

Kandungan Hormon dan Pertumbuhan Tanaman pada Bioassay Bibit Kentang yang Diberi Fungi Mikoriza Arbuskula dan *Mycorrhizal Helper Bacteria*

Anne Nurbaity^{1*}, Erni Suminar², dan Noor Istifadah³

¹Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran

²Departemen Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran

³Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran
Kampus Jatinangor, Jl. Raya-Bandung Sumedang KM 21, Jatinangor 45363

*Alamat korespondensi: a.nurbaity@unpad.ac.id

INFO ARTIKEL	ABSTRACT/ABSTRAK
Diterima: 07-10-2023	Endogenous hormones and performance of potato seedlings in bioassay system as affected by arbuscular mycorrhiza fungi and mycorrhizal helper bacteria
Direvisi: 28-03-2024	
Dipublikasi: 30-04-2024	
Keywords: In vitro, <i>Mycorrhiza</i> , <i>Mycorrhizal helper</i> <i>bacteria</i> , <i>Phytohormones</i> , Potato plantlet	In vitro production of potato seeds through tissue culture is an emerging technique. Various efforts to improve the quality of potato plant seeds have been carried out and one of the alternative ways is by applying biofertilizer such as arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and mycorrhizal helper bacteria (MHB). This study aimed to evaluate the growth response and hormones produced by AMF and MHB in potato plant seeds cultured in vitro. The experiment using a Complete Randomized Design consisted of four types of growing media and ten replications. Growing media included Murashige & Skoog (MS) control, AMF, MHB, and both AMF and MHB. To inoculate the AMF, 10 sterilized AMF spores were transferred to the root zone of the plant, and MHB was added to MSR media. Observations were made on the growth of seedlings, fresh weight of roots and shoots, and hormones (auxin, gibberellins and cytokinins). Results showed that AMF and MHB produced the hormones auxin, gibberellins and cytokinins. The effect of biofertilizer on the resulting growth hormone and the growth of potato seedlings is significantly different. Furthermore, single AMF inoculation has the same effect as MS media inoculated with a mixture of AMF and MHB on the growth of potato plant seeds. Endogenous hormone synthesis is highly visible in MHB-inoculated MS media in potato seedlings. The results of this study showed that the application of AMF biofertilizer together with MHB influenced plant growth, namely plant height was 9.01 cm or 19.6% higher than the control and increased fresh weight by 12.72 g or 60% higher than the control. This increase in plant growth was related to the levels of growth hormones produced by AMF and MHB which were also higher, namely 4.06, 8.62 and 5.77 $\mu\text{mol/mol}$ NTP respectively for auxin, gibberellin and cytokinin.
Kata Kunci: Fitohormon, <i>In vitro</i> , Mikoriza, <i>Mycorrhizal</i> <i>helper bacteria</i> , Planlet kentang	Produksi bibit tanaman kentang secara <i>in vitro</i> melalui kultur jaringan merupakan teknik yang sedang berkembang. Berbagai upaya peningkatan kualitas bibit tanaman kentang telah dilakukan dan salah satu alternatifnya adalah dengan aplikasi pupuk hayati fungi mikoriza arbuskula (FMA) dan <i>mycorrhizal helper bacteria</i> (MHB). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi respons pertumbuhan serta hormon yang dihasilkan FMA dan MHB pada bibit tanaman kentang yang dikulturkan secara <i>in vitro</i> . Percobaan menggunakan Rancangan Acak Lengkap yang terdiri atas empat jenis media

tumbuh dan sepuluh replikasi. Media tumbuh meliputi Murashige & Skoog (MS) kontrol, dengan FMA, MHB, dan kombinasi FMA dan MHB. Untuk melakukan inokulasi, 10 spora FMA (*Glomus* sp.) yang telah disterilisasi ditransfer ke zona akar tanaman, dan MHB (*Pseudomonas diminuta*) ditambahkan ke dalam media. Pengamatan dilakukan terhadap pertumbuhan bibit, berat segar akar dan pupus, serta hormon auksin, giberelin dan sitokinin (2 MST). Hasil penelitian menunjukkan bahwa FMA dan MHB menghasilkan hormon auksin, giberelin dan sitokinin. Efek pupuk hayati terhadap hormon tumbuh yang dihasilkan dan pertumbuhan bibit kentang berbeda secara signifikan. Selanjutnya, inokulasi FMA tunggal memiliki pengaruh yang sama dengan media MSR yang diinokulasi kombinasi FMA dan MHB terhadap pertumbuhan bibit tanaman kentang. Sintesis hormon sangat signifikan pada media yang diinokulasi MHB. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi pupuk hayati FMA bersama MHB mempengaruhi pertumbuhan tanaman yaitu tinggi tanaman sebesar 9,01 cm atau 19,6% lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol dan meningkatkan bobot segar sebesar 12,72 g atau 60% lebih tinggi dibandingkan kontrol. Peningkatan pertumbuhan tanaman ini terkait dengan tingkat hormon tumbuh yang dihasilkan oleh FMA dan MHB yang juga lebih tinggi yaitu 4,06, 8,62 dan 5,77 $\mu\text{mol/mol}$ NTP berturut-turut untuk auksin, giberelin dan sitokinin.

