

**PENGARUH PEMBERIAN PUPUK ECO ENZYME, POC TEKNOLOGI
NANO, DAN AB-MIX TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL
PANEN TANAMAN SELADA (*Lactuca sativa* L.) PADA SISTEM
HIDROPONIK NFT**

(Skripsi)

Oleh
FATHUR RAMADHAN
2214161051



UNIVERSITAS LAMPUNG
2026

**PENGARUH PEMBERIAN PUPUK ECO ENZYME, POC TEKNOLOGI
NANO, DAN AB-MIX TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL
PANEN TANAMAN SELADA (*Lactuca sativa* L.) PADA SISTEM
HIDROPONIK NFT**

Oleh

Fathur Ramadhan

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Agronomi dan Hortikultura
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PENGARUH PEMBERIAN PUPUK ECO ENZYME, POC TEKNOLOGI NANO, DAN AB-MIX TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL PANEN TANAMAN SELADA (*Lactuca sativa* L.) PADA SISTEM HIDROPONIK NFT

OLEH

FATHUR RAMADHAN

Selada (*Lactuca sativa* L.) merupakan komoditas hortikultura yang banyak dibudidayakan secara hidroponik karena memiliki nilai ekonomi tinggi dan permintaan pasar yang terus meningkat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian eco enzyme, pupuk organik cair (POC) teknologi nano, dan AB-Mix terhadap pertumbuhan serta hasil panen tanaman selada pada sistem hidroponik Nutrient Film Technique (NFT), serta mengevaluasi kemampuan kombinasi perlakuan tersebut dalam menggantikan sebagian penggunaan AB-Mix. Penelitian dilaksanakan pada November hingga Desember 2025 di Bandar Lampung menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan dan enam ulangan. Perlakuan yang diuji terdiri atas P1 = 100% AB-Mix, P2 = 75% AB-Mix + eco enzyme, P3 = 75% AB-Mix + 25% POC teknologi nano, dan P4 = 75% AB-Mix + 25% POC teknologi nano + eco enzyme. Eco enzyme diaplikasikan melalui penyemprotan daun dengan konsentrasi 2 mL L⁻¹ air. Data dianalisis menggunakan analisis ragam dan dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh nyata terhadap jumlah daun, panjang daun, lebar daun, tingkat kehijauan daun, bobot basah tajuk, dan bobot kering tajuk, tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, bobot basah akar, volume akar, dan panjang akar. Perlakuan P1 (100% AB-Mix) menghasilkan panjang dan lebar daun tertinggi, perlakuan P4 (75% AB-Mix + 25% POC teknologi nano + eco enzyme) menghasilkan nilai tertinggi pada jumlah daun, tingkat kehijauan daun, bobot basah tajuk dan bobot kering tajuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan POC teknologi nano dan eco enzyme berpotensi menggantikan sebagian penggunaan AB-Mix tanpa menurunkan pertumbuhan dan hasil tanaman selada pada sistem hidroponik NFT.

Kata kunci: AB-Mix, eco enzyme, hidroponik NFT, POC teknologi nano, selada.

ABSTRACT

THE EFFECT OF ECO ENZYME, NANO-TECHNOLOGY LIQUID ORGANIC FERTILIZER, AND AB-MIX ON THE GROWTH AND YIELD OF LETTUCE (*Lactuca sativa* L.) IN AN NFT HYDROPONIC SYSTEM

By

FATHUR RAMADHAN

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is a horticultural crop widely cultivated in hydroponic systems due to its high economic value and increasing market demand. This study aimed to determine the effects of eco enzyme, nano-technology liquid organic fertilizer (LOF), and AB-Mix on the growth and yield of lettuce grown in a Nutrient Film Technique (NFT) hydroponic system, as well as to evaluate the potential of these treatments to partially replace AB-Mix fertilizer. The study was conducted from November to December 2025 in Bandar Lampung using a Completely Randomized Design (CRD) consisting of four treatments and six replications. The treatments were P1 = 100% AB-Mix, P2 = 75% AB-Mix + eco enzyme, P3 = 75% AB-Mix + 25% nano-technology LOF, and P4 = 75% AB-Mix + 25% nano-technology LOF + eco enzyme. Eco enzyme was applied through foliar spraying at a concentration of 2 mL L⁻¹ of water. The data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), followed by the Least Significant Difference (LSD) test at the 5% significance level. The results showed that the treatments significantly affected the number of leaves, leaf length, leaf width, leaf greenness, shoot fresh weight, and shoot dry weight, but had no significant effect on plant height, root fresh weight, root volume, and root length. Treatment P1 (100% AB-Mix) produced the highest leaf length and leaf width, while treatment P4 (75% AB-Mix + 25% nano-technology LOF + eco enzyme) resulted in the highest number of leaves, leaf greenness, shoot fresh weight, and shoot dry weight. The findings indicate that nano-technology liquid organic fertilizer and eco enzyme have the potential to partially replace AB-Mix without reducing the growth and yield of lettuce cultivated in an NFT hydroponic system.

Keywords: AB-Mix, eco enzyme, lettuce, nano-technology liquid organic fertilizer, NFT hydroponic system.

Judul Skripsi : **PENGARUH PEMBERIAN PUPUK ECO
ENZYME, POC TEKNOLOGI NANO, DAN
AB-MIX TERHADAP PERTUMBUHAN DAN
HASIL PANEN TANAMAN SELADA (*Lactuca
sativa* L.) PADA SISTEM HIDROPONIK NFT**

Nama Mahasiswa : Fathur Ramadhan

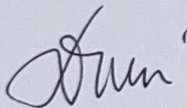
Nomor Pokok Mahasiswa : 2214161051

Program Studi : Agronomi

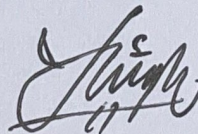
Fakultas : Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

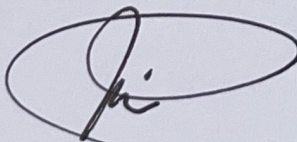


Prof. Ir. Darwin H. Pangaribuan, M.Sc., Ph.D.
NIP. 196301311986031004



Ir. Rugayah, M.P.
NIP. 196112301988031002

2. Ketua Jurusan Agronomi dan Hortikultura

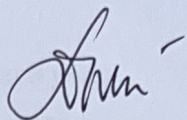


Prof. Ir. Maria Viva Rini, M.Agr.Sc., Ph.D.
NIP. 196603041990122001

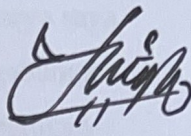
LEMBAR PENGESAHAN

1. Tim Penguji

Ketua

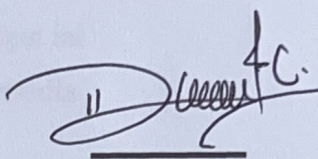
: Prof. Ir. Darwin H. Pangaribuan, M.Sc., Ph.D. 

Sekretaris

: Ir. Rugayah, M.P. 

Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. R.A. Diana Widyastusi, S.P., M.Si. 

2. Dekan Fakultas Pertanian



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

NIP. 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 05 Juni 2026

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Pengaruh Pemberian Pupuk Eco enzyme, POC Teknologi Nano, dan AB-Mix terhadap Pertumbuhan dan Hasil Panen Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.) Pada Sistem Hidroponik NFT”** merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Tulisan ilmiah ini merupakan gabungan dari hasil pengetahuan yang telah saya dapatkan selama masa studi dan rujukan-rujukan dari karya ilmiah lain dengan topik yang sama yang telah dipublikasikan sebelumnya. Apabila dikemudian hari ditemukan bukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 01 Juli 2026
Penulis



Fathur Ramadhan
NPM 2214161051

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Kalianda, Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung pada tanggal 28 Oktober 2004. Penulis merupakan anak ketiga dari lima bersaudara, putra dari pasangan Bapak Muhtar dan Ibu Helyana. Penulis menamatkan pendidikan Sekolah Dasar Negeri Dua Kalianda, STekolah Madrasah Tsanawiyah Negeri Satu Lampung Selatan, dan Sekolah Menengah Atas Negeri Satu Kalianda.

Penulis terdaftar sebagai salah satu mahasiswa Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada tahun 2022 dengan jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama terdaftar sebagai mahasiswa penulis telah menjalani program Praktik Pengenalan Pertanian (P3) di Kabupaten Tanggamus. Penulis telah melakukan program wajib Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sendang Ayu, Kecamatan Padang Ratu, Lampung Tengah selama 40 hari. Penulis juga telah melakukan program Praktik Umum (PU) di CV Pendawa Kencana Multifarm Cangkringan, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta pada bulan Juli – Agustus 2025. Selain itu, penulis juga menjadi mentor bidang Hubungan Masyarakat (HUMAS) periode 2024-2025, dan anggota bidang Hubungan Masyarakat (HUMAS) di Himpunan Mahasiswa Agronomi dan Hortikultura (HIMAGRHO) Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

MOTO

“Tidak semua pertumbuhan berlangsung cepat, tetapi setiap proses yang dijalani dengan sungguh-sungguh akan selalu berarti”
(Fathur Ramadhan)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”
(QS. Al-Baqarah: 286)

“Pada tingkat sarjana, skripsi tidak dituntut sempurna, melainkan untuk disusun dengan sebaik-baiknya sebagai bentuk usaha, pembelajaran, dan tanggung jawab ilmiah”
(Prof. Ir. Darwin H. Pangaribuan, M.Sc. Ph.D.)

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur atas segala rahmat Tuhan Yang Maha Esa, skripsi ini kupersembahkan kepada ayahanda, ibunda, sahabat, dan teman-teman yang telah memberi semangat, doa, serta dukungan yang tak pernah putus dan tidak akan pernah bisa terbayarkan oleh apapun. Terima kasih atas segala pengorbanan, motivasi, dan doa baik yang tiada hentinya untukku. Terima kasih juga kepada dosen pembimbing yang telah membimbingku dengan sabar dan memberikan ilmu yang bermanfaat. Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas segala kebaikan yang telah diberikan dengan pahala yang berlipat ganda.

Serta almamater tercinta

***Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas
Lampung.***

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur Penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya Penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pengaruh Pemberian Pupuk Eco enzyme, POC Teknologi Nano, dan AB-Mix terhadap Pertumbuhan dan Hasil Panen Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.) Pada Sistem Hidroponik NFT”** adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pertanian di Universitas Lampung. Dengan selesainya skripsi ini, Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung atas bantuan dana penelitian melalui DIPA FP UNILA;
2. Ibu Prof. Ir. Maria Viva Rini, M.Agr.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Agronomi dan Hortikultura atas segala dukungan, arahan, serta kebijakan yang telah diberikan selama proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi;
3. Prof. Ir. Darwin H. Pangaribuan, M. Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan ide dalam penelitian ini, bimbingan, saran, waktu, nasehat, ilmu, perhatian serta motivasi yang telah diberikan selama penyusunan skripsi ini;
4. Ibu Ir. Rugayah, M.P. selaku Dosen Pembimbing II sekaligus Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan, waktu, ilmu, arahan, saran, nasihat, serta motivasi kepada Penulis selama masa studi hingga terselesaikannya skripsi ini;
5. Ibu Dr. R.A. Diana Widyastusi, S.P., M.Si. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran, arahan, dan nasihat selama masa studi serta dalam penyusunan skripsi ini;
6. Seluruh dosen Jurusan Agronomi dan Hortikultura atas ilmu yang telah diberikan selama masa studi di Universitas Lampung;

7. Untuk Kedua Orangtua Tercintaku Bapak Muhtar dan Ibu Helyana sebagai tanda bakti dan hormat serta rasa Terima kasih yang tiada henti sehingga ku persembahkan karya kecil ini kepada ibu dan bapak yang telah memberikan kasih sayang dan segala dukungan, dan cinta kasih yang tiada terhingga;
8. Keluarga seperantuan INSANK, Pernanda Purba, Nuzul Hidayatullah, David Fernando Rakasiwi, Ananta Wahyu Gusdiantoro, Ramdan Firdaus, Gusti Putu Wisnu Surya Pratama, Akbar Dewantara Feroza, Miftakhhul Rifa'i, Made Andika Pratama, dan, Arif Darmawan, yang telah memberikan kebersamaan, bantuan, saran dan dukungan selama masa studi hingga penyusunan skripsi;
9. Teman-teman satu tim penelitian yaitu Dwi Prajha, Made Andika Pratama, Chacha Talita, Salsabila Nanda Gusniar, Adelia Firda Agustina Mentari Sulandari, dan Yeni Ponnita atas kerja sama dan bantuannya;
10. Abang penelitian hidroponik (Yusuf Ihsan Al Farizi) yang telah membantu dalam kegiatan penelitian sehingga dapat terselesaikan dengan baik;
11. Keluarga Besar Agronomi dan Hortikultura Angkatan 2022, atas bantuan dan kebersamaannya;
12. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Bunga Aprilia Putri terima kasih menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan atas semua bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada Penulis. Amin.

