

Effectiveness of Type M1 AMF Inoculum and Host Plant Species on the Growth of Sandalwood (*Santalum album* Linn.) Seedlings

Abdonia W. Finmeta*, Davik Eliaser Taneo, Nur Aini Bunyani, Eka Citra.G. Kerih

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Persatuan Guru 1945 NTT, Kupang, Indonesia;

Article History

Received : July 24th, 2026

Revised : July 31th, 2026

Accepted : August 03th, 2026

*Corresponding Author:

Abdonia Finmeta, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Persatuan Guru 1945 NTT, Kupang, Indonesia;
Email: afinmeta@gmail.com

Abstract: The successful establishment of sandalwood (*Santalum album* L.) in the degraded dry savanna of East Nusa Tenggara, Indonesia, remains limited because young seedlings often fail to adapt to marginal soil conditions and seasonal water scarcity. This study evaluated the effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) inoculum (type M1) and different host plant species on the growth of sandalwood seedlings during the nursery stage. The experiment employed a completely randomized split-plot design with two AMF treatments (without AMF and AMF type M1) and four host plant treatments (without host, chili, mung bean, and *Leucaena*). Growth performance was assessed based on plant height, stem diameter, and leaf number. The results showed that both AMF inoculation and host plant species significantly affected all measured growth parameters. The combination of AMF type M1 and mung bean as the host plant produced the highest growth, with plant height of 14.09 cm, stem diameter of 2.26 mm, and 19.20 leaves per seedling. These findings indicate that the symbiotic association between AMF and an appropriate host plant enhances nutrient and water uptake, thereby supporting seedling growth under nursery conditions. The study demonstrates that integrating AMF type M1 with mung bean as a host plant is a promising strategy to improve sandalwood seedling quality and may contribute to more successful establishment in dryland restoration and reforestation programs.

Keywords: Arbuscular Micorrhizal Fungi; Sandalwood; Host plants.

Pendahuluan

Cendana (*Santalum album* L.) merupakan salah satu spesies kehutanan bernilai ekonomi tinggi karena menghasilkan minyak atsiri khas yang kaya akan senyawa α -santalol dan β -santalol, yang menjadi komponen utama dalam industri parfum, kosmetik, aromaterapi, dan farmasi. Minyak cendana memiliki nilai komersial tinggi karena aroma yang khas, stabilitas kimia, serta aktivitas biologisnya sehingga menjadikannya salah satu komoditas hasil hutan bukan kayu (HHBK) yang penting secara global (Moyler, 1997; Jones, 2008; Rao *et al.*, 2018). Selain nilai ekonominya, cendana juga memiliki peran ekologis penting sebagai spesies pohon khas ekosistem tropis kering yang mendukung konservasi keanekaragaman hayati dan keberlanjutan lanskap hutan kering (Srinivasan *et al.*, 2020).

Namun, populasi cendana di Nusa Tenggara Timur (NTT), yang merupakan pusat

penyebaran alami cendana di Indonesia, mengalami penurunan akibat eksploitasi kayu dan minyak atsiri secara intensif, perubahan penggunaan lahan, kebakaran hutan, serta rendahnya regenerasi alami. Pengelolaan cendana pada masa lalu lebih menitikberatkan pada pemanfaatan ekonomi dibandingkan pendekatan konservasi berkelanjutan sehingga menyebabkan degradasi sumber daya genetik dan penurunan populasi alami (Seran *et al.*, 2018; Rahayu *et al.*, 2019). Meskipun berbagai program konservasi, rehabilitasi, dan pengembangan kebun cendana telah dilakukan, keberhasilan penanaman di lapangan masih menghadapi berbagai kendala, terutama akibat kondisi lahan kering marginal, keterbatasan air, rendahnya kualitas bibit, serta kebutuhan teknologi pembibitan yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan NTT (IUCN, 2024; Rimbawanto *et al.*, 2017; Seran *et al.*, 2018).

Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) merupakan salah satu agen hayati yang banyak

digunakan dalam peningkatan kualitas bibit tanaman kehutanan karena mampu membentuk hubungan simbiosis mutualistik dengan akar tanaman. Kolonisasi FMA dapat meningkatkan luas permukaan penyerapan akar melalui pembentukan hifa eksternal, meningkatkan efisiensi penyerapan fosfor (P), nitrogen (N), dan unsur mikro, serta meningkatkan kemampuan tanaman menghadapi cekaman abiotik seperti kekeringan dan tanah miskin hara (Smith & Read, 2008; Begum *et al.*, 2019). Selain meningkatkan nutrisi tanaman, FMA juga berperan dalam memperbaiki agregasi tanah melalui produksi glomalin, meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah, serta mempercepat proses restorasi ekosistem terdegradasi sehingga banyak diaplikasikan dalam rehabilitasi lahan dan konservasi tanaman hutan (Rillig & Mummey, 2006; Chandrasekaran, 2020; Wang *et al.*, 2023).

