

EFEKTIVITAS *SEED COATING* FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA TERHADAP PERKECAMBAHAN DAN KOLONISASI AKAR BIBIT SENGON PADA CEKAMAN KEKERINGAN

Effectiveness of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Seed Coating on the Sengon Seed Germination under Drought Stress

Mursalina Nur Buana¹, Sri Wilarso Budi^{1*}

(Diterima 18 Juli 2025 / Disetujui 6 November 2025)

ABSTRACT

Global warming has caused drought, which is a limiting factor for tree growth. The effect of drought stress can be suppressed by utilizing Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) which can be applied through seed coating. The study aimed to determine the germination response of sengon seeds to drought stress and analyze the effectiveness of AMF inoculation through seed coating on sengon seeds and seedlings under drought stress conditions. The research was conducted with a two-factor completely randomized design, namely drought stress and AMF inoculation. The results showed that drought stress reduced the germination of sengon seeds. Application of AMF seed coating can increase seed tolerance to drought stress but has no real effect at the 5% level. Inoculation of AMF through seed coating showed higher growth rate and root colonization than inoculation in the planting media, indicating that seed coating has a higher effectiveness in the mechanism of tolerance of sengon seedlings to drought stress.

Keywords: drought tolerance, imbibition, polyethylene glycol, root colonization, seed viability

ABSTRAK

Pemanasan global menyebabkan terjadinya bencana kekeringan yang menjadi faktor pembatas pertumbuhan pohon. Efek cekaman kekeringan mampu ditekan dengan memanfaatkan Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) yang dapat diaplikasikan melalui *seed coating*. Penelitian bertujuan mengetahui respons perkecambahan benih sengon pada cekaman kekeringan serta menganalisis efektivitas inokulasi FMA melalui *seed coating* pada benih dan bibit sengon dalam kondisi cekaman kekeringan.. Penelitian dilakukan dengan rancangan acak lengkap dua faktor yaitu cekaman kekeringan dan inokulasi FMA melalui *seed coating*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa cekaman kekeringan menurunkan daya kecambah benih sengon. Aplikasi *seed coating* FMA dapat meningkatkan toleransi benih terhadap cekaman kekeringan tetapi tidak memiliki pengaruh nyata pada taraf 5%. Inokulasi FMA melalui *seed coating* menunjukkan tingkat pertumbuhan dan kolonisasi akar yang lebih tinggi daripada inokulasi pada media tanam yang mengindikasikan bahwa *seed coating* memiliki efektivitas yang lebih tinggi dalam mekanisme toleransi bibit sengon terhadap cekaman kekeringan.

Kata kunci: imbibisi, kolonisasi akar, *polyethylene glycol*, toleransi kekeringan, viabilitas benih

¹ Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University

* Penulis korespondensi:

e-mail: swilarso@apps.ipb.ac.id

PENDAHULUAN

Pemanasan global menjadi isu global yang mengkhawatirkan karena dampaknya dirasakan oleh seluruh penduduk dunia termasuk Indonesia. Pemanasan global merupakan bagian dari efek rumah kaca yang menyebabkan peningkatan suhu atmosfer dan perubahan iklim. Peningkatan suhu udara dapat meningkatkan laju evapotranspirasi sehingga mengurangi cadangan air di dalam tanah. Kondisi tersebut diperparah dengan fenomena kemarau panjang dan penurunan curah hujan sehingga bencana kekeringan terjadi di berbagai belahan dunia (Sayoga dan Artiningsih 2023). Salah satu upaya mitigasi perubahan iklim yaitu dengan penanaman jenis pohon cepat tumbuh seperti sengon (*Falcataria moluccana*). Penanaman jenis cepat tumbuh akan meningkatkan serapan karbon dan mengurangi dampak pemanasan global. Kondisi kekeringan dapat menjadi faktor pembatas dalam upaya tersebut. Air digunakan untuk proses pembelahan sel dan perkembangan organ tubuhnya. Defisit air menyebabkan penurunan perkecambahan benih, turgor sel tumbuhan, mengganggu proses fisiologis tanaman, dan dapat menyebabkan kematian tanaman. Perkecambahan benih tanaman memerlukan air untuk mengaktivasi enzim untuk memecah cadangan makanan pada endosperma sehingga dapat digunakan embrio untuk membentuk organ (Urry *et al.* 2020). Kondisi cekaman kekeringan yang terjadi pada fase perkecambahan dapat menyebabkan terganggunya pertumbuhan tanaman selanjutnya.

Efek cekaman kekeringan dapat ditekan dengan meningkatkan ketahanan benih terhadap cekaman kekeringan melalui aplikasi Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA). FMA memiliki peran penting dalam meningkatkan penyerapan air, unsur hara terutama fosfor dengan enzim fosfatase yang dapat mengkatalis proses hidrolisis fosfat kompleks menjadi fosfat larut yang dapat diserap akar tanaman. Distribusi hifa yang luas di dalam tanah memungkinkan tanaman mengambil lebih banyak air dari tanah (Sukmawaty dan Asriani 2015). Inokulasi FMA dapat dilakukan dengan menambahkan spora FMA pada media tanam atau menambahkan spora FMA pada pelapisan benih (*seed coating*).

