

Keragaman Jamur Mikoriza Arbuskular pada Rizosfer Tiga Varietas Tanaman Tebu

Zulfa Fatmawati^{1*}, Jaka Widada², Donny Widiyanto², Anjar Cahyaningtyas¹,
Devanda Ayu Lidya Permata Putri¹

¹ Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Jl. Padjajaran No. 104 Ngropoh, Condongcatur, Kec. Depok, Kab. Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55283 Indonesia.

² Program Studi Mikrobiologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Bulaksumur, Caturtunggal, Kab. Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55281, Indonesia.

* Email penulis korespondensi: zulfa.fatmawati@upnyk.ac.id

Informasi Artikel

Received 30 Juni 2025

Accepted 14 Juli 2025

Published 20 Juli 2025

Online 20 Juli 2025

Keywords:

Arbuscular mycorrhizal fungi;
Identification; Nested
Polymerase Chain Reaction;
Rhizosphere; Sugarcane

Abstract

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) form associations with more than 80% of the terrestrial plants. These associations enhance nutrient sequestration and plant resistance to environmental stress. The host plants highly influence the diversity of AMF. The types of AMF in the Bululawang, Kidang Kencana, and Pasuruan Jengkol 922 sugarcane varieties grown in a similar location were identified through morphological and molecular methods. AMF spores were isolated using the wet sieving method. The morphological features of the AMF spore mounted in PVLG and Melzer's reagent were observed under a microscope. The DNA of the fungi was extracted, and the ribosomal RNA genes were amplified by nested PCR with the NS1-NS4 primer pairs, followed by the AML1-AML2 primer pairs. A moderate diversity of AMF was observed, with 269 spores found in the Kidang Kencana variety, 191 in the Bululawang variety, and 142 in the Pasuruan Jengkol 922 variety. Four AMF species have been identified morphologically and molecularly: *Glomus flavisporum*, *Acaulospora koskei*, *Gigaspora margarita*, and *Scutellospora savannicola*. These findings indicate that the number and type of AMF associated with sugarcane roots are influenced by plant varieties, in which the *Glomus* sp. is the dominant species in the three sugarcane varieties studied.

1. Pendahuluan

Jamur Mikoriza Arbuskular (JMA) bersimbiosis dengan lebih dari 80% tanaman yang hidup di darat. Bentuk interaksi yang dihasilkan berupa pertukaran mineral dan nutrisi antara jamur dan tanaman inang (Rosas-Moreno *et al.*, 2023). Menurut Powell dan Rillig (2018), setiap JMA memiliki keunikan sendiri dalam mempertahankan siklus hidupnya termasuk pemanfaatan nutrisi, ketahanan terhadap cekaman, atau proses induksi inang. Hal ini menyebabkan simbiosis antara tanaman dan JMA sangat spesifik, artinya tidak semua JMA di rizosfer memiliki kemampuan yang sama untuk berasosiasi dengan akar tanaman inangnya (Manaroinsong dan Lolong, 2016). Penelitian yang dilakukan oleh Astuti *et al.* (2020) tentang interaksi JMA dengan tiga varietas singkong lokal di Gunungkidul menunjukkan bahwa infeksi JMA tertinggi terdapat pada kultivar Mentega yang telah diinokulasi dengan JMA asli dibanding JMA dari inokulan komersil. Hasil tersebut menjadi salah satu indikator bahwa interaksi JMA dan tanaman memiliki efektivitas kinerja yang berbeda-beda.

Salah satu tanaman yang diketahui berasosiasi dengan JMA adalah tebu. Tebu merupakan tanaman penghasil gula alami dan biofuel yang berperan dalam mendukung ketahanan pangan. Varietas tebu yang sering digunakan oleh petani di antaranya varietas Bululawang, Kidang Kencana, dan Pasuruan Jengkol 922. Ketiga varietas ini memiliki perbedaan dalam waktu pemasakan. Bululawang (BL) memiliki waktu masak tengah lambat (≥ 14 bulan), Kidang Kencana (KK) masak tengah (12-14 bulan) dan Pasuruan Jengkol 922 (PSJK) mencapai masak awal (≤ 12 bulan) (Nurnasari dan Djumali, 2019). Penelitian terakhir menunjukkan inokulasi JMA dua varietas tebu (Co 0238 dan Co 86002) menunjukkan perbedaan yang signifikan. Varietas Co 0238 menunjukkan hasil dan produksi tebu yang lebih tinggi dibandingkan Co 86002 (Mistry *et al.*, 2023). Hal ini menjadi dasar bahwa

penggalan potensi keberadaan jamur mikoriza diperlukan karena tingkat kecocokan tanaman dengan jenis isolat dapat berbeda antar varietas tanaman.

