
BIOFARM
Jurnal Ilmiah Pertanian
ISSN Print: 0216-5430; ISSN Online: 2301-6442
Vol. 22, No. 2, Oktober 2026

Karakteristik Ekoenzim Generasi Kedua (F2) dan Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan Selada (*Lactuca sativa* L.) pada Hidroponik Sistem Sumbu

Characteristics of Second-Generation (F2) Eco-enzyme and Its Effect on the Growth of Lettuce (Lactuca sativa L.) in a Wick Hydroponic System

Najla Lubis*[1], M. Wasito[1], Reza Andry Prabowo[1]
[1]Program Studi Magister Ilmu Pertanian, Program Pascasarjana, Universitas Pembangunan Panca Budi
*Korespondensi Penulis : najlalubis@dosen.pancabudi.ac.id

ABSTRAK
Ekoenzim berpotensi menjadi pupuk organik cair, namun kajian ekoenzim generasi kedua (F2) pada hidroponik masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis kandungan kimia ekoenzim F2 (F2 EE) yang difermentasi lanjut dengan daun kelor dan kangkung serta menguji pengaruh konsentrasinya terhadap pertumbuhan selada (*Lactuca sativa* L.) pada hidroponik sistem sumbu. Ekoenzim F1 dibuat dari limbah kulit buah, gula merah, dan air (1:3:10) selama 100 hari, kemudian difermentasi lanjut selama 21 hari dengan daun kelor dan kangkung (1:5). Analisis meliputi pH, C-organik, N, P, K, Cu, Mn, dan Fe. Uji pertumbuhan menggunakan Rancangan Acak Lengkap satu faktor dengan tujuh taraf konsentrasi F2 EE (0; 0,5; 1; 1,5; 50; 100; dan 150 ml/L). Fermentasi lanjut meningkatkan N empat kali lipat (0,01 menjadi 0,04%), P, K, Mn, dan Fe sekitar dua hingga tiga kali lipat, serta menurunkan rasio C/N dari 88 menjadi 22,5. Konsentrasi F2 EE berpengaruh sangat nyata terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot segar per tanaman. Konsentrasi 1 ml/L memberikan hasil terbaik (12,27 cm; 11,33 helai; 70,43 g), sedangkan konsentrasi 50–150 ml/L menekan pertumbuhan secara progresif. Ekoenzim F2 berpotensi sebagai biostimulan pada dosis rendah, bukan sebagai pengganti larutan nutrisi hidroponik.

Kata kunci: *biostimulan; daun kelor; ekoenzim F2; hidroponik sumbu; pupuk organik cair; selada*

ABSTRACT
*Eco-enzyme is a potential liquid organic fertilizer, yet studies on second-generation eco-enzyme (F2) in hydroponics remain limited. This study aimed to analyze the chemical composition of F2 eco-enzyme (F2 EE) re-fermented with moringa and water spinach leaves and to evaluate the effect of its concentration on lettuce (*Lactuca sativa *L.) growth in a wick hydroponic system. First-generation eco-enzyme was produced from fruit peel waste, brown sugar, and water (1:3:10) for 100 days and then re-fermented for 21 days with moringa and water spinach leaves (1:5). Analyses covered pH, organic C, N, P, K, Cu, Mn, and Fe. The growth trial used a single-factor completely randomized design with seven F2 EE concentrations (0, 0.5, 1, 1.5, 50, 100, and 150 ml/L). Re-fermentation increased N fourfold (0.01 to 0.04%), raised P, K, Mn, and Fe two- to threefold, and lowered the C/N ratio from 88 to 22.5. F2 EE concentration had a highly significant effect on plant height, leaf number, and fresh weight per plant. The 1 ml/L concentration gave the best results (12.27 cm; 11.33 leaves; 70.43 g), whereas 50–150 ml/L progressively suppressed growth. F2 eco-enzyme is promising as a low-dose biostimulant rather than as a substitute for hydroponic nutrient solution.*

Keywords: biostimulant; F2 eco-enzyme; lettuce; liquid organic fertilizer; moringa leaf; wick hydroponics

PENDAHULUAN

Permintaan sayuran daun segar terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan kesadaran masyarakat akan pangan bergizi dan aman. Selada (*Lactuca sativa* L.) merupakan salah satu sayuran daun bernilai ekonomi tinggi yang banyak dikonsumsi sebagai salad dan lalapan, memiliki siklus panen singkat, dan menjadi komoditas utama dalam budidaya hidroponik (Abdullah dan Andres, 2021). Di sisi lain, sektor pertanian menghadapi penyusutan lahan produktif,

penurunan kesuburan tanah, serta ketergantungan pada pupuk anorganik yang harganya relatif tinggi. Kondisi ini mendorong pengembangan teknologi budidaya yang efisien lahan dan air, salah satunya hidroponik.

