam Kelas *Dicotyledonae*, yang memiliki dua keping biji. Pakcoy masuk ke dalam Ordo *Rhoeadales*, Famili *Brassicaceae*, serta Genus *Brassica*. Spesies dari tanaman ini dikenal sebagai *Brassica rapa L.* (Rukmana, 2007). Klasifikasi tersebut menunjukkan bahwa pakcoy termasuk dalam keluarga tanaman *cruciferous*, yang dikenal kaya akan nutrisi dan bermanfaat bagi kesehatan.

2.2 Karakteristik Pakcoy (*Brassica rapa L.*)

Morfologi tanaman pakcoy sangat serupa dengan kubis atau kol karena kedekatan hubungan genetik antara keduanya. Morfologi tanaman pakcoy dapat diamati dari berbagai aspek, termasuk akar, batang, daun, serta bunga atau biji. Menurut Rukmana (2007), akar tanaman pakcoy memiliki bentuk akar tunggang yang

bercabang-cabang. Cabang-cabang akar ini menyebar ke berbagai arah, dengan kedalaman mencapai 30–40 cm di bawah permukaan tanah. Fungsi utama akar tanaman ini adalah untuk menyerap air dan unsur hara dari dalam tanah. Batang adalah komponen yang sangat penting dalam struktur tanaman. Tanaman pakcoy memiliki batang yang pendek dan bersegmen, sehingga batangnya tidak terlalu terlihat. Batang pakcoy termasuk dalam jenis batang semu, hal ini disebabkan karena pelepah daun tumbuh erat, melekat satu sama lain, dan tersusun secara teratur. Batang tanaman pakcoy berwarna hijau muda, yang berperan dalam pembentukan dan penopang daun tanaman (Rukmana, 2007).

Daun merupakan organ utama tempat terjadinya fotosintesis, yang sangat memengaruhi pertumbuhan tanaman. Karakteristik morfologi daun pakcoy mencakup bentuknya yang oval, berwarna hijau tua dengan sedikit kilap, tidak membentuk kepala atau krop, dan tumbuh dengan posisi agak tegak atau setengah mendatar. Daun-daun tanaman ini tersusun rapat dalam bentuk spiral dan melekat pada batang. Tangkai daunnya berwarna hijau muda, berdaging, dan gemuk (Rukmana, 2007). Tanaman pakcoy juga memiliki bunga dan biji. Bunga pakcoy tersusun dalam bentuk tangkai bunga yang tumbuh panjang dan memiliki banyak cabang. Setiap kelopak bunga terdiri dari empat helai daun kelopak, empat helai mahkota bunga berwarna kuning cerah, empat helai benang sari, dan satu putik yang berongga dua (Hidajat, 1994). Rukmana (2007) juga mencatat bahwa buah pakcoy termasuk dalam tipe buah polong yang memiliki bentuk memanjang dan berongga. Setiap buah (polong) berisi antara 2 hingga 8 butir biji. Biji pakcoy berbentuk bulat kecil, dengan warna coklat atau coklat kehitaman, memiliki permukaan yang licin, mengkilap, dan cukup keras.

2.3 Syarat Tumbuh Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa L.*)

Tanaman pakcoy memerlukan kondisi lingkungan tertentu agar dapat tumbuh optimal. Pakcoy tumbuh baik pada daerah dengan ketinggian antara 5 hingga 1.200 meter di atas permukaan laut, suhu udara berkisar antara 20–25°C, dan kelembaban udara yang cukup tinggi. Tanaman ini membutuhkan intensitas

cahaya matahari yang cukup, yaitu sekitar 10–12 jam per hari, untuk mendukung proses fotosintesis secara maksimal. Selain itu, pakcoy memerlukan media tanam yang gembur, subur, kaya bahan organik, serta memiliki pH tanah antara 5,5 hingga 6,5. Kondisi tersebut mendukung penyerapan unsur hara secara efisien dan pertumbuhan akar yang sehat. Tanah dengan drainase baik juga penting untuk mencegah genangan air yang dapat menyebabkan busuk akar.

Kadar air tanah adalah salah satu faktor penting yang memengaruhi pertumbuhan dan hasil panen tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*). Tanaman ini mencapai kinerja paling baik ketika kadar air tanah berada dalam kisaran 60–70% dari kapasitas lapang tanah. Kadar air di bawah 50% dapat menghambat pertumbuhan tanaman, mengakibatkan stres pada tanaman pakcoy, dan mengurangi hasil panen. Di sisi lain, kadar air yang terlalu tinggi, yaitu di atas 80%, dapat menyebabkan masalah akar yang berlebihan dan memengaruhi pertumbuhan tanaman secara negatif (Luthfiyyani, 2023).

2.4 Kebutuhan Air Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa L.*)

Tanaman pakcoy membutuhkan air dalam jumlah yang cukup dan teratur untuk mendukung pertumbuhan optimalnya. Ketersediaan air yang memadai berperan penting dalam proses fotosintesis, penyerapan nutrisi, dan pembentukan jaringan tanaman. Tanaman ini umumnya memerlukan penyiraman sebanyak satu hingga dua kali sehari, tergantung pada kondisi cuaca dan kelembaban media tanam. Kekurangan air dapat menyebabkan daun layu, pertumbuhan terhambat, dan penurunan kualitas hasil panen. Oleh karena itu, petani perlu mengatur frekuensi dan volume penyiraman secara tepat agar kebutuhan air tanaman pakcoy terpenuhi secara optimal.