Seed coating merupakan salah satu teknik yang dilakukan dengan menambahkan bahan pelapisan benih untuk tujuan tertentu. Tujuan penerapan *seed coating* di antaranya untuk mempermudah penanganan dan memperbaiki penampilan benih seperti berat dan ukuran benih serta menambahkan.

senyawa aktif yang dapat meningkatkan perkecambahan dan pertumbuhan tanaman. *Seed coating* telah banyak diterapkan pada benih

tanaman pertanian seperti jagung, padi, dan kedelai untuk meningkatkan tingkat perkecambahan dan ketahanan benih terhadap cekaman lingkungan (Zunita *et al.* 2024). Aplikasi *seed coating* yang diperkaya FMA berpotensi menjadi salah satu alternatif untuk meningkatkan perkecambahan benih sengon dalam kondisi kekeringan karena penerapannya yang mudah. Saat ini penerapan *seed coating* pada benih tanaman kehutanan belum banyak dilakukan sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai efektivitas *seed coating* pada benih tanaman kehutanan seperti sengon sebagai dasar pengembangan tanaman yang tahan terhadap cekaman kekeringan.

Penelitian bertujuan menganalisis respons perkecambahan benih sengon pada cekaman kekeringan serta menganalisis efektivitas inokulasi FMA melalui *seed coating* pada benih dan bibit sengon dalam kondisi cekaman kekeringan. Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai efektivitas aplikasi *seed coating* dengan FMA terhadap perkecambahan benih dan pertumbuhan awal bibit sengon pada cekaman kekeringan sebagai dasar pengembangan tanaman yang tahan pada kondisi cekaman kekeringan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Oktober 2024 hingga Maret 2025 di Rumah Kaca Silvikultur, Laboratorium Teknologi Mikoriza dan Kualitas Bibit, serta Laboratorium Entomologi Hutan, Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah *magnetic stirrer*, *beaker glass*, timbangan, wadah, plastik, autoklaf, bak kecambah plastik berukuran 35 cm x 25 cm x 5 cm, oven, mikroskop, kaca preparat, *coverglass*. Bahan yang digunakan adalah *Polyethylene Glycol* (PEG) 6000, *Polyvinyl Alcohol* (PVA), air distilasi, FMA genus *Glomus*, benih sengon, pasir, tanah, kompos, polybag, larutan KOH 20%, HCl 0,1 M, larutan destaining, gliserol, asam laktat, dan *trypan blue*.

Prosedur Penelitian

Rancangan Percobaan

Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah acak lengkap faktorial yang terdiri atas 2 faktor, yaitu: 1) perlakuan cekaman kekeringan dan 2) pemberian *seed coating*. Perlakuan cekaman

kekeringan terdiri atas 3 tingkat yaitu tanpa cekaman atau 0 MPa (D0), cekaman ringan atau -0,15 MPa (D1), dan cekaman sedang atau -0,30 MPa (D2). Pemberian *seed coating* terdiri atas 2 tingkat yaitu tanpa *seed coating* (C0) dan dengan *seed coating* (C1). Benih tanpa *seed coating* dibuat dua kali dari jumlah unit yang diperlukan dalam pengamatan parameter perkecambahan. Hal tersebut bertujuan menyiapkan bibit untuk pengamatan kolonisasi FMA pada akar setelah penyapihan, dengan perlakuan tanpa *seed coating* (C0) dibagi menjadi C0a (tanpa inokulasi FMA pada media tanam) dan C0b (dengan inokulasi FMA pada media tanam). Masing-masing perlakuan terdapat 4 ulangan yang terdiri atas 5 unit sehingga terdapat 180 unit. Perlakuan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Isolasi FMA

Isolasi spora FMA dilakukan dengan metode *wet sieving* dengan saringan bertingkat menggunakan saringan berukuran 500 μm , 124 μm , dan 63 μm (Gardemann dan Nicholson 1963). Kultur FMA diambil dari rumah kaca yang ditumbuhkan pada media zeolit menggunakan inang berupa *Pueraria javanica* dengan mengambil genus *Glomus*. Spora dari genus *Glomus* memiliki 50-162 μm sehingga inokulum FMA diambil dari saringan terkecil yaitu dua saringan terbawah dengan ukuran 124 μm dan 63 μm .

Pelapisan Benih

Bahan *seed coating* dibuat dengan melarutkan 5 gram PVA dalam 50 ml air menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 300 rpm dan suhu 80°C hingga homogen. Inokulum FMA dari hasil saringan 120 gram media zeolit digunakan untuk 60 benih. Pelapisan benih dilakukan dengan mencampurkan benih sengan yang telah dipatahkan dormansinya dengan bahan *coating* berupa larutan PVA dan inokulum FMA pada wadah tertutup hingga merata dan terbentuk lapisan tipis pada benih. Benih kemudian dikeringanginkan selama 24 jam hingga lapisan *coating* mengering (Marwanto *et al.* 2020).

