

**Pengaruh *Ultrafine Bubbles* dan *Dark Septate Endophytes* terhadap
Pertumbuhan Bibit Malapari (*Pongamia pinnata*)
(*Effect of Ultrafine bubbles and Dark Septate Endophytes on the Seedling Growth of
Malapari (Pongamia pinnata)*)**

**Eliya Suita¹, Dolly Priatna², Dede J Sudrajat¹, Surono³ dan/and Y. Aris
Purwanto⁴**

¹Pusat Riset Botani Terapan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. Raya Jakarta-Bogor Km. 46, Cibinong, Bogor, Jawa Barat, 16911, Indonesia

²Program Studi Manajemen Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Pakuan, Bogor

³Pusat Riset Mikrobiologi Terapan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. Raya Jakarta-Bogor Km. 46 Cibinong, Bogor, Jawa Barat, 16911, Indonesia

⁴Departmen Mekanik dan Rekayasa Biosistem, IPB University, Jl. Lingkar Kampus Dramaga, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia

*E-mail: eliyasuita@yahoo.co.id

Tanggal diterima: 9 Juli 2024; Tanggal disetujui: 9 Desember 2024; Tanggal direvisi: 18 Desember 2024

Abstract

*Malapari has great potential to produce biofuel, and is known as an energy source plant that many stakeholders are developing. The Malapari planting program needs information related to germination and how to produce seedlings that are ready for planting, have vigor, and can adapt to the planting area. This research aims to determine the effect of treatment with ultrafine bubbles (UFB) water and dark septate endophytes (DSE) fungi, which are invigoration technologies to increase the viability and vigor of malapari seeds and seedlings. The research design used a completely randomized factorial design with two factors, namely treatment of soaking seeds with UFB water with doses consisting of 0, 8 ppm, and 20 ppm, and DSE treatment using without DSE, DSE *Dendrothyrium* sp., DSE *Cladophialophora nyingchiensis*, and DSE *Exophiala pisciphila*. The results showed that malapari seed moisture content of 9.36% gave a high germination percentage, then the soaking of UFB water, which was not an effective method to be used. Giving DSE *Exophiala pisciphila* fungi to the seeds could maintain their germination percentage and improve the germination rate. In addition, it accelerates the mean of germination days and mean daily germination, furthermore, the seedling were studied more, resulting the higher seedling quality.*

Keywords: *Malapari, dark septate endophytes, seed germination, ultrafine bubbles*

Abstrak

Malapari memiliki potensi yang besar untuk menghasilkan minyak nabati, dan dikenal sebagai tanaman sumber energi yang sedang dikembangkan oleh banyak pihak. Program penanaman jenis malapari perlu didukung informasi perkecambah dan pembibitan untuk menghasilkan bibit yang siap tanam, vigor dan mampu beradaptasi di lahan penanaman. Penelitian bertujuan untuk menganalisis efektivitas pemberian air *ultrafine bubbles* (UFB) dan cendawan *dark septate endophytes* (DSE) sebagai salah satu teknologi invigorasasi meningkatkan viabilitas dan vigor benih, serta bibit malapari. Rancangan penelitian menggunakan faktorial dalam rancangan acak lengkap dengan dua faktor, yaitu faktor perendaman benih dengan UFB water terdiri 3 taraf (dosis 0 sebagai kontrol, 8 ppm, dan 20 ppm) dan faktor DSE 0,1% terdiri 4 taraf (kontrol, DSE *Dendrothyrium* sp., DSE *Cladophialophora nyingchiensis*, dan DSE *Exophiala pisciphila*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa benih malapari dengan kadar air 9,36% masih mempunyai daya berkecambah yang tinggi sehingga tidak efektif diberi perlakuan perendaman dengan UFB. Benih malapari yang diberi cendawan DSE *E. pisciphila* bisa mempertahankan daya berkecambah benih dan dapat meningkatkan kecepatan perkecambahannya. Cendawan DSE *E. pisciphila* juga mempercepat rata-rata hari berkecambah, meningkatkan perkecambahan harian, bibit lebih kokoh, dan indeks mutu bibit lebih tinggi.

Kata kunci: *Malapari, dark septate endophytes, daya berkecambah, ultrafine bubbles*

1. Pendahuluan

Malapari (*Pongamia pinnata* Merrill) dikenal sebagai tanaman sumber energi yang bijinya mengandung lemak nabati sebesar 27-39% dari berat kering biji (Alimah, 2011; Febritasari et al., 2016). Spesies ini mampu tumbuh hampir di semua jenis habitat termasuk lahan tergenang, salinitas tinggi dan kurang subur. Spesies ini mampu tumbuh di hutan dataran rendah pada tanah berkapur, batuan pantai, tepi hutan dan di sepanjang aliran sungai. Malapari dikenal sangat toleran pada kondisi salinitas tinggi (Febritasari et al., 2016; Kumar et al., 2007). Malapari juga dapat berperan sebagai penyubur lahan karena kemampuannya dalam memfiksasi nitrogen dari udara bebas melalui simbiosis dengan bakteri penambat nitrogen rhizobia dalam bentuk nodul/bintil akar (Arpiwi et al., 2013).

Budi daya malapari belum banyak dilakukan dan sering terkendala penyediaan bibit yang berkualitas karena viabilitas benihnya cepat menurun yang menyebabkan rendahnya perkecambahan dan kurang optimalnya pertumbuhan bibit. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa benih malapari memiliki kadar air awal (benih segar) sangat tinggi 63,39% (Suita & Syamsuwida, 2016) dan 51,37% (Aminah & Syamsuwida, 2013). Benih yang mempunyai kadar air saat matang pohon 30-70% termasuk jenis rekalsitran (Schmidt, 2000) dan umumnya viabilitasnya cepat menurun serta sensitif terhadap pengeringan. Perbaikan mutu benih malapari ini agar dapat berkecambah dengan baik pada saat benih sudah menurun viabilitasnya memerlukan perlakuan invigorasi guna meningkatkan viabilitas benih dan vigor bibit. Beberapa teknologi invigorasi yang cukup potensial untuk memperbaiki viabilitas dan vigor benih adalah *ultrafine bubbles* (UFB) dan *biopriming* (Sudrajat et al., 2022).

UFB adalah gelembung yang sangat kecil, diameternya kurang dari 1 μm atau 10^{-6} meter (Ahmed et al., 2018). Perlakuan UFB terhadap benih tanaman dapat merangsang aktivitas metabolisme untuk meningkatkan perkecambahan (Diaz-Vivancos et al., 2013). Air UFB

cukup efektif dilakukan untuk mematahkan dormansi dan meningkatkan viabilitas serta vigor benih beberapa tanaman hutan, seperti *Gmelina arborea* (Siregar et al., 2020), *Falcataria moluccana* (Siregar et al., 2021), dan *Albizia chinensis* (Sudrajat, et al., 2022).