PENDAHULUAN

Kentang (*Solanum tuberosum* L.) merupakan komoditas penting di Indonesia yang terus meningkat permintaannya, baik untuk digunakan sebagai produk segar maupun produk pangan olahan. Data produktivitas kentang di Indonesia adalah 19,27 ton/ha dengan total produksi 1.314.657 ton dari luas areal pertanaman 68.223 hektar (Kementan RI, 2021). Produksi tersebut masih tergolong rendah dan perlu ditingkatkan, sehingga perlu dicari upaya-upaya untuk meningkatkan produksinya. Salah satu kendala dalam peningkatan produksi kentang adalah pengadaan dan distribusi benih, serta bibit kentang berkualitas yang belum memadai (Lestari dkk., 2018).

Bibit kentang berkualitas sangat penting bagi petani karena menentukan hasil panen. Bibit kentang yang berkualitas akan menghasilkan kentang yang berukuran lebih besar dan lebih sehat, juga tahan terhadap penyakit dan hama (Hajare *et al.*, 2021). Untuk memenuhi permintaan bibit kentang yang berkualitas baik, maka teknik perbanyakannya memerlukan berbagai inovasi. Benih kentang dapat diperoleh melalui teknik kultur jaringan yang dilanjutkan dengan teknik perbanyakan cepat untuk memproduksi stek *in vitro*, stek *in vivo* dan umbi mini (Voets *et al.*, 2005; Hajare *et al.*, 2021).

Penggunaan teknik *in vitro* untuk tujuan perbanyakan vegetatif merupakan teknik yang cukup maju dalam teknik kultur jaringan karena memiliki

keunggulan antara lain: (1) bahan tanaman yang dipergunakan lebih kecil, sehingga tidak merusak tanaman induk, (2) lingkungan tumbuh kultur aseptik dan terkendali, (3) kecepatan perbanyakan tinggi, (4) dapat menghasilkan benih bebas penyakit dari induk yang telah terinfeksi patogen internal, serta (5) membutuhkan tempat yang relatif kecil untuk menghasilkan jumlah benih yang banyak (Gallou *et al.*, 2009).

Selain teknik *in vitro* di atas, peningkatan produksi bibit kentang perlu diintroduksi dengan teknologi yang bersifat ramah lingkungan dan ekonomis. Upaya tersebut dapat melalui optimasi media tumbuh, nutrisi, dan lingkungan tumbuh yang tepat. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan potensi sumberdaya hayati melalui aplikasi inokulan mikroba yang dapat membantu meningkatkan produktivitas tanaman kentang, yaitu yang berasal dari golongan fungi dan bakteri (Torres-Vite & Contreras-Liza, 2020; Yang *et al.*, 2023).

Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) merupakan jenis fungi dari filum *Glomeromycota* yang mampu membentuk simbiosis mutualisme dengan hampir 90% tanaman, termasuk dengan tanaman kentang (Deja-Sikora *et al.*, 2020). Hasil-hasil penelitian sebelumnya yang mengaplikasikan inokulan FMA sebagai pupuk hayati pada tanaman kentang menunjukkan peningkatan kualitas dan hasil kentang yang cukup signifikan (Nurbaity *et al.*, 2016; Nurbaity *et al.*, 2019a; Schoenherr *et al.*, 2019).

Peningkatan daya tahan kentang terhadap penyakit juga meningkat ketika diberi inokulasi mikoriza dan rizobakteri (Deja-Sikora *et al.*, 2019; Bell *et al.*, 2022). Seiring dengan kebutuhan benih berkualitas yang terus meningkat, maka FMA diperlukan untuk diberikan lebih dini pada budidaya tanamannya, yaitu mulai dari fase produksi bibit baik secara kultur jaringan (*in vitro*) maupun *in vivo* (Sortibrán *et al.*, 2019).

Untuk meningkatkan efektivitas FMA, terdapat mikroorganisme lain dari golongan bakteri yang dikenal dapat membantu kinerja FMA, yaitu *Mycorrhizal Helper Bacteria* (MHB) (Nasslahsen *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2022a). Pemanfaatan FMA maupun MHB pada tanaman kentang terus mengalami perkembangan (Lallawmkima *et al.*, 2018), akan tetapi kajian maupun informasi mengenai mekanisme interaksi kedua mikroba tersebut, khususnya FMA dan MHB pada stek kentang *in vitro* dalam kultur jaringan masih sangat terbatas. Hasil penelitian pada tanaman kentang menunjukkan bahwa efektivitas FMA meningkat jika dikombinasikan dengan MHB *Pseudomonas diminuta* (Putri *et al.*, 2020; Britton *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2022b). Fungi mikoriza arbuskula mengeluarkan berbagai jenis eksudat seperti formiat, asetat, beta glikogen yang dapat memacu pertumbuhan tanaman dan komunitas bakteri fungsional (Toljander *et al.*, 2007; Fritz *et al.*, 2022).