Persiapan Media Kecambah dan Perlakuan Cekaman Kekeringan

Media kecambah pasir dilakukan sterilisasi dengan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit (Yuwati *et al.* 2021). Pasir digunakan sebagai media kecambah karena memiliki porositas yang tinggi dan aerasi yang baik sehingga mendukung pertumbuhan akar pada perkecambahan benih (Sarwar *et al.* 2024). Cekaman kekeringan dilakukan dengan menambahkan PEG 6000 0, 100, dan 150 g/l pada media tanam yang berturut-turut

memberikan efek tanpa cekaman (0 MPa), cekaman ringan (-0,15 MPa), dan cekaman sedang (-0,30 MPa) (Alvarez-Iglesias *et al.* 2017). Media pasir dicek setiap hari selama periode pengamatan. Penyiraman dilakukan menggunakan air atau larutan PEG 6000 sesuai dengan perlakuan dengan volume 184 ml per bak kecambah untuk mencapai kapasitas lapang.

Penyemaian Benih

Benih sengan disemaikan pada bak kecambah dengan media kecambah berupa pasir steril. Setiap perlakuan yang berbeda ditempatkan pada bak kecambah yang berbeda sehingga terdapat 6 bak yang diamati dan pada setiap bak kecambah terdapat 20 benih.

Pemeliharaan, Pengamatan, dan Pengambilan Data Perkecambahan

Penyiraman dilakukan pada pagi dan sore hari dengan air atau larutan PEG sesuai perlakuan. Pengamatan selama 1 bulan untuk mengamati data kecambah. Analisis kuantitatif dilakukan untuk mengetahui persentase kecambah (GP), pucak perkecambahan (PV), rata-rata perkecambahan harian (MDG), nilai kecambah (GV), dan rata-rata hari berkecambah (MGT) (Czabator 1962; Ellis dan Roberts 1980; ISTA 2018) dengan persamaan sebagai berikut:

$$GP = \frac{\text{Jumlah benih berkecambah}}{\text{Jumlah benih yang ditanam}} \times 100\%$$

$$PV = \frac{\% \text{kecambah pada hari ke-} i}{\text{Jumlah hari untuk mencapainya}}$$

$$MDG = \frac{\% \text{kecambah di akhir pengamatan}}{\text{Lama pengamatan}}$$

$$GV = PV \times MDG$$

$$MGT = \frac{(n_1 \times h_1) + (n_2 \times h_2) + \dots + (n_i \times h_i)}{n_1 + n_2 + \dots + n_i}$$

Keterangan :

n_i = jumlah benih berkecambah pada satuan waktu tertentu

h_i = jumlah waktu untuk berkecambah

Penyapihan Bibit

Bibit sengan usia 4 minggu dipindahkan ke media tanam steril berupa tanah dan kompos dengan perbandingan 3:1. Media tanam disiapkan dalam 135 *polybag* dan 45 di antaranya dilakukan inokulasi FMA pada media tanam dengan mengaplikasikan sebanyak 20 gram inokulan berupa campuran media pembawa dan spora FMA pada setiap bibit.

Tabel 1 Perlakuan cekaman kekeringan, *seed coating*, dan inokulasi FMA

Parameter perkecambahan ^{a)}			Parameter kolonisasi FMA ^{b)}			
Tingkat cekaman	Seed coating		Tingkat cekaman	Metode inokulasi FMA		
	C0	C1		C0a	C0b	C1
D0	D0C0	D0C1	D0	D0C0a	D0C0b	D0C1
D1	D1C0	D1C1	D1	D1C0a	D1C0b	D1C1
D2	D2C0	D2C1	D2	D2C0a	D2C0b	D2C1

^{a)} D0 = tanpa cekaman (0 MPa), D1 = cekaman ringan (-0,15 MPa), D2 = cekaman sedang (-0,30 MPa) C0 = tanpa *seed coating*, C1 = dengan *seed coating*.

^{b)} D0 = tanpa cekaman (100% kapasitas lapang), D1 = cekaman ringan (75% kapasitas lapang), D2 = cekaman sedang (50% kapasitas lapang), C0a = tanpa *seed coating* dan tanpa inokulasi FMA; C0b = tanpa *seed coating* dengan inokulasi FMA pada media tanam; C1 = dengan *seed coating*.

Penentuan Kapasitas Lapang dan Perlakuan Cekaman Kekeringan

Pengukuran kapasitas lapang dilakukan dengan metode gravimetri dari FAO (2023) yang diawali dengan menyiram media tanam hingga menetes dan dikering-anginkan selama 3 hari lalu ditimbang dan dicatat sebagai data berat basah. Media tanam dikeringkan dengan oven pada suhu 105 °C selama 24 jam. Media tanam lalu ditimbang dan dicatat sebagai data berat kering. Kapasitas lapang (KL) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$KL (\%) = \frac{\text{Berat basah} - \text{Berat kering}}{\text{Berat kering}} \times 100\%$$

Cekaman kekeringan diberikan 4 minggu setelah bibit disapih dengan menakar volume air penyiraman pada setiap tingkat cekaman yang berbeda. Setiap unit percobaan ditimbang setiap hari untuk mengetahui berat aktual media, kemudian jumlah air yang diberikan disesuaikan dengan selisih antara berat aktual dan berat target sesuai tingkat cekaman yang diinginkan. Perlakuan tanpa cekaman dengan penyiraman pada 100% kapasitas lapang, cekaman ringan dengan 75% kapasitas lapang, dan cekaman sedang dengan 50% kapasitas lapang.