Hidroponik adalah budidaya tanaman tanpa tanah yang memasok seluruh kebutuhan hara melalui larutan nutrisi, sehingga penggunaan air dan lahan menjadi lebih efisien serta lingkungan tumbuh lebih mudah dikendalikan (Resh, 2013). Keberhasilan hidroponik sangat ditentukan oleh komposisi, pH, dan daya hantar listrik larutan nutrisi. Hingga kini, larutan nutrisi hidroponik umumnya berupa pupuk anorganik komersial seperti AB Mix yang relatif mahal dan menambah ketergantungan petani pada input eksternal. Karena itu, berbagai penelitian mengkaji pupuk organik cair (POC) sebagai sumber nutrisi alternatif atau pelengkap pada hidroponik (Lubis, *et al.*, 2024), misalnya pada sawi (Filtar dan Ridwan, 2023), kangkung (Fitriyani et al,.., 2023), kailan (Kristianto et al., 2023), dan selada (Siregar et al., 2025; Dasumiati et al., 2025). Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa efektivitas POC sangat bergantung pada kandungan hara, konsentrasi, dan kestabilan larutan yang diberikan.

Di sisi lain, limbah organik rumah tangga dan pasar tradisional merupakan komponen terbesar timbulan sampah di Indonesia dan sebagian besar belum dimanfaatkan. Limbah yang tidak dikelola menimbulkan bau, pencemaran air, dan emisi gas rumah kaca dari tempat pembuangan akhir. Padahal, limbah buah dan sayuran mengandung gula, asam organik, dan mineral yang dapat diolah melalui fermentasi menjadi produk bernilai guna bagi pertanian. Pengolahan limbah menjadi input budidaya sekaligus menjawab dua persoalan, yaitu pengurangan sampah organik dan penyediaan pupuk yang murah serta dapat diproduksi secara mandiri oleh petani.

Salah satu sumber POC yang murah dan mudah dibuat adalah ekoenzim, yaitu cairan hasil fermentasi limbah buah dan sayuran dengan gula dan air pada perbandingan 1:3:10 selama sekitar tiga bulan. Fermentasi menghasilkan asam organik, enzim, serta unsur hara makro dan mikro yang dapat dimanfaatkan tanaman (Gaspersz dan Fitrihidajati, 2022; Hasanah, 2021). Pemanfaatan ekoenzim sekaligus menjadi bentuk penerapan ekonomi sirkular karena mengubah limbah organik rumah tangga dan pasar menjadi input pertanian bernilai tambah. Namun, sejumlah kajian melaporkan bahwa kadar N, P, dan K ekoenzim umumnya masih di bawah baku mutu pupuk organik cair (Fadlilla dkk., 2023), dengan pH yang sangat asam, yakni 3,50–3,95 (Siregar dkk., 2024). Respons tanaman terhadap aplikasi ekoenzim juga beragam; aplikasi ekoenzim pada kangkung, misalnya, tidak selalu meningkatkan pertumbuhan secara nyata (Ritonga dan Anhar, 2022; Iswari dan Astuti, 2024).

Keterbatasan kandungan hara tersebut dapat diatasi melalui fermentasi lanjutan, yaitu menambahkan bahan organik baru yang kaya hara ke dalam ekoenzim generasi pertama (F1) sehingga diperoleh ekoenzim generasi kedua (F2). Daun kelor (*Moringa oleifera*) dikenal kaya protein, mineral, dan fitohormon golongan sitokinin seperti zeatin; ekstraknya dilaporkan mampu meningkatkan hasil dan mutu selada hidroponik (Admane dkk., 2023). Kangkung (*Ipomoea aquatica*) merupakan biomassa yang mudah diperoleh dan mengandung berbagai mineral. Kombinasi keduanya diduga dapat memperkaya kandungan hara dan senyawa bioaktif ekoenzim. Sejauh penelusuran penulis, kajian tentang karakteristik kimia ekoenzim F2 dan efektivitasnya pada hidroponik masih sangat terbatas, karena sebagian besar penelitian sebelumnya menggunakan ekoenzim F1 dan diaplikasikan pada media tanah (Luta dkk., 2022; Iswari dan Astuti, 2024), misal pada bawang merah (Lubis *et al.*, 2022), (Hakim, Sulardi and Wasito, 2023). Ekoenzim yang digunakan umumnya berasal dari limbah pertanian (Wasito, 2023). Ekoenzim juga digunakan pada fermentasi pakan ternak (Ginting *et al.*, 2023)