Keberadaan JMA di rizosfer tanaman tebu dapat diidentifikasi secara morfologi dan molekuler. Identifikasi morfologi mengarah pada penciri yang dapat langsung diamati seperti ukuran, bentuk, warna, dan ornamen spora. Metode ini biasa digunakan karena tergolong mudah, cepat, murah dan mampu mengelompokkan spora hingga tingkat genus (Rini *et al.*, 2021). Meskipun begitu, identifikasi secara morfologi tidak mampu mencapai tingkat spesies. Di sisi lain, spora tidak selalu dapat diidentifikasi dengan baik, misalnya karena lapisan dindingnya yang tipis dan rawan pecah sehingga sulit teramati. Identifikasi molekuler memberikan hasil yang lebih akurat, sangat spesifik, dan cepat. Penelitian yang dilakukan menggunakan metode nested PCR pada wilayah 18S rRNA dengan dua pasang primer dan dua putaran amplifikasi secara berurutan mampu menghasilkan ampikon yang lebih akurat (Green dan Sambrook, 2019). Amplifikasi yang pertama menggunakan primer universal berupa NS1 dan NS4 yang dirancang untuk mengamplifikasi fragmen DNA yang lebih besar dan mengandung urutan target (Diédhiou *et al.*, 2014). Proses amplifikasi kedua menggunakan hasil amplifikasi yang pertama sebagai cetakan. Proses amplifikasi ini menggunakan primer spesifik berupa AML1 dan AML2 (Rini *et al.*, 2021).

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan data keberadaan isolat spora JMA dari rizosfer tiga varietas tanaman tebu. Data tentang keberadaan spora JMA diperoleh guna mengetahui isolat JMA yang cocok dan potensial. Kecocokan spora ini diharapkan mampu meningkatkan ketersediaan inokulum JMA yang efektif untuk membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman tebu.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Pengambilan sampel dilakukan di lahan tebu Pabrik Gula Madubaru, Bantul, Yogyakarta yang terletak pada ketinggian 84 mdpl. Penentuan sampel didasarkan pada varietas tebu yang telah dipilih. Pengambilan sampel dilakukan secara random sebanyak 20 titik pada kedalaman 5-30 cm di rizosfer tanaman. Setiap titik diambil sebanyak 0,5-1 kg. Sampel tanah yang telah diambil kemudian dikompositkan di tempat yang sama.

2.2. Pelaksanaan Penelitian

Analisis kimia tanah yang dilakukan berupa pengukuran derajat keasaman (pH) dengan metode elektrometri, kandungan bahan organik dengan metode Walkey dan Black (1934), P total dan P tersedia dengan metode Bray dan Krutz (1945). Isolasi spora JMA berdasarkan metode saringan basah bertingkat pada ukuran 0,250 mm, 0,090 mm, dan 0,050 mm. Dilanjutkan dengan sentrifugasi yang telah ditambahkan dengan larutan sukrosa 60% dengan perbandingan supernatan dan sukrosa 3:1. Populasi setiap jenis spora yang didapatkan dalam 100 gram tanah dihitung di bawah mikroskop.

Identifikasi morfologi spora menggunakan pewarna Melzer's dan polyvinylalcohol (PVLG). Pengamatan yang dilakukan meliputi warna, ukuran, lapisan dinding spora, subtending hifa dan bagian-bagian yang menjadi ciri khas setiap spora. Kemudian spora difoto dengan kamera mikroskop (Camera-HIC) menggunakan *software* ImageJ. Karakteristik spora JMA dibandingkan dan ditentukan jenisnya berdasarkan deskripsi dan ilustrasi spora pada laman www.INVAM.wvu.edu dan <http://www.zor.zut.edu> dan www.amf-phylogeny.com.