Teknik invigorasi lainnya untuk meningkatkan vigor benih dan bibit adalah *biopriming*. Salah satu cendawan yang potensial untuk *biopriming* adalah *dark septate endophytes* (DSE). *Biopriming* pada jagung menggunakan *endophytes* dapat meningkatkan perkecambahannya sampai 90% (Poovarasana et al., 2022). DSE adalah sekelompok cendawan endofit yang memiliki hifa melanin gelap, membentuk koloni berwarna gelap pada media-agar dan mampu mengkolonisasi akar tanaman tanpa menyebabkan gejala penyakit (Dalimunthe et al., 2019), dapat memfasilitasi pertumbuhan dan keberagaman tanaman (He et al., 2019) mampu memproduksi metabolit sekunder yang dapat mencegah tumbuhan inangnya dari serangan fungi patogen dan mampu menghasilkan senyawa-senyawa bioaktif, seperti senyawa anti bakteri dan anti fungi (Hasanah et al., 2015). Cendawan endofit berperan penting dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman baik dalam kondisi nutrisi tercukupi untuk pertumbuhannya maupun dalam kondisi cekaman biotik karena serangan hama dan penyakit dan cekaman abiotik seperti keasaman tinggi dan kekeringan sehingga tanaman bisa beradaptasi dan tumbuh normal dalam kondisi cekaman tersebut (Surono & Narisawa, 2018). Tujuan penelitian untuk menganalisis efektivitas perlakuan pemberian air UFB dan cendawan DSE pada benih malapari yang sudah disimpan selama 1 bulan dalam rangka meningkatkan perkecambahan dan pertumbuhan bibit.

2. Metodologi

2.1. Waktu dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan selama 5 bulan di laboratorium dan rumah kaca Balai Penerapan Standar Instrumen KLHK (BPSI KLHK Bogor), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dan produksi air yang

mengandung UFB dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Biosistem IPB *University*. Buah malapari dikumpulkan pada bulan Agustus 2022, perlakuan dan penaburan dilakukan pada bulan September 2022, serta penyapihan dilakukan bulan Oktober 2022. Pemeliharaan dan pengujian dilakukan bulan Oktober 2022 sampai Januari 2023.

Benih dikumpulkan dari areal tegakan benih malapari dari Carita, Kabupaten Pandeglang, Provinsi Jawa Barat. Secara geografis terletak antara 06°13' - 07°24' Lintang Selatan dan 105°49' - 105°54' Bujur Timur. Temperatur udara di Kabupaten Pandeglang berkisar antara 22,5° - 27,9°C. Di daerah pantai temperatur udara bisa mencapai 22° - 32°C, sedangkan di daerah pegunungan berkisar antara 18° - 29°C. Kabupaten Pandeglang memiliki curah hujan antara 2.000 - 4.000 mm per tahun dengan rata-rata curah hujan 3.814 mm dan mempunyai 177 hari hujan rata-rata per tahun serta memiliki tekanan udara rata-rata 1.010 milibar.

2.2. Prosedur Kerja

Tahap awal penelitian yaitu menyediakan bahan berupa media perkecambahan benih dan pertumbuhan bibit (pasir, tanah, sekam dan kompos), *polybag* (12 cm x 15 cm), air *ultrafine bubbles* (UFB) 8 dan 20 ppm (dengan menggunakan generator UFB (Ultrafine GaLF tipe FZ1N-10), cendawan *dark septate endophytes* (DSE) 0,1%, yaitu DSE *Dendrothyrium* sp. (CPP114), DSE *Exophiala pisciphila* (S14), dan DSE *Cladophialophora nyingchiensis* (S51).

2.2.1. Rancangan penelitian

Rancangan penelitian menggunakan rancangan faktorial dalam rancangan acak lengkap dengan dua faktor, yaitu faktor pertama berupa perendaman benih dengan air UFB (*ultrafine bubbles*) dan faktor kedua berupa DSE (*dark septate endophytes*). Rincian kedua faktor tersebut sebagai berikut:

Faktor U (*Ultrafine bubbles*) terdiri atas 3 taraf, yaitu:

U₀ = Kontrol

U₁ = Perendaman dalam air UFB 8 ppm selama 24 jam

U₂ = Perendaman dalam air UFB 20 ppm selama 24 jam

Faktor D (*dark septate endophyte*) terdiri atas:

D₀ = Kontrol

D₁ = Perendaman dalam DSE *Dendrothyrium* sp. (CPP 1.1.4) selama 24 jam

D₂ = Perendaman dalam DSE *Cladophialophora nyingchiensis* (S51) selama 24 jam

D₃ = Perendaman dalam DSE *Exophiala pisciphila* (S14) selama 24 jam.

Benih direndam selama 24 jam dengan air UFB (Rahman, 2022). Untuk menjaga kondisi UFB selama perlakuan, benih yang direndam disimpan di dalam *ice box* dengan memberikan es di dalam *box*. Inokulasi cendawan DSE dilakukan setelah perlakuan pendahuluan benih direndam dengan UFB atau sebelum penaburan benih. Benih direndam dengan dosis 0,1% DSE *Dendrothyrium* sp. (nomor isolat CPP114), DSE *Exophiala pisciphila* (nomor isolat S14), dan DSE *Cladophialophora nyingchiensis* (nomor isolat S51) selama 24 jam. Benih yang telah direndam, kemudian ditabur pada media campuran tanah dan pasir (1:1, v/v). Setelah benih berkecambah (3-4 minggu) atau sudah tumbuh minimal sepasang daun, kecambah disapih ke media sapih (media tanah : kompos : sekam (3:2:1, v/v). Wadah sapih menggunakan *polybag* ukuran 12 cm x 15 cm. Pemeliharaan bibit dilakukan selama 3 bulan dan bibit disiram setiap hari.