Berbeda dengan sebagian besar tanaman kehutanan, cendana merupakan tumbuhan hemiparasit akar obligat yang memerlukan keberadaan tanaman inang terutama pada fase awal pertumbuhan. Cendana membentuk struktur khusus berupa haustorium yang menghubungkan akar cendana dengan akar tanaman inang sehingga memungkinkan transfer air, mineral, dan sebagian karbon organik untuk mendukung pertumbuhan awal tanaman (Barrett & Fox, 1994; Shen *et al.*, 2012). Oleh karena itu, pemilihan jenis tanaman inang menjadi salah satu faktor penting dalam keberhasilan pembibitan cendana karena kompatibilitas inang dapat memengaruhi perkembangan akar, biomassa, dan kemampuan adaptasi bibit terhadap lingkungan (Radomiljac *et al.*, 1998; Srikantaprasad *et al.*, 2022).

Selain keberadaan tanaman inang, kolonisasi FMA pada akar cendana maupun tanaman inang berpotensi membentuk interaksi ekologis yang saling menguntungkan. FMA pada tanaman inang dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara dan air, sedangkan peningkatan status nutrisi tanaman inang dapat mendukung perkembangan haustorium dan pertumbuhan semai cendana. Kombinasi antara inokulasi FMA dan penggunaan tanaman inang yang sesuai diperkirakan mampu menghasilkan pertumbuhan bibit yang lebih optimal dibandingkan penggunaan salah satu teknologi secara terpisah (Smith & Read, 2008; George & Ray, 2023; Xie *et al.*, 2022).

Beberapa penelitian sebelumnya telah melaporkan bahwa inokulasi FMA mampu meningkatkan pertumbuhan berbagai jenis tanaman kehutanan, termasuk peningkatan biomassa, serapan hara, dan toleransi terhadap cekaman lingkungan (Begum *et al.*, 2019;

Chandrasekaran, 2020). Penelitian mengenai tanaman inang cendana juga menunjukkan bahwa jenis inang yang berbeda memberikan respons pertumbuhan yang berbeda karena adanya variasi kompatibilitas fisiologis antara cendana dan tanaman pendamping (Radomiljac *et al.*, 1998; Thius *et al.*, 2024). Namun, penelitian yang mengintegrasikan penggunaan inokulum FMA spesifik dengan beberapa jenis tanaman inang pada fase pembibitan cendana masih relatif terbatas. Oleh karena itu, evaluasi kombinasi FMA tipe M1 dengan berbagai tanaman inang menjadi penting untuk menghasilkan strategi pembibitan yang lebih efektif dalam mendukung keberhasilan konservasi dan rehabilitasi cendana pada ekosistem lahan kering.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini memiliki kebaruan berupa evaluasi efektivitas inokulum FMA tipe M1 yang dikombinasikan dengan beberapa jenis tanaman inang terhadap pertumbuhan semai cendana. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh inokulum FMA tipe M1 dan berbagai jenis tanaman inang terhadap pertumbuhan semai cendana sebagai dasar pengembangan teknologi pembibitan yang lebih efektif untuk mendukung konservasi, rehabilitasi lahan, dan pengembangan cendana di Nusa Tenggara Timur.

Bahan dan Metode

Tempat dan waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Greenhouse Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Persatuan Guru 1945 Nusa Tenggara Timur, selama tiga bulan, yaitu September–Desember 2025. Benih cendana (*Santalum album* L.) diperoleh dari tegakan alami di Desa Pana, Kecamatan Kolbano, Kabupaten Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur. Inokulum Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) yang digunakan adalah FMA tipe M1 hasil penangkaran (*trapping*) dan pemurnian sebagaimana dilaporkan oleh Finmeta *et al.* (2017). Karakteristik inokulum meliputi kepadatan spora, tingkat kolonisasi akar, dan metode identifikasi FMA.

Alat dan bahan

Peralatan yang digunakan meliputi baki persemaian, pot tray, polibag berukuran 20 × 15 cm, penggaris, jangka sorong (*digital caliper*), kamera, label tanaman, dan alat tulis. Bahan penelitian terdiri atas benih cendana, inokulum FMA tipe M1, media tanam berupa topsoil dan arang sekam dengan perbandingan 3:1 (v/v), serta benih tanaman inang berupa cabai (*Capsicum*

annuum L.), kacang hijau (*Vigna radiata* L.), dan lamtoro (*Leucaena leucocephala* Lam.).