Kebaruan penelitian ini terletak pada tiga hal, yaitu (1) penggunaan ekoenzim generasi kedua yang diperkaya daun kelor dan kangkung, (2) pengujian langsung pada hidroponik sistem sumbu (*wick system*), dan (3) rentang konsentrasi yang lebar (0,5–150

ml/L) untuk mengungkap pola respons tanaman dari dosis rendah hingga tinggi. Hipotesis penelitian ini adalah fermentasi lanjut meningkatkan kandungan hara ekoenzim dan terdapat konsentrasi optimum F2 EE yang memberikan pertumbuhan selada terbaik. Penelitian ini bertujuan untuk (1) menganalisis kandungan kimia ekoenzim F2 dibandingkan ekoenzim dasar dan (2) mengevaluasi pengaruh konsentrasi ekoenzim F2 terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot segar selada pada hidroponik sistem sumbu.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan tempat. Penelitian dilaksanakan pada April hingga Juli 2026 di Laboratorium dan lahan percobaan Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan. Analisis kandungan hara dilakukan di Laboratorium BRMP (d/h BSIP) Sumatera Utara, Medan.

Bahan dan alat. Bahan pembuatan ekoenzim F1 terdiri atas gula merah sebagai sumber karbohidrat; limbah kulit nanas, jeruk, mangga, pepaya, semangka, dan melon, serta buah jambu air dan jambu biji sebagai bahan organik; dan air mineral. Bahan fermentasi tahap kedua adalah daun kelor dan kangkung. Uji pertumbuhan menggunakan benih selada, rangkaian hidroponik sistem sumbu, dan F2 EE sebagai perlakuan. Varietas selada yang digunakan adalah Batavia Junction.

Pembuatan ekoenzim F1. Limbah buah dicuci, direndam dalam larutan ekoenzim encer (1:300), lalu dipotong kecil. Gula merah dilarutkan dalam air hingga homogen, kemudian potongan limbah dimasukkan dengan perbandingan gula : limbah organik : air sebesar 1:3:10. Wadah ditutup rapat dan difermentasi secara anaerob selama 3 bulan 10 hari. Ekoenzim kemudian disaring dan disimpan dalam botol bersih dan kering.

Pembuatan ekoenzim F2 (F2 EE). Ekoenzim F1 hasil panen difermentasi lanjut selama 21 hari dengan penambahan daun kelor dan kangkung pada perbandingan bahan organik : ekoenzim sebesar 1:5. Setelah 21 hari, cairan disaring dan digunakan sebagai perlakuan.

Analisis Kimia

Sampel ekoenzim dasar (EE) dan F2 EE dianalisis untuk pH, C-organik, N total dengan metode Kjeldahl, P dan K dengan spektrofotometer UV-Vis, serta Cu, Mn, dan Fe dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Rasio C/N dihitung dari kadar C-organik dan N. Hasil analisis dibandingkan secara deskriptif dengan SNI 19-7030-2004 untuk unsur makro (BSN, 2004) dan Keputusan Menteri Pertanian No. 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 untuk unsur mikro (Kementan, 2019).

Rancangan Percobaan

Uji pertumbuhan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) non faktorial, yaitu konsentrasi F2 EE dengan tujuh taraf: E_0 = 0 ml/L (kontrol), E_1 = 0,5 ml/L, E_2 = 1 ml/L, E_3 = 1,5 ml/L, E_4 = 50 ml/L, E_5 = 100 ml/L, dan E_6 = 150 ml/L air, yang diulang sebanyak tiga kali. Rentang konsentrasi dipilih untuk menangkap pola respons tanaman dari dosis rendah hingga tinggi.