2.2.2. Pengamatan tingkat kecambah

Pengambilan data pada kecambah benih digunakan untuk menghitung daya berkecambah, kecepatan berkecambah, rata-rata perkecambahan harian, rata-rata hari berkecambah dan nilai perkecambahan sebagai indikator pengukuran viabilitas benih (Sutopo, 2002). Parameter yang diamati sebagai berikut:

- a. **Daya berkecambah (DB)** menunjukkan jumlah kecambah normal dari pengujian benih dalam suatu jangka waktu tertentu, mulai benih berkecambah normal sampai benih sudah tidak berkecambah lagi. Daya berkecambah dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Sutopo, 2002).

$$DB = \frac{\text{Jumlah benih yang berkecambah normal}}{\text{Jumlah benih yang diuji}} \times 100\%$$

- b. **Kecepatan berkecambah.** Kecepatan berkecambah (Kcp) yang diukur merupakan benih yang berkecambah mulai pengamatan hari pertama berkecambah sampai benih tidak berkecambah lagi. Menurut Widajati (2013), parameter vigor merupakan penjabaran dari kecepatan berkecambah dengan rumus kecepatan berkecambah.

$$Kcp = \frac{x_1}{c_1} + \frac{x_2}{c_2} + \dots + \frac{x_i}{c_i}$$

x_i = persentase kecambah normal pada pengamatan ke- i
 c_i = pengamatan hari ke- i

- c. **Rata-rata hari berkecambah.** Rata-rata hari berkecambah (RHB) untuk mengetahui waktu rata-rata yang telah digunakan benih untuk melakukan perkecambahan. Rata-rata hari berkecambah ditentukan menggunakan rumus (Sutopo, 2002).

$$RHB = \frac{(n_1 \times t_1) + (n_2 \times t_2) + \dots + (n_i \times t_i)}{\text{Jumlah benih yang berkecambah}}$$

n_i = jumlah benih yang tumbuh pada satuan waktu tertentu.
 t_i = Waktu antara dimulainya pengujian sampai dengan interval tertentu saat pengamatan.

- d. **Nilai perkecambahan.** Nilai kecambah dihitung untuk mengetahui kecepatan dan kesempurnaan benih yang berkecambah selama proses pengamatan berlangsung. Perhitungan dilakukan dari hari pertama sampai hari terakhir dengan menggunakan rumus (Sutopo, 2002).

$$NP (\%) = PV \times FGD$$

$$PV = \frac{\text{Persen perkecambahan tertinggi}}{\text{jumlah hari untuk mencapainya}}$$

$$FGD = \frac{\text{Persen perkecambahan pada akhir pengamatan}}{\text{Jumlah hari uji seluruhnya}}$$

NP = nilai perkecambahan
 PV = nilai puncak perkecambahan
 FGD1 = rata-rata perkecambahan harian

2.2.3. Pengamatan tingkat bibit

- a. **Tinggi dan diameter bibit.** Pengukuran tinggi dan diameter dilakukan pada saat akhir pengamatan pada bibit umur 3 bulan. Pengukuran tinggi tanaman menggunakan penggaris. Tinggi tanaman diukur dari

pangkal batang sampai pada titik tumbuh tertinggi. Pengukuran diameter menggunakan kaliper. Diameter diukur pada ketinggian sekitar 1 cm dari atas tanah pada pangkal batang.

- b. **Rasio pucuk akar.** Rasio pucuk akar (RPA) merupakan perbandingan antara batang dengan akar (Haase, 2008).

$$RPA = \frac{\text{berat kering pucuk (batang + daun) (g)}}{\text{berat kering akar (g)}}$$

- c. **Indeks mutu bibit Dickson.** Indeks mutu dirancang untuk mengevaluasi sejumlah kombinasi parameter morfologi untuk menduga performa bibit setelah ditanam di lapangan yang dikembangkan pada jenis *Picea glauca* dan *Pinus strobus* (Dickson et al., 1960).

$$\text{Indek mutu bibit} = \frac{\text{Berat kering total bibit (g)}}{\frac{\text{Tinggi bibit (cm)}}{\text{Diameter (mm)}} + \frac{\text{Berat kering pucuk (g)}}{\text{Berat kering akar (g)}}}$$

- d. **Berat kering bibit (Biomassa).** Bibit pada umur 3 bulan diuji berat kering bagian batang, daun dan akar tanaman yang dikering tanurkan dengan suhu 60°-80°C selama kurang lebih 48 jam sampai diperoleh berat konstan yaitu setelah didinginkan lalu ditimbang.

2.3. Analisis Data

Rancangan percobaan dalam penelitian ini adalah rancangan faktorial dalam rancangan acak lengkap dengan dua faktor yaitu air UFB dan cendawan DSE. Untuk menguji pengaruh faktor air UFB dan perlakuan cendawan DSE terhadap perkecambahan benih dan pertumbuhan bibit dilakukan analisis sidik ragam.

Hasil pengamatan terhadap obyek yang diamati selanjutnya dianalisis pada taraf nyata 5% dengan sidik ragam untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh perlakuan. Data diolah dengan *software* SAS 9.1, jika *P-value* > 0.05 (α), maka perlakuan tidak berpengaruh nyata terhadap parameter yang diamati. *P-value* < 0.05 (α), maka perlakuan berpengaruh nyata terhadap parameter yang diamati, kemudian dilakukan uji lanjut *Tukey* atau uji jarak berganda Duncan (*Duncan's multiple range test*–DMRT).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil

Pengukuran kadar air benih malapari pada saat awal atau pada saat benih sampai di laboratorium menghasilkan rata-rata kadar air 51,32%. Satu bulan setelah benih disimpan di ruang kamar, pada saat dilakukan perlakuan kombinasi UFB dan DSE pengujian kadar airnya menghasilkan rata-rata kadar air 9,36%, terjadi penurunan kadar air menjadi 42,36%.

3.1.1. Perkecambahan benih

Parameter perkecambahan benih yang diamati adalah daya berkecambah, kecepatan berkecambah, nilai perkecambahan, rata-rata perkecambahan harian dan rata-rata hari berkecambah. Hasil analisis ragam pengaruh faktor tunggal perendaman benih air UFB dan pemberian cendawan DSE serta interaksinya berpengaruh sangat nyata terhadap semua parameter perkecambahan (Tabel 1).

Tabel (Table) 1. Analisis ragam pengaruh perlakuan UFB dan DSE terhadap daya berkecambah, kecepatan berkecambah, nilai perkecambahan, rata-rata perkecambahan harian dan rata-rata hari berkecambah (*Analysis of the various effects of UFB and DSE treatments on germination percentage, germination rate, germination value, average daily germination and average days to germination*)

Parameter	Sumber keragaman (<i>Varian sources</i>)	F-hitung (<i>F-value</i>)	Sgnifikan (<i>Significant</i>)
Daya berkecambah (<i>Germination power</i>)	UFB (U)	804,47	<,0001**
	DSE (D)	137,96	<,0001**
	Interaksi (U*D)	172,25	<,0001**
Kecepatan berkecambah (<i>Germination speed</i>)	UFB (U)	614,88	<,0001**
	DSE (D)	120,07	<,0001**
	Interaksi (U*D)	130,44	<,0001**
Nilai perkecambahan (<i>Germination value</i>)	UFB (U)	220,88	<,0001**
	DSE (D)	17,67	<,0001**
	Interaksi (U*D)	15,92	<,0001**
Rata-rata perkecambahan harian (<i>Average daily germination</i>)	UFB (U)	804,47	<,0001**
	DSE (D)	137,96	<,0001**
	Interaksi (U*D)	172,25	<,0001**
Rata-rata hari berkecambah (<i>Average days to germination</i>)	UFB (U)	8,08	0,0013**
	DSE (D)	44,03	<,0001**
	Interaksi (U*D)	41,68	<,0001**