Rancangan percobaan

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola petak terbagi (*split plot design*). Faktor utama (*main plot*) adalah pemberian inokulum FMA yang terdiri atas dua taraf:

- M0 = tanpa inokulasi FMA
- M1 = inokulasi FMA tipe M1

Anak petak (*subplot*) adalah jenis tanaman inang yang terdiri atas empat taraf:

- T0 = tanpa tanaman inang
- T1 = cabai (*Capsicum annuum* L.)
- T2 = kacang hijau (*Vigna radiata* L.)
- T3 = lamtoro (*Leucaena leucocephala* Lam.)

Dengan demikian terdapat 8 kombinasi perlakuan, yaitu:

Kode	Kombinasi perlakuan
M0T0	Tanpa FMA + tanpa tanaman inang
M0T1	Tanpa FMA + cabai
M0T2	Tanpa FMA + kacang hijau
M0T3	Tanpa FMA + lamtoro
M1T0	FMA M1 + tanpa tanaman inang
M1T1	FMA M1 + cabai
M1T2	FMA M1 + kacang hijau
M1T3	FMA M1 + lamtoro

Setiap kombinasi perlakuan diulang sebanyak 3 kali, sehingga diperoleh:

$$2 \times 4 \times 3 = 24 \text{ unit percobaan}$$

Setiap unit percobaan terdiri atas 1 bibit cendana, sehingga total tanaman yang diamati sebanyak 40 bibit cendana. Penempatan perlakuan dilakukan secara acak pada setiap ulangan untuk mengurangi pengaruh variasi lingkungan mikro di dalam *greenhouse*.

Prosedur penelitian

Benih cendana dipatahkan dormansinya dengan cara direndam dalam air bersuhu 50°C selama 12 jam, kemudian diangin-anginkan selama 6 jam. Perlakuan ini diulang selama tiga hari mengacu pada Finmeta *et al.*, (2018). Selanjutnya benih disemaikan hingga menghasilkan bibit yang memiliki dua helai daun. Media tanam berupa campuran topsoil dan arang sekam (3:1, v/v) dimasukkan ke dalam polibag berukuran 20 × 15 cm. Benih tanaman inang disterilisasi menggunakan larutan fungisida dan bakterisida masing-masing berkonsentrasi 0,2%

selama 60 menit, kemudian ditanam pada media yang telah dibasahi.

Inokulasi dilakukan pada perlakuan M1 dengan memberikan 5 g inokulum FMA tipe M1 (± 50 spora) pada daerah perakaran tanaman di dalam setiap polibag. Inokulum ditempatkan $\pm$ [isi] cm di bawah calon posisi akar bibit agar kontak antara akar dan inokulum berlangsung optimal. Bibit cendana yang telah memiliki dua helai daun kemudian dipindahkan ke polibag setelah tanaman inang berkecambah. Seluruh bibit dipelihara selama 12 minggu (± 3 bulan) hingga akhir pengamatan. Pemeliharaan tanaman meliputi penyiraman sekali sehari pada pagi hari, penyiangan gulma secara berkala, serta pemupukan. Kondisi lingkungan *greenhouse* selama penelitian meliputi suhu rata-rata 28–32°C, kelembapan relatif 70–80%, dan intensitas cahaya ± 15.000 – 25.000 lux.

Variabel Pengamatan

Parameter utama yang diamati meliputi tinggi tanaman (cm), diameter batang (mm), dan jumlah daun (helai). Apabila tersedia, parameter pendukung seperti panjang akar, biomassa tanaman, persentase kolonisasi akar oleh FMA, atau kandungan klorofil juga disajikan untuk menjelaskan mekanisme pengaruh FMA terhadap pertumbuhan bibit.

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) sesuai dengan Rancangan Acak Lengkap pola petak terbagi. Sebelum dilakukan ANOVA, data diuji terhadap asumsi normalitas dan homogenitas ragam menggunakan Shapiro–Wilk dan Levene. Apabila hasil ANOVA menunjukkan pengaruh nyata pada taraf 5%, dilanjutkan dengan uji perbandingan rerata menggunakan Duncan's Multiple Range Test (DMRT) taraf 5%. Seluruh analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS.