Identifikasi molekuler diawali dengan memecah spora menggunakan tip steril di bawah mikroskop sehingga didapatkan DNA spora. Amplifikasi primer yang pertama menggunakan pasangan primer universal NS1 (GTAGTCATATGCTTGCT) dan NS4 (CTTCCGTCAATTCCTTAAG). Reaksi amplifikasi pada primer universal berupa *denaturation* 95°C 60 detik, *annealing* 48,6°C 30 detik, *extension* 72°C 70 detik, *final extension* 72°C 300 detik. Hasil amplifikasi primer universal digunakan sebagai *template* DNA untuk amplifikasi dengan primer spesifik. Primer spesifik yang digunakan adalah AML1 (ATCAACTTTCGATGGTAGGATAGA) dan AML2 (GAACCCAAACACTTTGGTTCC). Reaksi amplifikasi kedua berupa *denaturation* 95°C 60 detik, *annealing* 56,5°C 30 detik, *extension* 72°C 48 detik, dan *final extension* 72°C 300 detik. Reaksi amplifikasi menggunakan 25 µl campuran reaksi PCR dilakukan dengan mesin *thermocycler* PCR sebanyak 30 siklus.

2.3. Analisis Data

Hasil perhitungan spora diuji statistik untuk melihat signifikansi JMA yang ditemukan berdasarkan varietas tanaman. Pengujian dilakukan dengan menggunakan program R-statistik dengan uji anova dan uji jarak berganda Duncan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Tanah

Keberadaan JMA dan mikroorganisme lainnya akan lebih tinggi pada daerah rizosfer karena tingginya ketersediaan karbon yang dieksudasi oleh akar. Hasil pengujian tanah rizosfer dari ketiga varietas tanaman tebu dapat dilihat pada Tabel 1. Tidak ada perbedaan nilai kadar bahan organik (C organik) secara signifikan di rizosfer

semua varietas. Perbedaan signifikan terdapat pada analisis pH, P tersedia, dan P total di tanah Varietas PSJK. Ketiga analisis tersebut menghasilkan nilai yang lebih rendah dibanding varietas lainnya.

Tabel 1. Hasil analisis tanah dari rizosfer tanaman tebu umur 4 bulan

Varietas Tebu	pH H ₂ O	C organik (%)	P tersedia (ppm)	P total (ppm)
BL	5,39 ^a	0,97	67,84 ^b	792,92 ^b
PSJK	5,02 ^b	1,10	65,35 ^a	640,62 ^a
KK	5,25 ^{ab}	0,98	67,72 ^b	754,03 ^c

Keterangan: Huruf-huruf di belakang angka yang sama menunjukkan tingkat signifikansi menurut uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) dengan tingkat signifikansi 5%.

Pengharkatan nilai pH dari 5,02-5,39 menunjukkan tanah bersifat masam, dengan nilai kadar bahan organik rendah yaitu 1,1% dan sangat rendah 0,97-0,98%, sedangkan nilai P tersedia dari 65,35-67,84 ppm dan total dari 640,62-792,92 ppm termasuk dalam harkat nilai tinggi (Sulaeman *et al.*, 2005). Menurut Kartikawati *et al.* (2019), tanah yang terbentuk akibat penambahan material vulkanik hasil letusan gunung berapi akan mengalami penurunan sifat kimia tanah. Selain itu, kandungan pasir pada tanah vulkanik mudah mengalami erosi oleh aliran permukaan (*run off*) sehingga menghilangkan sebagian bahan organik pada lapisan tanah atas (*top soil*). Karakteristik tanah vulkanik di Indonesia memiliki kisaran pH 4,5 – 5,5, sementara kandungan C-organik pada lahan tegalan berkisar hingga 1,92% (Sukarman *et al.*, 2020). Kadar P yang tinggi diperkirakan berasal dari pelapukan mineral bahan induk dan bahan organik yang kaya akan mineral.

3.2. Jumlah, Macam dan Indeks Keragaman Spora

Hasil analisis variansi (Tabel 2) menunjukkan jumlah spora mengalami perbedaan secara signifikan pada varietas Kidang Kencana (KK) dibandingkan dengan varietas Bululawang (BL) dan Pasuruan Jengkol (PSJK). Jumlah spora yang ditemukan pada varietas KK, yaitu 269 dalam 100 gram tanah. Namun, perbedaan tidak terlihat pada indeks keragaman Shannon-Winner. Ketiga varietas yang diteliti menunjukkan keragaman tingkat sedang.