Keterangan (*Remarks*): ** = Sangat berpengaruh nyata pada tingkat kepercayaan 99%, * = Berpengaruh nyata pada tingkat kepercayaan 95%, ns = Tidak berpengaruh nyata (** = *Very significant effect at the 99% confidence level*, * = *Significant effect at the 95% confidence level*, ns = *No significant effect*)

Rata-rata nilai parameter daya berkecambah dan kecepatan perkecambahan disajikan pada Tabel 2. Perlakuan benih malapari tanpa direndam DSE, direndam DSE *Dendrothyrium* sp., DSE *C. Nyingchiensis* dan DSE *E. pisciphila* menunjukkan daya

berkecambah dan kecepatan terbaik pada perlakuan UFB 0 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa benih malapari tidak perlu direndam dalam UFB karena daya berkecambah dan kecepatan berkecambah tetap tinggi.

Tabel (Table) 2. Hasil uji lanjut pengaruh perendaman UFB dan DSE terhadap daya berkecambah dan kecepatan berkecambah (*Further test results of the effect of UFB and DSE soaking on germination power and germination speed*)

Perlakuan (<i>Treatment</i>)	Daya berkecambah (<i>Germination power</i>)		Kecepatan berkecambah (<i>Germination speed</i>)	
	Rata-rata (<i>Mean</i>)	Stdv	Rata-rata (<i>Mean</i>)	Stdv
1. Benih tanpa direndam DSE (<i>Seeds without soaking DSE</i>)				
a. D ₀ U ₀	91,5 a	1,91	5,48 c	0,08
b. D ₀ U ₁	59,0 e	6,83	3,89 e	0,51
c. D ₀ U ₂	5,5 h	1,91	0,35 h	0,12
2. Benih direndam DSE <i>Dendrothyrium</i> sp. (<i>Seeds were soaked DSE of <u>Dendrothyrium</u> sp.</i>)				
a. D ₁ U ₀	88,5 ab	4,12	6,16 ab	0,33
b. D ₁ U ₁	10,0 gh	1,63	0,63 gh	0,08
c. D ₁ U ₂	75,5 c	1,00	5,36 c	0,05
3. Benih direndam DSE <i>C. nyingchiensis</i> (<i>Seeds were soaked DSE of <u>C. nyingchiensis</u></i>)				
a. D ₂ U ₀	84,0 b	7,12	5,81 bc	0,70
b. D ₂ U ₁	13,5 g	2,52	0,84 fg	0,18
c. D ₂ U ₂	21,0 f	4,76	1,29 f	0,36

Tabel (Table) 2. Lanjutan (To be continued)

Perlakuan (Treatment)	Daya berkecambah (Germination power)		Kecepatan berkecambah (Germination speed)	
	Rata-rata (Mean)	Stdv	Rata-rata (Mean)	Stdv
3. Benih direndam DSE <i>E. pisciphila</i> (Seeds were soaked DSE of <i>E. pisciphila</i>)				
a. D ₃ U ₀	90,0 ab	0,00	6,37 a	0,20
b. D ₃ U ₁	60,5 e	3,79	4,00 e	0,14
c. D ₃ U ₂	67,0 d	5,29	4,46 d	0,28

Keterangan (Remarks): D₀ = Control, D₁ = DSE CPP114, D₂ = DSE S14, D₃ = DSE S51, U₀ = Control, U₁ = UFB 8 ppm, U₂ = UFB 20 ppm. Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji Duncan 5% (The numbers followed by the same letter indicate a non-significant difference in Duncan's 5% test). Daya berkecambah (Germination power), Kecepatan berkecambah (Germination speed), Stdv = Standar deviasi (Standard of deviasi).

Rata-rata hari berkecambah, rata-rata perkecambahan harian dan nilai perkecambahan disajikan pada Tabel 3. Perlakuan benih malapari tanpa direndam DSE, menunjukkan rata-rata hari berkecambah terbaik pada perlakuan UFB 8 ppm, rata-rata perkecambahan harian dan nilai perkecambahan terbaik pada perlakuan UFB 0 ppm.

Perlakuan benih malapari direndam DSE *Dendrothyrium* sp., *C. Nyingchiensis* dan *E. pisciphila* menunjukkan rata-rata hari berkecambah, rata-rata perkecambahan harian dan nilai perkecambahan terbaik pada perlakuan UFB 0 ppm. Dengan demikian, benih malapari tidak perlu dilakukan direndam UFB.

Tabel (Table) 3. Hasil uji lanjut pengaruh perendaman UFB dan DSE terhadap rata-rata hari berkecambah, rata-rata perkecambahan dan nilai perkecambahan (Further test results of the effect of UFB and DSE soaking on average days to germination, average germination haan and germination value)

Perlakuan (Treatment)	RHB		RPH		NP	
	Rata-rata (Mean)	Stdv	Rata-rata (Mean)	Stdv	Rata-rata (Mean)	Stdv
1. Benih tanpa direndam DSE (Seeds without soaking DSE)						
a. D ₀ U ₀	16 a	0,80	3,52 a	0,07	5,92 a	0,49
b. D ₀ U ₁	5 cde	0,23	2,27 e	0,26	2,22 d	0,49
c. D ₀ U ₂	6 bcd	2,10	0,21 h	0,07	0,03 e	0,01
2. Benih direndam DSE <i>Dendrothyrium</i> sp. (Seeds were soaked DSE of <i>Dendrothyrium</i> sp.) (DSE CPP114)						
a. D ₁ U ₀	4 de	0,79	3,40 ab	0,16	5,37 ab	0,61
b. D ₁ U ₁	6 bcd	1,58	0,38 gh	0,06	0,08 e	0,04
c. D ₁ U ₂	4 de	0,63	2,94 c	0,04	3,60 c	0,41
3. Benih direndam DSE <i>C. nyingchiensis</i> (Seeds were soaked DSE <i>C. nyingchiensis</i>) (DSE S14)						
a. D ₂ U ₀	5 cde	0,72	3,23 b	0,27	4,56 b	1,28
b. D ₂ U ₁	7 b	0,50	0,52 g	0,10	0,12 e	0,06
c. D ₂ U ₂	7 b	1,62	0,81 f	0,18	0,37 e	0,25
4. Benih direndam DSE <i>E. pisciphila</i> (Seeds were soaked DSE <i>E. pisciphila</i>) (DSE S51)						
a. D ₃ U ₀	4 e	0,50	3,46 ab	0,00	5,67 a	1,22
b. D ₃ U ₁	6 bcd	1,09	2,33 e	0,15	2,31 d	0,44
c. D ₃ U ₂	5 cde	0,61	2,58 d	0,20	2,39 d	0,50

Keterangan (Remarks): D₀ = Control, D₁ = DSE CPP114, D₂ = DSE S14, D₃ = DSE S51, U₀ = Control, U₁ = UFB 8 ppm; U₂ = UFB 20 ppm. Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji Duncan 5% (The numbers followed by the same letter indicate a non-significant difference in Duncan's 5% test). RHB = Rata hari berkecambah (Average days to germination), RPH = Rata-rata perkecambahan harian (Average daily germination), Stdv = Standar deviasi (Standard of deviasi).