Selanjutnya MHB juga diketahui menghasilkan beberapa senyawa volatil maupun non volatil seperti CO₂, tiamin dan 2-methylisoborneol yang meregulasi germinasi spora (Nasslahsen *et al.*, 2022; Guarnizo *et al.*, 2023). Namun demikian informasi tentang pengujian kemampuan FMA maupun MHB untuk meningkatkan pertumbuhan bibit kentang secara *in vitro* dalam menghasilkan hormon, asam organik maupun enzim masih terbatas (Minemba *et al.*, 2019). Apabila bibit kentang dapat terkolonisasi sejak awal pertumbuhannya oleh FMA, dan MHB menghasilkan hormon tumbuh, diharapkan pada saat dipindahtanamkan tanaman kentang akan memiliki produktivitas yang lebih baik. Berdasarkan hal tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi apakah FMA dan MHB menghasilkan metabolit berupa hormon tumbuh auksin, giberelin dan sitokinin serta menguji pengaruhnya terhadap pertumbuhan bibit kentang dalam *bioassay* secara *in vitro* pada media kultur jaringan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan sejak bulan Juni hingga September 2023 di Laboratorium Kultur Jaringan dan Laboratorium Biologi Tanah Fakultas Pertanian, serta Laboratorium Sentral Universitas Padjadjaran, Sumedang, Jawa Barat. Tahapan percobaan meliputi perbanyakan bibit kentang secara *in vitro*, karakterisasi hormon pada bioassay bibit kentang yang diberi pupuk hayati FMA dan MHB dan pengamatan pertumbuhan planlet kentang.

Rancangan Percobaan

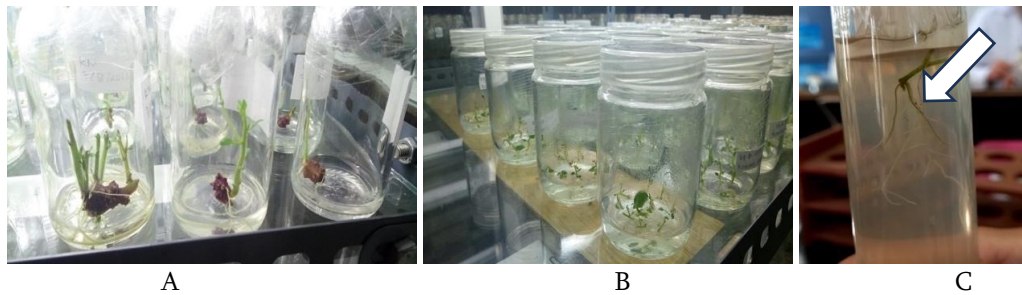
Rancangan percobaan yang digunakan yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan pupuk hayati FMA dan MHB (Tabel 1), diulang enam kali. Pengamatan dilakukan terhadap hormon auksin, giberelin dan sitokinin yang dihasilkan, serta pengukuran terhadap tinggi tanaman (cm) dan bobot segar (g).

Tabel 1. Perlakuan percobaan inokulasi FMA dan MHB pada kultur jaringan tanaman kentang Atlantik dengan media Murashige & Skoog (MS)

Kode perlakuan	Perlakuan pupuk hayati
A	Tanpa FMA dan MHB (kontrol)
B	FMA (<i>Glomus</i> sp.) 10 spora/tabung
C	MHB (<i>Pseudomonas diminuta</i>) 3 mL x 10 ⁷ /mL
D	Gabungan FMA dan MHB

Persiapan Planlet Kentang *In Vitro*

Pada tahap perbanyakan bibit kentang, eksplan yang digunakan berupa tanaman yang berasal dari planlet kentang varietas Atlantik yang berasal dari Balai Pengujian Teknologi Pertanian, Lembang Jawa Barat. Media perbanyakan adalah Murashige & Skoog (MS) sebagaimana dinyatakan yang terdiri atas elemen makro (MgSO₄·7H₂O 73,9 g/L; KNO₃ 7,6 g/L; KCl 6,5 g/L; KH₂PO₄ 0,41 g/L), elemen mikro (MnSO₄·4H₂O 2,45 g/L; ZnSO₄·7H₂O 0,28 g/L; H₃BO₃ 1,85 g/L; CuSO₄·5H₂O 0,22 g/L; Na₂MoO₄·2H₂O 0,0024 g/L; (NH₄)₆Mo₇O₂₄·5H₂O 0,034 g/L), Ca(NO₃)₂·4H₂O 35,9 g/L, Vitamin (Biotin 0,18 g/L, Calcium pantothenate 0,18 g/L, Cyanocobalamin 0,4 g/L, Nicotinic acid 0,2 g/L, Pyridoxine 0,18 g/L, Thiamin 0,2 g/L, NaFeEDTA 1,6 g/L, Sukrosa 10000 g/L, Bacto agar 8000 g/L pada pH 5.5).



Gambar 1. Multiplikasi tunas kentang (A), sub kultur planlet kentang (B), spora FMA yang diinokulasikan (tanda panah) pada planlet kentang (C).

Eksplan hasil subkultur dipotong 1-2 cm dan ditanam pada media MS selama satu bulan (Gambar 1). Penanaman eksplan dilakukan di dalam *Laminar Air Flow (LAF)*, dengan satu eksplan per tabung. Prinsip metode yang digunakan merupakan modifikasi dari Voets *et al.* (2005).

Persiapan dan Inokulasi FMA dan MHB

Inokulasi FMA ke dalam plantlet menggunakan spora FMA yang diisolasi dengan metode penyaringan basah (*wet sieved*) (Nurbaity *et al.*, 2019b). Inokulan FMA yang digunakan adalah *Glomus* sp. yang sebelumnya disterilkan dengan 0.05% (w/v) NaOCl selama 3 menit dan dibilas dengan air destilasi steril. Spora FMA diberikan pada area perakaran menggunakan ose steril sebanyak 10 spora per tabung.

