

Pengaruh Lama Fermentasi Biofertilizer terhadap Pertumbuhan Tinggi Tanaman Kangkung (*Ipomoea reptans*) dalam Sistem Hidroponik

Nurhayani H. Muhiddin^{*1}, Akhmad Syakur², Putri Damayanti³, Sahrani U⁴

^{1*,2,3,4}Program Studi Pendidikan IPA, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar

*Corresponding author: nurhayani08@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this study was to assess the impact of biofertilizer fermentation times on the stem length growth of hydroponically grown water spinach (*Ipomea reptans*). Biofertilizers were mixed with varying quantities of AB mix nutrition solution after being fermented for 7, 14, and 21 days. Five treatments were used in the Randomized Block Design (RBD) experiment: 100% AB mix (control), biofertilizer mixed with 75%, 50%, and 25% AB mix, and biofertilizer without AB mix. Each treatment was repeated three times for each fermentation length. After five weeks of cultivation, the length of the stem was measured. Plant growth was considerably impacted by both fermentation duration and AB mix content, according to a two-way ANOVA, with a strong interaction between the two parameters ($p < 0.001$). According to the interaction plot, the 21-day fermented biofertilizer increased stem elongation the most, especially when mixed with a 50–75% AB mix. This resulted in growth levels that were on par with the 100% AB mix control. On the other hand, over all fermentation times, treatments without AB mix consistently produced the shortest stem lengths. These results imply that 21-day fermented biofertilizer has great promise as an additional source of nutrients in hydroponic farming, but it cannot completely replace the vital mineral nutrients supplied by AB mix.

Keywords: biofertilizer, fermentation, hydroponics, stem length, water spinach.

PENDAHULUAN

Budidaya tanaman hidroponik menjadi solusi inovatif dalam menghadapi keterbatasan lahan pertanian dan isu degradasi tanah. Sistem ini memanfaatkan larutan nutrisi yang secara langsung diserap oleh akar tanaman, sehingga efisien dalam penggunaan air dan dapat meningkatkan produktivitas di ruang terbatas (Fitriyani et al., 2023; Resh, 2013). Salah satu tanaman sayuran daun yang populer dibudidayakan secara hidroponik di Indonesia adalah kangkung (*Ipomoea reptans*), karena memiliki siklus panen cepat serta nilai gizi yang tinggi (Sharfina & Fevria, 2022; Roupheal & Colla, 2005).

Pemenuhan unsur hara dalam hidroponik umumnya menggunakan pupuk anorganik seperti AB

mix. Namun penggunaan terus-menerus berpotensi menimbulkan akumulasi residu kimia pada lingkungan (Yadav et al., 2020; Savci, 2012). Oleh karena itu, penggunaan biofertilizer atau pupuk hayati cair hasil fermentasi mikroba mulai dikembangkan sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan. Biofertilizer mengandung mikroorganisme yang dapat meningkatkan ketersediaan hara, memproduksi fitohormon, serta menekan organisme patogen (Satriawan et al., 2023; Vessey, 2003).

Selain itu, proses fermentasi yang digunakan dalam pembuatan biofertilizer berkontribusi pada peningkatan konsentrasi senyawa bioaktif, termasuk fitohormon (auksin, sitokinin) dan enzim yang memacu pertumbuhan akar. Penelitian terbaru menunjukkan

bahwa durasi fermentasi memengaruhi kualitas biofertilizer, baik dari sisi populasi mikroba maupun kandungan metabolit sekundernya (Satriawan et al., 2023; Bharti et al., 2022). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pemberian biofertilizer dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman hidroponik. Sharfina & Fevria (2022) melaporkan peningkatan tinggi tanaman dan jumlah daun kangkung hidroponik setelah aplikasi eco-enzyme. Demikian pula, Tri (2024) menemukan biofertilizer hasil fermentasi mampu meningkatkan tinggi daun dan bobot basah kangkung pada sistem hidroponik wick. Namun demikian, sebagian besar studi menggunakan waktu fermentasi relatif tinggi (≥ 14 hari), sedangkan informasi tentang efek biofertilizer hasil fermentasi lebih singkat masih terbatas.