Pengambilan Data Kolonisasi Akar

Pengukuran kolonisasi akar dilakukan berdasarkan metode pewarnaan akar oleh Phillips dan Hayman (1970) pada sampel akar bibit sengon berusia 12 minggu. Tingkat kolonisasi akar dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Kolonisasi} = \frac{\text{Jumlah akar yang terinfeksi}}{\text{Jumlah akar yang diamati}} \times 100\%$$

Analisis Data

Data pengamatan dilakukan analisis secara statistik menggunakan *software* R versi 4.4.3 dengan paket ARTool (Kay *et al.* 2025) untuk uji *Aligned Rank Transform Analysis of Variance* (ART ANOVA) yang menguji pengaruh dua perlakuan terhadap masing-masing parameter pengamatan. Uji ART ANOVA digunakan karena

data tidak memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas varians. Metode ini memungkinkan analisis interaksi dua arah secara nonparametrik dengan prinsip transformasi dan ranking data sebelum dilakukan uji ANOVA (Higgins *et al.* 1990). Hasil ART ANOVA ditampilkan dalam bentuk nilai *f* dan *p-value* untuk setiap faktor utama dan interaksinya. Nilai *p-value* yang kurang dari 0,05 menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh nyata terhadap parameter yang diamati. Perlakuan yang menunjukkan adanya pengaruh signifikan dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan paket *emmeans* (Lenth 2025) untuk uji *pairwise comparisons* berbasis *estimated marginal means* dengan metode koreksi Tukey.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perkecambahan Benih Sengon

Pengamatan parameter perkecambahan benih dilakukan untuk mengevaluasi kualitas lot benih serta mengetahui respons fisiologis benih terhadap perlakuan cekaman kekeringan dan *seed coating*. Persen kecambah (GP) merupakan persentase benih yang berhasil berkecambah dari seluruh benih yang disemaikan. Kombinasi perlakuan dengan nilai GP tertinggi yaitu benih tanpa perlakuan cekaman kekeringan dan diberikan *seed coating* yaitu sebesar 95%. Perlakuan cekaman kekeringan pada tingkat rendah dan sedang tanpa pemberian *seed coating* menyebabkan penurunan daya kecambah benih dibandingkan dengan kontrol hingga memiliki nilai GP di bawah standar daya kecambah benih sengon (Tabel 2).

Benih sengon memiliki standar persen kecambah benih sebesar $\geq 80\%$ berdasarkan Keputusan DPTH (2015). Kombinasi perlakuan dengan nilai persen kecambah paling rendah yaitu cekaman kekeringan tingkat ringan tanpa *seed coating* dan cekaman kekeringan tingkat sedang tanpa *seed coating* (75%). Hal tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan cekaman kekeringan cenderung menurunkan daya kecambah benih sengon.

Tabel 2 Data perkecambahan benih sengon dengan berbagai perlakuan

Inokulasi FMA	Cekaman kekeringan		
	Kontrol	Rendah	Sedang
Persen kecambah/GP (%)			
Kontrol	90,000	75,000	75,000
<i>Seed coating</i>	95,000	90,000	85,000
Puncak perkecambahan/PV			
Kontrol	0,183	0,150	0,200
<i>Seed coating</i>	0,133	0,167	0,217
Rata-rata perkecambahan harian/MDG			
Kontrol	0,032	0,027	0,027
<i>Seed coating</i>	0,034	0,032	0,030
Nilai kecambah/GV			
Kontrol	0,006	0,004	0,005
<i>Seed coating</i>	0,005	0,005	0,007
Rata-rata waktu berkecambah/MGT (hari)			
Kontrol	2,667	3,267	2,800
<i>Seed coating</i>	2,474	2,556	2,765

Perlakuan cekaman kekeringan diberikan dengan menambahkan larutan PEG yang menurunkan potensial air melalui sifat hidrofiliknya sehingga dapat mengikat molekul air (Budiyantri *et al.* 2024). Kondisi tersebut menyebabkan berkurangnya ketersediaan air yang dapat diserap oleh benih meskipun dilakukan penyiraman secara rutin sehingga menghambat proses imbibisi benih. Imbibisi merupakan tahap awal dalam perkecambahan yaitu penyerapan air ke dalam jaringan benih sehingga memicu perubahan biokimia dalam benih untuk menginisiasi perkecambahan (Silalahi 2017). Proses imbibisi yang terhambat dapat menyebabkan terhambatnya perkecambahan benih secara keseluruhan.