Inokulan MHB (*P. diminuta*) dengan kepadatan 10^7 cfu/mL disiapkan dari biakan murni melalui seri pengenceran menggunakan NaCl fisiologis sampai dengan 10^7 . Kultur diperbanyak pada *shaker* (180 rpm) selama 24 jam di suhu ruang. Inokulasi MHB diberikan dengan cara meneteskan 3 mL larutan kultur menggunakan pipet ke dalam tabung (Nurbaity *et al.*, 2016). Setelah ditempatkan dalam tabung reaksi sesuai dengan rancangan perlakuan, eksplan ditutup dengan plastik, diikat dan direkatkan dengan plastik *wrap*. Tabung reaksi kemudian ditempatkan di dalam ruang kultur 25°C selama dua minggu.

Analisis Hormon

Analisis hormon auksin menggunakan spektrofotometer, sedangkan hormon giberelin dan sitokinin menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) Waters 2487 dan detektor UV- Vis. Senyawa giberelin dibaca menggunakan detektor UV- Vis pada panjang gelombang 254 nm, sedangkan sitokinin pada panjang gelombang 260 nm. Hasil kuantitatif fitohormon dihitung

berdasarkan perbandingan luas area grafik senyawa HPT dengan standarnya (Zhu *et al.*, 2020).

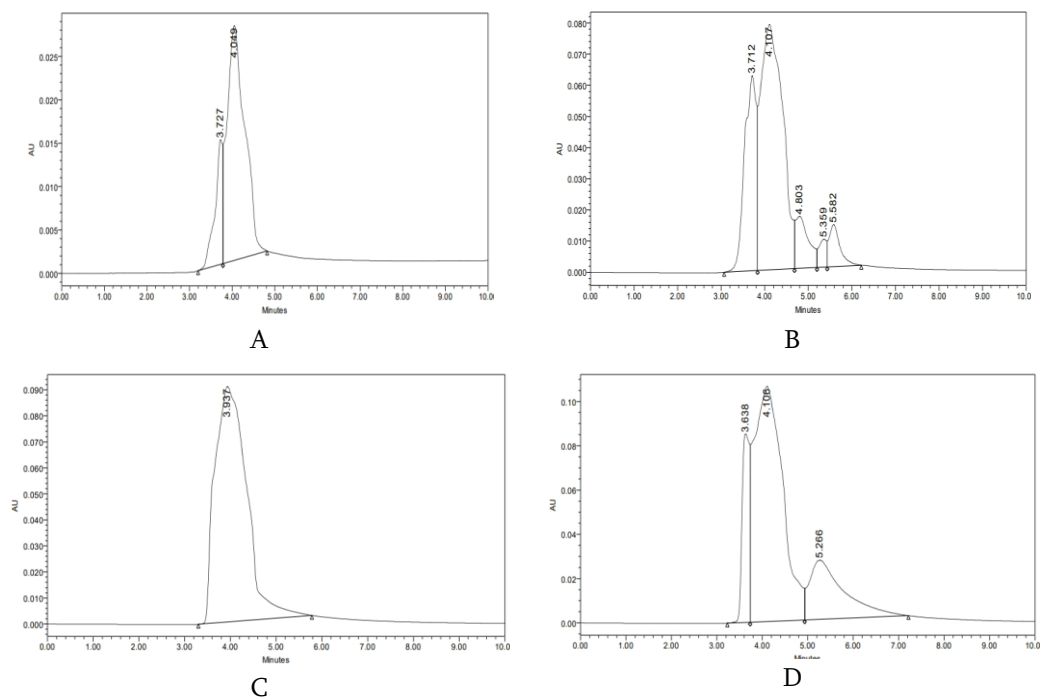
Analisis Data

Analisis kuantitatif berupa pengujian signifikansi untuk mengetahui pengaruh perlakuan dilakukan dengan analisis varian menggunakan uji F taraf 5% dan uji lanjut DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) menggunakan software SPSS versi 23. Disamping analisis kuantitatif, dilakukan analisis kualitatif terhadap pengamatan visual menggunakan metode deskriptif.

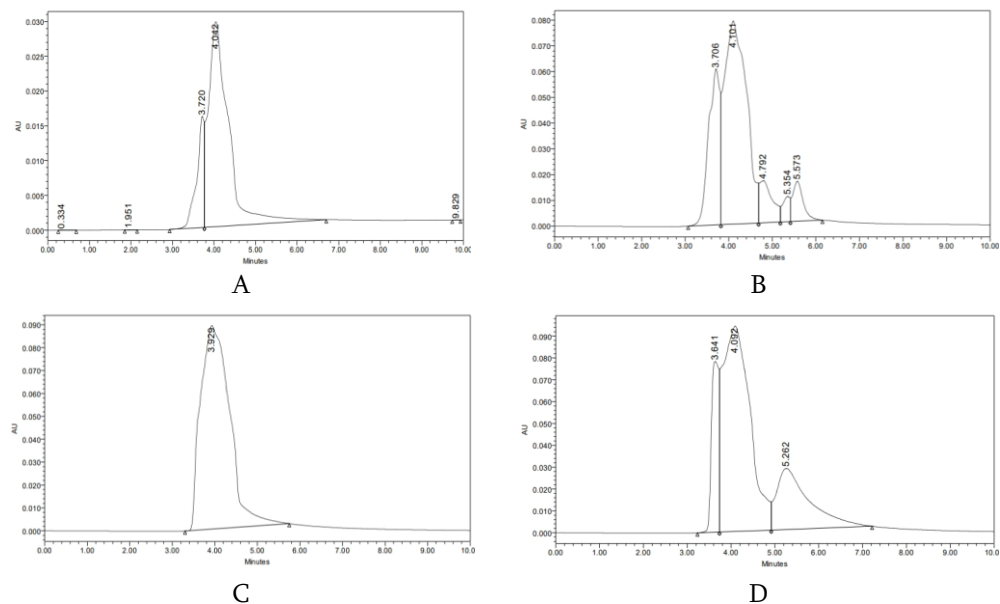
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan Hormon yang Dihasilkan Planlet Kentang yang Diberi FMA dan MHB