3.1.2. Pertumbuhan Bibit

Parameter pertumbuhan bibit yang diamati adalah tinggi (cm) dan diameter bibit (mm), rasio pucuk akar, indeks kekokohan bibit, indeks mutu bibit dan biomassa (Tabel 4). Perlakuan perendaman dengan UFB berpengaruh nyata terhadap parameter rasio pucuk akar,

sedangkan untuk parameter tinggi bibit, diameter bibit, indeks kekokohan bibit dan indeks mutu bibit tidak berpengaruh nyata. Perlakuan perendaman dengan DSE berpengaruh sangat nyata pada parameter tinggi bibit, rasio pucuk akar, dan indeks mutu bibit, sedangkan parameter diameter bibit, indeks kekokohan bibit tidak

berpengaruh nyata. Interaksi perlakuan UFB dan DSE berpengaruh sangat nyata pada semua parameter kecuali diameter bibit.

Tabel (Table) 4. Analisis ragam pengaruh perlakuan UFB dan DSE terhadap adalah tinggi (cm) dan diameter bibit (mm), rasio pucuk akar, dan indek mutu bibit (*Variant analysis of the effects of UFB and DSE on height (cm) and seed diameter (mm), root shoot ratio, and seedling quality index*)

Parameter	Sumber keragaman (<i>Varian sources</i>)	F-hitung (<i>F-value</i>)	Sgnifikan (<i>Significant</i>)
Tinggi bibit (<i>Seedling height</i>)	UFB (A)	0,45	0,6420 ^{ns}
	DSE (B)	14,29	0,0001 ^{**}
	Interaksi (A*B)	22,15	0,0001 ^{**}
Diameter bibit (<i>Seedling diameter</i>)	UFB (A)	1,00	0,3791 ^{ns}
	DSE (B)	1,43	0,2511 ^{ns}
	Interaksi (A*B)	1,80	0,1260 ^{ns}
Rasio pucuk akar (<i>Root shoot ratio</i>)	UFB (A)	3,85	0,0304 [*]
	DSE (B)	0,95	0,0001 ^{**}
	Interaksi (A*B)	2,05	0,0001 ^{**}
Indeks mutu bibit (<i>Seed quality index</i>)	UFB (A)	1,58	0,2202 ^{ns}
	DSE (B)	22,8	0,0001 ^{**}
	Interaksi (A*B)	11,00	0,0001 ^{**}
Indeks kekokohan bibit (<i>Seedling robustness index</i>)	UFB (A)	2,18	0,1276 ^{ns}
	DSE (B)	1,07	0,3745 ^{ns}
	Interaksi (A*B)	2,01	0,0897 ^{**}
Biomassa (<i>Biomass</i>)	UFB (A)	11,20	0,0002 ^{**}
	DSE (B)	7,14	0,0007 ^{**}
	Interaksi (A*B)	12,47	0,0001 ^{**}

Keterangan (*Remarks*): ** = Sangat berpengaruh nyata pada tingkat kepercayaan 99%, * = Berpengaruh nyata pada tingkat kepercayaan 95%, ns = Tidak berpengaruh nyata (** = *Very significant effect at the 99% confidence level, * = Significant effect at the 95% confidence level, ns = No significant effect*)

Bibit malapari tanpa direndam DSE (Tabel 5), menunjukkan pertumbuhan tinggi bibit terbaik pada perlakuan UFB 20 ppm, indeks kekokohan bibit, rasio pucuk akar dan indeks mutu bibit terbaik pada perlakuan UFB 0 ppm dan 8 ppm, sedangkan parameter biomassa terbaik hanya pada perlakuan UFB 8 ppm.

Perlakuan benih malapari direndam DSE *Dendrothyrium* sp. menunjukkan pertumbuhan tinggi bibit terbaik pada perlakuan UFB 8 ppm, indeks kekokohan bibit, biomassa, rasio pucuk akar dan indeks mutu bibit tidak menghasilkan perbedaan yang nyata pada perlakuan UFB 0 ppm, UFB 8 ppm, dan UFB 20 ppm.

Perlakuan benih malapari direndam DSE *C. Nyingchiensis* menunjukkan pertumbuhan tinggi bibit, biomassa dan indeks mutu bibit terbaik pada perlakuan UFB 0 ppm, indeks

kekokohan bibit terbaik pada perlakuan UFB 0 ppm dan 8 ppm, sedangkan rasio pucuk akar tidak menghasilkan perbedaan yang nyata pada perlakuan UFB 0 ppm, UFB 8 ppm, dan UFB 20 ppm.

Perlakuan benih malapari direndam DSE *E. pisciphila* menunjukkan pertumbuhan tinggi bibit terbaik pada perlakuan UFB 20 ppm, indeks kekokohan bibit tidak menghasilkan perbedaan yang nyata pada perlakuan UFB 0 ppm, UFB 8 ppm, dan UFB 20 ppm. Parameter biomassa dan indeks mutu bibit terbaik pada perlakuan UFB 0 ppm, dan rasio pucuk akar terbaik pada perlakuan UFB 8 ppm dan 20 ppm. Dengan demikian, bibit malapari telah dihasilkan bibit yang baik jika kombinasi tanpa direndam DSE, direndam DSE *Dendrothyrium* sp., *C. nyingchiensis*, dan *E. pisciphila* dengan 8 ppm UFB atau 20 ppm UFB.