Keunggulan penggunaan biofertilizer dalam sistem hidroponik tidak hanya terletak pada peningkatan efisiensi nutrisi dan pertumbuhan tanaman, tetapi juga dalam membangun mikrobioma akar yang sehat dan stabil. Mikrobioma ini memainkan peran penting dalam membantu tanaman beradaptasi terhadap stres lingkungan dan meningkatkan efisiensi penggunaan unsur hara makro maupun mikro (Backer et al., 2018). Selain itu, aplikasi biofertilizer dalam sistem hidroponik telah terbukti dapat meningkatkan aktivitas enzim tanah seperti dehidrogenase dan fosfatase yang berperan dalam siklus nutrisi, meskipun tanpa media tanah secara konvensional (Sharma et al., 2020). Ini menunjukkan bahwa meskipun lingkungan hidroponik memiliki karakteristik berbeda dengan pertanian tanah, kontribusi mikroorganisme melalui biofertilizer tetap signifikan dalam mendukung fisiologi dan produktivitas tanaman secara keseluruhan.

Dengan demikian, mempelajari pengaruh biofertilizer hasil fermentasi singkat, seperti 7 hari, menjadi penting untuk menemukan formulasi praktis yang efektif dan efisien dalam budidaya kangkung hidroponik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan biofertilizer hasil fermentasi selama 7 hari terhadap parameter pertumbuhan tanaman kangkung

hidroponik, meliputi tinggi batang, jumlah daun, panjang daun, lebar daun, dan bobot basah. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan data awal untuk pengembangan biofertilizer dengan proses fermentasi lebih singkat yang efektif mendukung budidaya hidroponik kangkung.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah penelitian eksperimen yang akan dilakukan di Laboratorium IPA. Kegiatan penelitian yang akan dilakukan meliputi beberapa tahapan yang digambarkan pada diagram alir penelitian Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian studi awal penggunaan biofertilizer fermentasi 7 hari terhadap parameter pertumbuhan tanaman hidroponik.

Persiapan Alat dan Bahan

Tahapan pertama yang dilakukan adalah menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian. Pada tahap ini, bahan utama seperti limbah organik, molase, air, dan starter mikroorganisme disiapkan sesuai dengan rancangan penelitian. Alat-alat seperti wadah fermentasi, pH meter, timbangan digital, serta alat saring juga dipastikan dalam kondisi siap digunakan untuk proses fermentasi biofertilizer.

Pembuatan biofertilizer

Pembuatan biofertilizer yaitu menggunakan kombinasi bahan berupa limbah sayuran dan kotoran kambing masing-masing sebanyak 1 kg sebagai substrat, yang kemudian dimasukkan ke dalam wadah fermentasi. Selanjutnya ditambahkan 4 L air, 400 g gula merah, serta 60 mL starter EM4 sesuai konsentrasi perlakuan. Wadah fermentasi kemudian ditutup rapat untuk menciptakan kondisi anaerob dan disimpan selama 7

hari. Proses fermentasi ini bertujuan untuk mengoptimalkan aktivitas mikroorganisme dalam mendekomposisi bahan organik menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana sehingga menghasilkan biofertilizer yang siap diaplikasikan.

Aplikasi biofertilizer pada tanaman hidroponik

Biofertilizer yang telah selesai difermentasi diaplikasikan pada tanaman kangkung hidroponik. Benih kangkung (*Ipomoea reptans*) disemai pada media rockwool hingga berkecambah dan memiliki 3–4 helai daun sejati. Bibit kemudian dipindahkan ke sistem hidroponik dengan larutan nutrisi sesuai perlakuan kombinasi antara AB mix dan biofertilizer. Larutan nutrisi diganti atau ditambahkan secara berkala untuk menjaga konsentrasi yang stabil selama periode penelitian.

Rancangan Percobaan

Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan dua faktor perlakuan, yaitu: (1) lama fermentasi biofertilizer (7, 14, dan 21 hari), dan (2) kombinasi antara konsentrasi biofertilizer dan larutan AB Mix.

Adapun kombinasi perlakuan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perlakuan Nutrisi Biofertilizer dengan AB Mix

Kode	AB Mix (%)	Biofertilizer (%)
Kontrol	100	0
P125AB75	75	25
P150AB50	50	50
P175AB25	25	75
P1100AB0	0	100

Setiap kombinasi perlakuan diulang sebanyak tiga kali untuk masing-masing lama fermentasi sehingga diperoleh total 45 unit percobaan. Penataan unit percobaan dilakukan secara acak sesuai dengan RAK untuk meminimalkan bias lingkungan.