Bandar Lampung, 01 Juli 2026
Penulis

Fathur Ramadhan
NPM 2214161051

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Landasan Teori dan Landasan Pemikiran	5
1.5 Hipotesis	10
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1 Tanaman Selada (<i>Lactuca sativa L.</i>).....	11
2.2 Hidroponik	13
2.3 Nutrisi AB-Mix.....	14
2.4 Pupuk Eco enzyme.....	15
2.5 Pupuk Organik Cair	15
2.6 Kandungan Limbah Udang	16
2.7 Kandungan Air Kelapa.....	17
2.8 Kandungan Kulit Nanas dan Eceng Gondok	18
2.9 Pencampuran Larutan Nutrisi Perlakuan	18
III. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat.....	20
3.2 Bahan dan Alat.....	20
3.3 Metode Penelitian	20
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	21

3.4.1 Pemasangan Instalasi Hidroponik NFT	21
3.4.2 Penyemaian Benih	22
3.4.3 Larutan AB-Mix.....	23
3.4.4 Pembuatan Larutan Eco enzyme.....	23
3.4.5 Pembuatan Larutan POC Teknologi Nano	24
3.4.6 Pindah Tanam	25
3.4.7 Pemeliharaan.....	26
3.4.8 Pengendalian Hama	26
3.4.9 Pemanenan	26
3.5 Variabel Pengamatan	27
3.5.1 Tinggi Tanaman (cm)	27
3.5.2 Jumlah Daun	27
3.5.3 Panjang Daun (cm)	27
3.5.4 Lebar Daun (cm).....	28
3.5.5 Tingkat Kehijauan Daun.....	28
3.5.6 Bobot Basah Tajuk (g).....	28
3.5.7 Bobot Kering Tajuk (g).....	29
3.5.8 Bobot Basah Akar (g)	29
3.5.9 Volume akar (ml).....	29
3.5.10 Panjang Akar (cm)	29
3.5.11 Faktor Lingkungan.....	30
3.5.12 Kadar Kepekatan Larutan, pH, dan Suhu Larutan Nutrisi	30
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Hasil.....	31
4.1.1 Pertumbuhan Tanaman Selada pada Umur 2-4 MST	32
4.1.2 Tinggi Tanaman (cm)	33
4.1.3 Jumlah Daun	35
4.1.4 Panjang Daun (cm)	36
4.1.5 Lebar Daun (cm).....	38
4.1.6 Tingkat Kehijauan Daun.....	39
4.1.7 Bobot Basah Tajuk (g).....	40
4.1.8 Bobot Kering Tajuk (g).....	41

4.1.9 Bobot Basah Akar (g)	41
4.1.10 Volume Akar (ml).....	42
4.1.11 Panjang Akar (cm)	42
4.2 Pembahasan.....	46
V. KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rekapitulasi hasil analisis ragam semua variabel pengamatan pada tanaman selada 4 MST	31
2. Hasil kombinasi AB-Mix, POC teknologi nano, eco enzyme pada tinggi tanaman selada umur 4 MST	34
3. Hasil kombinasi AB-Mix, POC teknologi nano, eco enzyme pada jumlah daun tanaman selada umur 4 MST.....	35
4. Hasil kombinasi AB-Mix, POC teknologi nano, eco enzyme pada panjang daun tanaman selada umur 4 MST.....	36
5. Hasil kombinasi AB-Mix, POC teknologi nano, eco enzyme pada lebar daun tanaman selada umur 4 MST.....	38
6. Hasil kombinasi AB-Mix, POC teknologi nano, eco enzyme pada tingkat kehijauan daun tanaman selada umur 20 HST	40
7. Hasil kombinasi AB-Mix, POC teknologi nano, eco enzyme pada bobot basah tajuk tanaman selada umur 4 MST	40
8. Hasil kombinasi AB-Mix, POC teknologi nano, eco enzyme pada bobot kering tajuk tanaman selada umur 4 MST	41
9. Hasil kombinasi AB-Mix, POC teknologi nano, eco enzyme pada bobot basah akar tanaman selada umur 4 MST	42
10. Hasil kombinasi AB-Mix, POC teknologi nano, eco enzyme pada volume akar tanaman selada umur 4 MST	42
11. Hasil kombinasi AB-Mix, POC teknologi nano, eco enzyme pada panjang akar tanaman selada umur 4 MST	43
12. Hasil analisis kandungan N, P, dan K dalam POC berbasis nanobubble.....	43
13. Hasil analisis kandungan N, P, dan K dalam eco enzyme	44
14. Pengamatan suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya	45
15. Pengamatan kepekatan larutan nutrisi.....	45
16. Pengamatan pH larutan nutrisi	46
17. Data pengamatan tinggi tanaman selada pada 4 MST	66
18. Uji homogenitas tinggi tanaman selada pada 4 MST.....	66

19. Hasil analisis ragam tinggi tanaman selada pada 4 MST	66
20. Data pengamatan jumlah daun tanaman selada pada 4 MST	66
21. Data transformasi (ln) jumlah daun tanaman selada pada 4 MST	67
22. Uji homogenitas transformasi (ln) jumlah daun tanaman selada pada 4 MST	67
23. Hasil analisis ragam transformasi (ln) jumlah daun selada pada 4 MST	67
24. Data pengamatan panjang daun tanaman selada pada 4 MST	67
25. Uji homogenitas panjang daun tanaman selada pada 4 MST	67
26. Hasil analisis ragam panjang daun daun selada pada 4 MST	68
27. Data pengamatan lebar daun daun tanaman selada pada 4 MST	68
28. Uji homogenitas lebar daun tanaman selada pada 4 MST	68
29. Hasil analisis ragam lebar daun daun selada pada 4 MST	68
30. Data pengamatan tingkat kehijauan daun daun tanaman selada pada 20 HST	68
31. Uji homogenitas tingkat kehijauan daun daun tanaman selada pada 20 HST	69
32. Hasil analisis ragam tingkat kehijauan daun daun tanaman selada pada 20 HST	69
33. Data pengamatan bobot basah tajuk tanaman selada pada 4 MST	69
34. Uji homogenitas bobot basah tajuk tanaman selada pada 4 MST	69
35. Hasil analisis ragam bobot basah tajuk tanaman selada pada 4 MST	69
36. Data pengamatan bobot kering tajuk tanaman selada pada 4 MST	70
37. Uji homogenitas bobot kering tajuk tanaman selada pada 4 MST	70
38. Hasil analisis ragam bobot kering tajuk tanaman selada pada 4 MST	70
39. Data pengamatan bobot basah akar tanaman selada pada 4 MST	70
40. Uji homogenitas bobot basah akar tanaman selada pada 4 MST	70
41. Hasil analisis ragam bobot basah akar tanaman selada pada 4 MST	71
42. Data pengamatan volume akar tanaman selada pada 4 MST	71
43. Data transformasi (ln) volume akar tanaman selada pada 4 MST	71
44. Uji homogenitas transformasi (ln) volume akar tanaman selada pada 4 MST	71
45. Hasil analisis ragam transformasi (ln) volume akar selada pada 4 MST	71
46. Data pengamatan panjang akar tanaman selada pada 4 MST	72
47. Uji homogenitas panjang akar tanaman selada pada 4 MST	72

48. Hasil analisis ragam panjang akar tanaman selada pada 4 MST	72
49. Pengamatan variabel penelitian	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skema kerangka pemikiran.	9
2. Tata Letak Percobaan.	21
3. Instalasi Hidroponik NFT.	22
4. Penyemaian pada media rockwool.	23
5. Alat aerator nano-bubble dan aktivasi POC teknologi nano.	25
6. Alat pengukur tingkat kehijauan daun.	28
7. (a) Termometer hygrometer HTC 2 dan (b) lux meter.	30
8. Tampilan tanaman selada umur 1-4 MST.	32
9. Pertumbuhan tinggi tanaman selada pada umur 2-4 MST.	34
10. Pertumbuhan jumlah daun selada pada umur 2-4 MST.	36
11. Pertumbuhan panjang daun selada pada umur 2-4 MST.	37
12. Pertumbuhan lebar daun selada pada umur 2-4 MST.	39
13. Penyemaian benih selada.	74
14. Pembuatan POC teknologi nano.	75
15. Pembuatan eco enzyme.	75
16. Pengujian analisis pupuk organik eco enzyme.	76
17. Pengujian analisis pupuk POC teknologi nano.	77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Hasil uji homogenitas dan analisis ragam.....	66
2. Pengamatan variabel penelitian.....	73
3. Hasil analisis pengujian POC teknologi nano dan eco enzyme	76

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penduduk Indonesia terus mengalami peningkatan sehingga kebutuhan pangan, khususnya sayuran, juga semakin meningkat. Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat bahwa jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2024 mencapai sekitar 281 juta jiwa, yang berdampak pada meningkatnya permintaan sayuran di pasar. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) (2023) merekomendasikan konsumsi sayur dan buah minimal 400 gram per orang per hari, dengan sekitar 250 gram di antaranya berasal dari sayuran, sehingga kebutuhan sayuran nasional diperkirakan mencapai lebih dari 25 juta ton per tahun. Salah satu komoditas sayuran yang memiliki permintaan cukup tinggi adalah selada karena mengandung berbagai nutrisi yang bermanfaat bagi kesehatan serta banyak dimanfaatkan sebagai bahan pangan segar, pelengkap berbagai produk kuliner, dan menu pendukung pemenuhan gizi masyarakat. Haryanto *et al.* (2007) menyatakan bahwa selada merupakan komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan banyak dibudidayakan untuk memenuhi kebutuhan pasar modern, sedangkan Rubatzky dan Yamaguchi (1998) menjelaskan bahwa selada memiliki kandungan gizi yang baik sehingga banyak dimanfaatkan dalam industri pangan.

Peningkatan kebutuhan selada tersebut belum sepenuhnya diimbangi oleh peningkatan produksi akibat semakin terbatasnya lahan pertanian yang beralih fungsi menjadi kawasan permukiman dan industri. Selain itu, budidaya secara konvensional masih menghadapi kendala dalam efisiensi penggunaan lahan, air, dan nutrisi. Kondisi tersebut menyebabkan produktivitas tanaman sering kali tidak optimal sehingga diperlukan metode budidaya yang lebih efisien. Menurut Alviani (2015), sistem hidroponik mampu mengoptimalkan penggunaan lahan, air, dan

nutrisi sehingga sesuai untuk mendukung produksi sayuran secara berkelanjutan. Pendapat tersebut juga diperkuat oleh Jones (2016) yang menyatakan bahwa hidroponik merupakan salah satu metode budidaya modern yang efisien.

Hidroponik merupakan metode bercocok tanam tanpa menggunakan tanah sebagai media tanam dengan memanfaatkan larutan nutrisi sebagai sumber unsur hara bagi tanaman. Sistem ini memiliki keunggulan berupa penggunaan air yang lebih efisien, produktivitas yang tinggi, serta mampu menghasilkan produk yang lebih bersih dan higienis. Salah satu sistem hidroponik yang banyak digunakan adalah Nutrient Film Technique (NFT), yaitu sistem yang memanfaatkan aliran tipis larutan nutrisi secara kontinu sehingga akar tanaman memperoleh suplai air, unsur hara, dan oksigen yang cukup. Lucky (2017) menjelaskan bahwa sistem NFT memiliki keunggulan dalam efisiensi penggunaan air dan nutrisi serta mampu menghasilkan pertumbuhan tanaman yang lebih seragam pada lahan terbatas. Namun, sistem ini sangat bergantung pada pasokan listrik dan kinerja pompa sehingga gangguan pada aliran nutrisi dapat menyebabkan tanaman mengalami stres dan menurunkan hasil produksi (Raviv dan Lieth, 2008).

Keberhasilan budidaya hidroponik sangat ditentukan oleh ketersediaan unsur hara yang lengkap dan seimbang dalam larutan nutrisi. Salah satu nutrisi yang umum digunakan adalah AB-Mix karena mengandung unsur hara makro dan mikro yang lengkap serta mudah diserap oleh tanaman. Pupuk AB-Mix mengandung enam unsur hara makro, yaitu nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan sulfur (S), serta beberapa unsur mikro yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah kecil. Savira dan Prihtanti (2019) menyatakan bahwa penggunaan nutrisi yang tepat menjadi faktor penting dalam keberhasilan budidaya hidroponik. Selain itu, ketersediaan unsur hara yang lengkap menjadikan AB-Mix mampu mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara optimal sehingga banyak digunakan pada budidaya tanaman hortikultura secara hidroponik (Sutiyoso, 2009).