Kadar air tanah merupakan kandungan air dalam media tanam. Jumlah air yang terdapat dalam media tanam tergantung pada kemampuan media tanam dalam menyerap air. Media tanam yang baik bagi pertumbuhan tanaman yaitu media yang dapat menyerap dan meneruskan air yang diterima dari permukaan media

tanam (Triana dkk., 2018). Kelembapan tanah yang sesuai untuk tanaman pakcoy yaitu yang memiliki kelembapan sebesar 50% - 70% (Novan dkk., 2021).

Ketersediaan air yang memadai sangat penting dalam mendukung pertumbuhan pakcoy. Air tidak hanya menyediakan nutrisi yang diperlukan bagi tanaman, tetapi juga memastikan kelembapan tanah yang konstan. Dengan demikian, tanaman dapat mengakses nutrisi di dalam tanah secara lebih efisien (Smith dkk., 2018).

2.5 Peran Bahan Organik terhadap Tanaman

Bahan organik memiliki peran sentral dalam meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman melalui perbaikan sifat fisika, kimia, dan biologi tanah. Dari aspek fisika, bahan organik membantu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan porositas, dan kemampuan tanah menahan air sehingga sistem perakaran tanaman dapat berkembang lebih optimal (Yulnafatmawita, 2006). Sifat tersebut penting dalam menjaga ketersediaan air di sekitar akar dan mengurangi risiko kekeringan pada tanaman. Selain itu, bahan organik juga dapat mengurangi erosi tanah dengan memperkuat agregat tanah.

Secara kimia, bahan organik berfungsi sebagai sumber unsur hara makro dan mikro yang dibutuhkan tanaman seperti nitrogen, fosfor, dan kalium. Melalui proses dekomposisi, mikroorganisme tanah akan menguraikan bahan organik menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana dan mudah diserap oleh tanaman (Sutedjo, 2012). Kandungan asam humat dan fulvat dalam bahan organik juga dapat meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah, sehingga efisiensi penyerapan hara oleh tanaman menjadi lebih baik. Oleh karena itu, pemberian bahan organik secara berkelanjutan menjadi salah satu strategi penting dalam budidaya tanaman yang ramah lingkungan dan produktif.

2.6 Ampas Ecoenzim

Ampas ecoenzim merupakan residu padat yang dihasilkan dari proses pembuatan ecoenzim, sebuah produk fermentasi limbah organik dapur yang kaya akan

mikroorganisme dan enzim. Selama proses fermentasi, limbah organik yang digunakan akan terurai menjadi senyawa organik yang lebih sederhana, meskipun sebagian besar senyawa kompleks seperti selulosa, lignin, dan senyawa humik masih belum terurai sepenuhnya. Komposisi kimiawi ampas ecoenzim sangat bergantung pada jenis limbah yang digunakan, rasio bahan, waktu fermentasi, dan kondisi lingkungan yang mendukung proses tersebut (Wang dan Zhang, 2022). Senyawa organik yang terdapat dalam ampas ecoenzim memiliki potensi besar untuk berfungsi sebagai bahan organik yang dapat memperbaiki kualitas tanah dan mendukung keberlanjutan dalam pertanian.

Kandungan nutrisi tinggi, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, serta keberadaan mikroorganisme yang bermanfaat, menjadikan ampas ecoenzim sebagai bahan yang sangat efektif dalam pengolahan tanah. Mikroorganisme dalam ampas ecoenzim membantu dalam proses dekomposisi bahan organik dan meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman (Rukmana dkk., 2017). Oleh karena itu, pemanfaatan ampas ecoenzim tidak hanya berfungsi untuk mengelola limbah, tetapi juga memberikan kontribusi positif terhadap sistem pertanian berkelanjutan. Dengan mengoptimalkan penggunaan ampas ecoenzim, industri dapat mengurangi limbah organik sekaligus memanfaatkan sumber daya alam secara efisien, membuka peluang untuk inovasi dalam pengelolaan limbah organik, dan perkembangan produk yang lebih ramah lingkungan (Wang dan Zhang, 2022).

2.7 Mikrokontroler Arduino Uno dan Sensor Kadar Air Tanah

Arduino adalah gabungan dari perangkat keras (*hardware*), bahasa pemrograman, dan *Integrated Development Environment* (IDE) yang canggih. IDE berperan penting dalam proses penulisan program, mengonversinya menjadi kode biner, dan mengunggahnya ke dalam memori mikrokontroler (Yahwe, 2016). Arduino Uno, sebagai salah satu varian Arduino yang umum digunakan, dikembangkan berbasis mikrokontroler ATmega328P. Arduino Uno memiliki 14 pin digital *input/output*, dengan 6 di antaranya dapat digunakan sebagai sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). Selain itu, Arduino Uno memiliki 6 pin analog input,

dilengkapi dengan kristal osilator berkecepatan 16 MHz, koneksi USB, konektor listrik, pin header dari ICSP, dan tombol reset yang digunakan untuk mengulang program (Silvia, 2015). Dalam operasinya, Arduino Uno memerlukan daya yang dapat diberikan melalui USB power, adaptor, atau baterai (Herananda, 2016).