Hasil analisis HPLC secara kualitatif untuk mengidentifikasi hormon pada media tumbuh MS planlet kentang yang diberi FMA dan MHB menunjukkan bahwa hormon giberelin (Gambar 2) dan sitokinin (Gambar 3) dihasilkan oleh semua perlakuan. Hormon giberelin diidentifikasi pada panjang gelombang (λ) 254 nm, sedangkan sitokinin pada λ 260 nm. Kandungan hormon yang dihasilkan menunjukkan bahwa FMA dan MHB menghasilkan jumlah yang berbeda dan lebih tinggi jika diberikan secara gabungan. Selanjutnya hasil analisis statistik terhadap kandungan hormon yang dihasilkan menunjukkan bahwa FMA, MHB dan gabungan keduanya menghasilkan kandungan hormon auksin, giberelin, dan sitokinin yang lebih tinggi dari perlakuan yang tidak diberi pupuk hayati (Tabel 2). Secara umum, MHB *P. diminuta* menghasilkan kandungan hormon tumbuh auksin, giberelin dan sitokinin yang lebih tinggi dibandingkan dengan FMA. Hal ini menunjukkan bahwa efek MHB lebih dominan daripada FMA dalam menghasilkan hormon yang dapat meningkatkan pertumbuhan planlet kentang.



Gambar 2. Kromatogram identifikasi hormon giberelin (λ 254 nm) yang dihasilkan planlet kentang pada media MS kontrol (A), MS diinokulasi FMA (B), MS diinokulasi MHB (C), MS diinokulasi gabungan FMA dan MHB (D). MS = Murashige-Skoog, FMA = fungi mikoriza arbuskula, MHB = *mycorrhizal helper bacteria*.



Gambar 3. Kromatogram identifikasi hormon sitokinin (λ 260 nm) yang dihasilkan planlet kentang pada media MS tanpa inokulasi FMA dan MHB (kontrol) (A), kultur MS diinokulasi FMA (B), MS diinokulasi MHB (C), MS diinokulasi gabungan FMA dan MHB (D). MS = Murashige-Skoog, FMA = fungi mikoriza arbuskula, MHB = *mycorrhizal helper bacteria*.

Pada perlakuan kontrol, hormon auksin, giberelin dan sitokinin tetap terdeteksi walaupun jumlahnya sedikit. Hal ini disebabkan oleh adanya

eksudat dari tanaman atau planlet kentang yang dikeluarkan selama tumbuh.

Tabel 2. Kandungan hormon yang diidentifikasi pada media MS planlet kentang yang diberi FMA dan MHB pada 2 MSI*

Perlakuan pupuk hayati	Auksin		Giberelin		Sitokinin	
	μmol/mol NTP	Δ kontrol	μmol/m ol NTP	Δ kontrol	μmol/m ol NTP	Δ kontrol
Tanpa FMA dan MHB (kontrol)	3,91 a	-	4,10 a	-	3,24 a	-
FMA (<i>Glomus</i> sp.)	4,64 a	0,73	5,44 a	1,34	4,14 a	0,9
MHB (<i>P. diminuta</i>)	8,65 b	4,74	13,07 b	8,97	9,52 b	6,28
Gabungan FMA dan MHB	7,97 ab	4,06	12,72 b	8,62	9,01 b	5,77

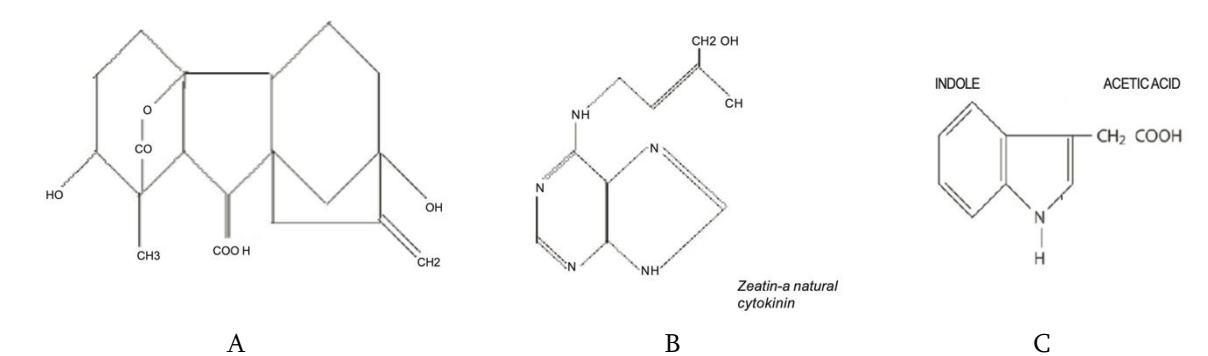
Keterangan: Huruf yang sama pada satu kolom dalam tabel menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5%. * MSI = Minggu setelah inokulasi.