Hasil dan Pembahasan

Pertumbuhan Tanaman

Pertumbuhan bibit cendana (*Santalum album* L.) merupakan hasil interaksi berbagai proses fisiologis yang dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara, air, aktivitas fotosintesis, serta kemampuan tanaman dalam beradaptasi terhadap kondisi lingkungan. Pertumbuhan tanaman berkaitan erat dengan kemampuan sistem perakaran dalam memperoleh sumber daya dari tanah dan mengalokasikan hasil fotosintesis untuk pembentukan jaringan vegetatif. Pada penelitian

ini, interaksi antara inokulasi Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) tipe M1 dan jenis tanaman inang memberikan pengaruh nyata terhadap seluruh parameter pertumbuhan, yaitu tinggi tanaman, diameter batang, dan jumlah daun. Hasil tersebut menunjukkan bahwa respons pertumbuhan bibit cendana tidak hanya dipengaruhi oleh keberadaan FMA maupun tanaman inang secara terpisah, tetapi juga oleh interaksi keduanya dalam meningkatkan perkembangan sistem perakaran, status nutrisi tanaman, dan efisiensi penggunaan sumber daya lingkungan (Smith & Read, 2008; Begum *et al.*, 2019).

FMA membentuk hubungan simbiosis mutualistik dengan akar tanaman melalui kolonisasi jaringan korteks akar dan pembentukan jaringan hifa eksternal yang mampu memperluas wilayah eksplorasi akar di dalam tanah. Perluasan jaringan hifa tersebut memungkinkan tanaman memperoleh unsur hara yang memiliki mobilitas rendah, terutama fosfor (P), serta meningkatkan penyerapan nitrogen (N), seng (Zn), dan unsur mikro lainnya. Selain meningkatkan nutrisi tanaman, FMA juga berperan dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air melalui peningkatan konduktivitas hidraulik akar, regulasi stomata, dan perubahan respons fisiologis tanaman terhadap cekaman kekeringan (Smith & Read, 2008; Begum *et al.*, 2019; Chitarra *et al.*, 2020). Peningkatan status nutrisi akibat kolonisasi FMA selanjutnya mendukung pembentukan klorofil, aktivitas enzim fotosintesis, peningkatan laju fotosintesis, serta akumulasi biomassa tanaman, terutama pada kondisi tanah miskin hara dan lingkungan kering (Chandrasekaran, 2020; Zhang *et al.*, 2021).

Pada cendana (*Santalum album* L.), keberadaan tanaman inang merupakan faktor penting karena spesies ini termasuk tumbuhan hemiparasit akar yang membutuhkan tanaman pendamping terutama pada fase awal pertumbuhan. Melalui pembentukan haustorium, akar cendana membentuk hubungan struktural dengan akar tanaman inang sehingga memungkinkan transfer air, mineral, dan sebagian senyawa karbon yang mendukung perkembangan awal bibit (Barrett & Fox, 1994; Shen *et al.*, 2012). Keberhasilan hubungan parasitik tersebut sangat dipengaruhi oleh kompatibilitas jenis inang, kedekatan sistem perakaran, serta kemampuan tanaman inang menyediakan sumber daya yang diperlukan oleh cendana (Radomiljac *et al.*, 1998; Srikantaprasad *et al.*, 2022). Dengan demikian, kombinasi FMA dan tanaman inang dapat membentuk hubungan

fungsional yang saling mendukung, yaitu FMA meningkatkan kemampuan eksplorasi akar dan penyerapan unsur hara dari tanah, sedangkan tanaman inang menyediakan sumber daya tambahan melalui pembentukan haustorium. Mekanisme tersebut menjelaskan mengapa kombinasi perlakuan tertentu menghasilkan pertumbuhan bibit yang lebih baik dibandingkan perlakuan tunggal.

Hasil penelitian ini sejalan dengan berbagai penelitian yang melaporkan bahwa aplikasi FMA mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman kehutanan melalui peningkatan serapan hara, efisiensi penggunaan air, perkembangan biomassa akar, dan peningkatan kapasitas fotosintesis tanaman (Begum *et al.*, 2019; Chandrasekaran, 2020; Wang *et al.*, 2023). Tanaman hemiparasit seperti cendana, keberhasilan pembentukan hubungan dengan tanaman inang merupakan faktor utama yang menentukan keberhasilan pertumbuhan awal sebelum tanaman mampu berkembang secara lebih mandiri pada kondisi lapangan (Shen *et al.*, 2012; Srikantaprasad *et al.*, 2022). Oleh karena itu, kombinasi inokulasi FMA dan pemilihan tanaman inang yang tepat menjadi pendekatan penting dalam meningkatkan kualitas bibit cendana serta mendukung keberhasilan program rehabilitasi dan konservasi cendana pada ekosistem lahan kering.