Keunggulan Arduino antara lain adalah tidak memerlukan perangkat pemrograman chip tambahan karena telah memiliki *bootloader* yang dapat menangani pengunggahan program dari komputer. Selain itu, bahasa pemrograman Arduino relatif mudah digunakan, didukung oleh perpustakaan komputer yang lengkap (Silvia, 2015).

Sensor kelembapan tanah, seperti *Capacitive Soil Moisture Sensor V1.2*, memainkan peran penting dalam sistem pengukuran kelembapan tanah berbasis Arduino Uno. Sensor ini bekerja dengan prinsip *capacitance*, yang mengukur perubahan kapasitansi antara dua elektrode yang terpasang pada sensor saat kelembapan tanah berubah. Perubahan kelembapan tanah akan memengaruhi nilai kapasitansi, yang kemudian dikonversi menjadi sinyal analog atau digital yang dapat dibaca oleh mikrokontroler Arduino. Keunggulan dari sensor ini terletak pada ketahanannya terhadap karat, karena PCB (*Printed Circuit Board*) sensor dilapisi dengan lapisan cat PCB yang melindunginya dari korosi akibat kelembapan tanah yang tinggi (RDD Technologies, 2014). Dengan kemampuannya untuk mengukur kelembapan tanah secara akurat dan tahan lama, sensor ini sangat cocok digunakan dalam aplikasi pemantauan tanah otomatis, seperti dalam sistem irigasi pintar atau sistem pertanian berbasis teknologi.

Dalam penelitian ini, mikrokontroler Arduino Uno dimanfaatkan sebagai pengendali sistem irigasi otomatis, yang bertujuan untuk mempertahankan kadar air optimal pada media tanam organik yang digunakan untuk budidaya pakcoy (*Brassica rapa L.*). Dengan mengintegrasikan sensor kelembapan tanah, Arduino Uno mampu memantau secara kontinu kondisi kelembapan media tanam dan mengaktifkan pompa air secara otomatis ketika kadar air turun di bawah ambang batas yang telah ditentukan. Pendekatan ini memungkinkan distribusi air irigasi yang lebih presisi, sehingga mencegah terjadinya kondisi kelebihan atau

kekurangan air yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Selain itu, penggunaan media tanam organik yang kaya akan bahan organik dapat meningkatkan kapasitas menahan air, namun juga memerlukan pengelolaan kelembapan yang lebih cermat. Oleh karena itu, penerapan sistem irigasi otomatis berbasis Arduino Uno pada media tanam organik merupakan upaya untuk mengoptimalkan penggunaan air dan menciptakan lingkungan tumbuh yang kondusif bagi pertumbuhan pakcoy.

III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Lapangan Terpadu, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Bandar Lampung, dari 16 April hingga 16 Juni 2024, dengan spesifik lokasi 05°22' LS dan 105°14' BT, pada ketinggian 148 m dpl.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah adaptor, alat semai, alat semprot, alat tulis, alat ukur kelembapan tanah, Arduino Uno, breadboard, cangkul, ember, kabel bintang serabut, kabel jumper, kotak pelindung alat, laptop, mikroskop, mistar ukur, nampan, obeng tespen min plus, oven, pipa ½ inci, pisau tipis/cutter, pompa, relay, selang air, solder, spidol, selang ¼ inci, stapler, data logger, timbangan digital, dan terminal colokan.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air, tanah, ampas ecoenzim, arang sekam, benih pakcoy, lakban, isolasi, lem tembak, staples tembak, paku, tali rafia, papan kayu, dan plastik UV.

3.3 Metode

Perlakuan yang diuji terdiri atas satu faktor utama dengan empat taraf percobaan, sehingga memungkinkan dilakukan analisis perbandingan antar taraf perlakuan guna mengetahui pengaruh yang ditimbulkan terhadap variabel yang diamati.

P0 = Tanpa Ampas Ecoenzim (Kontrol)

P1 = Ampas Ecoenzim (10 ton.ha⁻¹)

P2 = Ampas Ecoenzim (20 ton.ha⁻¹)

P3 = Ampas Ecoenzim (30 ton.ha⁻¹)

Konversi dosis pupuk pada setiap perlakuan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