Tabel 2. Jumlah, macam dan indeks keragaman Shannon-Winner spora JMA

Jenis Spora	Varietas Tebu		
	BL	PSJK	KK
<i>Glomus</i> sp.	171	98	235
<i>Acaulospora</i> sp.	18	34	28
<i>Gigaspora</i> sp.	2	7	6
<i>Scutellospora</i> sp.	0	1	0
Jumlah	191 ^b	142 ^b	269 ^a
Indeks Keragaman	1,36	1,77	1,33

Keterangan: Huruf-huruf di belakang angka yang sama menunjukkan tingkat signifikansi menurut uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) dengan tingkat signifikansi 5%.

Jumlah spora yang berhasil diidentifikasi pada ketiga varietas memiliki perbedaan yang signifikan terutama varietas Kidang Kencana. Varietas ini memiliki jumlah spora tertinggi yaitu 269 dengan indeks keragaman 1,33. Hal ini mengindikasikan bahwa spora yang berada di rizosfer tanaman tebu varietas KK memiliki keragaman yang rendah, namun berjumlah banyak. Sedangkan pada varietas PSJK memiliki jumlah spora 141 dengan nilai indeks keragaman sebesar 1,77. Jumlah spora varietas PSJK tergolong paling kecil dibanding dua varietas lainnya, namun memiliki indeks keragaman tertinggi. Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa varietas PSJK memiliki jumlah tunas yang lebih banyak dibandingkan dengan Bululawang dan Kidang Kencana (Riajaya dan Kadarwati, 2016). Menurut Kang *et al.*, (2024) jumlah anakan tebu berkorelasi positif dengan keragaman spora JMA terutama *Acaulospora*. Hal ini selaras dengan hasil penelitian di atas bahwa varietas PSJK memiliki jumlah genus *Acaulospora* tertinggi, yaitu berjumlah 34 spora/100 g tanah (Tabel 2).

Jumlah dan tingkat keragaman juga dipengaruhi oleh respon dari jenis-jenis JMA yang berbeda dalam menanggapi sifat-sifat tanah. Spora *Glomus* memiliki kemampuan adaptasi yang lebih tinggi terutama pada daerah

tropis, diperkirakan sebanyak 52,3% genus *Glomus* mampu hidup pada tanah dengan kadar garam tinggi (Yakop *et al.*, 2019), dan pH rendah (Prayoga dan Prasetya, 2021). Hal ini selaras dengan hasil yang didapatkan (Tabel 2), spora *Glomus* mendominasi ketiga varietas tanaman tebu. Penelitian yang dilakukan oleh Wardhika (2016) menunjukkan bahwa genus *Glomus* terdapat di semua tanah yang diambil dari rizosfer tanaman tebu di 8 daerah, yaitu Tegal, Klaten, Batang, Bantul, Kulon Progo, Sleman, Puworejo, dan Kediri. Spora *Glomus* sp. memiliki penyebaran yang sangat luas pada tanaman tebu, diikuti oleh genus *Acaulospora* serta genus *Gigaspora* dan *Scutellospora* dalam kondisi terbatas. *Acaulospora* merupakan genus kedua yang paling dominan setelah *Glomus*. Menurut Halimah (2019), genus *Acaulospora* dan *Gigaspora* tumbuh optimal pada kisaran pH tanah masam dan menunjukkan adaptasi yang tinggi terhadap tanah berpasir. Pada penelitian ini *Gigaspora* ditemukan pada tiga varietas dengan jumlah yang berhasil diidentifikasi tidak lebih dari 10 spora sedangkan *Scutellospora* hanya ditemukan pada tanaman tebu varietas PSJK.