Tinggi Tanaman

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi inokulum FMA tipe M1 dan tanaman inang kacang hijau (M1T2) menghasilkan pertumbuhan tinggi bibit cendana yang paling baik dibandingkan kombinasi perlakuan lainnya (Tabel 2). Respons tersebut menunjukkan adanya interaksi sinergis antara kolonisasi FMA dan keberadaan tanaman inang dalam mendukung pertumbuhan vegetatif cendana pada fase pembibitan.

Tabel 2. Rata-rata Tinggi Tanaman

Faktor FMA	Faktor Tanaman Inang			
	T0	T1	T2	T3
M0	9.525 a	11.390 b	13.250 d	11.635b
M1	12.3 c	13.050 d	14.090 d	13.360e

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji Duncan taraf 5%.

Peningkatan tinggi tanaman diduga berkaitan dengan kemampuan FMA memperluas daerah serapan akar melalui pembentukan hifa eksternal sehingga penyerapan unsur hara, terutama fosfor (P) dan nitrogen (N), menjadi lebih efisien. Fosfor berperan penting dalam

pembentukan ATP sebagai sumber energi untuk pembelahan dan pemanjangan sel, sedangkan nitrogen merupakan komponen utama penyusun protein, enzim, dan klorofil yang mendukung aktivitas fotosintesis. Selain meningkatkan penyerapan hara, FMA juga meningkatkan efisiensi penggunaan air melalui perbaikan konduktivitas hidraulik akar sehingga tanaman lebih mampu mempertahankan pertumbuhan pada kondisi media dengan ketersediaan air terbatas. Mekanisme tersebut sangat penting bagi cendana yang secara alami tumbuh pada kawasan tropis kering seperti Nusa Tenggara Timur (Chandrasekaran *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2023).

Keunggulan perlakuan M1T2 dibandingkan perlakuan lainnya diduga tidak hanya disebabkan oleh keberadaan FMA, tetapi juga oleh karakteristik biologis kacang hijau sebagai tanaman inang. Sebagai anggota famili Fabaceae, kacang hijau memiliki sistem perakaran yang berkembang cepat dan bersimbiosis dengan bakteri penambat nitrogen sehingga mampu meningkatkan ketersediaan nitrogen di daerah rizosfer. Kondisi tersebut menciptakan lingkungan yang lebih mendukung kolonisasi FMA sekaligus mempercepat pembentukan haustorium pada akar cendana. Haustorium merupakan organ penghubung antara akar cendana dan akar tanaman inang yang memungkinkan transfer air dan unsur hara berlangsung lebih efektif. Sinergi antara peningkatan serapan hara oleh FMA dan suplai sumber daya melalui haustorium diduga menjadi faktor utama yang mendorong pertumbuhan tinggi bibit cendana pada perlakuan M1T2.

Hasil penelitian ini sejalan dengan berbagai penelitian terbaru yang melaporkan bahwa inokulasi FMA mampu meningkatkan pertumbuhan tinggi bibit tanaman kehutanan melalui peningkatan kolonisasi akar, efisiensi serapan fosfor, serta peningkatan kapasitas fotosintesis (Chen *et al.*, 2022; Birhane *et al.*, 2023). Namun demikian, beberapa penelitian juga melaporkan bahwa respons tanaman terhadap FMA dapat berbeda bergantung pada kompatibilitas antara jenis FMA, spesies tanaman, kondisi media tanam, dan jenis tanaman inang yang digunakan. Oleh karena itu, efektivitas FMA lokal tipe M1 yang dikombinasikan dengan tanaman inang kacang hijau pada penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan jenis FMA dan tanaman inang yang kompatibel merupakan faktor penting dalam meningkatkan pertumbuhan awal bibit cendana.

Diameter Batang

Kombinasi inokulum FMA tipe M1 dan tanaman inang kacang hijau (M1T2) menghasilkan diameter batang bibit cendana tertinggi dibandingkan kombinasi perlakuan lainnya (Tabel 3). Peningkatan diameter batang menunjukkan bahwa sinergi antara FMA dan tanaman inang mampu mengoptimalkan pertumbuhan vegetatif melalui peningkatan akumulasi biomassa dan perkembangan jaringan vaskular pada fase pembibitan.