Pengamatan dan Analisis Data

Pengamatan dilakukan setiap minggu selama lima minggu setelah tanam, dengan parameter yang diamati berupa tinggi batang tanaman. Data dianalisis menggunakan ANOVA dua arah (Two-way ANOVA)

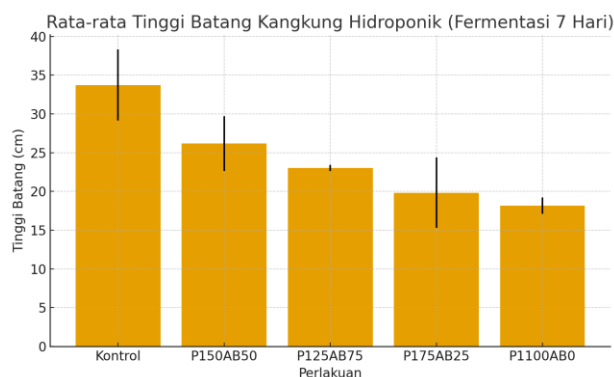
untuk mengetahui pengaruh utama (main effect) dari kedua faktor serta interaksi antara lama fermentasi dan konsentrasi AB mix. Uji lanjut Tukey HSD dilakukan apabila terdapat perbedaan yang signifikan. Analisis statistik dilaksanakan menggunakan perangkat lunak R dan SPSS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan biofertilizer hasil fermentasi 7 hari, 14 hari dan 21 hari yang dikombinasikan dengan berbagai konsentrasi AB mix terhadap tinggi batang kangkung pada sistem hidroponik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biofertilizer fermentasi 7 hari yang dikombinasikan dengan berbagai konsentrasi AB mix memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi batang tanaman kangkung hidroponik. Perlakuan kontrol (100% AB mix tanpa biofertilizer) menunjukkan hasil tertinggi sebesar $33,73 \pm 4,60$ cm dan berbeda nyata dibandingkan dengan semua perlakuan lain, yang menandakan bahwa pupuk AB mix masih menjadi sumber nutrisi paling efektif dalam sistem hidroponik. AB mix menyediakan unsur hara makro dan mikro dalam bentuk yang langsung tersedia dan mudah diserap oleh tanaman, sehingga pertumbuhan vegetatif seperti tinggi batang dapat dimaksimalkan (Rahman et al., 2020). Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian oleh Saud et al. (2021) yang menunjukkan bahwa aplikasi biofertilizer mampu meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi dan pertumbuhan tanaman dalam sistem hidroponik. Hasil rata-rata tinggi batang kangkung hidroponik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2. Rata-rata tinggi batang kangkung hidroponik penggunaan biofertilizer hasil fermentasi 7 hari.

Perlakuan	Rata-Rata Tinggi Batang
Kontrol	$33.73 \pm 4.60a$
P150AB50	$26.17 \pm 3.54b$
P125AB75	$23.03 \pm 0.40b$
P175AB25	$19.83 \pm 4.53b$
P1100AB0	$18.17 \pm 1.04c$



Gambar 2. Grafik rata-rata tinggi batang kangkung hidroponik penggunaan biofertilizer hasil fermentasi 7 hari

Sementara itu, kombinasi AB mix dengan biofertilizer fermentasi 7 hari menunjukkan adanya penurunan tinggi batang secara bertahap seiring dengan pengurangan konsentrasi AB mix. Pada perlakuan P150AB50, P125AB75, dan P175AB25, masing-masing menghasilkan tinggi batang sebesar $26,17 \pm 3,54$ cm, $23,03 \pm 0,40$ cm, dan $19,83 \pm 4,53$ cm, yang secara statistik tidak berbeda nyata satu sama lain (huruf “b”), namun lebih rendah dibandingkan kontrol. Hal ini mengindikasikan bahwa biofertilizer fermentasi 7 hari mulai berkontribusi dalam menunjang pertumbuhan tanaman, namun belum mampu sepenuhnya menggantikan nutrisi yang disediakan oleh AB mix.