Parameter lain yang penting dalam mengevaluasi kemampuan berkecambah benih adalah puncak perkecambahan (PV). Nilai PV merujuk pada titik pertambahan jumlah benih berkecambah tertinggi harian selama periode pengamatan (Mente *et al.* 2020). Nilai PV tertinggi diperoleh perlakuan cekaman sedang dengan *seed coating* (0,217), sedangkan perlakuan tanpa cekaman dengan *seed coating* memiliki nilai terendah (0,133) (Tabel 2). Hasil ini mengindikasikan pemberian *seed coating* justru menurunkan keseragaman waktu perkecambahan benih pada benih tanpa cekaman kekeringan dibandingkan dengan benih tanpa pemberian *seed coating*. Hal tersebut diduga karena pelapisan benih justru menghalangi masuknya air ke dalam jaringan benih sehingga proses perkecambahan benih mengalami penghambatan dan cenderung tidak terjadi secara bersamaan. Sementara itu, nilai rata-rata perkecambahan benih harian (MDG) tertinggi diperoleh pada perlakuan tanpa cekaman dengan *seed coating* FMA (0,034) serta nilai terendah

diperoleh perlakuan cekaman ringan tanpa *seed coating* dan cekaman sedang tanpa *seed coating* dengan nilai masing-masing 0,027 (Tabel 2). Nilai kecambah (GV) pada cekaman sedang dan *seed coating* memiliki nilai tertinggi (0,007), sedangkan perlakuan cekaman ringan tanpa *seed coating* memiliki nilai terendah (0,004) (Tabel 2). GV menunjukkan keseragaman waktu benih dalam berkecambah yang merepresentasikan tingkat vigor suatu lot benih (Wulandari *et al.* 2015). Perlakuan cekaman sedang dengan *seed coating* memiliki GV tertinggi diduga akibat pengaruh cekaman kekeringan sedang serta *seed coating* yang memberikan respon adaptif benih terhadap cekaman sehingga benih cenderung berkecambah pada waktu yang bersamaan (Zheng *et al.* 2015).

Kemampuan benih berkecambah juga dapat dilihat dari parameter rata-rata hari berkecambah (MGT). Nilai MGT untuk seluruh perlakuan memiliki nilai yang hampir sama yaitu berkisar 2 hingga 3 hari. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa benih sengon cenderung memiliki laju kecambah yang cepat dan stabil dan tidak terlalu dipengaruhi oleh faktor eksternal. MGT paling lama dimiliki oleh perlakuan cekaman ringan tanpa *seed coating* (3,267 hari), sedangkan MGT paling cepat dimiliki oleh perlakuan tanpa cekaman dengan *seed coating* (2,474 hari) (Tabel 2). Perlakuan cekaman ringan tanpa pemberian *seed coating* FMA menyebabkan benih cenderung lebih lama berkecambah. Hal tersebut diduga akibat kondisi cekaman ringan yang belum mampu menginduksi respon adaptif benih terhadap cekaman. Perlakuan cekaman menggunakan PEG dapat memengaruhi proses imbibisi benih dengan menurunkan potensial osmotik larutan sehingga ketersediaan air untuk diserap benih berkurang dan menyebabkan penyerapan air menjadi lebih lambat (Budiyantri *et*

al. 2024). Hasil yang berbeda ditemukan pada perlakuan cekaman sedang dengan MGT cenderung lebih cepat untuk perlakuan tanpa pemberian *seed coating*. Hal tersebut menunjukkan adanya mekanisme *stress-induced germination* yang menyebabkan benih lebih cepat berkecambah sebagai bentuk adaptasi terhadap cekaman lingkungan (Liu *et al.* 2022). Sementara itu, benih dengan *seed coating* cenderung memiliki MGT yang semakin lama seiring peningkatan cekaman kekeringan yang diberikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa *seed coating* mampu melindungi benih dari pengaruh eksternal yang dapat menghambat perkecambahan benih (Matlok *et al.* 2022).

Setiap parameter perkecambahan yang diamati kemudian dilakukan analisis statistik dengan uji ART ANOVA untuk mengetahui pengaruh dari perlakuan tingkat cekaman kekeringan, aplikasi *seed coating*, serta interaksi antara keduanya terhadap seluruh parameter perkecambahan benih (Tabel 3).

Hasil analisis menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh nyata antara perlakuan cekaman, *seed coating* dan interaksi antara keduanya terhadap seluruh parameter pada taraf 5%. Namun, perlakuan cekaman kekeringan berpengaruh nyata pada taraf 10% terhadap parameter daya kecambah dan rata-rata perkecambahan harian. Tingkat cekaman kekeringan yang lebih tinggi cenderung menurunkan daya kecambah benih berkaitan dengan penurunan tekanan osmotik sehingga proses imbibisi benih terganggu dan perkecambahan benih terhambat (Taiz dan Zeiger 2010). Perlakuan *seed coating* juga berpengaruh nyata pada taraf 10% terhadap parameter daya kecambah dan nilai kecambah. *Seed coating* FMA dapat meningkatkan toleransi benih terhadap cekaman kekeringan dengan menjaga viabilitas benih dalam waktu yang lebih lama dan meningkatkan efisiensi serapan air. FMA memiliki struktur hifa yang dapat meningkatkan luas permukaan bidang penyerapan air yang mampu menekan efek cekaman

kekeringan. Namun, FMA bersifat parasit obligat yang hanya mampu berkembang di sel akar tanaman inang meskipun dapat bertahan hidup di luar sel inang selama waktu tertentu (Sieverding *et al.* 1991). Hal tersebut diduga menyebabkan interaksi antara cekaman kekeringan dan *seed coating* tidak berpengaruh nyata terhadap parameter perkecambahan.