Adanya hormon tumbuh terutama giberelin yang dihasilkan oleh MHB yang cukup tinggi memperkuat hasil-hasil penelitian sebelumnya yang memperlihatkan bahwa salah satu mekanisme peningkatan metabolisme mikroba dan tanaman yang diberi MHB karena adanya hormon tumbuh yang dihasilkan (Fritz *et al.*, 2022). Giberelin merupakan senyawa organik yang berperan dalam proses perkecambahan karena dapat mengaktifkan reaksi enzimatik di dalam benih sehingga metabolisme sel meningkat (Gao *et al.*, 2023).

Selain giberelin, auksin yang dihasilkan juga ditunjukkan oleh MHB yang tertinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian Velivelli *et al.* (2015) yang menyatakan bahwa genus *Pseudomonas* yang diisolasi dari tanah dan rizosfir dikenal aktif menghasilkan IAA. Fitohormon IAA merupakan golongan auksin alami dan berperan sebagai zat pemacu dalam meningkatkan sintesis DNA dan RNA, serta pemanjangan sel dengan meningkatnya

pertukaran proton. Hormon IAA seringkali digunakan dalam laboratorium kimia analisis bahan alam sebagai zat pengatur tumbuh baik dalam medium kultur jaringan maupun dalam media tanam tumbuhan. Penambahan IAA ini digunakan untuk mengetahui reaksi pertumbuhan atau perkembangan tanaman yang diberikan perlakuan tertentu (Hajare *et al.*, 2021). Aktivitas biologis mikroba dalam kultur cair dan pembentukan akar tanaman akan berbeda walaupun mikroba mengekskresikan konsentrasi auksin yang sama.

Fitohormon utama selanjutnya adalah sitokinin yang diketahui dapat meningkatkan pembelahan, pertumbuhan dan perkembangan kultur sel tanaman, selain itu sitokinin juga menunda penuaan daun, bunga dan buah dengan cara mengontrol dengan baik proses kemunduran yang menyebabkan kematian sel-sel tanaman (Setiawati *et al.*, 2018). Struktur kimia giberelin, sitokinin dan auksin dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur molekuler giberelin (A), sitokinin (B), dan auksin (C) (Sedayu dkk., 2013).

Peran FMA dalam menghasilkan fitohormon auksin, giberelin dan sitokinin pada penelitian ini masih sedikit, karena masih berada pada fase pertumbuhan awal. Pada penelitian ini, FMA yang diberikan dalam bentuk spora kemungkinan belum bergerminasi sempurna dan belum melakukan simbiosis dengan akar tanaman planlet kentang yang ada. Pembentukan fitohormon tergantung dari komposisi media tumbuh, fase pertumbuhan dan konsentrasi triptofan. Menurut beberapa penelitian,

asam amino triptofan merupakan prekursor utama dalam sintesis IAA oleh mikroorganisme dan meningkatkan produksi fitohormon. Triptofan dalam hal ini merupakan eksudat yang dihasilkan oleh tanaman. Oleh karena itu, pada penelitian ini terlihat bahwa jumlah hormon kontrol dengan FMA hampir sama dan lebih kecil dari MHB karena masih banyak dipengaruhi oleh eksudat akar tanamannya saja. Di sisi lain, beberapa penelitian menunjukkan bahwa germinasi spora, pertumbuhan hifa dan kolonisasi akar dimulai oleh hormon tanaman (Gao *et al.*, 2023). Hormon tumbuhan dikenal sebagai sinyal molekul yang bertindak sebagai regulator penting dari pertumbuhan tanaman dan perkembangan akar, dan juga telah terbukti memainkan peran penting dalam memodifikasi interaksi antara tanaman dan FMA (Guarnizo *et al.*, 2023).

Pertumbuhan Planlet Kentang yang Diberi FMA dan MHB

Hasil pengukuran terhadap pertumbuhan planlet kentang pada media MS yang diberi perlakuan FMA dan MHB menunjukkan bahwa perlakuan kontrol pertumbuhannya lebih rendah yang diamati melalui bobot segar tanaman (Tabel 3). Tinggi tanaman pada kultur tempat akar tumbuh merupakan kriteria aktivitas stimulan pertumbuhan (Nasslahsen *et al.*, 2022), walaupun pada penelitian tidak berbeda nyata.

Tabel 3. Pertumbuhan planlet kentang pada media MS yang diberi FMA dan MHB pada 2 MSI*

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm)	Bobot segar (g)
Tanpa FMA dan MHB (kontrol)	7,24 a	5,10 a
FMA (<i>Glomus</i> sp.)	7,84 a	8,44 ab
MHB (<i>P. diminuta</i>)	8,52 a	13,07 b
Gabungan FMA dan MHB	9,01 a	12,72 b

Keterangan: Huruf yang sama pada satu kolom dalam tabel menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5% . * MSI = Minggu setelah inokulasi.

Secara visual, media MS pada perlakuan kontrol lebih bening dibandingkan yang diberi FMA dan MHB. Di samping itu terlihat adanya lapisan film yang dihasilkan pada perlakuan yang diberi MHB sehingga turbiditas media lebih keruh. Perakaran planlet kentang yang diberi FMA menunjukkan pertumbuhan yang lebih ekstensif. Perlakuan campuran FMA dan MHB belum memperlihatkan

perbedaan signifikan dengan perlakuan tunggal baik FMA maupun MHB.