3.3. Identifikasi Morfologi

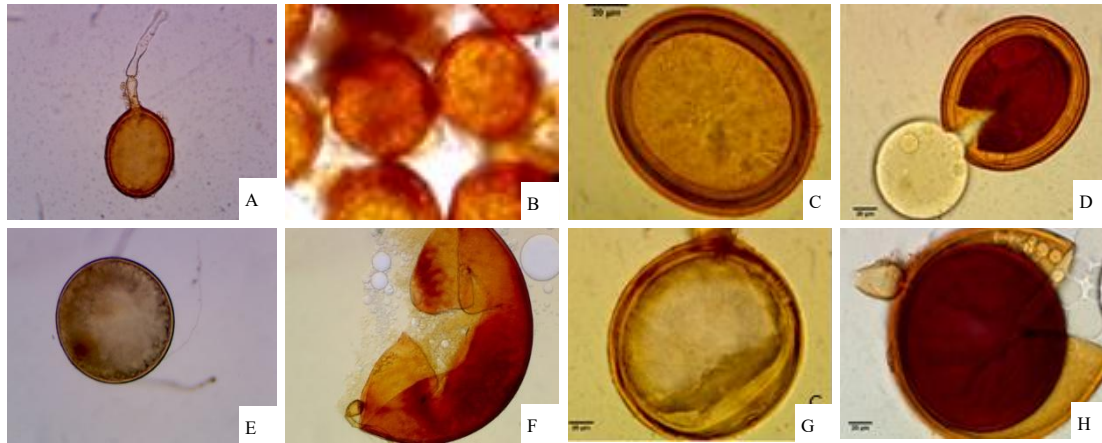
Tahapan identifikasi secara morfologi berpedoman pada *Manual for the Identification of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi*. Penciri yang diamati berupa bentuk, warna, ukuran, lapisan perkecambahan, subtending hifa, sporokarp dan reaksi spora terhadap pewarnaan Melzer's. Genus *Glomus* memiliki rentang ukuran spora yang paling lebar (52–143 μm). Spora berwarna kuning hingga jingga, bentuk bulat dan lonjong, Dinding spora memberikan hasil negatif dengan pewarna Melzer's, sehingga tidak terjadi perubahan warna (Gambar 1B). Spora *Glomus* sp. menunjukkan perubahan karakteristik seiring bertambahnya usia. Spora yang telah dewasa cenderung menunjukkan reaksi Melzer's yang lemah atau bahkan tidak bereaksi sama sekali. Sementara itu, spora yang masih muda seringkali memiliki lapisan dinding luar yang rapuh (Souza, 2015). Genus ini memiliki subtending hifa yang menempel pada permukaan spora (Gambar 1A) dengan warna yang hampir sama dengan dinding spora. Spora *Glomus* ditemukan dalam bentuk tunggal, saling terhubung pada subtending hifa atau sporokarp (Gambar 1B).

Tabel 3. Hasil identifikasi morfologi spora pada tiga varietas tanaman tebu

Penciri	Genus Spora			
	<i>Glomus</i> sp.	<i>Acaulospora</i> sp.	<i>Gigaspora</i> sp.	<i>Scutellospora</i> sp.
Bentuk	Bulat, lonjong	Lonjong	Bulat	Bulat
Warna	Kuning-jingga	Kuning	Kuning	Kuning
Ukuran	>52 – <143 μm	>114 – <144 μm	>165 – < 190 μm	>158 – <189 μm
Lapisan Perkecambahan	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Ada
Subtending Hifa	Ada	Tidak ada	Ada	Ada
Sporokarp	Ada	Tidak	Tidak	Tidak
Pewarnaan Melzer's	Negatif	Positif	Positif	Positif

Acaulospora yang ditemukan pada tiga varietas memiliki bentuk lonjong, berwarna kuning dan memiliki ukuran yang berkisar antara >114 – <144 μm . Spora jenis ini bereaksi dengan pewarna Melzer's sehingga menyebabkan perubahan dinding menjadi warna merah (Gambar 1D). Lapisan dinding ini hanya dapat dilihat apabila spora ditekan kemudian diamati di bawah mikroskop. *Acaulospora* termasuk dalam famili *Acaulosporaceae* yang memiliki dua lapisan dinding yang terbentuk dari leher kantong spora. Ciri khas spora ini tidak memiliki subtending hifa, meskipun terkadang terlihat leher *saccule* yang terbawa pada dinding spora (INVAM, 2025).

Gigaspora sp. relatif lebih besar di antara genus lainnya sehingga paling banyak ditemukan pada saringan ukuran 0.90 μm . Spora hasil identifikasi morfologi memiliki ukuran antara 165 – < 190 μm (Tabel 3). Genus ini sering ditemukan pada rentang 125 - 600 μm (Morton JB, 2010; Rini *et al.*, 2021), berbentuk bulat, memiliki 3 lapisan dinding spora dengan lapisan kedua merupakan area munculnya *bulbous suspensor*. Area *bulbous suspensor* tanpa *germination shield* yang menjadi penciri utama genus ini ditunjukkan pada Gambar 1F. Struktur yang teramati berbentuk bulat yang muncul dari ujung hifa dan menempel pada spora. *Bulbous suspensor* merupakan tahap awal spora terbentuk dan berkembang hingga mencapai ukuran maksimal sebelum akhirnya terlepas. Genus *Gigaspora* menimbulkan reaksi pada pewarnaan Melzer's yang merubah lapisan luar berwarna gelap. Pada tanah yang berpasir seperti tanah vulkanik genus ini ditemukan dalam jumlah tinggi karena ukuran pori yang besar sehingga diduga sesuai untuk perkembangan spora (Nurtjahyani *et al.*, 2018).