Pertumbuhan diameter batang sangat dipengaruhi oleh kecukupan unsur hara, terutama fosfor (P) dan nitrogen (N), yang berperan dalam pembentukan energi metabolik, sintesis protein, dan perkembangan jaringan kambium. Kolonisasi FMA meningkatkan luas daerah serapan akar melalui pembentukan hifa eksternal sehingga penyerapan unsur hara dan air menjadi lebih efisien. Ketersediaan hara yang lebih baik meningkatkan laju fotosintesis dan produksi fotosintat, yang selanjutnya dialokasikan untuk pembentukan dinding sel, diferensiasi jaringan xilem dan floem, serta penebalan batang. Oleh karena itu, peningkatan diameter batang pada perlakuan M1T2 mencerminkan bahwa bibit memperoleh suplai hara dan air yang lebih memadai untuk mendukung pertumbuhan sekunder selama fase awal perkembangan (Begum *et al.*, 2019; Chandrasekaran *et al.*, 2021).

Tabel 3. Rata-rata Diameter Batang

Faktor FMA	Faktor Tanaman Inang			
	T0	T1	T2	T3
M0	1.775 a	1.815 a	2.120 de	1.980 b
M1	2.0 bc	2.080 cd	2.260 f	2.180e

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji Duncan taraf5%

Tanaman cendana yang bersifat hemiparasit, keberadaan tanaman inang berperan penting dalam menyediakan air dan unsur hara melalui pembentukan haustorium. Kacang hijau diduga memberikan respons terbaik karena memiliki sistem perakaran yang berkembang cepat dan mampu menciptakan kondisi rizosfer yang lebih mendukung kolonisasi FMA. Sebagai anggota famili Fabaceae, kacang hijau juga bersimbiosis dengan bakteri penambat nitrogen sehingga meningkatkan ketersediaan nitrogen di sekitar perakaran. Sinergi antara peningkatan serapan hara oleh FMA dan transfer sumber daya melalui haustorium memungkinkan terbentuknya jaringan batang yang lebih berkembang dibandingkan perlakuan lainnya.

Hasil penelitian ini sejalan dengan laporan Chen *et al.*, (2022) dan Wang *et al.*, (2023), yang menunjukkan bahwa inokulasi FMA meningkatkan pertumbuhan diameter batang pada bibit tanaman kehutanan melalui peningkatan kolonisasi akar, efisiensi serapan fosfor, serta peningkatan aktivitas fotosintesis. Namun, beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa besarnya respons pertumbuhan dipengaruhi oleh kompatibilitas antara jenis FMA, spesies tanaman, kondisi media tanam, dan jenis tanaman inang yang digunakan. Oleh karena itu, hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa FMA lokal tipe M1 memiliki kompatibilitas yang baik dengan kacang hijau sebagai tanaman inang sehingga mampu mendukung pertumbuhan diameter batang bibit cendana secara lebih optimal.

Jumlah Daun

Kombinasi inokulum FMA tipe M1 dan tanaman inang kacang hijau (M1T2) menghasilkan jumlah daun tertinggi dibandingkan kombinasi perlakuan lainnya (Tabel 4). Peningkatan jumlah daun menunjukkan bahwa interaksi antara FMA dan tanaman inang mampu mendukung pertumbuhan vegetatif bibit cendana melalui peningkatan efisiensi penyerapan unsur hara dan air serta optimalisasi proses fisiologis tanaman.

Tabel 4. Rata-rata Jumlah Daun

Faktor FMA	Faktor Tanaman Inang			
	T0	T1	T2	T3
M0	14.600 a	15.400 b	16.400d	15.600bc
M1	16.1cd	16.200d	19.200e	16.600d

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji Duncan taraf 5%

Pembentukan daun sangat dipengaruhi oleh ketersediaan nitrogen (N) dan fosfor (P). Nitrogen merupakan unsur utama penyusun klorofil, protein, dan enzim yang berperan dalam pembentukan jaringan daun, sedangkan fosfor berfungsi dalam transfer energi, pembelahan sel, dan perkembangan jaringan meristem. Kolonisasi FMA pada sistem perakaran meningkatkan luas bidang serap akar melalui pembentukan hifa eksternal sehingga penyerapan kedua unsur tersebut menjadi lebih efisien. Selain itu, FMA juga meningkatkan efisiensi penggunaan air dan memperbaiki keseimbangan hormonal tanaman, seperti sitokinin dan auksin, yang berperan dalam merangsang pembentukan tunas dan daun baru. Kondisi tersebut meningkatkan kapasitas fotosintesis sehingga menghasilkan lebih banyak fotosintat untuk

mendukung pertumbuhan vegetatif bibit cendana (Begum *et al.*, 2019; Chandrasekaran *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2023).