Tabel (Table) 5. Hasil uji lanjut pengaruh perendaman UFB dan DSE terhadap indek kekokohan bibit, biomassa, rasio pucuk akar, dan indek mutu bibit (*Further test results of the effect of UFB and DSE soaking on average days to Seedling robustness index, biomass, Root shoot ratio, Seed quality index*)

Perlakuan (Treatment)	Tinggi Bibit		IKB		Biomassa (Biomass)		RPA		IMB	
	Rata-rata (Means)	Stdv	Rata-rata (Means)	Stdv	Rata-rata (Means)	Stdv	Rata-rata (Means)	Stdv	Rata-rata (Means)	Stdv
1. Benih tanpa direndam DSE (<i>Seeds without soaking DSE</i>)										
a. D ₀ U ₀	30,13 c	0,85	5,92 ab	0,37	2,86 c	0,59	3,50 ab	0,40	0,30b a	0,07
b. D ₀ U ₁	28,25 cde	2,33	6,13 a	0,60	4,45 a	0,70	3,60 a	0,37	0,46 a	0,05
c. D ₀ U ₂	34,88 b	2,29	4,87 b	0,14	2,77 c	0,34	4,02 a	0,59	0,31 b	0,02
2. Benih direndam DSE <i>Dendrothyrium</i> sp. (<i>Seeds soaking DSE of Dendrothyrium sp.</i>)										
a. D ₁ U ₀	29,75 c	0,65	5,53 ab	0,87	2,38c	0,44	3,11 ab	0,70	0,28 b	0,03
b. D ₁ U ₁	40,00 a	4,26	6,28 a	1,59	2,65 c	0,39	3,54 a	1,06	0,28 b	0,05
c. D ₁ U ₂	27,63 cde	1,7	5,36 ab	0,47	2,30 c	0,24	3,11 a	0,63	0,27 b	0,02
3. Benih direndam DSE <i>C. nyingchiensis</i> (<i>Seeds soaking DSE of C. nyingchiensis</i>)										
a. D ₂ U ₀	30,50 c	1,29	5,54 ab	0,85	4,32 ab	1,07	3,35 ab	0,81	0,49 a	0,14
b. D ₂ U ₁	27,50 cde	1,29	5,34 ab	0,72	2,23 c	0,39	4,03 a	0,50	0,24 b	0,04
c. D ₂ U ₂	26,38 de	0,95	4,90 b	0,22	2,17c	0,15	3,10 ab	0,47	0,28 b	0,01
4. Benih direndam DSE <i>E. pisciphila</i> (<i>Seeds soaking DSE of E. pisciphila</i>)										
a. D ₃ U ₀	29,00 cd	0,71	4,84 ab	0,73	3,66 ab	0,15	2,44 b	0,29	0,51 a	0,05
b. D ₃ U ₁	25,63 e	0,75	5,41 ab	0,20	2,32 c	0,19	3,76 a	0,72	0,25 b	0,02
c. D ₃ U ₂	30,00 c	2,94	5,90 ab	0,65	2,68 c	0,30	4,07 a	0,98	0,27 b	0,04

Keterangan (Remarks): D0 : Control; D1: DSE CPP114 ; D2: DSE S14; D3: DSE S51; U0: Control; U1: UFB 8 ppm; U2: UFB 20 ppm. Angka- angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji Duncan 5%, (*The numbers followed by the same letter indicate a non-significant difference in Duncan's 5% test*). IKB= Indek kekokohan bibit (*Seedling robustness index*), RPA = Rasio pucuk akar (*Root shoot ratio*), IMB = Indek mutu bibit (*Seed quality index*).

3.2. Pembahasan

Penurunan kadar air benih malapari dari 51,32% hingga 9,36% tidak berpengaruh terhadap nilai daya berkecambahnya, dimana pada kadar air 9,36% daya berkecambahnya masih 91,5%. Pada penelitian (Suita & Syamsuwida, 2015), daya berkecambah benih malapari pada benih segar dengan kadar air 57,05% menghasilkan daya berkecambah 84-92%. Dengan demikian, dugaan awal benih malapari dikategorikan sebagai benih rekalsitran tidak sesuai, karena sifat benih rekalsitran tidak dapat disimpan lama dan tidak toleran pengeringan (Sudrajat et al., 2017). Benih rekalsitran adalah benih yang cepat rusak, tidak tahan pengeringan, tidak dapat disimpan pada suhu rendah, sehingga tidak dapat disimpan dalam jangka waktu lama (Yuniarti et al., 2016). Penelitian lainnya terhadap benih malapari dilaporkan (Deswal et al., 2015), yang menyatakan bahwa benih malapari masih dapat diturunkan kadar airnya hingga 6-9%. Melihat karakteristiknya tersebut dan mengacu pada (Hong & Ellis, 1996) tentang prosedur menentukan karakter

benih, benih malapari dapat dikategorikan benih intermediat, yaitu benih yang mempunyai karakter diantara ortodok dan rekalsitran, kadar airnya bisa diturunkan hingga 8-12% dan masih dapat disimpan dalam periode kurang dari 1 tahun (Sudrajat et al., 2024). Karakter benih malapari yang mengandung lemak nabati sebesar 27-39% dari berat kering biji (Alimah, 2011; Febritasari et al., 2016), tersebut mirip dengan karakter benih dengan kandungan minyak tinggi lainnya, yaitu *Sterculia foetida* yang memiliki kadar air awal tinggi (42,4%) namun masih bisa dikeringkan hingga kadar air 9-12% (Sudrajat et al., 2011).

Benih malapari berkecambah dengan baik tanpa perlakuan dan pemberian perlakuan DSE *E. pisciphila*, DSE *Dendrothyrium* sp. (Tabel 2), tetapi apabila perlakuan nya dikombinasikan dengan UFB maka daya berkecambah menjadi rendah. Ini kemungkinan disebabkan karena benih malapari walau sudah menurun kadar airnya sampai dibawah 10%, tetapi masih mempunyai daya berkecambah yang tinggi sehingga tidak diperlukan perlakuan invigorasi

UFB. Benih yang masih mempunyai daya berkecambah yang tinggi tidak memerlukan invigorasi dimana invigorasi fungsinya untuk memperbaiki daya berkecambah benih yang sudah menurun mutu fisiologisnya (Asih, 2021; Indriani, 1999; Nurhasybi et al., 2019; Zakia et al., 2021).

Biji malapari diperkirakan mempunyai masa dormansi endogen yaitu dengan diturunkan kadar air akan terjadi pemasakan benih. Dormansi endogen dapat dipatahkan dengan pemasakan embrio. Menurut Sutopo (2002) sifat after ripening adalah perubahan fisiologis benih selama penyimpanan yang menyebabkan benih mampu berkecambah.

Kecepatan berkecambah merupakan persen berkecambah benih dalam satu hari (24 Jam). Benih yang dapat tumbuh dengan cepat akan dapat mengatasi kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan (Timotiwu et al., 2022). Kecepatan berkecambah benih juga mengindikasikan kekuatan vigor tumbuh benih yang kuat dan mampu bertahan pada kondisi lingkungan yang suboptimal (Fatikhasari et al., 2022). Benih malapari yang diberi perlakuan DSE *Dendrothyrium* sp. dan DSE *E. pisciphila* (Tabel 2) mempunyai kecepatan berkecambah yang lebih tinggi dari perlakuan lain dan kontrol, ini menunjukkan bahwa dengan perlakuan tersebut membuat benih malapari lebih dapat mengatasi kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan dan lingkungan yang suboptimal (Fatikhasari et al., 2022; Timotiwu et al., 2022). Perlakuan DSE juga menurunkan rata-rata hari berkecambah dan meningkatkan rata-rata perkecambahan, serta nilai perkecambahan. DSE mempunyai peranan menguntungkan terhadap tanaman, diantaranya sebagai penyedia nutrisi baik organik maupun anorganik (Handayani, 2017), sehingga DSE dapat membantu dalam perkecambahan benih malapari.