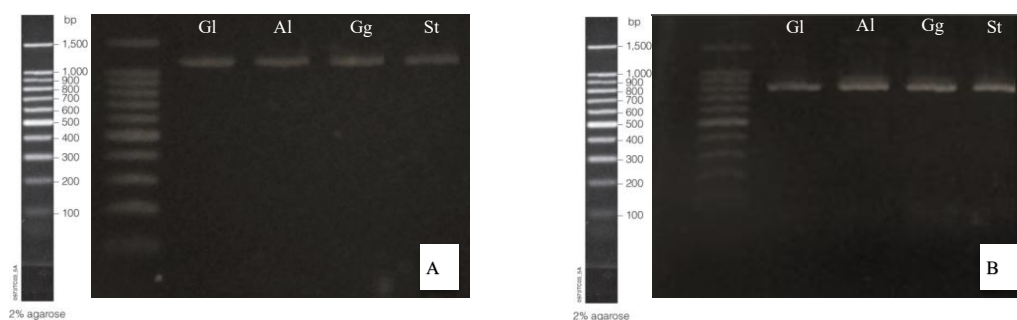


Gambar 1. Morfologi spora JMA pada tanaman tebu (A) *Glomus* sp. dengan PVLG (B) *Glomus* sp. dengan reagen Melzer's (C) *Acaulospora* sp. dengan reagen Melzer's (D) Perubahan warna *Acaulospora* sp. setelah diberi pewarna Melzer's (E) *Gigaspora* sp. dengan PVLG (F) Perubahan warna *Gigaspora* sp. setelah diberi pewarna Melzer's (G) *Scutellospora* sp. dengan reagen Melzer's (H) Perubahan warna *Scutellospora* sp. dengan pewarna Melzer's.

Scutellospora memiliki warna dari kuning pucat hingga kuning gelap, berbentuk bulat hingga lonjong dengan ukuran 158-189 μm . Spora jenis ini memiliki dinding dalam yang dapat bereaksi dengan pewarna Melzer's sehingga terjadi perubahan warna merah hingga ungu (Gambar 1H). Spora ini terdiri dari dua lapisan dinding sel yaitu lapisan pertama dan lapisan kedua. Lapisan pertama merupakan lapisan kaku yang permanen, berwarna kuning pucat sedangkan lapisan kedua terdiri dari lapisan yang rapuh dengan ukuran 1,8-2,4 μm . *Scutellospora* memiliki *germinal shield* yang terletak pada dinding lapisan bagian dalam dan bertanggung jawab terhadap reaksi Melzer's (Souza, 2015).