Meskipun demikian, penggunaan AB-Mix secara terus-menerus menyebabkan budidaya hidroponik sangat bergantung pada pupuk anorganik. Selain itu, harga

AB-Mix yang relatif tinggi dapat meningkatkan biaya produksi sehingga diperlukan alternatif sumber nutrisi yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Sebagian unsur hara yang dibutuhkan tanaman sebenarnya dapat diperoleh dari bahan organik yang diolah menjadi pupuk organik cair. Rahayu *et al.* (2019) menyatakan bahwa pemanfaatan bahan organik dapat menjadi sumber unsur hara alternatif bagi tanaman, sedangkan penggunaan limbah organik sebagai bahan baku pupuk dapat mengurangi pencemaran lingkungan dan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya (Lingga dan Marsono, 2013).

Eco enzyme merupakan salah satu pupuk organik cair ramah lingkungan yang berasal dari hasil fermentasi limbah organik rumah tangga berupa sisa buah dan sayuran, gula, serta air. Menurut Hemalatha *et al.* (2020), eco enzyme berwarna coklat gelap dan memiliki aroma asam yang khas. Selain berpotensi mengurangi jumlah limbah organik, eco enzyme juga mengandung berbagai senyawa organik dan mikroorganisme yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Pada penelitian ini, eco enzyme dibuat dari kulit jeruk, kulit nanas, kulit semangka, kulit pisang, serta sayuran sawi putih, kubis, dan kangkung. Aplikasi eco enzyme dilakukan dengan metode penyemprotan pada daun selada menggunakan konsentrasi 2 ml/L mulai umur 7 hari setelah pindah tanam dengan frekuensi dua kali dalam satu minggu (Arun dan Sivashanmugam, 2015).

Selain eco enzyme, sumber nutrisi organik yang berpotensi digunakan pada budidaya hidroponik adalah POC teknologi nano. POC teknologi nano merupakan larutan hasil fermentasi bahan organik berupa limbah udang, eceng gondok, air kelapa tua, dan kulit nanas yang mengandung berbagai unsur hara. Hadisuwito dalam Hanisar (2015) menjelaskan bahwa ukuran partikel yang lebih kecil memungkinkan unsur hara lebih mudah diserap oleh tanaman sehingga efisiensi pemupukan dapat meningkat. Selain itu, teknologi nano mampu melepaskan unsur hara secara bertahap sehingga ketersediaan unsur hara bagi tanaman dapat berlangsung lebih optimal (Solanki *et al.*, 2021).

Berbagai penelitian sebelumnya telah melaporkan bahwa penggunaan pupuk organik cair maupun eco enzyme dapat mendukung pertumbuhan tanaman.

Namun, sebagian besar penelitian tersebut hanya mengkaji penggunaan eco enzyme atau pupuk organik cair secara terpisah dan belum dikombinasikan dengan teknologi nano pada sistem hidroponik. Tang dan Tong (2011) menyatakan bahwa produk hasil fermentasi limbah organik memiliki potensi untuk dimanfaatkan dalam bidang pertanian. Akan tetapi, informasi mengenai kemampuan kombinasi kedua bahan tersebut dalam mensubstitusi sebagian nutrisi AB-Mix pada sistem hidroponik masih terbatas sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memperoleh formulasi nutrisi yang lebih efisien dan berkelanjutan (Nurlaila *et al.*, 2023).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini perlu dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas kombinasi eco enzyme dan POC teknologi nano sebagai substitusi sebagian AB-Mix terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman selada pada sistem hidroponik NFT. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan kombinasi eco enzyme dan POC teknologi nano sebagai substitusi parsial AB-Mix sebesar 25% dengan memanfaatkan bahan organik berupa limbah udang, eceng gondok, air kelapa, dan kulit nenas. Penggunaan kombinasi tersebut diharapkan mampu mengurangi ketergantungan terhadap pupuk anorganik serta mendukung sistem budidaya hidroponik yang lebih efisien dan ramah lingkungan (Chhipa, 2017; Kah *et al.*, 2018).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pemberian pupuk eco enzyme dan POC teknologi nano, dan AB-Mix terhadap pertumbuhan dan hasil panen tanaman selada dalam sistem hidroponik NFT?
2. Apakah kombinasi eco enzyme, POC teknologi nano, dan AB-Mix mampu menggantikan sebagian penggunaan AB-Mix tanpa menurunkan pertumbuhan dan hasil panen tanaman selada.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah dikemukakan di atas, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh pemberian pupuk eco enzyme dan pupuk POC berteknologi nano, dan AB-Mix terhadap pertumbuhan dan hasil panen tanaman selada dalam sistem hidroponik NFT.
2. Mengetahui kombinasi eco enzyme, POC teknologi nano, dan AB-Mix mampu menggantikan sebagian penggunaan AB-Mix tanpa menurunkan pertumbuhan dan hasil panen tanaman selada.

1.4 Landasan Teori dan Landasan Pemikiran

Hidroponik merupakan teknik budidaya tanaman tanpa tanah dengan menggunakan air yang diperkaya nutrisi dan oksigen. Sistem ini termasuk dalam budidaya modern yang dilakukan di lingkungan terkendali sehingga dapat mengoptimalkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Pada awalnya, hidroponik identik dengan penanaman tanpa media tanah, tetapi perkembangan teknologi memungkinkan sistem ini digunakan untuk mengatur dan menyesuaikan nutrisi sesuai kebutuhan tanaman. Nutrisi berperan penting sebagai sumber hara dan mineral, sehingga kualitas serta kuantitas hasil sangat bergantung pada ketepatan pemberiannya. Kekeliruan dalam pemberian nutrisi dapat menyebabkan pertumbuhan terhambat, tanaman kerdil, dan daun menguning (Indrawati, Indradewa, dan Utami, 2012).

Nutrisi hidroponik umumnya berupa campuran unsur hara makro dan mikro yang diukur sesuai kebutuhan tanaman. AB-Mix merupakan larutan nutrisi yang paling banyak digunakan dalam budidaya hidroponik karena kandungannya sudah mencakup hara esensial (Hidayanti dan Kartika, 2019). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi nutrisi berpengaruh signifikan terhadap hasil tanaman. Supriani *et al.* (2021) melaporkan bahwa konsentrasi 900 ppm menghasilkan pertumbuhan dan hasil optimal pada selada merah, sedangkan

Pradita dan Koesriharti (2019) menemukan bahwa dosis 840 ppm merupakan konsentrasi terbaik untuk selada green leaf.

Salah satu unsur hara makro yang berperan penting dalam pertumbuhan tanaman adalah kalium (K). Kalium memiliki fungsi dalam fotosintesis, transportasi hasil asimilasi, aktivasi enzim, serta menjaga keseimbangan air tanaman. Unsur ini juga meningkatkan ketahanan terhadap hama dan penyakit, memperbaiki kapasitas tukar kation (KTK), dan menetralkan efek ion logam beracun (Apriliani, 2016). Pada tanaman selada, ketersediaan kalium yang cukup akan mendorong pertumbuhan batang dan daun sehingga mampu meningkatkan berat serta kualitas hasil panen.

Eco enzyme merupakan metode pengelolaan limbah organik rumah tangga, seperti sisa buah dan sayuran, berbasis konsep *zero waste* (pengelolaan tanpa sisa). Eco enzyme mengandung mikroflora yang berperan secara multifungsi, sehingga pengguna dapat memanfaatkannya sebagai pupuk organik, bahan pembersih rumah tangga, maupun bahan olahan konsumsi (Rosnina dan Zurrahmi, 2022). Teknologi ini memberikan banyak keuntungan dan masyarakat telah banyak menerapkannya. Namun, efektivitas eco enzyme sebagai pupuk organik masih dipengaruhi oleh kualitas bahan baku, proses fermentasi, serta kandungan unsur haranya sehingga perlu dikaji lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi melalui pemanfaatan bahan organik berbasis eco enzyme. Penelitian ini diharapkan dapat mengurangi dampak negatif penggunaan pupuk kimia yang biasa digunakan petani dan tanaman yang dihasilkan lebih sehat dan aman untuk dikonsumsi.

Pupuk Organik Cair (POC) merupakan pupuk hasil fermentasi yang berasal dari berbagai bahan organik yang mengandung beberapa macam asam amino, fitohormon dan vitamin yang berperan dalam merangsang dan meningkatkan pertumbuhan mikroba dalam tanah (Kurniawati, dkk, 2015). Salah satu bahan yang digunakan untuk membuat POC adalah limbah rumah tangga. Menurut Novrianti, (2014) mengatakan bahwa pemberian POC dengan konsentrasi 20 ml/liter air dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman selada.

Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh pengaplikasian berbagai konsentrasi pupuk organik cair sebagai nutrisi hidroponik sistem sumbu terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman selada. Teknologi nano dalam pertanian adalah pemanfaatan partikel berukuran sangat kecil (1–100 nanometer) untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas produk pertanian (Mujahid dkk., 2017). Dalam pupuk, partikel nano membantu unsur hara agar lebih mudah menembus permukaan daun atau akar, sehingga penyerapannya menjadi lebih cepat dan merata. Penggunaan teknologi nano juga memungkinkan penggunaan pupuk dalam jumlah lebih sedikit, tetapi hasilnya tetap maksimal. Dalam konteks pupuk organik cair, teknologi nano diterapkan agar nutrisi yang terkandung dalam pupuk lebih halus dan cepat diserap oleh tanaman. Oleh karena itu, dengan adanya teknologi nano dapat membuat pupuk menjadi lebih efisien dan ramah lingkungan. Berdasarkan hasil penelitian Putri dkk (2024), Pupuk organik cair (POC) berbasis teknologi nano dari limbah perut ikan tuna mata besar memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan tanaman cabai merah, dengan konsentrasi terbaik 100 ml per polibag (P4) yang menghasilkan tinggi tanaman 24,66 cm, luas daun 15,466 cm², dan bobot buah 13,134. Dengan berbagai keunggulan tersebut, nanobubble menjadi salah satu inovasi paling menjanjikan dalam penerapan teknologi nano untuk menciptakan sistem pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan.

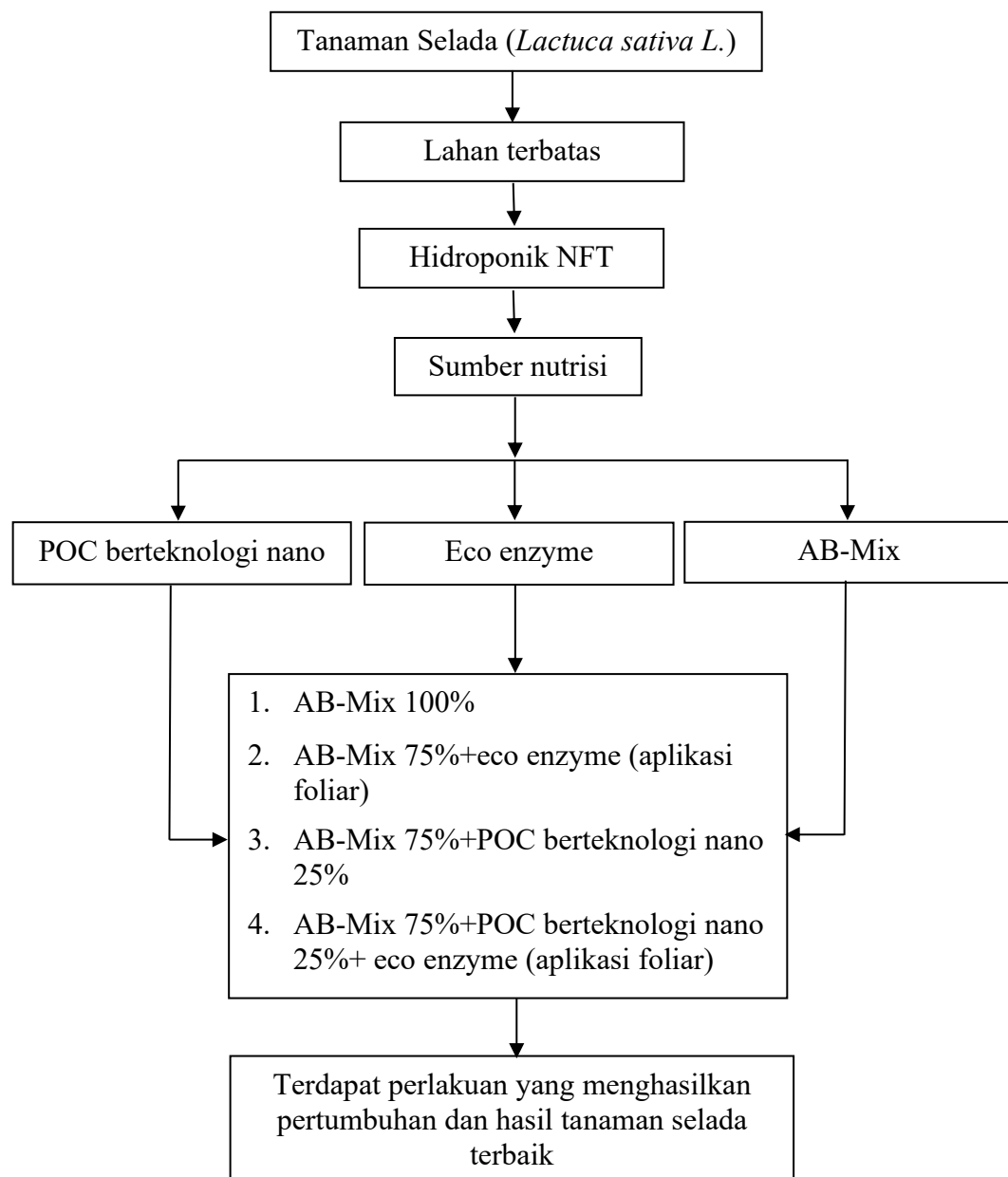
Eceng gondok merupakan salah satu tumbuhan air yang sering dianggap sebagai gulma karena pertumbuhannya sangat cepat dan dapat mengganggu ekosistem perairan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif pemanfaatan untuk membantu mengurangi populasinya. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah menjadikan eceng gondok sebagai pupuk organik. Tanaman ini memiliki kandungan unsur hara yang dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan tanaman. Selain itu, pemanfaatan eceng gondok sebagai pupuk organik tidak hanya dapat meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman, tetapi juga menjadi solusi ramah lingkungan dalam mengurangi limbah gulma di perairan. Dengan demikian, pengolahan eceng gondok menjadi pupuk organik berpotensi memberikan manfaat ganda, baik dari sisi lingkungan maupun sektor pertanian. (Kursinah, 2016).