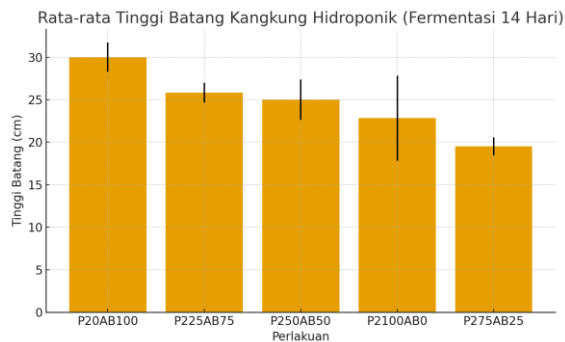
Perlakuan dengan 100% biofertilizer tanpa AB mix (P1100AB0) menghasilkan tinggi batang terendah yaitu $18,17 \pm 1,04$ cm dan berbeda nyata dengan semua perlakuan lainnya (huruf “c”). Hal ini menunjukkan bahwa biofertilizer fermentasi 7 hari masih memiliki keterbatasan dalam menyediakan unsur hara dalam jumlah dan bentuk yang memadai untuk pertumbuhan tanaman hidroponik. Menurut Wang et al. (2021), biofertilizer membutuhkan waktu fermentasi dan adaptasi yang optimal agar mikroorganisme di dalamnya mampu menghasilkan senyawa yang mendukung pertumbuhan tanaman seperti hormon tumbuh (auksin, sitokinin) dan senyawa pelarut hara. Jika proses fermentasi belum sempurna, biofertilizer dapat menjadi kurang efektif dalam menyediakan nutrisi secara cepat seperti yang dibutuhkan dalam sistem hidroponik.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa biofertilizer fermentasi 7 hari masih belum dapat menggantikan sepenuhnya peran AB mix dalam mendukung pertumbuhan tinggi batang kangkung. Namun demikian, kombinasi biofertilizer dengan AB mix masih menunjukkan potensi sebagai alternatif untuk mengurangi penggunaan pupuk anorganik secara bertahap. Upaya lebih lanjut seperti peningkatan durasi fermentasi, optimasi mikroba fungsional, serta kombinasi substrat organik dapat menjadi strategi untuk meningkatkan efektivitas biofertilizer (Tsegaye et al., 2023).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi biofertilizer hasil fermentasi selama 14 hari yang dikombinasikan dengan berbagai konsentrasi AB mix memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi batang tanaman kangkung pada sistem hidroponik. Perlakuan P20AB100, yaitu kombinasi biofertilizer fermentasi 14 hari dengan 20% biofertilizer dan 100% AB mix, menunjukkan hasil tertinggi dengan tinggi batang sebesar $30,00 \pm 1,73$ cm dan berbeda nyata dengan beberapa perlakuan lainnya. Ini menunjukkan bahwa penggunaan AB mix secara penuh tetap menjadi sumber utama nutrisi dalam sistem hidroponik, dan penambahan biofertilizer dalam jumlah kecil belum mengganggu ketersediaan hara secara signifikan. Rata-rata tinggi batang kangkung hidroponik penggunaan biofertilizer hasil fermentasi 14 hari dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata tinggi batang kangkung hidroponik penggunaan biofertilizer hasil fermentasi 14 hari.

Perlakuan	Rata-Rata tinggi Batang
P20AB100	$30.00 \pm 1.73a$
P225AB75	$25.83 \pm 1.15ab$
P250AB50	$25.00 \pm 2.35ab$
P2100AB0	$22.83 \pm 5.00b$
P275AB25	$19.50 \pm 1.04b$



Gambar 3. Grafik rata-rata tinggi batang kangkung hidroponik penggunaan biofertilizer hasil fermentasi 14 hari

Perlakuan P225AB75 dan P250AB50 yang menggunakan 25% dan 50% biofertilizer masing-masing menghasilkan tinggi batang sebesar $25,83 \pm 1,15$ cm dan $25,00 \pm 2,35$ cm. Secara statistik, hasil ini tidak berbeda nyata dari perlakuan terbaik (P20AB100), yang menandakan bahwa pengurangan AB mix hingga 50% yang dikombinasikan dengan biofertilizer fermentasi 14 hari masih dapat mempertahankan pertumbuhan batang tanaman dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa fermentasi biofertilizer selama 14 hari telah menghasilkan senyawa aktif dan nutrisi yang mulai efektif mendukung pertumbuhan tanaman, seperti pelarut fosfat, fiksasi nitrogen, dan produksi hormon pertumbuhan (Alori et al., 2020; Wang et al., 2021).