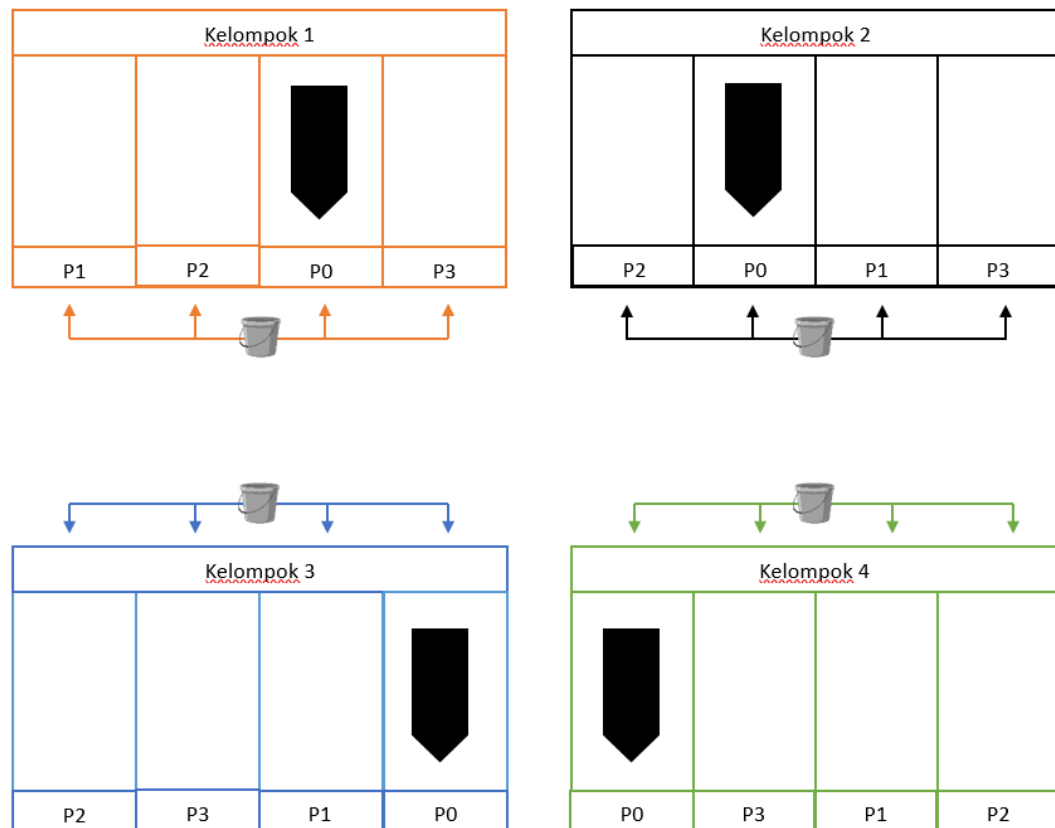
$$\frac{\text{Dosis pupuk/ha}}{\text{Bobot tanah/ha}} = \frac{\text{Dosis pupuk/petak}}{\text{Bobot tanah/petak}}$$

Dosis pupuk ampas ecoenzim ditentukan berdasarkan bobot tanah pada setiap petak. Penelitian ini menggunakan empat perlakuan, yaitu kontrol (tanpa ampas ecoenzim) serta perlakuan dengan dosis 10, 20, dan 30 ton/ha, yang masing-masing setara dengan 525 g, 1.050 g, dan 1.575 g per petak. Percobaan dilakukan dengan menggunakan empat ulangan (U), sehingga jumlah satuan percobaan adalah $4 \times 4 = 16$ satuan percobaan. Tata letak percobaan disusun berdasarkan hasil pengundian gulungan kertas yang diambil secara acak. Adapun tata letak petak perlakuan dapat dilihat pada Gambar 2.

Semua data yang diperoleh pada penelitian ini dianalisis menggunakan Microsoft Excel. Uji homogenitas ragam antarperlakuan dilakukan dengan Uji Bartlett, uji aditivitas atau kemenambahan data uji dengan menggunakan Uji Tukey, dan dilanjutkan dengan uji lanjut pemisahan nilai tengah menggunakan Uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) pada taraf nyata 5 %.

3.4 Pelaksanaan

Langkah-langkah pelaksanaan penelitian meliputi perancangan perangkat keras, pembuatan skema rangkaian, pemasangan komponen, serta pengujian dan kalibrasi alat hingga proses penanaman. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa



Gambar 2. Tata Letak Percobaan

tahapan yaitu, perencanaan perangkat keras, pembuatan skema rangkaian, pemasangan komponen, kalibrasi alat, perlakuan alat, penyemaian, pemindahan tanaman, pemeliharaan, pengamatan tanaman, dan pemanenan.

3.4.1 Perancangan Perangkat Keras

Rencana perangkat keras ini melibatkan pengaturan input dengan penggunaan Arduino Uno yang telah dilengkapi dengan mikrokontroler Uno. Selain itu, sistem ini juga memanfaatkan sensor kelembapan tanah V1.2 untuk mendeteksi nilai RH (*Relative Humidity*) kelembapan tanah. Sumber daya menggunakan *power supply switching* DC 5V 3A sebagai sumber daya tunggal. Sistem ini melibatkan modul *relay* untuk mengatur arus listrik, modul pompa air untuk penyiraman tanaman, kabel jumper *male-female* sesuai kebutuhan untuk menyusun rangkaian, dan sebuah kotak rangkaian untuk komponen sistem.

3.4.2 Pembuatan Skema Rangkaian

Pembuatan skema rangkaian merupakan perpaduan beberapa komponen hingga menghasilkan sistem modul awal. Pada tahap ini, proses dimulai dari model awal yakni pembuatan struktur penyiram tanaman otomatis dan pemilihan komponen elektronika yang digunakan.

3.4.3 Pemasangan Komponen

Pada fase ini, komponen yang telah disiapkan dipasang dan dihubungkan di breadboard sesuai dengan skema yang telah dirancang (Gambar7). Proses pemasangan komponen alat dan bahan dilakukan sebagai berikut:

- (1) Perangkat Arduino dihubungkan dengan sensor kelembaban tanah V1.2 menggunakan kabel sesuai dengan panduan pemasangan pin antara Arduino dan modul sensor untuk memastikan pembacaan alat sesuai;
- (2) Modul pompa air, *relay*, dan *converter* DC digabungkan dengan Arduino menggunakan kabel *jumper*;
- (3) Pompa dihubungkan dengan hardware Arduino menggunakan kabel *jumper*;
- (4) Program modul ditulis dan disusun pada laptop yang telah dilengkapi dengan perangkat lunak Arduino IDE.