Kolonisasi Akar Bibit Sengon

FMA merupakan salah satu jenis mikoriza dengan sifat kosmopolit yang dapat menginfeksi dan membentuk kolonisasi akar pada berbagai jenis tanaman. Kolonisasi akar oleh FMA dapat menunjukkan efektivitas mikoriza dalam menginfeksi akar tanaman (Hazra *et al.* 2023). Kolonisasi akar ditandai dengan ditemukannya struktur FMA pada akar seperti spora, hifa, atau vesikula. Hasil pengamatan sampel akar di bawah mikroskop menunjukkan keberadaan struktur FMA pada beberapa sampel yang diamati. Struktur FMA yang paling banyak ditemukan pada sampel adalah struktur hifa yang mengindikasikan bahwa FMA berhasil menginfeksi jaringan akar dan membentuk asosiasi simbiosis. Hifa FMA memiliki struktur memanjang tidak bersekat dengan diameter yang sangat halus sekitar 2-5 μm . Spora juga cukup banyak ditemukan pada sampel akar yang menunjukkan bahwa siklus hidup FMA terjadi secara aktif dalam sistem perakaran tanaman inang. Spora *Glomus* berbentuk bulat dengan beberapa lapis dinding spora, terdapat dudukan hifa (*substending hyphae*) berbentuk silinder, dan memiliki diameter spora 50-162 μm . Sementara itu, beberapa sampel menunjukkan adanya struktur vesikula yang mengindikasikan bahwa FMA juga menyimpan karbon pada sistem perakaran tanaman. Vesikula FMA memiliki struktur berbentuk oval dengan diameter yang lebih kecil daripada spora (Sasmita 2024). Hasil pengamatan tingkat kolonisasi akar oleh FMA untuk setiap perlakuan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3 Rekapitulasi uji ART ANOVA pengaruh *seed coating* dan cekaman kekeringan terhadap perkecambahan benih sengon

Parameter	<i>p-value</i> ^{a)}		Interaksi D dan C
	Perlakuan D	Perlakuan C	
Persen kecambah (GP)	0,086*	0,072*	0,724 ^{tn}
Puncak perkecambahan (PV)	0,432 ^{tn}	0,131 ^{tn}	0,727 ^{tn}
Rata-rata perkecambahan harian (MDG)	0,054*	0,394 ^{tn}	0,983 ^{tn}
Nilai kecambah (GV)	0,530 ^{tn}	0,076*	0,738 ^{tn}
Rata-rata hari berkecambah (MGT)	0,499 ^{tn}	0,111 ^{tn}	0,624 ^{tn}

^{a)} D: cekaman kekeringan. C: *seed coating*. *: tidak berpengaruh nyata pada taraf 5%, berpengaruh nyata pada taraf 10%. ^{tn}: tidak berpengaruh nyata pada taraf 5% dan 10%.

Tabel 4 Pengaruh cekaman kekeringan dan metode inokulasi FMA terhadap kolonisasi akar sengon

Metode Inokulasi FMA	Tingkat kolonisasi akar (%)			Rata-rata ^{b)}
	Cekaman kekeringan			
	Kontrol	Rendah	Sedang	
Kontrol	16,00	14,00	14,00	14,67 ^c
Media tanam	88,00	86,00	84,00	86,00 ^b
<i>Seed coating</i>	98,00	94,00	92,00	94,67 ^a
Rata-rata ^{a)}	67,33 ^A	64,67 ^A	63,33 ^A	-

^{a)} Huruf kapital yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata antar perlakuan cekaman (uji Tukey, $\alpha=0,05$).

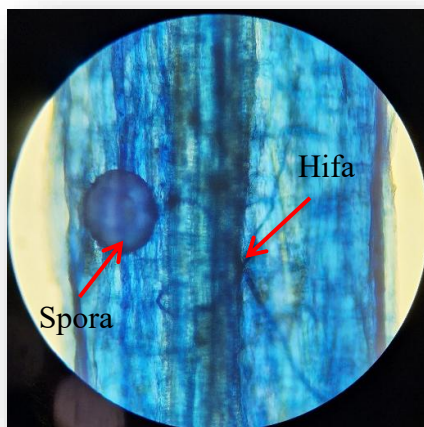
^{b)} Huruf kecil yang berbeda menunjukkan berbeda nyata antar perlakuan FMA (uji Tukey, $\alpha=0,05$).

Tingkat kolonisasi akar oleh FMA secara nyata dipengaruhi oleh metode inokulasi FMA tetapi tidak terdapat interaksi yang signifikan dengan perlakuan cekaman kekeringan. Sampel akar dari bibit yang tidak diberikan FMA memiliki tingkat kolonisasi yang sangat rendah yaitu berkisar pada nilai 14-16% (Tabel 4). Hal ini menunjukkan bahwa kolonisasi akar tidak dapat terjadi secara alami tanpa adanya inokulasi pada media tanam atau melalui *seed coating*. Adanya kolonisasi akar pada perlakuan tanpa inokulasi FMA menunjukkan bahwa diduga terdapat kontaminasi saat penanganan bibit di rumah kaca karena media telah melalui proses sterilisasi sebelum digunakan dan bibit diletakkan secara acak dalam satu area di rumah kaca. Kontaminasi silang diduga terjadi pada beberapa bibit sengon akibat terpapar spora FMA yang terbawa secara pasif bersama percikan air saat penyiraman atau residu pada alat yang digunakan selama periode pengamatan (Istiqomah 2017). Meski demikian, kolonisasi akar dalam tingkat yang rendah tidak berpengaruh terhadap pertumbuhan bibit sengon.