Pertumbuhan tinggi bibit malapari tertinggi pada perlakuan UFB 8 ppm dan DSE *Dendrothyrium* sp. (Tabel 5), tetapi pada perlakuan ini hasil daya berkecambahnya rendah (Tabel 2). Ini diperkirakan pada saat daya berkecambah

rendah maka kerapatan kecambah rendah sehingga pertumbuhan tinggi bibit lebih baik dibandingkan dengan kecambah yang lebih rapat. Sesuai dengan beberapa penelitian tentang perlakuan jarak tanam berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan tinggi tanaman (Fatchullah, 2017; Pithaloka et al., 2015).

Rasio pucuk akar merupakan perbandingan berat kering pucuk dan akar tanaman. (Nurhasybi et al., 2019). Nilai rasio pucuk dan akar yang tinggi menunjukkan bahwa pertumbuhan pucuk atau tajuk lebih baik dibandingkan akar (Widodo et al., 2022), sebaliknya apabila nilai rasio pucuk akar rendah maka pertumbuhan akar lebih baik. Rasio pucuk akar (Tabel 5), pada perlakuan DSE *E. pisciphila*, nilai rasio pucuk akar rendah, mengindikasikan pertumbuhan akar nya lebih baik. Sejalan dengan penelitian (He et al., 2019) dimana fungsi DSE dapat meningkatkan sistem perakaran dan penyerapan N dan P oleh tanaman, sehingga dapat memfasilitasi pertumbuhan dan kebugaran tanaman.

Indeks kekokohan bibit merupakan perbandingan antara tinggi dengan diameter. Bibit relatif tinggi kurus apabila nilai rasionya tinggi, sedangkan nilai rasio yang rendah menunjukkan bibit kokoh. Secara umum, bibit dengan indeks kekokohan yang terlalu tinggi menunjukkan kerentanannya terhadap kerusakan fisik sewaktu di tanam (Nurhasybi et al., 2019). Indeks kekokohan bibit merupakan nilai yang memperlihatkan tingkat kekokohan bibit, apabila nilai semakin rendah maka bibit semakin kokoh. Dari hasil uji nyata indeks kekokohan bibit (Tabel 5) nilai indeks kekokohan bibit yang rendah terdapat pada perlakuan benih diberi perlakuan DSE *E. pisciphila*, dengan demikian DSE *E. pisciphila* dapat membantu meningkatkan kekokohan bibit malapari.

Biomassa tanaman merupakan berat kering seluruh komponen bibit (akar, batang dan daun), semakin tinggi nilai biomassa, maka akan semakin baik pula pertumbuhan bibit. Nilai yang terbaik dilihat dari hasil uji biomassa terdapat pada perlakuan UFB 8 ppm dan diikuti oleh perlakuan DSE *Dendrothyrium* sp. dan DSE *E. pisciphila* (Tabel 5), ini

menunjukkan bahwa perlakuan DSE dan UFB dapat meningkatkan nilai biomassa. Hasil ini sejalan dengan penelitian (He *et al.*, 2019) yang menyatakan bahwa inokulasi DSE dapat meningkatkan biomassa tanaman.

Indeks mutu bibit merupakan salah satu parameter bibit siap ditanam di lapangan. Nilai IMB >0.09 masuk ke dalam kelompok bibit kategori baik. Semakin tinggi nilai indeks mutu bibit yang dihasilkan maka semakin baik kualitas bibitnya (Masilewi *et al.*, 2022; Rajagukguk *et al.*, 2019). Perlakuan DSE *Dendrothyrium* sp., *E.pisciphila* dan UFB 8 ppm dapat meningkatkan nilai indeks mutu bibit.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Benih malapari dengan kadar air 9,36%, masih mempunyai daya berkecambah yang tinggi sehingga tidak efektif diberi perlakuan perendaman dengan UFB. Cendawan DSE *E. pisciphila* yang diberikan sebagai perlakuan kepada benih malapari bisa mempertahankan daya berkecambah benih dan dapat meningkatkan kecepatan perkecambahannya. DSE *E. pisciphila* juga dapat mempercepat rata-rata hari berkecambah, meningkatkan rata-rata perkecambahan harian, meningkatkan biomassa tanaman serta dapat membuat bibit lebih kokoh dan menghasilkan indeks mutu bibit tinggi.

4.2. Saran

Penelitian penggunaan air UFB dan cendawan DSE untuk meningkatkan viabilitas dan vigor benih malapari perlu diujikan pada benih malapari yang sudah menurun daya berkecambahnya.

Ucapan Terima Kasih

Kami berterima kasih kepada Bapak Bagus Novianto sebagai Kepala Balai BPSI_LHK yang telah memberi izin untuk melakukan penelitian di laboratorium dan rumah kaca BPSI-LHK Ciheuleut, Bogor dan kepada saudara Suherman dan saudari Dina atas bantuannya dalam observasi dan pengumpulan data selama penelitian.

Daftar Pustaka

- Ahmed, A.K.A., Shi, X., Hua, L., Manzueta, L., Qing, W., Marhaba, T., & Zhang, W. (2018). Influences of air, oxygen, nitrogen, and carbon dioxide nanobubbles on seed germination and plant growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(20), 5117–5124. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b00333>
- Alimah, D. (2011). Budidaya dan potensi malapari (*Pongamia pinnata* l. pierre) sebagai tanaman penghasil bahan bakar nabati. *Galam*, 5(1), 35–49.
- Aminah, A., & Syamsuwida, D. (2013). Penentuan karakteristik fisiologis benih kranji (*Pongamia pinnata*) berdasarkan nilai kadar air. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 10(1–6).
- Arpiwi, N.L., Yan, G., Barbour, E.L., Plummer, J.A., & Watkin, E. (2013). Phenotypic and genotypic characterisation of root nodule bacteria nodulating *Milletia pinnata* (L.) Panigrahi, a biodiesel tree. *Plant and Soil*, 367(1–2), 363–377. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1472-4>
- Asih, P.R. (2021). Invigorasi mutu fisiologis benih terung ungu (*Solanum melongena* L.) kadaluarsa dengan beberapa teknik *Osmoconditioning*. *Agritrop : Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian (Journal of Agricultural Science)*, 18(2), 162–170. <https://doi.org/10.32528/agritrop.v18i2.3905>
- Dalimunthe, C.I.S.B.P.W., Munif, A., & Suro. (2019). Seleksi dan uji potensi cendawan *dark septate endophyte* sebagai agensia hayati penyakit jamur akar putih (*Rigidoporus microporus*) pada tanaman karet. *Penelitian Karet*, 37(1), 11–20.
- Deswal, R.P.S., Kaushik, N., Panwar, N., Rawat, L., & Bangarwa, K.S. (2015). Seed viability and oil content in seeds of *Pongamia pinnata* of five sources stored at different moisture and temperature regimes. *Research on Crops*, 16(3), 568–578.