Dalam penelitian ini, limbah yang digunakan sebagai bahan pembuatan larutan fermentasi adalah limbah air kelapa (*Cocos nucifera L.*). Air kelapa dapat dijadikan bahan campuran dalam pembuatan pupuk organik cair (Tiwery, 2014). Pemanfaatan air kelapa sebagai bahan organik alternatif sangat potensial karena dapat menggantikan sebagian penggunaan pupuk kimia. Produksi air kelapa di Indonesia cukup berlimpah, mencapai lebih dari 900 juta liter per tahun, namun pemanfaatannya masih terbatas (Manuel, 2017). Hasil penelitian menunjukkan bahwa air kelapa kaya akan kalium dan mineral. Selain itu, air kelapa juga mengandung dua hormon alami, yaitu auksin dan sitokinin, yang berperan penting dalam merangsang pembelahan sel (Tiwery, 2014).

Aplikasi teknologi nano dalam formulasi pupuk memungkinkan pengaturan pelepasan nutrisi yang lebih presisi melalui mekanisme terkontrol. Hasil penelitian Zaidy (2021) membuktikan keunggulan gelembung nano dalam meningkatkan oksigen terlarut secara signifikan dibandingkan metode aerasi konvensional. Sistem nano mendukung penyerapan nutrisi secara selektif oleh tanaman, sehingga meminimalkan risiko defisiensi hara. Struktur nanomaterial berlapis pelindung mampu mempertahankan ketersediaan nutrisi dalam jangka panjang. Mekanisme pelepasan bertahap nanopartikel meningkatkan efisiensi serapan hara hingga 40% dibanding pupuk nano (*nanofertilizer*) atau pupuk lepas lambat berbasis nanoteknologi (*Slow Release Fertilizer*) sebagai pupuk konvensional (Yanuar dan Widawati, 2014).

Teknologi nano pada pupuk memungkinkan unsur hara berada dalam ukuran partikel yang lebih kecil sehingga memiliki luas permukaan yang lebih besar dan kemampuan pelepasan hara yang lebih terkontrol. Karakteristik tersebut dapat meningkatkan efisiensi penggunaan unsur hara dan mempermudah proses penyerapan nutrisi oleh tanaman dibandingkan pupuk konvensional. Selain itu, sistem penghantaran nutrisi (*nutrient delivery*) berbasis nano memungkinkan unsur hara dilepaskan secara bertahap dan lebih tepat sasaran sehingga kehilangan unsur hara akibat pencucian dan penguapan dapat diminimalkan (Channab *et al.*, 2024; Nawadkar *et al.*, 2024). Zhang *et al.* (2024) juga menjelaskan bahwa

nanopartikel dapat berfungsi sebagai pembawa (carrier) unsur hara yang meningkatkan efisiensi serapan nutrisi melalui mekanisme pelepasan terkendali dan peningkatan aktivitas penyerapan pada sistem perakaran tanaman. Dengan demikian, penggunaan teknologi nano berpotensi meningkatkan efisiensi pemanfaatan unsur hara dan mendukung pertumbuhan tanaman secara lebih optimal Gambar 1.



Gambar 1. Skema kerangka pemikiran penelitian.

1.5 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pemberian pupuk campuran eco enzyme dan POC teknologi nano yang dikombinasikan dengan AB-Mix dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil panen tanaman selada dalam sistem hidroponik NFT.
2. Kombinasi pupuk 75% AB-Mix ditambah 25% POC teknologi nano, dan eco enzyme mampu menggantikan sebagian penggunaan AB-Mix tanpa menurunkan pertumbuhan dan hasil panen tanaman selada pada sistem hidroponik NFT.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.)

Tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) merupakan tanaman hortikultura yang termasuk dalam famili Compositae. Selada memiliki ciri khas yaitu berbentuk seperti krop dan roselle. Selada dapat dikonsumsi secara mentah atau sebagai campuran olahan makanan seperti salad, hamburger, hot dog, beef steak, dan lainnya. Salah satu varietas tanaman selada yaitu selada keriting hijau. Selada keriting hijau memiliki bentuk daun yang berombak dengan warna hijau cerah, tekstur daun renyah, serta pertumbuhan yang relatif cepat sehingga banyak dibudidayakan dalam sistem hidroponik maupun konvensional. Selain itu, selada keriting hijau juga memiliki kandungan gizi yang baik, seperti vitamin A, vitamin C, dan serat, sehingga sangat digemari sebagai bahan pangan segar (Jahro, 2018).

Berikut merupakan klasifikasi tanaman selada (*Lactuca sativa* L.)

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Asterales
Famili	: Asteraceae
Genus	: <i>Lactuca</i>
Spesies	: <i>Lactuca sativa</i> L.
Varietas	: “Green Leaf Lettuce” (Selada Keriting Hijau)

Morfologi tanaman selada hijau keriting menurut Jahro (2018) adalah:

1. Daun

Daun tanaman selada keriting mengandung vitamin A, B, dan C yang bermanfaat bagi kesehatan. Daun selada keriting memiliki bentuk tangkai daun lebar dan

tulang daun menyirip. Tekstur daun lunak, renyah dan terasa agak manis. Daun selada keriting memiliki ukuran panjang 20–25 cm dan lebar sekitar 15 cm.

2. Batang

Batang tanaman selada keriting termasuk batang sejati, bersifat kekar, kokoh dan berbuku-buku, ukuran diameter batang berkisar antara 2–3 cm.

3. Akar

Tanaman ini menghasilkan akar tunggang dengan cepat dan bersamaan dengan berkembang dan menebalnya akar lateral secara horizontal. Akar lateral tumbuh didekat permukaan tanah yang berfungsi untuk menyerap sebagian air dan hara.

4. Bunga dan biji

Bunga selada keriting memiliki ciri yang tersusun dengan rata dan padat dari banyak bongkol bunga yang terdiri dari 10–25 kuncup bunga dengan melakukan penyerbukan sendiri, meskipun terkadang penyerbukan dibantu dengan serangga. Seluruh bunga dalam bongkol yang sama akan membuka secara bersamaan dan singkat, pada pagi hari biji di dalam bongkol yang sama juga berkembang secara bersamaan, setiap satu bunga menghasilkan satu biji yang disebut achene. Biji cenderung tersebar, berukuran kecil, bertulang, dan diselubungi rambut kaku.

Tanaman selada yang dibudidayakan secara hidroponik memerlukan konsentrasi nutrisi yang sesuai untuk mendukung pertumbuhan yang optimal. Frasetya *et al.* (2018) melaporkan bahwa konsentrasi nutrisi sekitar 850 ppm pada fase vegetatif awal dan 1.200 ppm pada fase vegetatif akhir mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman yang ditunjukkan oleh bertambahnya tinggi tanaman, luas daun, dan bobot segar tanaman. Selain itu, pH larutan nutrisi perlu dipertahankan pada kisaran 5,5–6,5 agar ketersediaan dan penyerapan unsur hara oleh tanaman dapat berlangsung secara optimal. Kisaran pH tersebut dilaporkan mampu menjaga aktivitas fisiologis tanaman dan mendukung pertumbuhan selada hidroponik secara lebih baik (Kudirka *et al.*, 2023).

2.2 Hidroponik

Hidroponik merupakan sistem budidaya tanaman tanpa menggunakan tanah sebagai media tanam, melainkan memanfaatkan air yang diperkaya dengan larutan nutrisi sesuai kebutuhan tanaman. Terdapat beberapa sistem hidroponik, antara lain *Wick System* (sistem sumbu), *Deep Flow Technique* (DFT), dan *Nutrient Film Technique* (NFT). Penelitian ini menggunakan sistem hidroponik dengan metode NFT. Menurut Jipasca dkk. (2024), sistem NFT merupakan teknik budidaya tanaman yang memanfaatkan lapisan larutan nutrisi yang dangkal sehingga akar tanaman dapat memperoleh air, unsur hara, dan oksigen secara optimal. Pada sistem ini, larutan nutrisi disirkulasikan secara terus-menerus sehingga ketersediaan nutrisi bagi tanaman tetap terjaga (Huda dkk., 2021). Sistem hidroponik NFT mampu menyediakan air, nutrisi, dan oksigen secara optimal sehingga pertumbuhan tanaman menjadi lebih cepat serta penggunaan air dan nutrisi lebih efisien (Mahmudi dkk., 2025). Namun, sistem NFT sangat bergantung pada ketersediaan listrik dan pompa untuk mengalirkan larutan nutrisi secara kontinu. Selain itu, biaya instalasi relatif tinggi dan penyebaran penyakit akar dapat terjadi lebih cepat apabila kualitas larutan nutrisi tidak terjaga. Apabila terjadi serangan penyakit penyebarannya berlangsung sangat cepat sehingga perlu dilakukan pengeringan dan sterilisasi instalasi untuk mencegah penularan lebih lanjut (Agustian dkk., 2022).

Media tanam adalah tempat tumbuh bagi tanaman yang dapat memasok sebagian unsur hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhan. Media tanam merupakan salah satu faktor penting dalam menunjang pertumbuhan tanaman secara optimal. Sebagian besar unsur hara yang dibutuhkan tanaman dipasok melalui media tanam, kemudian diserap oleh akar dan digunakan dalam proses fisiologis tanaman (Meriaty, 2021). Dalam budidaya hidroponik, hal yang perlu diperhatikan adalah larutan nutrisi, karena merupakan faktor utama yang menentukan pertumbuhan dan kualitas hasil tanaman. Oleh sebab itu, larutan nutrisi harus tepat dari segi jumlah, komposisi ion, serta suhu. Nutrisi diberikan dalam bentuk larutan yang mengandung unsur hara makro maupun mikro (Andhika, 2017).

2.3 Nutrisi AB-Mix

Nutrisi AB-Mix merupakan salah satu komponen utama dalam sistem hidroponik yang berperan penting dalam menunjang pertumbuhan dan produktivitas tanaman selada (*Lactuca sativa* L.). AB-Mix terdiri atas dua larutan terpisah, yaitu larutan A yang umumnya mengandung kalsium nitrat dan besi, serta larutan B yang berisi magnesium sulfat, kalium nitrat, dan unsur hara mikro. Kedua larutan ini kemudian dicampurkan dengan air untuk menghasilkan larutan nutrisi lengkap (Lestari dkk., 2022). Dalam budidaya hidroponik, tanaman sepenuhnya bergantung pada ketersediaan unsur hara makro (N, P, K, Ca, Mg, S) dan mikro (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo) yang larut dalam air. Menurut Arifin *et al.* (2022), proporsi dan konsentrasi nutrisi dalam AB-Mix perlu disesuaikan dengan fase pertumbuhan tanaman, karena kebutuhan hara selada berbeda antara fase vegetatif dan fase generatif.