Temuan penelitian ini mengkonfirmasi bahwa prekursor fitohormon dihasilkan oleh kultur yang diberi bakteri dan eksudat akar dari tanaman merupakan sumber triptofan (Hajare *et al.*, 2021). Dengan adanya triptofan pada ekso metabolit, mikroflora epifit dapat mengubah status hormonal pada rizosfer dengan melakukan transformasi asam amino ini menjadi IAA yang pada gilirannya akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

Efek hormon terhadap pertumbuhan sistem perakaran meningkat signifikan dan pembentukan area perakaran lebih tinggi daripada perlakuan kontrol. Karena akumulasi nutrisi, ion, dan molekul sinyal mempengaruhi pembentukan fitohormon, maka konsentrasi dan ketersediaannya untuk tanaman meningkat (Setiawati *et al.*, 2018). Efek menguntungkan pada tanaman dari fitohormon yang dikeluarkan oleh FMA dan MHB diperlihatkan dari adanya peningkatan pembentukan akar dan tidak adanya efek menghambat atau menekan. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh fungi terhadap komponen biokimia yang dihasilkan MHB (Britton *et al.*, 2021). Perlakuan FMA, MHB maupun kombinasi dari FMA dan MHB terhadap pertumbuhan akar maupun planlet kentang secara keseluruhan memberikan efek yang positif. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa kombinasi FMA dan hormon meningkatkan kolonisasi mikoriza, absorpsi hara dan pertumbuhan tanaman (Hajare *et al.*, 2021; Gao *et al.*, 2023).

SIMPULAN

Analisis ekstrak media planlet kentang dengan menggunakan HPLC didapatkan hasil positif mengandung hormon pemacu tumbuh tanaman yaitu giberelin, auksin dan sitokinin. Secara umum, dibandingkan dengan kontrol, ekstrak media MS yang diberi pupuk hayati FMA dan MHB menunjukkan jumlah kandungan hormon yang lebih tinggi yaitu 4,06, 8,62 dan 5,77 $\mu\text{mol/mol}$ NTP berturut-turut untuk auksin, giberelin dan sitokinin. Aplikasi FMA bersama MHB mempengaruhi pertumbuhan tanaman yaitu tinggi tanaman sebesar 9,01 cm atau 19,6% lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol dan meningkatkan bobot segar sebesar 12,72 g atau 60% lebih tinggi dibandingkan kontrol. Dengan demikian MHB dan FMA terbukti memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi bahan pupuk hayati yang juga diaplikasikan sebagai

pemacu pertumbuhan tanaman, khususnya planlet kentang. Temuan ini memberikan strategi praktis dan memungkinkan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan produktivitas stek kentang melalui kultur jaringan yang diberi pupuk hayati.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi RI atas dukungan dana hibah Penelitian Fundamental Reguler TA. 2023, Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Padjadjaran, mitra penelitian, serta Rossita Fauziah, Adellya Safitri, Annisa Syifa Ibrahim, dan M. Adi Setiadi yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bell, CA, E Magkourilou, PE Urwin, and KJ Field. 2022. Disruption of carbon for nutrient exchange between potato and arbuscular mycorrhizal fungi enhanced cyst nematode fitness and host pest tolerance. *New Phytologist*. 234(1): 269–279.
- Britton, J, A Ramezani, D Pelletier, M Alber, and WR Cannon. 2021. A Multiscale Model of Fungal Impact on Chemotactic Behavior of Mycorrhizal Helper Bacteria. *Biophysical Journal*. 120(3):68a–69a. DOI: 10.1016/j.bpj.2020.11.639.
- Deja-Sikora, E, L Mercy, C Baum, and K Hryniewicz. 2019. The contribution of endomycorrhiza to the performance of Potato Virus Y-infected solanaceous plants: Disease alleviation or exacerbation? *Frontiers in Microbiology*. 10: 516. DOI: 10.3389/fmicb.2019.00516.
- Fritz, V, G Tereucán, C Santander, B Contreras, P Cornejo, PAA Ferreira, and A Ruiz. 2022. Effect of Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Fungicide Application on the Secondary Metabolism of *Solanum tuberosum* Leaves. *Plants*. 11:278. DOI: 10.3390/plants11030278.
- Gallou, A, DN Jaeger, S CranenbrouckS, and S Declerck. 2009. Fast track in vitro mycorrhization of potato plantlets allow studies on gene expression dynamics. *Mycorrhiza*. 20(3): 201–207.
- Gao, X, Y Liu, C Liu, C Guo, Y Zhang, C Ma, and X Duan. 2023. Individual and combined effects of arbuscular mycorrhizal fungi and phytohormones on the growth and physiobiochemical characteristics of tea cutting seedlings. *Frontiers in Plant Science*. 14:1140267. DOI: 10.3389/fpls.2023.1140267.
- Guarnizo, ÁL, A Navarro-Ródenas, M Calvo-Polanco, JE Marqués-Gálvez, and A Morte. 2023. A mycorrhizal helper bacterium alleviates drought stress in mycorrhizal *Helianthemum almeriense* plants by regulating water relations and plant hormones. *Environmental and Experimental Botany*. 207:105228. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2023.105228.
- Hajare, ST, NM Chauhan, and G Kassa. 2021. Effect of growth regulators on in vitro micropropagation of potato (*Solanum tuberosum* L.) Gudienne and Belete varieties from Ethiopia. *Scientific World Journal*. 5928769. DOI: 10.1155/2021/5928769.
- [Kementan RI] Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2021. Data Lima Tahun Terakhir Produksi, Luas Panen serta Populasi Sub Sektor Kementerian Pertanian (2014–2019). Tersedia online pada: <https://www.pertanian.go.id/home/?show=page&act=view&id=61>. diakses 15 Februari 2022.
- Lallawmkima, I, SK Singh, and M Sharma. 2018. Application of *Azotobacter*, vesicular arbuscular mycorrhiza and phosphate solubilizing bacteria for potato cultivation in Central Plain Zone (Pb-3) of Punjab. *Journal of Environmental Biology*. 39(6): 985–989.
- Lestari, FW, E Suminar, dan S Mubarak. 2018. Pengujian berbagai eksplan kentang (*Solanum tuberosum* L.) dengan penggunaan konsentrasi BAP dan NAA yang berbeda. *Jurnal Agro*. 5(1): 66–75.
- Minemba, D, DB Gleeson, E Veneklaas, and MH Ryan. 2019. Variation in morphological and physiological root traits and organic acid exudation of three sweet potato (*Ipomoea batatas*) cultivars under seven phosphorus levels. *Scientia Horticulturae*. 256:108572. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108572.
- Nasslahsen, B, Y Prin, H Ferhout, A Smouni, and R Duponnois. 2022. Mycorrhizae helper bacteria for managing the mycorrhizal soil infectivity. *Frontiers in Soil Science*. 2: 979246. DOI: 10.3389/fsoil.2022.979246.