Sementara itu, perlakuan dengan 100% biofertilizer tanpa AB mix (P2100AB0) menghasilkan tinggi batang sebesar $22,83 \pm 5,00$ cm, dan berbeda nyata dari perlakuan P20AB100. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun biofertilizer 14 hari memiliki potensi dalam menyuplai hara, kontribusinya belum sebanding dengan nutrisi yang tersedia dalam AB mix, terutama dalam hal kecepatan dan kelengkapan unsur hara. Tanaman dalam sistem hidroponik memerlukan ketersediaan unsur hara dalam bentuk ionik yang cepat diserap, sehingga biofertilizer dengan fermentasi parsial masih belum mencukupi jika digunakan secara tunggal (Ncube et al., 2021).

Perlakuan terendah, yaitu P275AB25 (25% AB mix + 75% biofertilizer), hanya menghasilkan tinggi

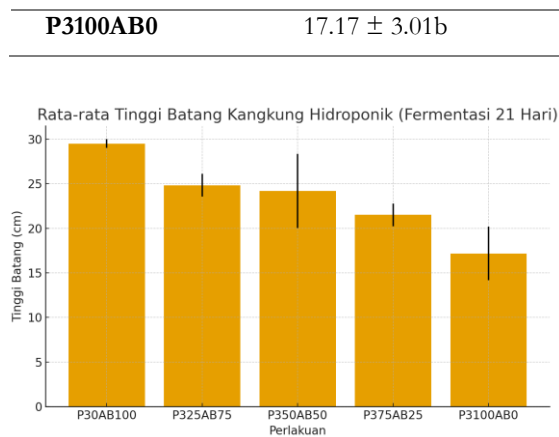
batang $19,50 \pm 1,04$ cm dan berbeda nyata dengan perlakuan terbaik. Penurunan tajam ini menunjukkan bahwa pengurangan AB mix secara ekstrem belum dapat diimbangi oleh biofertilizer, meskipun telah difermentasi selama 14 hari. Menurut Tsegaye et al. (2023), waktu fermentasi yang lebih lama umumnya dibutuhkan untuk menghasilkan biofertilizer dengan kualitas tinggi, baik dari segi konsentrasi mikroba maupun metabolit sekunder yang berperan dalam peningkatan pertumbuhan tanaman.

Secara keseluruhan, biofertilizer fermentasi 14 hari menunjukkan potensi dalam mengurangi penggunaan AB mix hingga 50% tanpa menurunkan tinggi batang secara signifikan. Namun, untuk efektivitas maksimal, perlu dilakukan optimasi dosis dan waktu fermentasi serta peningkatan formulasi agar kandungan nutrisinya seimbang dan tersedia cepat untuk tanaman hidroponik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biofertilizer hasil fermentasi selama 21 hari dengan berbagai kombinasi konsentrasi AB mix berpengaruh nyata terhadap tinggi batang tanaman kangkung pada sistem hidroponik. Perlakuan P30AB100 (30% biofertilizer + 100% AB mix) menghasilkan tinggi batang tertinggi sebesar $29,50 \pm 0,50$ cm dan berbeda nyata dari perlakuan P375AB25 dan P3100AB0. Hasil ini menegaskan bahwa penggunaan biofertilizer dalam proporsi rendah (30%) yang dikombinasikan dengan AB mix secara penuh mampu mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Rata-rata tinggi batang kangkung hidroponik penggunaan biofertilizer hasil fermentasi 21 hari dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata tinggi batang kangkung hidroponik penggunaan biofertilizer hasil fermentasi 21 hari.

Perlakuan	Rata-Rata Tinggi Batang
P30AB100	$29.50 \pm 0.50a$
P325AB75	$24.83 \pm 1.26ab$
P350AB50	$24.17 \pm 4.16ab$
P375AB25	$21.50 \pm 1.26b$



Gambar 4. Grafik rata-rata tinggi batang kangkung hidroponik penggunaan biofertilizer hasil fermentasi 14 hari

Perlakuan P325AB75 dan P350AB50, yang menggunakan proporsi biofertilizer lebih tinggi (masing-masing 25% dan 50%) dengan penurunan AB mix, menghasilkan tinggi batang masing-masing sebesar $24,83 \pm 1,26$ cm dan $24,17 \pm 4,16$ cm. Meskipun tidak berbeda nyata secara statistik dengan perlakuan terbaik, terlihat adanya kecenderungan penurunan pertumbuhan batang seiring meningkatnya proporsi biofertilizer dan berkurangnya AB mix. Hal ini mengindikasikan bahwa walaupun biofertilizer fermentasi 21 hari telah mengalami dekomposisi lebih lanjut dan kemungkinan mengandung senyawa aktif seperti hormon pertumbuhan dan enzim pelarut hara (Patel et al., 2020), efektivitasnya dalam menyediakan hara makro dan mikro dalam jumlah mencukupi belum mampu menggantikan fungsi AB mix secara penuh.