Pengamatan dan Analisis Data

Tinggi tanaman (cm) dan jumlah daun (helai) diamati pada umur 1, 2, dan 3 minggu setelah tanam (MST), sedangkan bobot segar per tanaman (g) diukur saat panen. Data dianalisis dengan sidik ragam (ANOVA) sesuai RAL. Apabila perlakuan berpengaruh nyata, pengujian dilanjutkan dengan Uji Jarak Berganda Duncan (DMRT) pada taraf 5% dan 1%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik kimia ekoenzim F2

Fermentasi lanjut dengan daun kelor dan kangkung meningkatkan hampir seluruh parameter hara dibandingkan ekoenzim dasar (Tabel 1). Kadar N meningkat empat kali lipat (0,01 menjadi 0,04%), P tiga kali lipat (0,01 menjadi 0,03%), dan K hampir dua kali lipat (0,20 menjadi 0,39%). Sebaliknya, C-organik relatif tetap (0,88 menjadi 0,90%). Pola ini menunjukkan bahwa kenaikan hara berasal dari pelepasan protein dan mineral bahan tambahan selama fermentasi, bukan dari bertambahnya bahan berkarbon. Daun kelor dikenal sebagai sumber protein dan mineral yang tinggi sehingga penguraiannya oleh mikroorganisme melepaskan N organik dan kation ke dalam larutan.

Tabel 1. Hasil Analisis Kimia Ekoenzim Dasar (EE) dan Ekoenzim F2 (F2 EE)

Parameter	EE	F2 EE	Baku mutu	Ket.
C-organik (%)	0,88	0,90	min 9,8	Rendah
N (%)	0,01	0,04	min 0,40	Rendah
P (%)	0,01	0,03	min 0,40	Rendah
K (%)	0,20	0,39	min 0,20	Memenuhi
pH	4,19	4,72	4–9	Memenuhi
C/N	88	22,5	10–20	Mendekati
Cu (ppm)	3	4	25–500	Rendah
Mn (ppm)	5	11	25–500	Rendah
Fe (ppm)	62	123	90–900	Memenuhi

Keterangan: Ket. berlaku untuk F2 EE. Baku mutu unsur makro mengacu SNI 19-7030-2004 (BSN, 2004) dan unsur mikro mengacu Kepmentan No. 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 (Kementan, 2019).

Kenaikan N yang jauh lebih besar daripada C menurunkan rasio C/N dari 88 pada EE menjadi 22,5 pada F2 EE. Rasio C/N yang sangat tinggi pada ekoenzim dasar menunjukkan ketimpangan karbon terhadap nitrogen yang khas pada fermentasi berbasis gula dan kulit buah. Setelah fermentasi lanjut, rasio C/N mendekati kisaran 10–20 yang menjadi acuan bahan organik matang, sehingga ketersediaan N bagi tanaman membaik. Nilai pH juga naik dari 4,19 menjadi 4,72. Meskipun masih asam, nilai ini masih dalam rentang baku mutu (4–9) dan lebih tinggi daripada pH ekoenzim kulit buah yang dilaporkan Siregar dkk. (2024), yakni 3,50–3,95. Kenaikan pH diduga berkaitan dengan tambahan kation basa dari biomassa daun.

Unsur mikro menunjukkan pola serupa. Kadar Fe meningkat dua kali lipat (62 menjadi 123 ppm) sehingga memenuhi baku mutu (90–900 ppm), sedangkan Mn naik lebih dari dua kali lipat (5 menjadi 11 ppm) dan Cu dari 3 menjadi 4 ppm, tetapi keduanya masih di bawah ambang minimum 25 ppm. Perbedaan ini mencerminkan komposisi mineral bahan baku, karena daun kelor dan kangkung relatif lebih kaya Fe daripada Cu dan Mn. Kelarutan logam mikro pada pH asam serta lama ekstraksi selama fermentasi juga turut menentukan kadar akhirnya. Secara keseluruhan, kadar C-organik, N, dan P F2 EE masih jauh di bawah baku mutu. Temuan ini sejalan dengan Fadlilla dkk. (2023) yang melaporkan bahwa ekoenzim dari limbah buah dan sayur belum memenuhi baku mutu NPK pupuk organik cair, meskipun enzim yang dikandungnya tetap dapat memacu pertumbuhan tanaman.

Unsur mikro yang diperkaya pada F2 EE juga berkaitan dengan proses pertumbuhan. Besi berperan dalam sintesis klorofil dan transfer elektron selama fotosintesis dan respirasi, mangan berperan dalam fotolisis air dan aktivasi enzim, sedangkan tembaga merupakan aktivator enzim yang terlibat dalam fotosintesis. Kalium yang kadarnya meningkat paling tinggi di antara unsur makro berfungsi mengaktifkan enzim, mengatur buka-tutup stomata, dan memperlancar translokasi fotosintat (Brady dan Weil, 2017). Namun, karena konsentrasi pemberian sangat rendah, kontribusi langsung unsur-unsur ini terhadap larutan nutrisi relatif kecil dan efeknya lebih tepat dipandang sebagai efek pelengkap.