3.4.4 Kalibrasi Alat

Kalibrasi alat dilakukan dengan mencari persamaan kadar persentase kadar air dengan nilai setiap sensor. Metode ini digunakan untuk mengetahui persentase kandungan air yang tersedia dalam tanah. Proses pengukuran dilakukan dengan mengambil sampel tanah seberat 20 gram, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama kurang lebih 5 menit. Pengeringan dilakukan sebanyak lima kali dengan tujuan untuk mengurangi kandungan air dalam tanah hingga mencapai tingkat kering sempurna atau 0%. Perhitungan kadar air dilakukan menggunakan metode Thorntwaite:

$$\theta_{wfc} = \frac{\text{Berat basah} - \text{Berat kering}}{\text{Berat kering}} \times 100\% \text{ (gustama, 2012)}$$

Data yang diperoleh akan diolah dengan menyeragamkan nilai-nilai yang ada sehingga diperoleh hubungan antara pembacaan sensor dan kadar air tanah. Selanjutnya, dibuat grafik regresi linier untuk mendapatkan persamaan $y = ax + bx$ yang nantinya digunakan dalam pemrograman di Arduino IDE. Nilai kadar air yang diperoleh kemudian dikonversi, di mana kadar air 100% disetarakan dengan kapasitas lapang sebesar 46%, dan kadar air 0% disetarakan dengan titik layu permanen sebesar 26%. Penyesuaian ini merujuk pada pernyataan Arimbi (2011), yang menyebutkan bahwa kapasitas lapang tanah di lokasi penelitian (LTPD) adalah 46%, sedangkan titik layu permanennya sebesar 26%. Data lengkap mengenai sifat fisik tanah yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

3.4.5 Perlakuan Alat

Pada tahap perlakuan, dilakukan uji coba alat secara langsung di lapangan yang mencakup pengujian perangkat keras, perangkat lunak, serta sistem instalasi pengairan. Uji coba ini bertujuan untuk menilai kinerja keseluruhan alat, memastikan kesesuaian hasil yang diperoleh dengan tujuan awal penelitian, serta memverifikasi apakah setiap komponen dapat berfungsi secara optimal dan saling mendukung. Melalui tahapan ini, diharapkan potensi kendala teknis maupun operasional dapat teridentifikasi lebih awal sehingga alat dapat dijalankan sesuai dengan fungsi dan tujuan yang telah ditetapkan.

3.4.6 Penyemaian

Persemaian tanaman pakcoy diawali dengan memasukkan media tanam yang terdiri dari tanah, arang sekam dan pupuk kandang kambing dengan perbandingan volume (1:1:1) ke dalam tray semai atau nampan persemaian. Kemudian setiap petak tray diisi 2 benih pakcoy.

Tabel 1. Data Sifat Fisika Tanah yang Digunakan pada Penelitian (Arimbi, 2011)

Karakteristik	Kedalaman tanah pada zona perakaran	
	0-20cm	20-40 cm
Pasir (%)	39,30	35,24
Debu (%)	24,31	16,21
Liat (%)	36,39	48,55
Kelas Tekstur	Lempung Berliat	Liat
Berat isi (γ_b) ((g/cm ³)	1,16	1,19
Kapasitas Lapang (θ_{fc}) (%V)	38,85	45,90
Titik layu (θ_{pwp})(%V)	22,20	26,23
Air Tersedia (θ_{AW})(%V)	16,65	19,67

Tray persemaian yang sudah terisi benih pakcoy dipindahkan ke tempat yang tidak terkena cahaya langsung. Selanjutnya benih disiram dengan air pada pagi dan sore hari. Bibit dipindah tanam ke lahan pada umur 14 hari atau 2 minggu setelah semai, dengan kriteria bibit sudah berdaun tiga sampai empat, batang tegak, serta bebas dari hama penyakit.

3.4.7 Pemindahan Tanam

Pemindahan bibit pakcoy ke lahan (*transplanting*) dilakukan ketika tanaman berumur antara 10 hingga 14 hari setelah disemai, atau setelah memiliki 3 hingga 4 helai daun. Sebelum penanaman, setiap petak lahan disemprot terlebih dahulu dengan fungisida berbahan aktif Mankozeb 80% untuk mencegah pertumbuhan jamur, serta permukaan media tanam dirapikan guna mempermudah proses penanaman. Bibit pakcoy kemudian ditanam dengan jarak tanam 20 x 15 cm, dengan jumlah 10 tanaman per petak.

3.4.8 Pemeliharaan

Pemeliharaan tanaman pakcoy meliputi kegiatan penyiangan gulma, pemupukan, serta pengendalian hama dan penyakit. Penyiangan dilakukan secara manual dengan mencabut gulma yang tumbuh di sekitar tanaman pakcoy, dan dilakukan

setiap kali gulma muncul di setiap petak perlakuan. Pemupukan dilakukan satu kali dengan menggunakan pupuk anorganik jenis NPK sebanyak 150 gram per hektar yang diaplikasikan pada umur 15 hari setelah tanam (HST) dengan cara disebar. Hama yang umum ditemukan dalam budidaya pakcoy antara lain ulat dan belalang, yang dikendalikan melalui aplikasi insektisida atau metode mekanis. Sementara itu, untuk pengendalian penyakit, digunakan fungisida berbahan aktif Antracol dengan konsentrasi 2 g/L yang diaplikasikan melalui penyemprotan. Tanaman yang telah terinfeksi penyakit dicabut dan dimusnahkan untuk mencegah penyebaran ke tanaman lain.