Nutrisi AB-Mix terdiri atas pupuk A dan pupuk B yang harus dilarutkan secara terpisah sebelum dicampurkan ke dalam larutan nutrisi. Pemisahan tersebut dilakukan untuk mencegah terjadinya reaksi kimia yang dapat menyebabkan pengendapan unsur hara. Apabila unsur kalsium (Ca) yang terdapat pada pupuk A bercampur secara langsung dengan unsur sulfat (SO_4^{2-}) atau fosfat (PO_4^{3-}) yang terdapat pada pupuk B, maka akan terbentuk senyawa yang sukar larut sehingga mengendap dan tidak tersedia bagi tanaman. Kondisi tersebut menyebabkan unsur hara menjadi tidak dapat diserap secara optimal oleh akar tanaman, sehingga berpotensi menimbulkan gejala defisiensi kalsium maupun sulfur serta menghambat pertumbuhan tanaman hidroponik. Menurut Syah *et al.* (2021), keberhasilan budidaya hidroponik sangat dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara dalam larutan nutrisi yang seimbang dan mudah diserap tanaman. Selain itu, pengelolaan nutrisi AB-Mix yang tepat diperlukan untuk mempertahankan kualitas larutan nutrisi dan mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal (Meliza *et al.*, 2025; Syah *et al.*, 2021). Sementara itu, Sutiyoso (2009) menjelaskan bahwa pencampuran langsung pupuk A dan pupuk B dapat memicu terbentuknya endapan kalsium sulfat maupun kalsium fosfat yang menyebabkan unsur hara tidak tersedia bagi tanaman.

2.4 Pupuk Eco Enzyme

Eco enzyme merupakan produk hasil proses fermentasi limbah organik, seperti sayuran dan kulit buah. Eco enzyme ini ditemukan oleh Dr. Rosukon dari Thailand pada tahun 2006 dengan tujuan memanfaatkan limbah organik menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat. Eco enzyme adalah senyawa organik komposit yang terdiri atas asam organik, rantai protein (enzim), serta mineral garam yang dihasilkan melalui fermentasi limbah sayuran, kulit buah, gula, dan air (Arun dan Sivashanmugam, 2015). Beberapa fungsi eco enzyme antara lain sebagai pembersih polutan, penghambat pertumbuhan mikroorganisme berlebih pada makanan, pestisida dan insektisida alami, serta pupuk organik (Arifin *et al.*, 2009).

Eco enzyme di bidang pertanian dapat dimanfaatkan sebagai pupuk dan pestisida alami yang efektif. Selain itu, eco enzyme dilaporkan dapat membantu mengurangi efek rumah kaca dan pemanasan global, memberikan manfaat bagi tanaman serta biota laut, dan berkontribusi dalam mengurangi polusi lingkungan. Secara ilmiah, eco enzyme merupakan larutan zat organik kompleks yang dihasilkan dari proses fermentasi residu organik, gula, dan air (Nisawati dan Yahya, 2020).

2.5 Pupuk Organik Cair

Pupuk organik cair (POC) merupakan pupuk yang dapat diaplikasikan dalam sistem hidroponik karena mengandung unsur hara lengkap, baik makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), maupun mikro seperti besi (Fe), seng (Zn), mangan (Mn), dan tembaga (Cu). Kandungan tersebut mampu menunjang pertumbuhan tanaman sekaligus memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi media tanam. Selain itu, POC berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit serta mendukung pertanian ramah lingkungan dengan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia. Menurut Fatma *et al.* (2019), penerapan POC dalam hidroponik tidak hanya meningkatkan pertumbuhan dan hasil panen, tetapi juga menjadi solusi pengelolaan limbah organik secara

berkelanjutan. Pupuk organik memiliki dua bentuk konsistensi, yaitu padat dan cair. Pupuk organik cair (POC) merupakan hasil dekomposisi atau pembusukan bahan-bahan organik seperti kotoran hewan, sisa tanaman, dan limbah organik lainnya, yang mengandung lebih dari satu unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Pupuk organik cair lebih cepat terserap oleh tanaman karena unsur haranya telah terlarut, sehingga lebih praktis digunakan. Selain itu, proses pembuatannya relatif singkat, yaitu sekitar 2–3 minggu (Nasution, 2024).

Dalam sistem hidroponik, penggunaan pupuk organik cair (POC) dapat menjadi alternatif sumber nutrisi karena tanaman tidak menggunakan tanah sebagai media tanam, melainkan larutan nutrisi. Oleh karena itu, unsur hara yang terkandung dalam POC lebih mudah dicampurkan ke dalam air dan tersedia untuk diserap oleh akar tanaman. Nurjanah *et al.* (2023) melaporkan bahwa aplikasi POC pada budidaya selada secara hidroponik mampu mendukung pertumbuhan tanaman apabila diberikan pada konsentrasi yang sesuai. Namun, penerapan POC dalam sistem hidroponik memerlukan proses penyaringan yang baik untuk menghindari penyumbatan pada saluran dan menjaga kelancaran sirkulasi larutan nutrisi. Selain itu, kualitas dan keseimbangan unsur hara dalam larutan perlu diperhatikan karena akan memengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman (Nisa *et al.*, 2023; Nurjanah *et al.*, 2023). Nisa *et al.* (2023) juga menyatakan bahwa larutan nutrisi merupakan faktor penting dalam budidaya hidroponik karena berperan sebagai sumber unsur hara yang menentukan pertumbuhan dan hasil tanaman.

2.6 Kandungan Limbah Udang

Limbah udang berupa kulit, kepala, dan ekor merupakan salah satu sumber bahan organik yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik cair karena mengandung berbagai unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Limbah udang diketahui mengandung protein, kalsium karbonat, kitin, fosfor, natrium, dan seng yang berperan dalam mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Fachry, 2012; Wahida, 2016). Kandungan unsur hara tersebut dapat meningkatkan kesuburan media tanam sekaligus menyediakan nutrisi yang diperlukan selama fase pertumbuhan vegetatif tanaman.

Menurut Hamsina (2016), kulit udang mengandung protein sebesar 25–40%, kalsium karbonat 45–50%, dan kitin sekitar 15–20%. Kitin merupakan senyawa alami yang dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan patogen serta merangsang aktivitas mikroorganisme yang menguntungkan. Selain itu, kandungan nitrogen, fosfor, dan kalium yang terdapat dalam limbah udang mampu memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi media tanam sehingga mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal (Deliana, 2023; Wahida, 2016). Oleh karena itu, limbah udang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi organik yang dapat mengurangi ketergantungan terhadap pupuk anorganik.

2.7 Kandungan Air Kelapa

Air kelapa merupakan limbah organik yang memiliki kandungan nutrisi dan zat pengatur tumbuh alami yang bermanfaat bagi tanaman. Air kelapa mengandung berbagai mineral, vitamin, gula, asam amino, serta fitohormon yang berperan dalam mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Yazhini *et al.*, 2020; Tiwery, 2014). Kandungan senyawa tersebut menjadikan air kelapa banyak dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan pupuk organik cair maupun kultur jaringan tanaman.

Secara kuantitatif, air kelapa tua mengandung hormon giberelin sebesar 0,01 mg/L, sitokinin 5,8 mg/L, dan auksin 0,07 mg/L, serta unsur hara penting seperti kalium, kalsium, dan nitrogen (Darlina *et al.*, 2016). Hormon auksin berfungsi merangsang pemanjangan sel dan pembentukan akar, sedangkan sitokinin berperan dalam merangsang pembelahan sel dan pertumbuhan tunas (Sari *et al.*, 2021; Darlina *et al.*, 2016). Dengan kandungan tersebut, air kelapa berpotensi meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman sekaligus mendukung aktivitas mikroorganisme selama proses fermentasi POC.

2.8 Kandungan Kulit Nanas dan Eceng Gondok

Kulit nanas merupakan limbah pertanian yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik cair karena mengandung berbagai unsur hara dan senyawa organik yang bermanfaat bagi tanaman. Kulit nanas mengandung vitamin A, vitamin C, mineral, karbohidrat, gula, protein, serta enzim bromelain yang berperan dalam mempercepat proses penguraian bahan organik selama fermentasi (Wijana *et al.*, 1991; Manuel, 2017). Kandungan gula dan karbohidrat yang cukup tinggi juga berfungsi sebagai sumber energi bagi mikroorganisme sehingga membantu mempercepat proses dekomposisi dan pembentukan unsur hara yang lebih mudah diserap tanaman.

Selain kulit nanas, eceng gondok juga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik cair karena mengandung bahan organik dan unsur hara seperti nitrogen, fosfor, dan kalium yang dibutuhkan tanaman. Eceng gondok yang selama ini dianggap sebagai gulma perairan dapat diolah menjadi pupuk organik yang bernilai guna dan ramah lingkungan (Kursinah, 2016; Pramushinta, 2018). Kombinasi kulit nanas dan eceng gondok dalam proses fermentasi dapat menghasilkan pupuk organik cair yang kaya nutrisi, membantu memperbaiki kualitas media tanam, serta meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara oleh tanaman sehingga mendukung pertumbuhan dan hasil tanaman secara optimal.

2.9 Pencampuran Larutan Nutrisi Perlakuan

Berdasarkan hasil penelitian Oktavian (2023), perlakuan konsentrasi nutrisi AB-Mix 75% + eco enzyme 25% pada tanaman sawi hidroponik memberikan hasil yang terbaik pada variabel pengamatan, seperti bobot segar batang dan daun sebesar 36,02 g mendekati sekitar 63% dari hasil perlakuan AB-Mix 100%. Demikian halnya dengan penelitian Saputri (2022), perlakuan AB-Mix 75% + POC teknologi nano 25% memberikan pertumbuhan dan hasil yang setara dengan perlakuan AB-Mix 100% pada tanaman sawi hidroponik yang ditunjukkan dengan variabel pengamatan tinggi tanaman, lebar daun, panjang daun, panjang tangkai

daun, tingkat kehijauan daun, luas daun, dan bobot segar daun. Komposisi volume larutan nutrisi yang diberikan berdasarkan tiap perlakuan sebagai berikut.

P1 = AB-Mix 100%

= 400 ml larutan nutrisi AB-Mix

P2 = AB-Mix 75% + 25% eco enzyme

= 300 ml larutan nutrisi AB-Mix + 2ml/L eco enzyme (aplikasi penyemprotan)

P3 = AB-Mix 75% + 25% POC teknologi nano

= 300 ml larutan nutrisi AB-Mix + 100 ml POC teknologi nano

P4 = AB-Mix 75% + 20% POC teknologi nano dan 5% eco enzyme

= 300 ml larutan nutrisi AB-Mix + 80 ml POC teknologi nano dan 2ml eco enzyme (aplikasi penyemprotan)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Pelaksanaan penelitian ini yaitu pada tanggal 01 November 2025 sampai dengan 10 Desember 2025. Pada penelitian ini bertempat di kebun lapang yang berlokasi di Kelurahan Kota Sepang Jaya, Kecamatan Labuhan Ratu, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu benih selada hijau, larutan nutrisi AB-Mix, eco enzyme, POC ekstrak limbah udang, gulma eceng gondok, air kelapa, dan kulit nanas, EM 4, gula aren, dan air bersih. Alat yang digunakan adalah bak kotak plastik, sendok, penggaris, alat tulis, pipa paralon, selang air, ember, nampan plastik, sterofom, netpot, rockwool, drum, selang, tusuk gigi, pH meter, jangka sorong, Total Dissolved Solids (TDS) meter, SPAD (*Soil Plant Analysis Development*), preparat, mikroskop, kutek, selotip, oven, timbangan elektronik, gelas ukur, dan label.

3.3 Metode Penelitian

Rancangan percobaan yang digunakan pada penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan faktor tunggal 4 perlakuan nutrisi. Perlakuan diulang sebanyak 6 kali ulangan sehingga diperoleh 24 satuan percobaan. Terdapat 6 lubang tanam di tiap satuan percobaan sehingga diperoleh 144 populasi tanaman. Data hasil pengamatan terlebih dahulu diuji homogenitasnya menggunakan uji Bartlett serta diuji aditivitasnya melalui uji Tukey. Apabila kedua asumsi tersebut terpenuhi, dilakukan analisis ragam yang dilanjutkan dengan pemisahan nilai

tengah menggunakan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5%. Tata letak percobaan disajikan pada Gambar 2.

P1U2	P2U1	P2U3	P2U6	P2U4	P2U5
P2U3	P1U5	P1U1	P1U4	P1U2	P1U6
P3U1	P3U4	P3U2	P3U6	P3U3	P3U5
P4U2	P4U4	P4U6	P4U5	P4U3	P4U1

Gambar 2. Tata Letak Percobaan.

P1 = 100% AB-Mix (kontrol).

P2 = 75% AB-Mix + Eco enzyme.

P3 = 75% AB-Mix + 25% POC teknologi nano.

P4 = 75% AB-Mix + 25% POC teknologi nano + eco enzyme.

Keterangan:

1. Pemberian pupuk eco enzyme melalui daun dengan teknik penyemprotan sebanyak 2 ml/l.
2. Pemberian eco enzyme dilakukan saat umur 7 hari setelah pindah tanam dengan frekuensi penyemprotan pada daun yaitu 2 kali dalam 1 minggu dan dilakukan pada pagi atau sore hari.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Pada kegiatan yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini meliputi pemasangan instalasi hidroponik NFT, penyemaian benih, pembuatan larutan AB-Mix, pembuatan larutan eco enzyme, pembuatan larutan POC teknologi nano, pindah tanam, pemeliharaan, pengendalian hama, dan pemanenan.