Tinggi Tanaman

Konsentrasi F2 EE berpengaruh sangat nyata terhadap tinggi selada pada seluruh umur pengamatan (Tabel 2). Pada 3 MST, tanaman tertinggi diperoleh pada perlakuan E_2 (1 ml/L), yaitu 12,27 cm, berbeda nyata pada taraf 5% dengan kontrol (11,67 cm) dan perlakuan dosis rendah lainnya. Sebaliknya, konsentrasi tinggi menekan pertumbuhan secara progresif hingga hanya 7,87 cm pada E_6 (150 ml/L), atau 33% lebih rendah daripada kontrol. Penekanan ini makin tajam seiring waktu; pada 1 MST selisih E_6 terhadap kontrol hanya sekitar 1 cm, tetapi pada 3 MST meningkat menjadi hampir 4 cm.

Tabel 2. Rataan Tinggi Tanaman Selada (cm) pada Berbagai Konsentrasi Ekoenzim F2

Perlakuan	1 MST	2 MST	3 MST
E_0 (0 ml/L)	5,13 bA	8,60 bA	11,67 bA
E_1 (0,5 ml/L)	5,03 bA	8,67 bA	11,77 bA
E_2 (1 ml/L)	5,43 aA	9,13 aA	12,27 aA
E_3 (1,5 ml/L)	5,00 bA	8,60 bA	11,70 bA
E_4 (50 ml/L)	4,17 bB	7,77 bB	10,87 bB
E_5 (100 ml/L)	4,43 bB	8,03 bB	9,47 cB
E_6 (150 ml/L)	4,17 bB	7,77 bB	7,87 cC

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut DMRT pada taraf 5% (huruf kecil) dan 1% (huruf kapital).

Tinggi tanaman merupakan indikator pertumbuhan vegetatif yang ditentukan oleh pembelahan dan pemanjangan sel, sehingga

sangat bergantung pada ketersediaan hara, terutama N, P, dan K. Pemberian hara yang terlalu rendah maupun berlebihan dapat mengganggu keseimbangan fisiologis, terutama fotosintesis, sehingga pembentukan biomassa tidak optimal (Sembiring, 2023). Kebutuhan hara tanaman perlu dipenuhi dengan jenis, dosis, dan waktu aplikasi yang tepat (Putri dan Fevria, 2024).

Jumlah Daun

Pola serupa terlihat pada jumlah daun (Tabel 3). Perlakuan E_2 (1 ml/L) menghasilkan jumlah daun terbanyak sejak 1 MST hingga 3 MST, yaitu 11,33 helai pada 3 MST, berbeda sangat nyata dengan kontrol (9,33 helai). Konsentrasi 50–150 ml/L menghambat pembentukan daun; pada E_6, jumlah daun hanya bertambah dari 4,00 menjadi 4,67 helai selama dua minggu, yang menandakan pertumbuhan hampir terhenti.

Tabel 3. Rataan Jumlah Daun Selada (helai) pada Berbagai Konsentrasi Ekoenzim F2

Perlakuan	1 MST	2 MST	3 MST
E_0 (0 ml/L)	5,00 bA	7,33 bA	9,33 bB
E_1 (0,5 ml/L)	4,67 bB	6,67 bB	8,67 bB
E_2 (1 ml/L)	6,00 aA	8,00 aA	11,33 aA
E_3 (1,5 ml/L)	4,33 bB	6,33 bB	8,33 bB
E_4 (50 ml/L)	4,33 bB	6,33 bB	6,33 cC
E_5 (100 ml/L)	4,00 bB	4,67 cC	5,67 cC
E_6 (150 ml/L)	4,00 bB	4,33 cC	4,67 dC

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut DMRT pada taraf 5% (huruf kecil) dan 1% (huruf kapital).

Pembentukan daun sangat dipengaruhi oleh ketersediaan N dan P. Kedua unsur ini berperan dalam pembelahan sel serta menjadi penyusun asam amino, asam nukleat, klorofil, ADP, dan ATP. Tanaman yang kekurangan N cenderung tumbuh terhambat dengan daun lebih kecil, tipis, dan sedikit, sedangkan kecukupan N mendukung pembentukan daun yang lebih banyak dan lebar (Titiaryanti dkk., 2022).