3.4.9 Pemanenan

Pemanenan pakcoy (*Brassica rapa L.*) dalam penelitian ini dilakukan pada hari ke-30 setelah tanam, sesuai dengan umur panen optimal varietas yang digunakan. Proses pemanenan dilakukan secara manual dengan cara mencabut seluruh bagian tanaman dari media tanam, kemudian dibersihkan dari sisa media atau kotoran yang menempel.

3.5 Pengamatan Tanaman

Pengamatan dilakukan untuk memperoleh data yang representatif, sampel tanaman diambil secara acak sebanyak delapan tanaman pada setiap ulangan di masing-masing petak percobaan. Pengambilan sampel dilakukan dengan tujuan untuk memastikan bahwa hasil pengamatan mencerminkan kondisi umum tanaman dalam petak tersebut. Variabel yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, bobot basah tanaman, bobot kering tanaman, bobot basah akar, bobot kering akar, Panjang akar, dan diameter bonggol.

3.5.1 Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman diukur dari permukaan tanah hingga ujung daun paling panjang. Pengukuran dilakukan pada 8 sampel tanaman contoh pada setiap 7 hari sekali.

3.5.2 Jumlah Daun

Jumlah daun pada delapan tanaman sampel dihitung secara manual untuk memperoleh data pertumbuhan vegetatif. Penghitungan dilakukan satu kali setiap minggu selama periode pengamatan.

3.5.3 Bobot Segar Tanaman

Bobot segar total dari setiap tanaman diperoleh dengan menimbang seluruh bagian tanaman. Penimbangan dilakukan setelah tanaman mencapai tahap panen fisiologis, yaitu saat seluruh komponen tanaman dianggap telah tumbuh optimal.

3.5.4 Bobot Segar Akar

Bobot segar akar diperoleh dengan cara memisahkan akar dari bagian tanaman lainnya setelah proses pemanenan. Setelah itu, akar ditimbang secara akurat menggunakan timbangan analitik untuk mendapatkan data yang presisi.

3.5.5 Panjang Akar

Panjang akar diperoleh dengan memilih 3 akar terpanjang pada setiap sampel, dan diukur menggunakan penggaris/mistar ukur, kemudian dihitung rata-rata panjang akar pada setiap sampel.

3.5.6 Diameter Bonggol

Diameter bonggol diukur dengan menggunakan jangka sorong. Diameter bonggol didefinisikan sebagai jarak terjauh antara dua titik pada permukaan melintang bonggol yang tegak lurus terhadap sumbu utama tanaman.

3.5.7 Bobot Kering Tanaman

Bobot kering tanaman diperoleh dengan cara mengeringkan seluruh bagian tanaman dalam oven pada suhu 105°C. Proses pengeringan dilakukan selama satu hari atau hingga bobot tanaman tidak berubah lagi (bobot konstan), kemudian tanaman tersebut ditimbang untuk mendapatkan bobot keringnya.

3.5.8 Bobot Kering Akar

Bobot kering akar diperoleh dengan cara mengeringkan bagian akar tanaman hingga mencapai berat konstan. Prosedur ini sama seperti penentuan bobot kering tanaman secara keseluruhan, namun hanya difokuskan pada bagian akar saja.

3.5.9 Kadar Air Harian

Konsumsi air harian tanaman diukur secara tidak langsung melalui pengurangan volume air dalam wadah tanam. Perubahan volume air dicatat setiap hari menggunakan penggaris pada ember penyimpanan air (Gambar 8).

V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Simpulan dari penelitian ini adalah:

- (1) Pemberian ampas ecoenzim pada media tanam dengan dosis tertentu mampu meningkatkan pertumbuhan dan hasil produksi tanaman pakcoy. Namun, penggunaan dalam dosis yang terlalu tinggi justru dapat menurunkan laju pertumbuhan vegetatif tanaman;
- (2) Penambahan ampas ecoenzim ke dalam media tanam dapat membantu tanah mempertahankan kadar air lebih baik dibandingkan media tanam yang tidak mengandung ampas ecoenzim. Semakin tinggi dosis yang diberikan, semakin besar pula kemampuan tanah dalam menyimpan air.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengevaluasi pengaruh variasi dosis ampas ecoenzim terdekomposisi terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman pakcoy, serta menelaah dampak jangka panjang interaksinya dengan bahan organik dalam meningkatkan retensi air tanah, disertai metode pemantauan yang lebih canggih untuk memperoleh evaluasi respons tanaman yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, A., Jumini, J., dan Nurhayati, N. 2015. Pengaruh Jenis Bahan Organik terhadap Pertumbuhan dan Hasil Dua Varietas Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill L.). *Jurnal Floratek*. 10(1): 46–53.
- Anjarwati, D., Karyanto, A., Hidayat, K. F., dan Sanjaya, P. 2022. Pertumbuhan dan Produksi Pakcoy (*Brassica rapa* L.) pada Beberapa Taraf Pemberian Air yang Dikontrol Secara Presisi Menggunakan Mikrokontroler Arduino. *Jurnal Agrotek Tropika*. 10(3): 477.
- Ashar, J. R., Farhanah, A., Simatupang, D. F., Friska, M., Ismayanti, R., dan Hamzah, P. 2024. *Genetika Tanaman*. Tohar Media. 322 halaman.
- Bhardwaj, A., Singh, M., dan Yadav, S. 2020. *Automated Irrigation System Using Arduino*. *International Journal of Agricultural Technology*. 16(5): 1189–1200.
- Bronick, C. J., dan Lal, R. 2005. *Soil Structure and Management: A Review*. *Geoderma*, 124(1-2), 3–22.
- BPS. 2024. Produksi Sayuran Indonesia 2023 (Online). <http://www.bps.go.id/>. Diakses tanggal 30 Juni 2024.
- Deacon, J.W. 2007. *Modern Mycology 3rd ed*. Blackwell Science. New York. 303 halaman.
- Edi, S., dan Bobihoe, J. 2010. *Budidaya Tanaman Sayuran*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian. Jambi. 54.
- Faradiba, A. A., Dwi, E. Y., dan bin Sa'id, I. 2023. *Impact of Urea Fertiliser on Plant Tissue of Rice (Oryza sativa L) in Food Production*. *Jurnal Agricultural Science*. 18(2): 55–60.
- Fatana, D., Suharli, L., dan Sandra, E. 2024. Pembuatan Media MS (*Murashigae and Skoog*) dengan Tambahan Konsentrasi Zpt Secara *In Vitro*. *Jurnal Satwa Tumbuhan Indonesia*. 1(1): 9–14.