Keunggulan perlakuan M1T2 diduga berkaitan dengan karakteristik kacang hijau sebagai tanaman inang yang memiliki sistem perakaran relatif halus dan berkembang cepat sehingga mempercepat pembentukan haustorium pada akar cendana. Sebagai tanaman legum, kacang hijau juga mampu meningkatkan ketersediaan nitrogen di daerah rizosfer melalui simbiosis dengan bakteri penambat nitrogen. Kondisi ini mendukung kolonisasi FMA yang lebih efektif dan meningkatkan transfer air serta unsur hara menuju bibit cendana. Sinergi tersebut menghasilkan aktivitas fotosintesis yang lebih tinggi sehingga pembentukan daun berlangsung lebih optimal dibandingkan pada perlakuan tanpa FMA atau dengan tanaman inang lainnya.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Chen *et al.*, (2022) dan Wang *et al.*, (2023), yang melaporkan bahwa inokulasi FMA meningkatkan jumlah daun pada berbagai bibit tanaman kehutanan melalui peningkatan kolonisasi akar, efisiensi serapan hara, dan laju fotosintesis. Namun demikian, beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa besarnya respons tanaman terhadap FMA dipengaruhi oleh tingkat kompatibilitas antara jenis FMA, spesies tanaman, dan tanaman inang yang digunakan. Oleh karena itu, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa FMA lokal tipe M1 yang dikombinasikan dengan tanaman inang kacang hijau merupakan kombinasi yang paling sesuai untuk mendukung pertumbuhan vegetatif bibit cendana pada fase pembibitan.

Secara keseluruhan, peningkatan tinggi tanaman, diameter batang, dan jumlah daun pada perlakuan M1T2 menunjukkan bahwa kombinasi FMA lokal tipe M1 dan tanaman inang kacang hijau mampu menciptakan hubungan simbiosis yang efektif dalam meningkatkan pertumbuhan awal bibit cendana. Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan FMA lokal yang kompatibel dengan tanaman inang berpotensi diterapkan sebagai strategi silvikultur pada tahap pembibitan untuk meningkatkan kualitas bibit, sehingga dapat mendukung keberhasilan penanaman, rehabilitasi lahan kering, dan konservasi cendana di Nusa Tenggara Timur. Penelitian lanjutan mengenai tingkat kolonisasi akar, pembentukan haustorium, dan performa bibit setelah ditanam di lapangan diperlukan untuk memperkuat pemahaman mengenai mekanisme sinergi antara FMA dan tanaman inang.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa aplikasi inokulum fungi mikoriza arbuskula (FMA) dan penggunaan tanaman inang berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan semai cendana (*Santalum album* L.). Inokulasi FMA mampu meningkatkan tinggi tanaman, diameter batang, dan jumlah daun dibandingkan perlakuan tanpa FMA. Selain itu, jenis tanaman inang juga memengaruhi pertumbuhan semai cendana, di mana tanaman inang kacang hijau memberikan respons pertumbuhan terbaik dibandingkan tanaman inang lainnya. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tanaman inang dengan sistem perakaran yang aktif mampu mendukung pembentukan asosiasi mikoriza sehingga meningkatkan ketersediaan dan penyerapan unsur hara bagi semai cendana.

Terdapat interaksi yang nyata antara inokulum FMA dan jenis tanaman inang terhadap pertumbuhan semai cendana. Kombinasi inokulum FMA dengan tanaman inang kacang hijau (M1T2) merupakan perlakuan paling efektif dalam meningkatkan seluruh parameter pertumbuhan, sedangkan perlakuan tanpa FMA dan tanpa tanaman inang (M0T0) menghasilkan pertumbuhan terendah. Hasil ini menegaskan bahwa keberhasilan pembibitan cendana dapat dioptimalkan melalui penerapan inokulum FMA yang dikombinasikan dengan tanaman inang yang kompatibel, khususnya kacang hijau, sebagai strategi untuk meningkatkan kualitas bibit di persemaian.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Persatuan Guru 1945 Nusa Tenggara Timur, khususnya Fakultas MIPA Program Studi Biologi, atas dukungan akademik selama pelaksanaan penelitian. Apresiasi yang setinggi-tingginya disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu proses pengumpulan data, identifikasi spesimen tumbuhan, serta penyusunan artikel ini. Penelitian ini tidak menerima pendanaan khusus dari lembaga pendanaan pemerintah, swasta, maupun organisasi nirlaba.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini.