3.4.1 Pemasangan Instalasi Hidroponik NFT

Instalasi sistem hidroponik tipe *Nutrient Film Technique* (NFT) ini dirancang dan dirakit menggunakan beberapa komponen utama, yaitu bak plastik berukuran 38 cm × 28 cm × 12 cm, pipa paralon berdiameter 5/8 inci, selang air, pompa air, bak

penampung nutrisi, kain flanel, netpot, styrofoam, timer, lem pipa, serta cat antibocor. Proses perakitan diawali dengan membuat lubang berdiameter 1,5 cm pada sisi kanan dan kiri bak plastik yang berfungsi sebagai jalur pemasangan pipa paralon. Selanjutnya, selang air dihubungkan dengan pompa yang ditempatkan di dalam bak penampung nutrisi untuk mengalirkan larutan ke bak plastik pertama. Pipa paralon dipasang pada lubang yang telah dibuat untuk menghubungkan setiap bak, sehingga larutan nutrisi dapat bersirkulasi dan kembali ke bak penampung. Tahap berikutnya adalah pembuatan enam lubang pada styrofoam sesuai dengan ukuran netpot, kemudian styrofoam ditempatkan di atas bak plastik. Sebagai tahap akhir, kain flanel dipasang pada bagian bawah netpot yang berfungsi sebagai sumbu kapiler untuk menyerap larutan nutrisi dan menyalurkannya ke akar tanaman. Instalasi hidroponik yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Instalasi Hidroponik NFT.

3.4.2 Penyemaian Benih

Penyemaian benih dalam penelitian ini dilakukan menggunakan media tanam rockwool. Rockwool dipotong dengan ukuran 2,5 cm × 2,5 cm, kemudian dibuat lubang kecil pada bagian tengah sebagai tempat peletakan benih. Rockwool yang telah berisi benih selanjutnya disusun secara rapi di dalam nampan penyemaian dan disiram dengan air secukupnya untuk menjaga kelembapan. Proses penyemaian dilakukan pada media rockwool selama 10 hari hingga benih berkecambah dan mencapai fase pertumbuhan dengan 3 helai daun (Gambar 4).



Gambar 4. Penyemaian pada media rockwool.

3.4.3 Larutan AB-Mix

Larutan nutrisi AB-Mix dibuat menggunakan produk paramudita yang terdiri dari nutrisi A dan B. Dalam proses melarutkan, masing-masing larutan nutrisi A dan B disiapkan sebanyak 500 ml dalam wadah yang berbeda. Untuk menghasilkan larutan dengan konsentrasi 1000-1200 ppm, digunakan campuran 5 ml larutan nutrisi A dan 5 ml larutan nutrisi B untuk setiap 1 liter air.

3.4.4 Pembuatan Larutan Eco enzyme

Pembuatan eco enzyme dilakukan dengan mempersiapkan alat dan bahan seperti drigen berkapasitas 20 liter, pengaduk, timbangan digital, pisau, talenan, dan saringan. Bahan yang digunakan meliputi air bersih sebanyak 12 liter, bahan organik berupa sayur dan kulit buah sebanyak 3,6 kg (dengan komposisi sekitar 80% kulit buah dan 20% sayur), serta molase tetes tebu sebanyak 1,2 kg. Sayuran yang digunakan adalah sawi putih, kubis, dan kangkung, dan kulit buah yang digunakan yaitu nanas, jeruk, pisang, dan semangka.

Pembuatan eco enzyme pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan organik berupa sayuran sawi putih, kubis, dan kangkung, dan kulit buah yang digunakan yaitu nanas, jeruk, pisang, dan semangka. Kemudian dilakukan pencucian hingga bersih untuk menghilangkan kotoran, kemudian ditiriskan.

2. Kulit buah dan sayur yang telah bersih dipotong kecil-kecil menggunakan pisau dan talenan agar proses fermentasi berjalan lebih optimal.
3. Bahan yang telah dipotong ditimbang untuk memastikan takaran sesuai, yaitu 3,6 kg limbah organik.
4. Air bersih sebanyak 12 liter, molase 1,2 kg, dan bahan organik (kulit buah dan sayur) dimasukkan ke dalam drigen.
5. Campuran tersebut diaduk secara merata menggunakan pengaduk kayu atau plastik.
6. Setelah tercampur rata, drigen ditutup rapat dan disimpan di tempat yang teduh dan tidak terkena cahaya matahari langsung.
7. Proses fermentasi dilakukan selama 3 bulan (90 hari), dengan membuka tutup drigen pada 14 hari setelah dilakukannya proses pembuatan. Hal tersebut bertujuan untuk mengeluarkan gas yang terdapat dalam wadah.

3.4.5 Pembuatan Larutan POC Teknologi Nano

Pupuk organik cair (POC) berteknologi nano dibuat dengan tujuan menghasilkan pupuk cair yang memiliki ukuran partikel lebih kecil sehingga mudah diserap tanaman, serta meningkatkan efektivitas dan efisiensi pemupukan. Bahan utama yang digunakan dalam pembuatan POC nano ini terdiri atas limbah udang, eceng gondok, air kelapa, dan kulit nanas. Proses pembuatannya melibatkan tahap fermentasi bahan organik dengan penambahan EM4 dan gula merah sebagai sumber energi mikroba, yang kemudian dilanjutkan dengan proses nano-aktivasi menggunakan aerator nano-bubble

Pembuatan POC nano menurut Rahmadiarto *et al* (2021) ; Putri dan Fevria (2024), adalah sebagai berikut:

1. Takaran dalam campuran POC berupa kulit limbah udang 500 g, eceng gondok 500 g, air kelapa 300 ml, kulit nanas 300 g, 7 L air bersih, dan 350 ml gula aren dan 350 ml EM4
2. Seluruh bahan organik dicuci bersih dengan air mengalir untuk menghilangkan kotoran, kemudian potong kecil-kecil bahan organik menggunakan pisau atau belender kasar agar mempercepat proses fermentasi

3. Semua bahan dimasukkan ke dalam ember berkapasitas 16 liter, ditambahkan air bersih, gula aren, dan EM4. Campuran diaduk hingga homogen lalu difermentasi secara selama 15 hari di tempat teduh dan tertutup rapat.
4. Larutan hasil fermentasi disaring menggunakan kain halus untuk memisahkan sisa-sisa bahan padat yang masi tertinggal
5. Setelah selesai disaring, larutan dipindahkan ke wadah yang telah dilengkapi dengan aerator nano-bubble. Proses ini bertujuan untuk mengecilkan ukuran partikel dan meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam larutan. Proses ini berjalan sekitar 2-3 jam tergantung banyaknya larutan.
6. Larutan hasil aktivasi nano kemudian disimpan dalam botol tertutup dan siap untuk digunakan. Alat aerator nano-bubble dan aktivasi POC teknologi nano dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Alat aerator nano-bubble dan aktivasi POC teknologi nano.

3.4.6 Pindah Tanam

Pemindahan tanaman selada dilakukan pada umur 10 hari setelah penyemaian berlangsung atau sudah memenuhi ciri-ciri seperti, sudah tumbuh daun 3 helai. Pada tahap ini, bibit selada yang telah tumbuh dipindahkan secara hati-hati dari nampan persemaian menuju instalasi hidroponik NFT yang telah disiapkan sebelumnya. Pemindahan tanaman dilaksanakan pada waktu pagi hari, ketika suhu udara cenderung lebih sejuk dan kelembapan udara lebih stabil.

3.4.7 Pemeliharaan

Pemeliharaan tanaman selada yang ditanam pada instalasi hidroponik ini mencakup berbagai kegiatan penting untuk menjaga kesehatan dan produktivitas tanaman. Salah satu langkah utama adalah mengontrol kondisi larutan nutrisi yang berada dalam ember penampung. Pengendalian ini mencakup pemeriksaan volume larutan nutrisi agar tetap mencukupi, pengukuran tingkat keasaman (pH), serta pengukuran tingkat kepekatan (TDS) larutan menggunakan alat TDS meter dan pH meter yang tersedia di setiap unit instalasi hidroponik. Tujuan dari pengontrolan ini adalah untuk memastikan konsentrasi dan keseimbangan nutrisi tetap optimal sesuai dengan kebutuhan tanaman selada. Selain itu, jika ditemukan tanaman yang mati dalam kurun waktu satu minggu setelah pindah tanam, maka dilakukan penyulaman atau penggantian tanaman baru agar populasi tanaman tetap seragam dan optimal.

3.4.8 Pengendalian Hama

Upaya pengendalian hama pada tanaman selada dalam penelitian ini dilakukan secara manual dan intensif. Setiap hari, dilakukan pemeriksaan rutin terhadap tanaman maupun lingkungan hidroponik untuk mendeteksi adanya serangan hama yang dapat merusak tanaman. Hama yang ditemukan, baik yang menempel langsung pada tanaman maupun berada di sekitar lingkungan instalasi, segera diambil dan dibuang secara manual. Pendekatan ini dilakukan untuk meminimalisir dampak kerusakan yang dapat ditimbulkan oleh serangan hama, sekaligus menjaga keberlanjutan pertumbuhan tanaman selada yang sehat dan optimal.

3.4.9 Pemanenan

Tanaman selada yang ditanam dalam instalasi hidroponik ini dapat dipanen setelah mencapai usia 35 hari setelah pindah tanam, pada umur tersebut tanaman telah tumbuh secara maksimal dengan ukuran dan kualitas yang optimal. Pemanenan dilakukan pada pagi hari, untuk menghindari tanaman menjadi layu

akibat paparan sinar matahari yang terik di siang hari. Pemanenan pada waktu yang tepat tidak hanya menjaga kualitas sayuran yang dihasilkan tetapi juga membantu mempertahankan tingkat kesegaran tanaman yang baru dipanen.

3.5 Variabel Pengamatan

Variabel pengamatan yang diamati pada penelitian ini adalah tinggi tanaman, jumlah daun, panjang daun, lebar daun, bobot segar tajuk, tingkat kehijauan daun, bobot kering tajuk, bobot kering dan panjang akar tanaman selada serta pengamatan lingkungan kepekatan larutan.

3.5.1 Tinggi Tanaman (cm)

Pengamatan tinggi tanaman dilakukan pada 3 sampel tanaman setiap satuan percobaan dan diukur setiap minggu, tepatnya mulai pada 2-4 MST. Pengukuran tinggi tanaman, diukur dari permukaan atas media sampai daun terpanjang menggunakan mistar.

3.5.2 Jumlah Daun

Pengamatan jumlah daun dilakukan pada 3 sampel tanaman pada setiap satuan percobaan dan diukur setiap minggu, tepatnya mulai pada 2-4 MST. Pengamatan jumlah daun dapat dilihat dari banyaknya jumlah yang terdapat pada tanaman baik daun muda maupun yang tua.

3.5.3 Panjang Daun (cm)

Pengamatan panjang daun dilakukan pada 3 sampel tanaman setiap satuan percobaan dan diukur setiap minggu, tepatnya mulai pada 2-4 MST. Pengukuran panjang daun, diukur dari pangkal daun sampai pucuk daun menggunakan mistar.

3.5.4 Lebar Daun (cm)

Pengamatan lebar daun dilakukan pada 3 sampel tanaman setiap satuan percobaan dan diukur setiap minggu, tepatnya mulai pada 2-4 MST. Pengukuran lebar daun diukur pada bagian sisi daun yang paling lebar menggunakan mistar.

3.5.5 Tingkat Kehijauan Daun

Tingkat kehijauan daun dapat diamati menggunakan alat klorofil meter atau yang biasa dikenal dengan SPAD (Soil Plant Analysis Development). Pengamatan dilakukan pada tanaman berumur 20 HST dengan cara meletakkan alat pada daun dengan mengambil 3 titik daun yaitu bagian sisi bawah, sisi tengah, dan sisi atas daun. Alat untuk mengukur tingkat kehijauan daun dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Alat pengukur tingkat kehijauan daun.

3.5.6 Bobot Basah Tajuk (g)

Bobot segar tajuk dapat diukur menggunakan timbangan digital dengan satuan pengukuran gram. Pengukuran dilakukan dengan menjumlahkan bobot segar daun dan bobot segar batang pada tanaman. Pengukuran bobot segar tajuk dilakukan pada 3 sampel tanaman dari setiap ulangan perlakuan. Pengamatan dilakukan pada umur 4 MST.

3.5.7 Bobot Kering Tajuk (g)

Bobot kering tajuk dapat diukur menggunakan timbangan digital dengan satuan pengukuran gram. Pengukuran dilakukan dengan menjumlahkan bobot kering daun dan bobot kering batang pada tanaman. Pengukuran bobot kering tajuk dilakukan pada 3 sampel tanaman dari setiap ulangan perlakuan. Pengamatan dilakukan pada umur 4 MST.