- Firnanda, Y. 2021. Pengaruh Interval Waktu Penyemprotan Ecoenzim terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa L.*) Dengan Teknik Hidroponik. *Doctoral dissertation, Agroekoteknologi*. 12(4): 21–33.
- Gunawan, T., Ramadhani, A., dan Lestari, M. 2019. *Enhancement of Soil Water Retention Using Automated Irrigation Systems. Environmental Science Journal*. 14(4): 293–301.
- Hadisuwito. 2015. Pengaruh Perlakuan Kombinasi Media Tanam terhadap Pertumbuhan Tanaman Sawi (*Brassicca juncea L.*). *Jurnal Silvikultur Tropika*. 3(2): 81–84.
- Husdi, H. 2018. Monitoring Kelembapan Tanah Pertanian Menggunakan Soil Moisture Sensor Fc- 28 dan Arduino Uno. *ILKOM Jurnal Ilmiah*. 10(1): 237–243.
- Hidajat, E. B. 1994. *Morfologi Tumbuhan*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Proyek Pendidikan Tenaga Kerja. Jakarta. 250 halaman.
- Idawati, I., Rosnina, R., Jabal, J., Sapareng, S., Yasmin, Y., dan Yasin, S. M. 2017. Penilaian Kualitas Kompos Jerami Padi dan Peranan Biodekomposer Dalam Pengomposan. *Journal Tabaro Agriculture Science*. 1(2): 127–135.
- Kementerian Pertanian. 2011. *Peraturan Menteri Pertanian Nomor 70/Permentan/SR.140/10/2011 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenh Tanah*. Jakarta. Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 109 halaman.
- Kumar, P., Sharma, R., dan Gupta, S. 2021. *Smart Irrigation Management Using Iot and Arduino: A Review. Journal of Agricultural Sciences*. 13(2): 85–92.
- Lehmann, J., dan Kleber, M. 2015. *The Contentious Nature of Soil Organic Matter. Nature*. 8(80): 60–68.
- Luthfiyyani, F., Abror, M., dan Arifin, S .2023. *Watering Regimes Impact on Pakcoy Mustard Growth, Yield, and Nutrient Dynamics. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2(1): 12–15.
- Maharani, T. 2021. Perbaikan Sifat Kimia Tanah dengan Aplikasi Kompos Alang–Alang pada Gambut Terbakar dan Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan dan Produksi Kacang Hijau (*Vigna radiata L.*). *Dinamika Pertanian*. 37(3): 233–242.
- Marschner, H. 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press*: 298 halaman.