Referensi

- Barrett, D. R., & Fox, J. E. D. (1994). Early growth and development of sandalwood (*Santalum spicatum*) in relation to host species. *Australian Journal of Botany*, 42(1), 83–93.
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1068.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Birhane, E., Bongers, F., Damtew, A., Tesfay, A., Norgrove, L., & Kuyper, T. W. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi improve nutrient status of *Commiphora myrrha* seedlings under drought. *Journal of Arid Environments*, 209, 104877.
- Chandrasekaran, M. (2020). A meta-analytical approach on the effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on plant growth and nutrient uptake. *Agriculture*, 10(9), 370.
<https://doi.org/10.3390/agriculture10090370>
- Chandrasekaran, M. (2024). The role of arbuscular mycorrhizal fungi in refining plant photosynthesis and water status under drought stress: a meta-analysis. *Plant, Soil & Environment*, 70(8).
- Chen, C. J., Wu, Y., & Wang, G. (2023). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improves plant biomass and nitrogen and phosphorus nutrients: a meta-analysis. *Available at SSRN 4498871*.
- Chitarra, W., Maserti, B., Gambino, G., Guerrieri, E., & Balestrini, R. (2020). The role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant responses to drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1130.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01130>
- Finmeta AW, Mansur I, Wulandari AS.2017. Pemanfaatan Fungi Mikoriza Arbuskula Lokal dan Tanaman Inang *Desmodium* spp. untuk meningkatkan Pertumbuhan Bibit Cendana (*Santalum album* Linn.).
- George, A., & Ray, J. (2023). Host dependency and nutrient acquisition mechanisms in sandalwood (*Santalum album* L.). *Trees, Forests and People*, 12, 100380.
- International Union for Conservation of Nature. (2024). *The IUCN Red List of Threatened*

- Species:* *Santalum album*.
<https://www.iucnredlist.org>
- IUCN. (2024). *Santalum album*. The IUCN Red List of Threatened Species.
- Jones, C. G. (2008). Sandalwood: The precious wood of the tropics. *Economic Botany*, 62, 1–12.
- Moyler, D. A. (1997). Sandalwood oil: A review. *Flavour and Fragrance Journal*, 12(4), 247–253.
- Peng, Z., Zulfikar, T., Yang, H., Wang, M., & Zhang, F. (2024). Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) on photosynthetic characteristics of cotton seedlings under saline-alkali stress. *Scientific Reports*, 14(1), 8633.
- Radomiljac, A. M., McComb, J. A., & Pate, J. S. (1998). The effect of container type and host species on the early growth of sandalwood (*Santalum album* L.) seedlings. *Forest Ecology and Management*, 113, 97–104.
- Radomiljac, A. M., McComb, J. A., & Pate, J. S. (1998). The effect of container type and host species on the early growth of sandalwood (*Santalum album* L.) seedlings. *Forest Ecology and Management*, 113, 97–104.
- Rahayu, S., Adinugraha, H. A., & Rimbawanto, A. (2019). Conservation and genetic improvement of sandalwood (*Santalum album*) in Indonesia. *Forest Science and Technology*, 15(3), 145–153.
- Rao, M. N., Paramesh, R., & Srinivasan, V. (2018). Chemistry and pharmacological importance of sandalwood oil. *Natural Product Communications*, 13(9), 1181–1188.
- Rillig, M. C., & Mummey, D. L. (2006). Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, 171(1), 41–53.
- Rimbawanto, A., Widyatmoko, A. Y. P. B. C., & Susanto, M. (2017). *Conservation and genetic improvement of sandalwood (Santalum album L.) in Indonesia*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 71, 012012.
- Seran, Y. N., Sudarto, Hakim, L., & Arisoelaningsih, E. (2018). Structural model of sandalwood (*Santalum album*) regeneration in the forest and community plantation on Timor Island, Indonesia. *International Journal of Tropical Drylands*, 2(2), 41–47.
- Shen, H., Hong, L., Chen, H., & Cui, Y. (2012). Endogenous hormone levels and anatomical characters of haustoria in *Santalum album* L. seedlings before and after attachment to the host. *Plant Biology*, 14(4), 638–645.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.
- Srikantaprasad, D., Gowda, A. M., Pushpa, T. N., Thimmegowda, M. N., Umesha, K., Ravikumar, R. L., & Prasanna, K. T. (2022). Identification of suitable host for sandalwood cultivation in Northern dry zone of Karnataka. *Industrial Crops and Products*, 182, 114874.
- Thius, A., Pellondo'u, M. E., & Sinaga, P. S. (2024). Pengaruh beberapa jenis inang terhadap pertumbuhan semai cendana (*Santalum album*) yang berasal dari dua sumber benih berbeda. *Wana Lestari*, 6(1), 1–10.
- Wang, W., Shi, J., Xie, Q., Jiang, Y., Yu, N., & Wang, E. (2023). Nutrient exchange and regulation in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Molecular Plant*, 16(2), 255–270.
- Zhang, S., Wang, L., Ma, F., & Zhang, X. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi improve plant growth and drought tolerance through physiological regulation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 164, 1–9.