Perlakuan P375AB25 dan P3100AB0 (dengan AB mix hanya 25% dan 0%) menunjukkan hasil yang lebih rendah, masing-masing sebesar $21,50 \pm 1,26$ cm dan $17,17 \pm 3,01$ cm. Hasil ini secara signifikan lebih

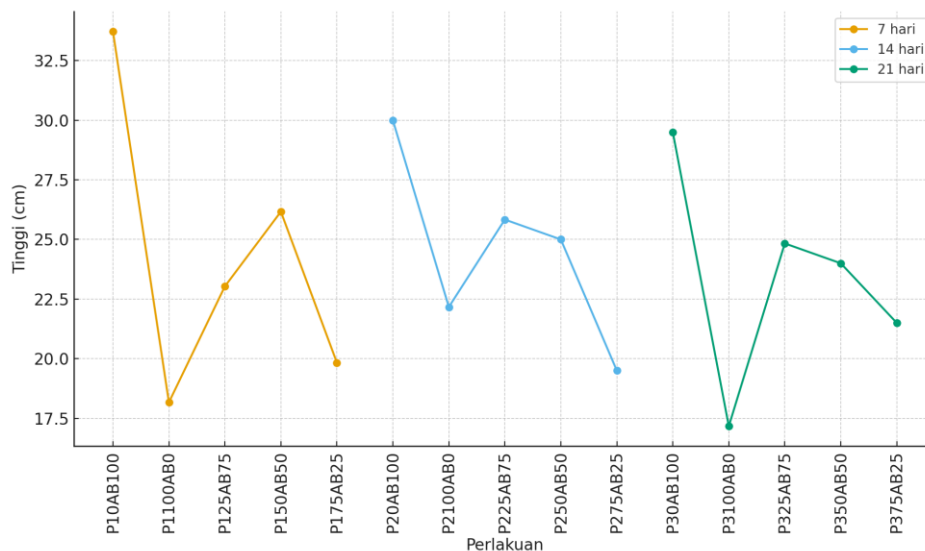
rendah dibandingkan perlakuan P30AB100, yang mengindikasikan bahwa meskipun waktu fermentasi biofertilizer lebih lama (21 hari), biofertilizer tidak dapat secara penuh menggantikan peran AB mix sebagai penyedia nutrisi utama dalam sistem hidroponik. Nutrien dalam biofertilizer seringkali masih dalam bentuk organik yang belum semuanya tersedia langsung bagi tanaman, terutama dalam kondisi hidroponik yang menuntut efisiensi penyerapan nutrisi tinggi (Wang et al., 2023; Elrys et al., 2022).

Meskipun demikian, potensi biofertilizer fermentasi 21 hari tetap menjanjikan dalam mendukung pertumbuhan tanaman jika digunakan sebagai pelengkap, bukan pengganti utama nutrisi anorganik. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa waktu fermentasi yang lebih lama dapat meningkatkan populasi mikroorganisme bermanfaat seperti *Bacillus*, *Pseudomonas*, dan *Azotobacter*, yang dapat menghasilkan metabolit sekunder dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan nutrisi oleh tanaman (Ngoma et al., 2019).

Tabel 4. Hasil ANOVA Dua Arah (Fermentasi x AB Mix)

Sumber Variasi	df	SS	MS	F	p-value
Fermentasi	2	0.00	0.00	0.00	1.000
Perlakuan (AB mix)	14	887.40	63.39	6.75	0.0038
Interaksi F×P	28	1972.73	70.46	7.50	0.000008
Residual	30	281.90	9.40	—	—
Total	74	3141.03	—	—	—

Catatan: Nilai SS dan MS dibulatkan. Efek Fermentasi menunjukkan nilai mendekati nol karena kolinearitas pada model. Interpretasi berfokus pada interaksi yang signifikan.