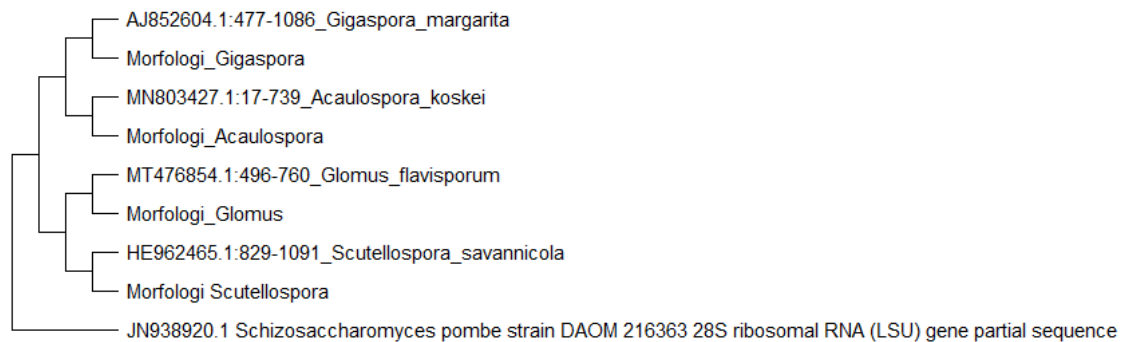
3.4. Identifikasi Molekuler

Identifikasi molekuler pada keempat isolat dengan metode nested PCR menunjukkan hasil amplifikasi pada panjang basa sekitar 1100bp (Gambar 2A) dan 800bp (Gambar 2B). Menurut Lee *et al.* (2008), AML1 dan AML2 memiliki area amplifikasi lebih pendek, sangat sensitif dan spesifik dalam mendeteksi sekuen DNA mikoriza. Nested PCR telah berhasil menganalisis spora JMA dari rizosfer tanaman teh (Arofathullah *et al.*, 2019), kelapa sawit dan jarak pagar (Rini *et al.*, 2021), mangga, jeruk, dan mentimun (Al-Hinai *et al.*, 2025) dan akasia merah (Lisek *et al.*, 2011).



Gambar 2. Hasil amplifikasi DNA spora JMA metode *nested* (A) menggunakan primer universal NS1-NS4 menghasilkan ukuran pada 1100bp; (B) menggunakan primer spesifik AML1-AML2 menghasilkan ukuran pada 800bp. Huruf Gl (*Glomus*); Al (*Acaulospora*); Gg (*Gigaspora*); St (*Scutellospora*).

Data amplifikasi isolat DNA dibandingkan dengan *Gen Bank* pada laman *National Center for Biotechnology Information* (NCBI) menggunakan *Basic Local Alignment Search Tools* (BLAST-n). Semua isolat JMA menunjukkan tingkat kemiripan mencapai 98% pada tingkat spesies. Tingkat kemiripan spesies dapat diterima jika urutan sekuens memiliki nilai identitas $\geq 97\%$ (Taylor *et al.*, 2016). Spora yang diidentifikasi secara morfologi berupa *Gigaspora* terkonfirmasi sebagai *Gigaspora margarita* dengan nilai kesamaan yang tinggi (98%), sedangkan *Acaulospora* diidentifikasi sebagai *Acaulospora koskei* dengan tingkat kemiripan sebesar 99,3%, spora