Bobot Segar Per Tanaman

Konsentrasi F2 EE juga berpengaruh sangat nyata terhadap bobot segar selada (Tabel 4; Gambar 1). Bobot tertinggi diperoleh pada E_2 (70,43 g) dan E_1 (70,37 g), keduanya berbeda nyata dengan kontrol (66,47 g) pada taraf 5%, tetapi masih dalam kelompok yang sama pada taraf 1%. Peningkatan konsentrasi menjadi 50, 100, dan 150 ml/L menurunkan bobot segar berturut-turut menjadi 54,83; 51,10; dan 42,50 g, atau turun 36% pada E_6 dibandingkan kontrol.

Tabel 4. Rataan Bobot Segar per Tanaman Selada (g) pada Berbagai Konsentrasi Ekoenzim F2

Perlakuan	Bobot segar (g)
E_0 (0 ml/L)	66,47 bA
E_1 (0,5 ml/L)	70,37 aA
E_2 (1 ml/L)	70,43 aA
E_3 (1,5 ml/L)	67,67 bA
E_4 (50 ml/L)	54,83 bB
E_5 (100 ml/L)	51,10 bB
E_6 (150 ml/L)	42,50 cC

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut DMRT pada taraf 5% (huruf kecil) dan 1% (huruf kapital).

Bobot segar merupakan hasil akhir akumulasi fotosintat dan air pada jaringan tanaman, terutama daun yang menjadi komponen utama hasil panen selada. Karena selada dipanen pada fase vegetatif, bobot segar sangat ditentukan oleh jumlah dan luas daun yang terbentuk. Hal ini tampak dari kesesuaian pola antara jumlah daun (Tabel 3) dan bobot segar (Tabel 4): perlakuan yang menghasilkan daun terbanyak juga menghasilkan bobot tertinggi, sedangkan perlakuan dosis tinggi yang menghambat pembentukan daun menghasilkan bobot terendah. Ketersediaan N yang cukup meningkatkan jumlah dan luas daun serta laju fotosintesis, tetapi pemberian hara yang tidak seimbang dapat menurunkan mutu hasil panen (Brady dan Weil, 2017).



Gambar 1. (a) Selada pada hidroponik sistem sumbu menjelang panen; (b) penimbangan bobot segar per tanaman

Respons Hormetik: biostimulan pada dosis rendah, fitotoksik pada dosis tinggi

Ketiga parameter pertumbuhan membentuk pola yang konsisten, yaitu stimulasi ringan pada 0,5–1 ml/L dan penekanan progresif pada 50–150 ml/L. Pola ini penting ditafsirkan bersama data hara pada Tabel 1. Pada konsentrasi 1 ml/L, F2 EE dengan N 0,04% hanya menyumbang sekitar

0,4 mg N/L dan 3,9 mg K/L ke dalam larutan, jumlah yang sangat kecil dibandingkan kebutuhan N larutan hidroponik selada. Dengan demikian, peningkatan pertumbuhan pada dosis rendah kemungkinan besar tidak disebabkan oleh tambahan hara, melainkan oleh senyawa bioaktif hasil fermentasi, seperti asam organik, enzim hidrolitik, dan fitohormon dari daun kelor. Admane dkk. (2023) melaporkan bahwa ekstrak *Moringa oleifera* sebagai biostimulan mampu meningkatkan hasil dan mutu selada hidroponik, yang mendukung penafsiran tersebut.

Pada konsentrasi tinggi, F2 EE bersifat fitotoksik. Ekoenzim yang asam (pH 4,72) dan kaya asam organik akan menurunkan pH larutan nutrisi bila diberikan dalam jumlah besar. Kondisi ini dapat mengganggu penyerapan hara oleh akar dan meningkatkan beban bahan organik terlarut. Pada sistem sumbu yang tidak memiliki sirkulasi dan aerasi aktif, beban organik yang tinggi juga berpotensi memacu aktivitas mikroba dan menurunkan oksigen terlarut di zona perakaran. Efek kumulatif ini sesuai dengan makin melebarnya selisih antarperlakuan dari 1 MST hingga 3 MST. Temuan bahwa aplikasi ekoenzim tidak selalu meningkatkan pertumbuhan juga dilaporkan pada kangkung (Ritonga dan Anhar, 2022; Iswari dan Astuti, 2024), dan menegaskan bahwa efektivitas ekoenzim sangat ditentukan oleh dosis, metode aplikasi, dan kualitas bahan baku.