Perlakuan inokulasi FMA pada media tanam memiliki tingkat kolonisasi yang jauh lebih tinggi

daripada perlakuan tanpa inokulasi FMA. dengan nilai berkisar pada 84-88% (Tabel 4). Tingkat kolonisasi akar pada perlakuan *seed coating* FMA memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 92-98% (Tabel 4). Tingginya kolonisasi akar menunjukkan bahwa *seed coating* dapat secara efektif mendukung kolonisasi FMA dalam kondisi tanpa atau pun dengan cekaman kekeringan. Oliveira *et al.* (2016) menyatakan bahwa inokulasi FMA melalui *seed coating* memiliki efektivitas yang lebih tinggi untuk membentuk kolonisasi FMA. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan waktu inokulasi FMA antara dua perlakuan tersebut. *Seed coating* FMA telah diaplikasikan pada setiap benih sehingga FMA memiliki waktu 12 minggu untuk membentuk kolonisasi hingga akhir pengamatan. Sementara itu, inokulasi pada media tanam dilakukan setelah penyapihan bibit ketika bibit berusia 4 minggu sehingga FMA hanya memiliki waktu 8 minggu untuk membentuk kolonisasi pada akar. Werner dan Kiers (2015) menyatakan bahwa kolonisasi akar meningkat pada minggu ke empat setelah inokulasi dan mencapai kondisi optimal pada minggu sepuluh setelah inokulasi.

Hifa dan spora dalam akar yang terkononisasi mikoriza arbuskula tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Akar sengon yang terkolonisasi mikoriza arbuskula

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Cekaman kekeringan menyebabkan penurunan nilai persen kecambah, puncak perkecambahan, rata-rata perkecambahan harian, dan nilai kecambah. Perkecambahan benih sengan tidak dipengaruhi oleh interaksi antara perlakuan cekaman kekeringan dan pemberian *seed coating* FMA karena kolonisasi FMA baru terjadi pada akar yang telah berkembang. Inokulasi FMA melalui *seed coating* memiliki tingkat kolonisasi yang paling tinggi yaitu 92-98% tetapi tidak berbeda nyata dengan inokulasi FMA pada media tanam yang memiliki nilai kolonisasi 84-88%. *Seed coating* FMA memiliki efektivitas yang lebih tinggi dalam mempertahankan kondisi optimal untuk perkecambahan benih yang terbukti dengan nilai perkecambahan benih dan kolonisasi akar bibit yang lebih tinggi daripada perlakuan lainnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa *seed coating* FMA memiliki potensi sebagai strategi aplikatif untuk pengembangan tanaman yang tahan terhadap cekaman kekeringan terutama pada fase awal pertumbuhannya.

Saran

Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan mempertimbangkan parameter fisiologis seperti pertumbuhan, kadar prolin, dan kandungan klorofil untuk memperoleh data yang lebih komprehensif dalam memahami respons tanaman terhadap cekaman kekeringan serta efektivitas FMA dalam meningkatkan toleransi tanaman. Pengujian terhadap efektivitas teknologi *seed coating* FMA pada fase pertumbuhan lanjut di kondisi lapangan juga dapat dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas aplikasi *seed coating* FMA terhadap pertumbuhan pohon dalam skala lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez-Iglesias, de la Roza-Delgado B, Reigosa MJ, Revilla P, Pedrol N. 2017. A simple, fast and accurate screening method to estimate maize (*Zea mays* L.) tolerance to drought at early stages. *Maydica* 62(3):1-12.
- Budiyantri T, Indriyani NLP, Riska R, Kirana R, Suliansyah I, Hervani D. 2024. Cekaman *Polyethylene Glycol* 6000 (PEG 6000) terhadap perkecambahan 24 genotipe cabai lokal (*Capsicum annum* L.) dari Sumatera Barat. *Jurnal Sains Agro* 9(1):11-16.
- Czabator FJ. 1962. Germination value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science* 8(4):386-396.
- Ellis RH, Roberts EH. 1980. Towards a rational basis for testing seed quality. Di dalam: Hebblethwaite PD, editor. *Seed Production*. London: Butterworths. hlm 605-635.
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2023. Standard Operating Procedure for Soil Moisture Content by Gravimetric Method. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Gardemann JW, Nicholson TH. 1963. Spores of mycorrhizal Endogene species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46(1):235-244.
- Hazra F, Istiqomah FN, Saputra RN. 2023. Aplikasi pupuk hayati mikoriza dalam meningkatkan fase pertumbuhan vegetatif dan generatif kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.). *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 10(2):265-271.
- Higgins JJ, Blair RC, Tashtoush S. 1990. The aligned rank transform procedure. Di dalam: Milliken GA, Schwenke JR, editor. Conference on Applied Statistics in Agriculture; 1990 Apr 29-May 1; Manhattan, United States of America. Manhattan (KS): Kansas State University. hlm 185-195.
- [ISTA] International Seed Testing Association. 2018. International Rules for Seed Testing Edition 2018. Bassersdorf: International Seed Testing Association.
- Istiqomah FN. 2017. Peran fungi mikoriza arbuskula dan asam humat terhadap pertumbuhan balsa (*Ochroma bicolor* Rowlee.) pada tanah terkontaminasi timbal [tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Kay M, Elkin L, Higgins J, Wobbrock J. 2025. ARTool: Aligned Rank Transform for Nonparametric Factorial ANOVAs. R package version 0.11.2. <https://github.com/mjskay/ARTool>.
- [Keputusan DPTH] Keputusan Direktur Perbenihan Tanaman Hutan Nomor SK.36/PTH-3/2015 Tentang Standar Mutu Fisik-Fisiologis Benih dan Mutu Bibit Tanaman Hutan. 2015.
- Lenth R. 2025. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.11.0. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>.
- Liu X, Quan W, Bartels D. 2022. Stress memory responses and seed priming correlate with drought tolerance in plants: an overview. *Planta*. 255(45):1-14.
- Marwanto M, Bustaman H, Handajaningsih M, Supanjani S, Murcitra BG, Salamah U. 2020. Delivery of arbuscular mycorrhiza fungus spores via seed coating with biodegradable binders for enhancement of the spores viability