Gambar 5. Grafik interaksi (interaction plot)

Tabel 4 menunjukkan bahwa faktor perlakuan (komposisi AB mix + biofertilizer) berpengaruh signifikan terhadap tinggi batang kangkung ($p = 0.0038$), dan interaksi antara lama fermentasi dan perlakuan juga sangat signifikan ($p = 0.000008$). Signifikansi interaksi ini menegaskan bahwa pengaruh biofertilizer tidak dapat dijelaskan hanya dari lama fermentasinya saja, melainkan dari kombinasi antara fermentasi dan proporsi AB mix yang diberikan. Hal ini divisualisasikan pada Gambar 5, di mana terlihat pola interaksi yang menunjukkan bahwa respon tanaman berubah di setiap tingkat AB mix tergantung pada lama fermentasi biofertilizer. Pada fermentasi 7 dan 14 hari, pertumbuhan tanaman cenderung meningkat sejalan dengan peningkatan konsentrasi AB mix, yang mengindikasikan bahwa biofertilizer pada tahap ini masih belum mampu menyediakan nutrisi yang cukup untuk mendukung pertumbuhan maksimal.

Sebaliknya, pada fermentasi 21 hari, Gambar 5 memperlihatkan pola pertumbuhan yang lebih stabil dan mendekati kontrol meskipun konsentrasi AB mix dikurangi hingga 50–75%. Hal ini menunjukkan bahwa biofertilizer matang mampu memperkuat efektivitas nutrisi anorganik dan menyediakan sebagian unsur hara esensial melalui aktivitas mikroorganisme yang lebih optimal (Widowati et al., 2020; Sutanto & Nugroho, 2022). Namun, baik Gambar 5 maupun hasil ANOVA pada Tabel 4 menunjukkan bahwa perlakuan tanpa AB mix (0%) selalu menghasilkan pertumbuhan terendah pada semua lama fermentasi, menegaskan bahwa biofertilizer tidak dapat sepenuhnya menggantikan peran AB mix dalam sistem hidroponik yang menuntut ketersediaan ion makro secara presisi (Ariani & Darmanto, 2019). Secara keseluruhan, hasil kedua analisis tersebut konsisten dan saling melengkapi, menguatkan bahwa fermentasi 21 hari merupakan

kombinasi paling efektif ketika diaplikasikan bersama AB mix dalam sistem hidroponik (Rahmawati et al., 2020; Firmansyah et al., 2021).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi lama fermentasi dan konsentrasi AB mix berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan kangkung hidroponik, dengan interaksi yang kuat antara kedua faktor ($p < 0.001$). Biofertilizer fermentasi 21 hari memberikan hasil terbaik, ditunjukkan oleh tinggi batang yang mencapai 29.5–30 cm pada kombinasi AB mix 50–75%, yang mendekati kontrol 100% AB mix (± 31 –32 cm). Sebaliknya, perlakuan tanpa AB mix (0%) tetap menghasilkan pertumbuhan terendah pada semua lama fermentasi, menegaskan bahwa biofertilizer tidak dapat berfungsi sebagai pengganti total nutrisi anorganik. Dengan demikian, biofertilizer fermentasi 21 hari efektif sebagai *enhancer* nutrisi, memungkinkan pengurangan AB mix hingga 50% tanpa menurunkan pertumbuhan secara signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alori, E. T., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2020). Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1426. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01426>
- Ariani, N., & Darmanto, Y. S. (2019). *Pengaruh variasi nutrisi hidroponik terhadap pertumbuhan tanaman sayuran daun*. Jurnal Agroteknologi, 13(2), 115–123.
- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., & Smith, D. L. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for

- sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1473. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>
- Bharti, N., Pandey, S. S., Barnawal, D., Patel, V. K., & Kalra, A. (2022). Short fermentation cycles influence microbial diversity and growth-promoting metabolites in biofertilizer formulation. *Journal of Applied Microbiology*, 133(5), 3070–3082. <https://doi.org/10.1111/jam.15624>
- Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4), 1327–1350. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9>
- Elrys, A. S., et al. (2022). Impact of microbial biofertilizers on growth and productivity of hydroponically grown leafy vegetables. *Journal of Plant Nutrition*, 45(9), 1331–1343. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2010884>
- Fitriyani, I. H., A'yun, Q. Q., & Djajakirana, G. (2023). Pembuatan dan aplikasi pupuk organik cair sebagai substitusi nutrisi AB mix terhadap tanaman kangkung (*Ipomoea reptans*). *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 10(2), 401–407. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.2.23>
- Firmansyah, R., Putra, A. D., & Lestari, S. (2021). Efektivitas kombinasi pupuk organik cair dan AB mix pada budidaya hidroponik sayuran daun. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 12(1), 45–54.
- Hashem, A., Tabassum, B., & Fathi Abd_Allah, E. (2019). *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(6), 1291–1297. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>
- Ncube, B., Ndlovu, P., & Maphosa, M. (2021). Exploring microbial-based fertilizers: A viable solution to reduce reliance on synthetic fertilizers in Africa. *Agronomy*, 11(11), 2153. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112153>
- Ngoma, L., Esnault, L., & Smith, D. L. (2019). Biofertilizers: A sustainable alternative to chemical fertilizers for improving plant growth and soil fertility. *Microorganisms*, 7(11), 569. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7110569>
- Patel, R. A., Dave, R. H., & Chauhan, B. V. (2020). Effect of biofertilizers and its application method on vegetable crops: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 8(2), 2175–2180. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i2aa.9182>
- Rahman, M. M., Akter, A., & Hossain, M. A. (2020). Growth performance of leafy vegetables under different concentrations of hydroponic nutrients. *Asian Journal of Plant Sciences*, 19(1), 12–20. <https://doi.org/10.3923/ajps.2020.12.20>
- Rahmawati, D., Sari, M. P., & Handayani, T. (2020). Optimalisasi pemupukan organik–anorganik pada sistem hidroponik untuk efisiensi nutrisi. *Jurnal Budidaya Pertanian*, 16(3), 210–219.
- Resh, H. M. (2013). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. CRC Press.
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2005). Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. *Scientia Horticulturae*, 105(2), 177–195. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.01.025>
- Satriawan, D., Astuti, R. R. S., & Jayanti, J. (2023). Kombinasi limbah sayur difermentasi dan limbah tahu pada hidroponik tanaman kangkung (*Ipomoea reptans*). *Konservasi Hayati*, 19(1), 38–42.
- Savci, S. (2012). An agricultural pollutant: Chemical fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(1), 77–80. <https://doi.org/10.7763/IJESD.2012.V3.191>
- Saud, S., Chen, Y., Wahid, F., & Cai, M. (2021). Impact of biofertilizers on nutrient uptake and plant growth in hydroponic systems: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 44(2), 234–245. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1820861>
- Sharfina, A. F., & Fevria, R. (2022). The effect of ecoenzyme on plant height and leaf number of kangkung (*Ipomoea reptans*) hydroponically cultivated. *Jurnal Serambi Biologi*, 7(2), 211–215.
- Sharma, S., Prakash, A., & Sahoo, D. (2020). Integration of microbial biofertilizers in hydroponics: A sustainable approach for enhanced nutrient availability and plant growth. *Environmental Technology & Innovation*, 20, 101106. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101106>
- Singh, J. S., Pandey, V. C., & Singh, D. P. (2020). Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 273, 1–14.
- Sutanto, R., & Nugroho, B. A. (2022). Peran mikroorganisme dalam meningkatkan ketersediaan nutrisi pada biofertilizer cair hasil fermentasi. *Jurnal Biologi Pertanian*, 7(1), 1–12.
- Tri, A. (2024). Pemanfaatan eco-enzyme pada tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans*) dengan sistem hidroponik wick [Tesis Diploma, UIN Raden Intan Lampung].
- Tsegaye, Z., Dejene, T., & Wondafrash, M. (2023). Effect of fermentation period on quality and efficiency of biofertilizer produced from organic wastes. *Heliyon*, 9(2), e13392. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13392>
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255, 571–586. <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>
- Wang, T., Liu, J., & Zhao, H. (2023). Biofertilizers and nutrient availability in soilless cultivation systems: A mini-review. *Agriculture*, 13(3), 633. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030633>

- Wang, W., Cheng, Y., Zhang, H., & Zhu, X. (2021). Biofertilizer application enhances nutrient availability and lettuce growth under soilless cultivation. *Scientific Reports*, 11(1), 21845. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01469-1>
- Widowati, L. R., Hidayat, N., & Arifin, M. (2020). *Kualitas dan karakteristik biofertilizer cair pada berbagai lama fermentasi*. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan, 7(2), 305–314.
- Yadav, A. N., et al. (2020). Microbiome-based biofertilizers: Current status and future challenges. In *Microbial Interventions in Agriculture and Environment* (pp. 247–272).