Hasil ini memiliki implikasi praktis. Kadar hara F2 EE yang rendah menunjukkan bahwa ekoenzim F2 belum dapat menggantikan larutan nutrisi standar seperti AB Mix. Kombinasi POC dengan AB Mix pada selada hidroponik justru dilaporkan lebih efisien (Dasumiati dkk., 2025), demikian pula substitusi sebagian AB Mix dengan POC pada sistem sumbu (Fitriyani dkk., 2023). Oleh karena itu, ekoenzim F2 lebih tepat diposisikan sebagai biostimulan pelengkap dengan konsentrasi rendah, sekitar 1 ml/L, sambil tetap memanfaatkan limbah organik sebagai input pertanian bernilai tambah.

SIMPULAN

Fermentasi lanjut ekoenzim dengan daun kelor dan kangkung meningkatkan kadar N empat kali lipat, P, K, Mn, dan Fe dua hingga tiga kali lipat, serta menurunkan rasio C/N dari 88 menjadi 22,5, meskipun kadar C-organik, N, P, Cu, dan Mn masih di bawah baku mutu. Konsentrasi ekoenzim F2 berpengaruh sangat nyata terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot segar selada pada hidroponik sistem sumbu. Konsentrasi 1 ml/L merupakan dosis terbaik dengan tinggi tanaman 12,27 cm, jumlah daun 11,33 helai, dan bobot segar 70,43 g per tanaman, sedangkan konsentrasi 50–150 ml/L menekan pertumbuhan secara progresif dan kumulatif. Ekoenzim F2 berpotensi sebagai biostimulan pada dosis rendah, bukan sebagai sumber hara utama. Penelitian lanjutan disarankan untuk menguji kombinasi ekoenzim F2 dengan AB Mix, memantau pH dan EC larutan selama budidaya, serta mengidentifikasi senyawa bioaktif yang berperan dalam efek stimulasi.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, A. dan J. Andres. 2021. Pengaruh Pemberian Pupuk Organik Cair terhadap Pertumbuhan Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.) secara Hidroponik. Jurnal PENDAS: Pendidikan Dasar, 3(1): 21–27.

Admane, N., G. Cavallo, C. Hadjila, M.M. Cavalluzzi, N.P. Rotondo, A. Salerno, J. Cannillo, G. Difonzo, F. Caponio, A. Ippolito, G. Lentini, dan S.M. Sanzani. 2023. Biostimulant Formulations and *Moringa oleifera* Extracts to Improve Yield, Quality, and Storability of Hydroponic Lettuce. Molecules, 28(1): 373. https://doi.org/10.3390/molecules28010373

Brady, N.C. dan R.R. Weil. 2017. The Nature and Properties of Soils. 15th ed. Harlow: Pearson.

BSN (Badan Standardisasi Nasional). 2004. SNI 19-7030-2004 Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Dasumiati, D., F.M. Dewi, A. Khairiah, Junaidi, dan A.A.F. Altuhaish. 2025. Efficiency of AB Mix with Liquid Organic Fertilizer

on Hydroponic Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Growth. Jurnal Biodjati, 10(2): 293–303. https://doi.org/10.15575/biodjati.v10i2.45429

Fadlilla, T., M.Th.S. Budiastuti, dan M.M.A.R. Rosariastuti. 2023. Potential of Fruit and Vegetable Waste as Eco-enzyme Fertilizer for Plants. Jurnal Penelitian Pendidikan IPA, 9(4): 2191–2200. https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i4.3010

Filtar, M. dan Ridwan. 2023. Analisis Perbandingan Pemberian Pupuk Organik Cair dan Pupuk Kimia Cair terhadap Pertumbuhan Tanaman Sawi dengan Sistem Hidroponik. Jurnal Sains dan Pendidikan Biologi, 2(2): 112–116.

Fitriyani, I.H., Q.Q. A'yun, dan G. Djajakirana. 2023. Pembuatan dan Aplikasi Pupuk Organik Cair (POC) sebagai Substitusi Nutrisi AB Mix terhadap Tanaman Kangkung (*Ipomoea reptans*) pada Hidroponik Wick System. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan, 10(2): 401–407. https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.2.23

Gaspersz, M.M. dan H. Fitrihidajati. 2022. Pemanfaatan Ekoenzim Berbahan Limbah Kulit Jeruk dan Kulit Nanas sebagai Agen Remediasi LAS Detergen. LenteraBio, 11: 503–513.