- and their beneficial properties in maize. *Akta Agrosia* 23(1):1-10.
- Matlok N, Piechowiak T, Królikowski K, Balawejder M. 2022. Mechanism of reduction of drought-induced oxidative stress in maize plants by fertilizer seed coating. *Agriculture*. 12(662):1-12.
- Mente SL, Buamona R, Nur M, Salam, Riyadi S, Irmayanti L, Nurhikmah. 2020. Morfologi benih dan perkecambahan pala (*Myristica fragrans* Houtt.) sebagai sumber benih di hutan rakyat, Pulau Bacan, Halmahera Selatan. *EnviroScientiae* 16(1):140-147.
- Oliveira RS, Rocha I, Ma Y, Vosatka M, Freitas H. 2016. Seed coating with arbuscular mycorrhizal fungi as an ecotechnological approach for sustainable agricultural production of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Toxicology and Environmental Health* 79(7):329-337.
- Phillips JM, Hayman DS. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55(1):158-161.
- Sarwar G, Anwar T, Qureshi H, Younus M, Hassan MW, Sajid-ur-Rehman M, Khalid F, Faiza, Zaman W, Soufan W. 2024. Optimizing germination: comparative assessment of various growth media on dragon fruit germination and early growth. *BMC Plant Biology* 24(533):1-11.
- Sasmitha, D. (2024). Fungi mikoriza arbuskula lokal pada tanaman karet (*Hevea brasiliensis*) dengan pola tanam monokultur di Kabupaten Bulukumba [skripsi]. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Sayoga AHE, Artiningsih A. 2023. Preferensi adaptasi masyarakat Kecamatan Bancak Kabupaten Semarang terhadap kerentanan bencana kekeringan. *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan dan IPTEK* 19(1):43-56.
- Sieverding E, Friedrichsen J, Suden W. 1991. *Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystems*. Eschborn: TZ-Verlagsgesellschaft.
- Silalahi M. 2017. Pengaruh asam kuat, pengamplasan, dan lama perendaman terhadap laju imbibisi dan perkecambahan biji aren (*Arenga pinnata*). *Journal of Biology (Al-Kauniyah)* 10(2):73-82.
- Sukmawaty E, Asriani A. 2015. Keragaman mikoriza arbuskula Indonesia dan peranannya dalam ekosistem. *Jurnal Biotek* 3(1):45-51.
- Taiz L, Zeiger E. 2010. *Plant Physiology Fifth Edition*. Sunderland (MA): Sinauer Associates.
- Urry LA, Cain ML, Wasser SA, Minorsky PV, Orr RB. 2020. *Campbell Biology 12th Edition*. New York (NY): Pearson.
- Werner GD, Kiers ET. 2015. Order of arrival structures arbuscular mycorrhizal colonization of plants. *New Phytologist* 205(4):1515-1524.
- Wulandari W, Bintoro A, Duryat D. 2015. Pengaruh ukuran berat benih terhadap perkecambahan benih merbau darat (*Intsia palembanica*). *Jurnal Sylva Lestari* 3(2):79-88.
- Yuwati TW, Atinah, Imaningsih W. 2021. Peningkatan pertumbuhan semai sengon menggunakan fungi mikoriza arbuskula asli gambut tropis. *Jurnal Galam* 1(2):93-107.
- Zheng M, Tao Y, Hussain S, Jiang Q, Peng S, Huang J, Cui K, Nie L. 2016. Seed priming in dry direct-seeded rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under drought stress. *Plant Growth Regulation* 78(1):167-178.
- Zunita VT, Supriyadi S, Rahman FA, Yuhardi, E. 2024. Pengaruh bahan pelapis benih terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung (*Zea mays* L.) pada cekaman salin. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* 11(2):433-442.