- Marvelia, A., Darmanti, S., dan Parman, S. 2006. Produksi Tanaman Jagung Manis (*Zea Mays L. Saccharata*) yang Diperlakukan dengan Kompos Kascing dengan Dosis yang Berbeda. *Anatomi Fisiologi*. 14(2): 7–18.
- Nurhasanah, O., Yetti, H., dan Ariani, E. 2015. Pemberian Kombinasi Pupuk Hijau Azolla Pinnata dengan Pupuk Guano terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Pakcoy (*Brassica chinensis L.*). Universitas Riau. *Jurnal Online Mahasiswa FAPERTA*. 2(1): 12–18.
- Oktavia, R., dan Sumardi, S. 2022. Kemampuan *Bacillus sp.* sebagai Bioremediasi Bahan Pencemar. *Jurnal Bioterdidik: Wahana Ekspresi Ilmiah*. 10(2): 110–125.
- Paendong, A., Horopu, L. A., Momongan, R. C., Durandt, N., Rey, J. F., & Manginsela, E. P. 2023. *Eco Style*: Pemanfaatan Ecoenzyme sebagai Pupuk Organik Lokal yang Menguntungkan pada Produksi dan Pendapatan Usahatani Stevia Rebaudiana. *AGRI-SOSIOEKONOMI*. 19(1): 549–556.
- Pambudi, A.S., Andryana, S. dan Gunaryati, A. 2020. Rancang Bangun Penyiraman Tanaman Pintar Menggunakan *Smartphone* dan Mikrokontroler Arduino Berbasis *Internet of Thing*. *J. Media Inform.* 4(2): 250–265.
- Perwitasari, B., Mustika T., dan Catur W. 2012. Pengaruh Media Tanam dan Nutrisi Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pakcoy (*Brassica chinensis*) dengan Sistem Hidroponik. *Agrovigor* . 5(1): 14–25.
- Prizal, R. M., dan Nurbaiti, N. 2017. Pengaruh Pemberian Pupuk Organik Cair terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Pakcoy (*Brassica Rapa L.*). *Doctoral dissertation*. Riau University. 4(2): 3–9.
- Rathi, P., dan Sharma, A. 2017. *Effect of Organic Amendments on Soil Microbial Communities and Plant Growth In Agriculture*. *Soil Biology and Biochemistry*. 115(6): 118–129.
- Rana, K. 2023. Pengaruh Pemberian Ecoenzim sebagai Pupuk Organik Cair terhadap Pertumbuhan Tanaman Sawi Pakcoy (*Brassica rapa L.*). *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*. 12(1): 50–59.
- RDD Technologies. 2014. *Soil Sensor*. <https://rddtech.com/product/capacitive-soil-moisturesensor-anti-karat>. Diakses 20 September 2023.
- Rukmana, R. 2007. Bertanam Petsai dan Sawi. *Kanisius*. Yogyakarta. 57 halaman.
- Sahfiitra, A. A. 2023. Variasi Kapasitas Tukar Kation (Ktk) dan Kejenuhan Basa (Kb) pada Tanah Hemic Haplosaprist yang Dipengaruhi oleh Pasang Surut di Pelalawan Riau. *Biofarm: Jurnal Ilmiah Pertanian*. 19(1): 103–112.

- Setiawan, R., dan Suryanto, B. 2020. *Peran Mikroorganisme Tanah dalam Meningkatkan Ketersediaan Hara pada Media Tanam Organik*. Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan, 22(1), 45–52.
- Silvia, A., F. Haritman, E dan Muladi, Y. 2014. Rancang Bangun Akses Kendali Pintu Gerbang Berbasis Arduino dan Android. *Amikom Journal System*. 13(1): 1–10.
- Simangunsong, T., dan Anam, M. K. 2022. Penerapan Terkini Teknologi Bioflok dalam Budidaya Ikan Nila: Sebuah Tinjauan. *Global Science*. 3(1): 41–48.
- Smith, J., Brown, A., and Johnson, R. 2020. *Enzyme Recovery from Ecoenzyme Waste for Food Industry Applications*. *Journal of Environmental Chemistry*. 10(2): 123–136.
- Smith, J. L., dan Paul, E. A. 2019. *The Significance of Soil Microbial Biomass Estimations*. *Soil Biology and Biochemistry*. 22(6): 585–589.
- Smith, J., Johnson, A., and Brown, M. 2018. *The Water Requirements of Pak Choi: A Comprehensive Study*. *Journal of Plant Growth Regulation*. 40(2): 123–135.
- Susilowati, L. E., Azizah, I. R., Zilfida, S. A., Ilmi, M. T. J., Nisa, H., Tamala, D., dan Umami, L. 2023. Edukasi Penerapan Irigasi Tetes Sederhana pada Budidaya Tanaman Pakcoy di Polybag. *Jurnal Abdi Insani*. 10(4): 38–88.
- Sutanto. R. 2012. *Penerapan Pertanian Organik*. Kanisius. Yogyakarta. 219 halaman.
- Sutedjo, M. M. 2012. *Pupuk dan Cara Pemupukan*. Jakarta: Rineka Cipta. 177 halaman.
- Syaputra, D., Alibasyah, M. R., dan Arabia, T. 2015. Pengaruh Kompos dan Dolomit terhadap Beberapa Sifat Kimia Ultisol dan Hasil Kedelai (*Glycine max L. Merril*) pada Lahan Berteras. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Lahan*. 4(1): 535–542.
- Triana, A. Purnomo, R., Pangabean, T dan Juwita, R. 2018. Aplikasi Irigasi Tetes (*Drip Irrigation*) dengan Berbagai Media Tanam pada Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa L.*). *Jurnal Teknik Pertanian*. 6(1): 91–98.
- Wahyuningsih, A., Fajriani, S dan Aini, N. 2016. Komposisi Nutrisi dan Media Tanam terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pakcoy (*Brassica Rapa L.*) Sistem Hidroponik. *Jurnal Produksi Tanaman*. 4(8): 595–601.
- Watling, R., dan Richardson, M. J. 2010. *Fungi and Decomposition*. *Fungal Biology Reviews*. 24(3-4): 110–120.

- Wang, L., dan Zhang, Q. 2022. *Utilization of Ecoenzim Waste Residue as a Sustainable Resource in Industrial Applications. Journal of Environmental Chemistry and Engineering*. 14(3): 215–230.
- Yildirim, E., Bayram, E., dan Köse, M. 2020. *Effects of Soil Aeration on Root Growth and Plant Performance. Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 20(3): 456–468.
- Yulnafatmawita. 2006. Peran Bahan Organik terhadap Perbaikan Sifat Tanah dan Peningkatan Produksi Tanaman. *Jurnal Agrivigor*, 5(2), 121-128.