Ginting, R.B. et al. (2023) "Crude Protein Content, Crude Fat And Crude Fiber Fermented Cassava Tuber Peel (KUUK) With Eco Enzymes," Journal of Innovation Research and Knowledge, 3(5), pp. 1109–1114.

Hakim, T., Sulardi and Wasito, M. (2023) "Analysis Of The Utilization Of Agricultural Waste Fermentation In Increasing Shallot Production," *Jurnal Ilmiah Membangun Desa dan Pertanian (JIMDP)*, 8(25), pp. 61–67. Available at: https://doi.org/https://doi.org/10.37149/JIMDP.v8i2.221.

Hasanah, Y. 2021. Eco Enzyme and Its Benefits for Organic Rice Production and Disinfectant. Journal of Saintech Transfer, 3(2): 119–128. https://doi.org/10.32734/jst.v3i2.4519

Iswari, Z. dan R. Astuti. 2024. Potensi Eco Enzyme untuk Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kangkung (*Ipomoea reptans* Poir). Agroteknika, 7(3): 403–410. https://doi.org/10.55043/agroteknika.v7i3.262

Kementan (Kementerian Pertanian). 2019. Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenah Tanah. Jakarta: Kementerian Pertanian.

Kristianto, H.A., G. Prihatmo, dan K. Madyaningrana. 2023. Pupuk Organik Cair Kulit Pisang Kepok terhadap Pertumbuhan Kailan dalam Sistem Hidroponik. Jurnal Biologi dan Pembelajaran Biologi, 8(1): 1–15. https://doi.org/10.32528/bioma.v8i1.301

Lubis, N., M. Wasito, Leni Marlina, Rosmaria Girsang, Hasril Wahyudi (2022) "Respon Pemberian Ekoenzim dan Pupuk Organik Cair Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Bawang Merah (Allium ascalonicum L.)," Agrium, 25(2), pp. 107–115. Available at: https://doi.org/10.30596/agrium.v25i2.10354 107.

Lubis, N., Wasito, M., Rizki Damayanti, Dwi Hayati (2024) "Pupuk Organik Cair Berbahan Dasar Ekoenzim dari Hasil dan Limbah Pertanian sebagai Nutrisi pada Sistem Hidroponik," BIOFARM Jurnal Ilmiah Pertanian, 20(01), pp. 123–129

Luta, D.A., M. Siregar, F.H. Syam, Y. Feruzi, dan J. Syafridawani. 2022. Efektivitas Pemberian Media Tanam dan

Ekoenzim pada Pertumbuhan Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.). Prosiding Seminar Nasional UNIBA Surakarta: 275–277.

Putri, A.A. dan R. Fevria. 2024. Pengaruh Pupuk Organik Cair (POC) Teknologi terhadap Pertumbuhan Tanaman pada Sistem Hidroponik. Jurnal Pertanian Presisi, 7(2): 105–115.

Resh, H.M. 2013. Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower. 7th ed. Boca Raton: CRC Press.

Ritonga, I.R. dan A. Anhar. 2022. The Effect of Eco Enzyme Application Method on the Growth of Land Kangkung (*Ipomoea reptans* Poir.). Jurnal Serambi Biologi, 7(2): 216–222.

Sembiring, E. 2023. Uji Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* L.) dengan Pemberian Pupuk Organik Cair pada Sistem Hidroponik. Jurnal Agrifor, 16(1): 65–74.

Siregar, B.L., R.S. Siallagan, S. Butar Butar, B. Mahmudi, dan E.S. Pujiastuti. 2024. The Nutrient Content of Eco-enzymes from Mixture of Various Fruit Peels. Agro Bali: Agricultural Journal, 7(2): 475–487. https://doi.org/10.37637/ab.v7i2.1646

Siregar, M.A., N. Lubis, dan R.R.A. Tarigan. 2025. Produksi Tanaman Selada (*Lactuca sativa*) dengan Variasi Pupuk Organik Cair pada Sistem Hidroponik. Jurnal Nasional Teknologi Komputer, 5(2): 68–82.

Titiaryanti, N.M., P.B. Hastuti, dan D. Mardhatilah. 2022. Pemanfaatan Eco Enzyme sebagai Pupuk Cair di KWT Sekar Melati. Dharma Bakti, 5(1): 46–55. https://doi.org/10.34151/dharma.v5i1.3918

Wasito, M. (2023) “Training on Making Eco Enzymes from Fruit Waste in Suka Damai Village , Kuala Sub-District , Langkat District,” in *The International Conference on Education, Social, Sciences and Technology (ICESST)*, pp. 232–241