3.5.8 Bobot Basah Akar (g)

Pengamatan bobot basah akar dilakukan pada saat panen dengan menggunakan 3 sampel tanaman yang diambil secara acak dari setiap unit percobaan. Proses pengukurannya akar ditimbang menggunakan timbangan analitik hingga diperoleh bobot basah akar yang dinyatakan dalam satuan gram (g). Pengamatan dilakukan pada umur 4 MST.

3.5.9 Volume akar (ml)

Pengamatan volume akar dilakukan pada saat panen dengan menggunakan 3 sampel tanaman yang diambil secara acak dari setiap unit percobaan. Pengukuran volume akar dilakukan dengan metode perpindahan air, yaitu dengan memasukkan akar ke dalam gelas ukur yang berisi air dalam volume tertentu, kemudian mencatat peningkatan volume air yang terjadi. Selisih volume air sebelum dan sesudah akar dimasukkan dinyatakan sebagai volume akar tanaman dan dicatat dalam satuan mililiter (ml) sebagai salah satu indikator pertumbuhan perakaran tanaman. Pengamatan dilakukan pada umur 4 MST.

3.5.10 Panjang Akar (cm)

Pengukuran akar dilakukan pada 3 sampel tanaman dari setiap percobaan saat panen. Proses pengukuran dilakukan dengan membersihkan akar dari sisa media tanam secara hati-hati agar tidak terjadi kerusakan pada akar utama. Selanjutnya, panjang akar diukur mulai dari pangkal batang hingga ujung akar terpanjang

menggunakan penggaris dengan satuan sentimeter (cm). Pengamatan dilakukan pada umur 4 MST.

3.5.11 Faktor Lingkungan

Pengamatan faktor lingkungan dilakukan setiap hari pada pagi hari (08.00 WIB), siang hari (12.00 WIB), dan sore hari (16.00 WIB), mulai dari 1 MST hingga 4 MST. Faktor lingkungan yang diamati meliputi suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya. Pengukuran suhu dan kelembapan dilakukan menggunakan termometer hygrometer HTC 2, sedangkan intensitas cahaya diukur menggunakan lux meter. Alat termometer hygrometer HTC 2 dan lux meter dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. (a) Termometer hygrometer HTC 2 dan (b) lux meter.

3.5.12 Kadar Kepekatan Larutan, pH, dan Suhu Larutan Nutrisi

Pengontrolan air nutrisi dilakukan setiap hari, dimulai dari awal pindah tanam hingga akhir percobaan. Pengukuran ppm dan suhu menggunakan alat TDS meter (*total dissolved solids*) dengan cara mencelupkan alat kedalam larutan nutrisi hidroponik selama 10-20 detik pada pagi hari hingga nilai TDS berkisar 800-1000 ppm dan suhu nutrisi berkisar 18-25°C. Sedangkan pengukuran pH menggunakan alat pH meter dengan cara mencelupkan alat ke dalam larutan hingga muncul angka di layar alat dan nilai pH berkisar 5,5-6,5

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pemberian kombinasi pupuk AB-Mix, POC teknologi nano, dan eco enzyme pada sistem hidroponik NFT mampu mendukung pertumbuhan dan hasil panen tanaman selada. Kombinasi nutrisi tersebut dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman, terutama pada jumlah daun, lebar daun, panjang daun, tingkat kehijauan daun, dan bobot basah tajuk. Selain itu, penggunaan POC teknologi nano dan eco enzyme sebagai substitusi 25% AB-Mix masih mampu mempertahankan pertumbuhan tanaman yang relatif setara dengan perlakuan kontrol.
2. Kombinasi 75% AB-Mix dengan penambahan POC teknologi nano maupun kombinasi POC teknologi nano sebesar 25% dan eco enzyme mampu menggantikan sebagian penggunaan AB-Mix tanpa menurunkan pertumbuhan dan hasil panen tanaman selada. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan pupuk organik cair berbasis teknologi nano dan eco enzyme berpotensi menjadi substitusi sebagian pupuk AB-Mix yang lebih efisien serta mendukung budidaya selada hidroponik yang berkelanjutan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan untuk dilakukan penelitian lanjutan mengenai penggunaan kombinasi AB-Mix 75% + Pupuk Organik Cair (POC) teknologi nano 25% + eco enzyme pada berbagai konsentrasi atau komposisi nutrisi dalam sistem hidroponik NFT untuk mengetahui konsentrasi yang paling optimal terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, I., Prayoga, B. I., Santosa, H., Daratha, N., dan Faurina, R. 2022. NFT Hydroponic control using mamdani fuzzy inference system. *Journal of robotics and control (JRC)*. 3(3): 374-383.
- Alviani, P. 2015. *Bertanam hidroponik untuk pemula*. Jakarta: Bibit publisher. 152 hal.
- Andhika, R.L. 2017. Karakteristik agronomis tanaman kailan (*Brassica juncea* L. Var. *Acephala* Dc.) Kultivar full white 921 akibat jenis media tanam organik dan nilai ec pada hidroponik sistem Wick. *Jurnal agroteknologi Indonesia*. 2(1): 25-33.
- Apriliani, I.N., Heddy, S., dan Suminarti, N.E. 2016. Pengaruh kalium pada pertumbuhan dan hasil dua varietas tanaman ubi jalar (*Ipomea batatas* L.) Lamb). *Jurnal produksi tanaman*. 4(4): 264–270.
- Arifin, L.W., Syambarkah, A., Purbasari, H.S., Ria, R., dan Puspita, V.A. 2009. Introduction of eco enzyme to support organic farming in Indonesia. *Asian journal of food and agro-industry*. 2(Special Issue): S356–S359.
- Arun, C., and Sivashanmugam, P. 2017. Study on optimization of process parameters for enhancing the multi-hydrolytic enzyme activity in garbage enzyme produced from preconsumer organic waste. *Bioresource technology*. 226: 200–210.
- Badan Pusat Statistik. 2025. *Statistik hortikultura 2024*. bps.go.id.
- Channab, B., El Idrissi, A., Ammar, A., Dardari, O., Marrane, S.E., El Gharrak, A., Akil, A., Essemli, Y., and Zahouily, M. 2024. Recent advances in nano-fertilizers: Synthesis, crop yield impact, and economic analysis. *Nanoscale*. 16(9): 4484–4513.
- Chhipa, H. 2017. Nanofertilizers and nanopesticides for agriculture. *Environmental chemistry letters*. 15(1): 15–22.
- Darlina, Hasanuddin, dan Hafnati, R. 2016. Pengaruh penyiraman air kelapa (*Cocos nucifera* L.) terhadap pertumbuhan vegetatif lada (*Piper nigrum* L.). *Jurnal ilmiah mahasiswa pendidikan biologi*. 1(1): 20–28.

- de Sousa, O.T.F.D., Hariyono, K., dan Dewanti, P. 2023. Evaluasi penambahan kalium pada AB-mix terhadap pertumbuhan tiga varietas selada (*Lactuca sativa* L.) hidroponik. *Agriprima: journal of applied agricultural sciences*. 7(1): 58–71.
- Deliana, D. 2023. Pendampingan kelompok pemberdayaan limbah pada dasawisma dalam pengelolaan sampah limbah menjadi media tanam. *Unri conference series: community engagement*. 5: 443–449.
- Fadilah, S.C., Azizah, E., dan Subardja, V.O. 2025. Pengaruh pemberian berbagai konsentrasi eco enzyme beberapa kulit buah lunak terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) varietas Grand Parid. *Jurnal agroplasma*. 12(2): 325–334.
- Fatma, F., Harahap, I.S., Siahaan, I.M., dan Berliana, Y. 2019. Pengaruh konsentrasi dan interval pupuk limbah cair terhadap pertumbuhan samhong (*Brassica juncea* L.) hidroponik. *Agrinula: jurnal agroteknologi dan Perkebunan*. 2(2): 23–27.
- Frasetya, B., Taofik, A., dan Firdaus, R.K. 2018. Evaluasi variasi nilai electrical conductivity terhadap pertumbuhan tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) pada sistem hidroponik NFT. *Jurnal agro*. 5(2): 95–102.
- Hadisuwito, S. 2015. *Membuat pupuk organik cair*. Agromedia pustaka.
- Hanisar, W., dan Bahrin, A. 2015. Pengaruh pemberian poc terhadap pertumbuhan dan hasil beberapa varietas kacang hijau (*Vigna radiata* L.). *Agrotekhnologi*. 3(1): 1–8.
- Haryanto, E., Suhartini, T., dan Rahayu, E. 2007. *Sawi dan selada*. Penebar swadaya.
- Hemalatha, M., dan Visantini, P. 2020. Potential use of eco enzyme for the treatment of metal based effluent. *Iop conference series: materials science and engineering*. 716(1): 012016.
- Hemalatha, M., Visantini, P., and Parthasarathy, R. 2020. Eco enzyme: A bio-friendly liquid from organic waste. *International journal of creative research thoughts*. 8(6): 275–282.
- Hidayanti, L., dan Kartika, T. 2019. Pengaruh nutrisi ab-mix terhadap pertumbuhan tanaman bayam merah (*Amaranthus tricolor* L.) secara hidroponik. *Sainmatika: jurnal ilmiah matematika dan ilmu pengetahuan alam*. 16(2): 166–175.

- Huda, I., Setyawan, H., dan Nugroho, A.B. 2021. Perancangan sistem hidroponik dengan metode NFT (Nutrient Film Technique) pada tanaman selada (*Lactuca sativa* L.). [*Tugas Akhir/Skripsi*]. Jember: Universitas Muhammadiyah Jember.
- Indrawati, R., Indradewa, D., dan Utami, S.N.H. 2012. Pengaruh komposisi media dan kadar nutrisi hidroponik terhadap pertumbuhan dan hasil tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Vegetalika*. 1(3): 109–119.
- Jahro, L. 2018. Pengaruh pertumbuhan dan produksi tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) pada sistem hidroponik NFT dengan berbagai konsentrasi pupuk AB-Mix dan Bayfolan. [*Skripsi*]. Medan: Fakultas Pertanian, Universitas Medan Area.
- Jones, J.B. 2016. *Hydroponics: A practical guide for the soilless grower* (Edisi ke-3). CRC Press.
- Kah, M., Kookana, R.S., Gogos, A., and Bucheli, T.D. 2018. A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues. *Nature nanotechnology*. 13(8): 677–684.
- Kudirka, G., Viršilė, A., Sutulienė, R., Laužikė, K., and Samuolienė, G. 2023. Precise management of hydroponic nutrient solution pH: The effects of minor pH changes and MES buffer molarity on lettuce physiological properties. *Horticulturae*. 9(7): Artikel 837.
- Kurniawati, H.Y. 2015. Pengaruh pemberian pupuk organik cair dan dosis pupuk NPK 15:15:15 terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman mentimun (*Cucumis sativus* L.). [*Skripsi*]. Lampung: Universitas Lampung.
- Kusrinah, Nurhayati, A., dan Hayati, N. 2016. Pelatihan dan pendampingan pemanfaatan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) menjadi pupuk kompos cair untuk mengurangi pencemaran air dan meningkatkan ekonomi masyarakat Desa Karangimpul Kelurahan Kaligawe Kecamatan Gayamsari Kotamadya Semarang. Dimas: *jurnal pemikiran agama untuk pemberdayaan*. 16(1): 27–48.
- Lestari, I.A., Rahayu, A., dan Mulyaningsih, Y. 2022. Pertumbuhan dan produksi tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) pada berbagai media tanam dan konsentrasi nutrisi pada sistem hidroponik nutrient film technique (NFT). *Journal agronida*. 8(1): 31-39.
- Lingga, P., and Marsono. 2013. Petunjuk penggunaan pupuk. Penebar swadaya.
- Luky, D.F. 2017. Perancangan interior healthy food center dan taman hidroponik di Surabaya. *Jurnal INTRA*. 5(2): 683–692.