- Halimah L. S. 2019. Identifikasi dan Karakterisasi Mikoriza Pada Tegakan Nyatoh (*Palaquium* sp.) Identification and Characterization of Mycorrhizae on Nyatoh (*Palaquium* sp.) Stands. *Jurnal Perennial*, 15(1), 51–57. Retrived from <http://journal.unhas.ac.id/index.php/perennial>
- INVAM. 2025. Acaulosporaceae Gerd. & Trappe. The University of Kansas. Retrived from <https://invam.ku.edu/acaulosporaceae>
- Kang, Y. H., Jiang, S. T., Wang, Q., Nong, Y. J., Song, J., Li, D. P., Wen, Y. Y., Xu, J., Chen, T. S., Zhang, J. L., dan Li, Y. R. 2024. Response Of Soil Arbuscular Mycorrhizal Fungal Community To Chemical Fertilization In Sugarcane. *PeerJ*, 12(6), 1–20. <https://doi.org/10.7717/peerj.17610>
- Kartikawati, R., Hanudin, E., dan Purwanto, B. H. 2019. Physico-Chemical Properties of Volcanic Soils under Different Perennial Plants from Upland Area of Mt. Merapi, Indonesia. *Planta Tropika: Journal of Agro Science*, 7(1), 93–102. <https://doi.org/10.18196/pt.2019.098.93-102>
- Lee, J., Lee, S., dan Young, J. P. W. 2008. Improved PCR primers for the detection and identification of arbuscular mycorrhizal fungi. *FEMS Microbiology Ecology*, 65(2), 339–349. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2008.00531.x>
- Lisek, A., Paszt, L., dan Kulisiewicz, A. 2011. Wykrywanie obecności arbuskularnych grzybów mikoryzowych w korzeniach truskawki technika zagnieżdżonego PCR. *Vegetable Crops Research Bulletin*, 75(1), 91–103. <https://doi.org/10.2478/v10032-011-0021-7>
- Manaroinsong, E., dan Lolong, A. A. 2016. Identifikasi Cendawan Mikoriza arbuskular (CMA) pada Beberapa Tekstur. *Buletin Palma*, 16(2), 203. <https://doi.org/10.21082/bp.v16n2.2015.203-210>
- Mistry, J. T., Bijalwan, A. S., dan Thakkar, Y. R. 2023. Evaluating the Influence of Commercial Arbuscular Mycorrhizal Fungi (Greenical VAMTM) on Sugarcane Growth and Yield. *Indian Journal Of Science And Technology*, 16(44), 3971–3977. <https://doi.org/10.17485/ijst/v16i44.2499>
- Morton JB, M. Z. 2010. Phylogenies from genetic and morphological characters do not support a revision of Gigasporaceae (Glomeromycota) into four families and five genera. *Mycorrhiza*, 20(7). <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0303-9>
- Nurnasari, E., dan Djumali. 2019. Determination of Soil Moisture Duration before Harvesting that Influences the Sugarcane Content. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 24(2), 127–134. <https://doi.org/10.18343/jipi.24.2.127>
- Nurtjahyani, S. D., Oktafitria, D., Sriwulan, Ashuri, N. M., Cintamulya, I., dan Purnomo, E. 2018. Identifikasi dan Karakterisasi Keanekaragaman Mikoriza pada Lahan Reklamasi Bekas Penambangan Batu Kapur di Kabupaten Tuban. *Prosiding Seminar Nasional Hayati*, 6 (September), 293–299. <https://doi.org/10.29407/hayati.v6i1.632>
- Powell, J. R., dan Rillig, M. C. 2018. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi and ecosystem function. *New Phytologist*, 220(4), 1059–1075. <https://doi.org/10.1111/nph.15119>
- Prayoga, M. H., dan Prasetya, B. 2021. Eksplorasi Mikoriza Arbuskula Indigenous Pada Rhizosfer Vegetasi Lahan Pascatambang Batubara. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 8(2), 349–357. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2021.008.2.6>
- Riajaya, P., dan Kadarwati, F. 2016. The Suitability of Sugarcane Variety Ripe Types in Heavy Textured, Rainfed, and Smooth Drainage Land Typologies. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat Dan Minyak Industri*, 8(2), 85–97. Retrived from <http://ejurnal.litbang.pertanian.go.id/index.php/bultas/article/view/5265/5241>
- Rini, M. V., Yelli, F., Tambunan, D. L., dan Damayanti, I. 2021. Morphological and molecular identifications of three native arbuscular mycorrhizal fungi isolated from the rhizosphere of *elaeis guineensis* and *jatropha curcas* in Indonesia. *Biodiversitas*, 22(11), 4940–4947. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d221128>
- Rosas-Moreno, J., Walker, C., Duffy, K., Krüger, C., Krüger, M., Robinson, C. H., dan Pittman, J. K. 2023.

- Isolation and identification of arbuscular mycorrhizal fungi from an abandoned uranium mine and their role in soil-to-plant transfer of radionuclides and metals. *Science of the Total Environment*, 876 (January). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162781>
- Souza, T. 2015. *Handbook of arbuscular mycorrhizal fungi*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24850-9>
- Sukarman, S., Dariah, A., dan Suratman, S. 2020. Tanah Vulkanik di Lahan Kering Berlereng dan Potensinya untuk Pertanian di Indonesia / Volcanic Soils in Sloping Dry Land and Its Potential for Agriculture in Indonesia. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 39(1), 21. <https://doi.org/10.21082/jp3.v39n1.2020.p21-34>
- Sulaeman, Suparto, dan Eviati. 2005. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. *Balai Penelitian Tanah*. Bogor. Indonesia. Retrived from https://repository.pertanian.go.id/bitstream/handle/123456789/14959/juknis_kimia.pdf?sequence=1
- Taylor, D. L., Walters, W. A., Lennon, N. J., Boichichio, J., Krohn, A., Caporaso, J. G., dan Pennanen, T. 2016. Accurate estimation of fungal diversity and abundance through improved lineage-specific primers optimized for Illumina amplicon sequencing. *Applied and Environmental Microbiology*, 82(24), 7217–7226. <https://doi.org/10.1128/AEM.02576-16>
- Wardhika, C. M. 2016. Potensi Jamur Mikoriza Arbuskular Unggul Dalam Peningkatan Pertumbuhan Dan Kesehatan Bibit Tebu (*Saccharum officinarum* L.). *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 18(2), 84. <https://doi.org/10.22146/ipas.9088>
- Yakop, F., Taha, H., dan Shivanand, P. 2019. Isolation of fungi from various habitats and their possible bioremediation. *Current Science*, 116(5), 733–740. <https://doi.org/10.18520/cs/v116/i5/733-740>