- Nurbaity, A, ET Sofyan, and JS Hamdani. 2016. Application of *Glomus* sp. and *Pseudomonas diminuta* reduce the use of chemical fertilizers in production of potato grown on different soil types. Page IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 41 012004. DOI: 10.1088/1755-1315/41/1/012004.
- Nurbaity, A, JS Hamdani, and RP Rahayu. 2019a. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and different composition of growing medium on growth and production of potato seed cultivars Medians in Inceptisols Jatinangor. Page IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 393 012052. DOI: 10.1088/1755-1315/393/1/012052.
- Nurbaity, A, GC Uratel, and JS Hamdani. 2019b. Mycorrhiza enhanced protein and lipid contents of potatoes grown on Inceptisol with addition of organic matter. Journal of Tropical Soils. 24(3): 129–133.
- Putri, RG, W Warnita, and B Satria. 2020. The growth responses of potato crops (*Solanum tuberosum* L.) in various type of rhizobacteria and mycorrhiza. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology. 5(2): 391-396.
- Schoenherr, AP, E Rizzo, N Jackson, P Manosalva, and SK Gomez. 2019. Mycorrhiza-induced resistance in potato involves priming of defense responses against cabbage looper (Noctuidae: Lepidoptera). Environmental Entomology. 48(2): 370–381.
- Setiawati, MR, P Suryatmana, R Hindersah, BN Fitriatin, A Nurbaity, D Herdiyantoro, NN Kamaluddin, and T Simarmata. 2018. Characteristic and capability of plant growth promoting endophytic bacteria of rice plant tissue in saline ecosystem. Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences. 20(3): 791–797.
- Sortibrán, L, M Verdú, and A Valiente-Banuet. 2019. A nurse plant benefits from facilitative interactions through mycorrhizae. Plant Biology. 21(4): 670–676.
- Toljander, JF, BD Lindahl, LR Paul, M Elfstrand, and RD Finlay. 2007. Influence of arbuscular mycorrhizal mycelial exudates on soil bacterial growth and community structure. FEMS Microbiology Ecology. 61(2): 295–304.
- Torres-Vite, H, and SE Contreras-Liza. 2020. Use of microbial inoculants for production of potato tuber seed in greenhouse conditions. Peruvian Agricultural Research. 1(2): 40–47.
- Velivelli, SLS, P Lojan, S Cranenbrouck, HD De Boulois, JP Suarez, S Declerck, J Franco, and BD Prestwich. 2015. The induction of ethylene response factor 3 (ERF3) in potato as a result of co-inoculation with pseudomonas sp. r41805 and rhizophagus irregularis MUCL 41833 – a possible role in plant defense. Plant Signaling and Behavior. 10(2):e988076. DOI: 10.4161/15592324.2014.988076.
- Voets, L, HD De Boulois, L Renard, DG Strullu, and S Declerck. 2005. Development of an autotrophic culture system for the in vitro mycorrhization of potato plantlets. FEMS Microbiology Letters. 248(1): 111–118.
- Wang, YH, WL Kong, ML Zhu, Y Dai, and XQ Wu. 2022a. Colonization by the mycorrhizal helper *Bacillus pumilus* HR10 is enhanced during the establishment of ectomycorrhizal symbiosis between *Hymenochaete* sp. R1 and *Pinus thunbergii*. Frontiers in Microbiology. 7:13:818912. DOI: 10.3389/fmicb.2022.818912.
- Wang, YH, LL Hou, XQ Wu, ML Zhu, Y Dai, & YJ Zhao, 2022b. Mycorrhiza helper bacterium *Bacillus pumilus* HR10 improves growth and nutritional status of *Pinus thunbergii* by promoting mycorrhizal proliferation. Tree Physiology. 42(4): 907–918.
- Yang, Z, H Dong, S Zhang, J Jiang, H Zhu, H Yang, and L Li. 2023. Isolation and identification of mycorrhizal helper bacteria of *Vaccinium uliginosum* and their interaction with mycorrhizal fungi. Frontiers in Microbiology. 14:1180319. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1180319.
- Zhu, S, SW Chen, and Y Li. 2020. Simultaneous analysis of thirteen phytohormones in fruits and vegetables by SPE-HPLC–DAD. Food Science and Biotechnology. 29(11): 1587–1595.