- Mahmudi, K., Nurhidayat, R.D., Nurrohmah, N.B., dan Sudarti. 2025. Analisis konsep fisika pada hidroponik NFT (Nutrient Film Technique). *Cermin: jurnal penelitian*. 9(1): 226-277.
- Manuel, J. 2017. Pembuatan pupuk organik cair dari limbah air kelapa dengan menggunakan bioaktivator, *Azotobacter chroococcum* dan *Bacillus mucilaginosus*. [Skripsi]. Surabaya: Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Meliza, M., Ibnušina, F., and Nofrianil, N. 2025. Giving a combination of AB-Mix and LOF Jakaba to the growth and production of hydroponic pakcoy plants. *Agritech: jurnal fakultas pertanian universitas muhammadiyah purwokerto*. 26(2).
- Meriaty, M. 2021. Pertumbuhan dan hasil tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) akibat jenis media tanam hidroponik dan konsentrasi nutrisi AB-Mix. *Agroprimatech*. 4(2): 75–84.
- Mujahid, A., Sudiarso, dan Aini, N. 2017. Uji aplikasi pupuk berteknologi nano pada budidaya tanaman bayam merah (*Alternanthera amoena* Voss.). *Jurnal produksi tanaman*. 5(3): 538–545.
- Nasution, D.H. 2024. Aplikasi pupuk organik cair (POC) air cucian beras dan kulit pisang terhadap pertumbuhan serta hasil tanaman terung (*Solanum melongena* L.). [Skripsi]. Pekanbaru: Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- Nawadkar, A., Chaskar, J., Tiwari, A., and Chaskar, A. 2024. Controlled release of nanofertilizers: A promising approach for efficient delivery of nutrients in plants. *Journal of crop improvement*. 38(3): 189–218.
- Nisa, R.A., Sutarno, S., dan Kusmiyati, F. 2023. Pertumbuhan dan produksi selada (*Lactuca sativa* L.) akibat pupuk organik cair dan konsentrasi GA3 yang berbeda dalam hidroponik sistem wick. *Agroeco science journal*. 2(2): 18–26.
- Nisawati, I., dan Yahya, A. 2020. Pemanfaatan eco enzyme dalam mengoptimalkan peranan ibu rumah tangga Desa Jatibaru Cikarang Kabupaten Bekasi. *Jurnal pengabdian sriwijaya*. 8(4): 1294–1302.
- Novia, Y., Ezward, C., dan Seprido. 2022. Pertumbuhan dan hasil tanaman selada pada berbagai konsentrasi nutrisi AB-Mix. *Green swarnadwipa: jurnal pengembangan ilmu pertanian*. 11(2): 154–161.
- Novrianti. 2014. Respon tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) terhadap pemberian pupuk organik cair asal sampah organik pasar. *Klorofil*. 9(2): 57–61.

- Nurjanah, N., Syamsiah, M., dan Trihaditia, R. 2023. Respon pertumbuhan tanaman selada romaine (*Lactuca sativa* L. var. *Longifolia*) terhadap aplikasi pupuk organik cair pada sistem hidroponik NFT. *Agroscience*. 13(1): 67–80.
- Nurlaila, A., Syam, A., dan Kurniawan, D. 2023. Pemanfaatan eco enzyme sebagai pupuk organik cair untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman hortikultura. *Jurnal pertanian berkelanjutan*. 11(2): 95–103.
- Oktavian, F. 2023. Penggunaan POC ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) sebagai substitusi parsial pupuk AB-mix terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman sawi (*Brassica juncea* L.) secara hidroponik. [*Skripsi*]. Lampung: Universitas Lampung.
- Pangaribuan, D.H., Ginting, Y.C., Rugayah, Oktiya, R., and Zaheri, E.D. 2022. The effect of seaweed (*Sargassum* sp.) and plant extract combinations on the growth of mustard plant (*Brassica juncea* L.) grown in hydroponic wick system. *Caraka tani: journal of sustainable agriculture*. 37(2): 299–309.
- Pradita, N., dan Koesriharti. 2019. Pengaruh pupuk organik cair terhadap pertumbuhan dan hasil tiga varietas selada (*Lactuca sativa* L.) pada sistem NFT. *Jurnal produksi tanaman*. 7(4): 706–712.
- Pramushinta, I.A.K. 2018. Pembuatan pupuk organik cair limbah kulit nanas dengan enceng gondok pada tanaman tomat (*Lycopersicon esculentum* L.) dan tanaman cabai (*Capsicum annum* L.). *Journal pharmasci (journal of pharmacy and science)*. 3(2): 37–40.
- Previensari, D., Sukmono, A., dan Firdaus, H.S. 2020. Analisis pengaruh relief dan arah sinar matahari terhadap kesesuaian lahan tembakau berbasis pemodelan geospasial 3-dimensi di Gunung Sindoro. *Jurnal geodesi undip*. 9(1): 344–353.
- Purba, D.W., dan Maulana, J. 2021. Respon pemberian AB-Mix dan berbagai pupuk organik cair terhadap pertumbuhan tanaman terung ungu secara hidroponik. *Jurnal agrotek ummat*. 8(2): 75–82.
- Putri, A.A., dan Fevria, R. 2024. Pengaruh pupuk organik cair (POC) teknologi nano terhadap pertumbuhan pakcoy (*Brassica rapa* L.) yang dibudidayakan secara hidroponik. *MASALIQ: jurnal pendidikan dan sains*. 4(1): 320–331.
- Putri, R.M.E., Fevria, R., Des, M., dan Violita. 2023. Pengaruh ecoenzyme teknologi nano terhadap pertumbuhan pakcoy (*Brassica rapa* L.) yang dibudidayakan secara hidroponik. *Jurnal produksi tanaman*. 11(6): 349–358.

- Rahayu, S., Susana, R., dan Hadijah, S. 2019. Respon stroberi terhadap pemberian kombinasi nutrisi anorganik dan pupuk organik cair sabut kelapa secara hidroponik substrat. *Jurnal sains pertanian equator*. 8(3): 1-8.
- Rahmadiarto, M.F., Ridwan, dan Tang, M. 2021. Pembuatan POC dari limbah kepala udang vanamei dengan bioaktifator EM4 perikanan. *Jurnal SAINTIS*. 2(2): 42-46.
- Ramaidani, R., Mardina, V., dan Al Faraby, M. 2021. Pengaruh nutrisi AB-Mix terhadap pertumbuhan sawi pakcoy dan selada hijau dengan sistem hidroponik. *Bio-edu: jurnal pendidikan biologi*. 6(3): 300-310.
- Ramayana, A.S., Pujowati, P., Sunaryo, W., Herdi, dan Syahfari, H. 2024. Penambahan pupuk nitrogen terhadap pertumbuhan dan hasil selada (*Lactuca sativa* L.) pada sistem hidroponik sumbu. *Agrika: jurnal ilmu-ilmu pertanian*. 18(1): 59-70.
- Raviv, M., and Lieth, J.H. 2008. Soilless culture: Theory and practice. Elsevier.
- Resh, H.M. 2022. *Hydroponic food production*. CRC Press.
- Rosita, H.D., dan Regar, A.F.C. 2022. Pemanfaatan limbah kulit nanas dan eceng gondok sebagai pupuk organik cair terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans* Poir.). *Berkala ilmiah pertanian*. 5(2): 110-116.
- Rosnina, A.G., Baidhawi, B., Febrianti, F., dan Wirda, Z. 2024. Peran vermicompost dan eco enzyme terhadap penanaman kailan (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*) pada inseptisol. *Jurnal agrium*. 21(2): 178-189.
- Rosnina, A.G., dan Wirda, Z. 2022. Aplikasi pupuk eco enzyme pada lahan marginal di Desa Reuleut Barat Muara Batu Aceh Utara. *Global science society: jurnal ilmiah pengabdian kepada Masyarakat*. 4(1): 78-83.
- Rubatzky, V.E., and Yamaguchi, M. 1998. *World vegetables: Principles, production, and nutritive values* (Edisi ke-2). Chapman and Hall.
- Safira, M. 2023. Rancang bangun sistem monitoring kualitas nutrisi dan iklim mikro pada pertanian hidroponik berbasis nanobubble. [Skripsi]. Sumedang: Universitas Padjadjaran.
- Saputri, I.P. 2022. Uji pupuk limbah cair rumput laut sebagai substitusi nutrisi AB-mix pada tanaman sawi (*Brassica juncea* L.) secara hidroponik. [Skripsi]. Lampung: Universitas Lampung.
- Sari, D.I., Efri, G., dan Shafa, N. 2021. Efektivitas pemberian air kelapa (*Cocos nucifera*) sebagai pupuk organik cair terhadap pertumbuhan tanaman tomat (*Solanum lycopersicum*). *Edubiologia*. 1(1): 41-47.

- Savira, R.D., dan Prihtanti, T.M. 2019. Analisa permintaan sayuran hidroponik di PT. Hidroponik Agrofarm Bandungan (Demand analysis of vegetables hydroponics at PT Hidroponik Agrofarm Bandungan). *Agrilan*. 7(2): 164-180.
- Solanki, P., Bhargava, A., Chhipa, H., Jain, N., and Panwar, J. 2021. Nano-fertilizers and their smart delivery system. *Nanotechnologies in food and agriculture*. 81-101.
- Supriani, E., Budiyanto, S., dan Sutarno, S. 2021. Respon tanaman selada keriting hijau terhadap penyinaran lampu LED dan konsentrasi CaCl_2 pada sistem hidroponik. *AGROVITAL: jurnal ilmu pertanian*. 6(2): 99-106.
- Susi, N., Surtinah, S., dan Rizal, M. 2018. Pengujian kandungan unsur hara pupuk organik cair (POC) limbah kulit nenas. *Jurnal ilmiah pertanian*. 14(2): 46-51.
- Sutiyoso, Y. 2009. *Hidroponik Ala Yos*. Penebar Swadaya.
- Sutiyoso, Y. 2009. *Meramu pupuk hidroponik*. Penebar Swadaya. hlm. 3.
- Syah, M.F., Ardian, dan Yulia, A.E. 2021. Pemberian pupuk AB-Mix pada tanaman pakcoy putih (*Brassica rapa* L.) dengan sistem hidroponik rakit apung. *Dinamika pertanian*. 37(1): 17-22.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M., and Murphy, A. 2015. *Plant physiology and development* (6th ed.). Sunderland: Sinauer Associates.
- Tang, F.E., dan Tong, C.W. 2011. A study of the garbage enzyme's effects in domestic wastewater. *International journal of environment, chemical, ecological, geological and geophysical engineering*. 5(12): 887-892.
- Tiwery, R.R. 2014. Pengaruh penggunaan air kelapa (*Cocos nucifera*) terhadap pertumbuhan tanaman sawi (*Brassica juncea* L.). *Biopendix*. 1(1): 83-91.
- Usman, A., Rahman, M., dan Putri, D. 2025. Pemanfaatan pupuk organik cair eco enzyme dan AB-Mix terhadap pertumbuhan tanaman selada secara hidroponik. *Jurnal pertanian terpadu*. 13(1): 45-54.
- Usman, F., Sapareng, S., dan Yasmin, Y. 2025. Analisis pemanfaatan pupuk organik cair (eco enzyme) dan AB-Mix pada larutan nutrisi dalam budidaya selada hidroponik. *Jurnal pertanian terpadu*. 13(1): 1-12.
- Wahida, W., dan Suryaningsih, N.L.S. 2016. Analisis kandungan unsur hara pupuk organik cair dari limbah rumah tangga di Kabupaten Merauke. *Agricola*. 6(1): 23-30.

- Wibowo, R.A., dan Furoidah, N. 2021. Respon pertumbuhan tiga varietas selada (*Lactuca sativa* L.) terhadap konsentrasi nutrisi AB-Mix secara hidroponik. *Jurnal agroplant*. 4(2): 43-52.
- Wijana, S., Kumalaningsih, Setyowati, A., Efendi, U., dan Hidayat, N. 1991. *Optimalisasi penambahan tepung kulit nanas dan proses fermentasi pada pakan ternak terhadap peningkatan kualitas nutrisi*. Universitas Brawijaya. Malang.
- World Health Organization. 2023. *Healthy diet*. *who.int*.
- Yanuar, F., dan Widawati, M. 2014. Pemanfaatan nanoteknologi dalam pengembangan pupuk dan pestisida organik. *Jurnal litbang Kesehatan*. 21(3): 110-120.
- Yazhini, G., Sankar, T., Kungumaselvan, T., dan Gopalakrishnan, M. 2020. Evaluation of mature coconut water on soil nutrient availability and stimulation plant growth and yield of greengram. *The pharma innovation journal*. 9(11): 136-139.
- Yusuf, A., Asdak, C., Muhaemin, M., dan Pratama, B.R. 2024. Potensi penerapan teknologi nanobubble pada sistem hidroponik deep flow technique (DFT). *Prosiding seminar nasional politeknik pembangunan pertanian yogyakarta magelang*. 6: 182-189.
- Zaidy, A.B., Anggoro, A.D., dan Kasmawijaya, A. 2021. Pengaruh penggunaan nanobubble dalam transportasi udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). *Akuatika Indonesia*. 6(2): 50-56.
- Zhang, H., Zheng, T., Wang, Y., Li, T., and Chi, Q. 2024. Multifaceted impacts of nanoparticles on plant nutrient absorption and soil microbial communities. *Frontiers in plant science* 15: Artikel 1497006.
- Zuhaida, L., Ambarwati, E., dan Sulistyaningsih, E. 2012. Pertumbuhan dan hasil selada (*Lactuca sativa* L.) hidroponik diperkaya Fe. *Vegetalika*. 1(4): 68-77.