- Diaz-Vivancos, P., Barba-Espín, G., & Hernández, J.A. (2013). Elucidating hormonal/ROS networks during seed germination: Insights and perspectives. *Plant Cell Reports*, 32(10), 1491–1502. <https://doi.org/10.1007/s00299-013-1473-7>
- Dickson, A., Leaf, A.L., & Hosner, J.F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10–13. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Fatchullah, D. (2017). Pengaruh kerapatan tanaman terhadap pertumbuhan dan hasil benih kentang (*Solanum tuberosum* L.) generasi satu (G1) varietas granola. *Planta Tropika: Journal of Agro Science*, 5(1), 15–22. <https://doi.org/10.18196/pt.2017.067.15-22>
- Fatikhasari, Z., Lailaty, I.Q., Sartika, D., & Ubaidi, M.A. (2022). Viabilitas dan vigor benih kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.), kacang hijau (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek), dan jagung (*Zea mays* L.) pada temperatur dan tekanan osmotik berbeda. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 27(1), 7–17. <https://doi.org/10.18343/jipi.27.1.7>
- Febritasari, F., Arpiwi, N.L., & Wahyuni, I.G.A.S. (2016). Karakteristik dan analisis hubungan kekerabatan malapari (*Pongamia pinnata* (L) pierre) sebagai tanaman penghasil minyak disua akses. *Jurnal Metamorfosa*, 3(2), 74–81.
- Haase, D.L. (2008). Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. *Tree Planters' Notes*, 52(2), 24–30. http://forestseedlingnetwork.com/media/15912/Understanding_Forest_Seedling_Quality-Measurements_and_Interpretation.pdf
- Handayani, D. (2017). Karakteristik cendawan *dark septate endophyte* (Dse) pada akar tanaman jagung dan padi. *Eksakta: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 18(01), 61–68. <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol18-iss01/20>
- Hasanah, U., Riwayati, & Idramsa. (2015). Uji anti jamur patogen ekstrak metabolit sekunder jamur endofit tumbuhan raru (*Cotylelobium melanoxylon*). *Jurnal Biosains*, 1(2).
- He, C., Wang, W., & Hou, J. (2019). Characterization of dark septate endophytic fungi and improve the performance of liquorice under organic residue treatment. *Frontiers in Microbiology*, 10(JUN), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01364>
- Hong, T.D., & Ellis, R.H. (1996). A protocol to determine seed storage behaviour. In *International Plant Genetic Resources Institute*. <https://doi.org/10.3390/plants9050581>
- Indriani, F.H.S.R.S. (1999). Pengaruh linvigorisasi terhadap benih dan pertumbuhan tanaman kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.). *Jurnal Litri*, 4(1), 1–5.
- Kumar, S., Radhamani, J., Singh, A.K., & Varaprasad, K.S. (2007). Germination and seed storage behaviour in *Pongamia pinnata* L. [12]. *Current Science*, 93(7), 910–911.
- Li, M., He, C., Wei, M., Long, J., Wang, J., Yang, X., Wang, K., & He, X. (2024). Temporal and spatial dynamics and functional metabolism of dark septate endophytes of *Gymnocarpus przewalskii* Maxim. in Northwest Desert, China. *Applied Soil Ecology*, 194(November 2023), 105194. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105194>
- Maia, J., Qadir, A., Widajati, E., & Purwanto, Y.A. (2021). Ultrafine bubbles technology for breaking dormancy of sandalwood seeds (*Santalum album* L.). *Jurnal Perbenihan Tanaman Hutan*, 9(1), 27–41. <https://doi.org/10.20886/bptpth.2021.9.1.27-41>
- Masilewi, J., Nurdin, A.S., Marasabessy, M.H., Irmayanti, L., Ashari, R., & Kehutanan, P.S. (2022). Pertumbuhan jabon merah (*Anthocephalus macrophyllus*) pada komposisi media tanam yang

- berbeda. *Ulin - J Hut Trop*, 6(1), 98–104.
- Nurhasybi, Sudrajat, D.J., & Suita, E. (2019). *Tree Seedling Nursery Stock Criteria: for Forest Plantation Establishment and Land Rehabilitation*.
- Pithaloka, S.A., Sunyoto, Kamal, M., & Hidayat, K.F. (2015). Pengaruh kerapatan tanaman terhadap pertumbuhan dan hasil beberapa varietas sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Jurnal Agrotek Tropika*, 3(1), 56–63. <https://doi.org/10.23960/jat.v3i3.1957>
- Poovarasam, T., Jerlin, R., Kennedy, J.S., Senthil, N., Sasthri, G., & Anand, T. 2022. Seed biopriming by endophytes for enhanced field performance of hybrid maize (*Zea mays* L.) COH(M) 8. *Agricultural Science Digest*, 1-6.
- Rajagukguk, J.A., Setiadi, Y., Hilwan, I., & Mardatin, N.F. (2019). Respon pertumbuhan bibit *Gmelina arborea* Roxb. terhadap perlakuan media tanam dan biostimulan di persemaian permanen IPB. *Journal of Tropical Silviculture*, 10(1), 15–20. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.10.1.15-20>
- Rahman, R.S. 2022. Kombinasi perlakuan ultrafine bubbles dan dark septate endophytes untuk perbaikan viabilitas dan vigor benih krasikarpa (*Acacia crassicarpa* A. Cunn. Ex Benth.). Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- Siregar, I., Ramdhani, R., Rustam, E., & Sudrajat, D. (2021). The effect of invigoration using polyethylene glycol And ultra fine bubble on improving of sengon seeds (*Falcataria Moluccana* Miq.) quality after two years storage. *Jurnal Wasian*, 8(2), 133–143. <https://doi.org/10.20886/jwas.v8i2.5997>
- Siregar, I.Z., Muharam, K.F., Purwanto, Y.A., & Sudrajat, D.J. (2020). Seed germination characteristics in different storage time of *gmelina arborea* treated with ultrafine bubbles priming. *Biodiversitas*, 21(10), 4558–4564. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211013>
- Sudrajat, D.J., Nurhasybi, N., & Syamsuwida, D. (2011). Teknologi untuk memperbaiki perkecambahan benih kepuh kepuh. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 8(5), 301–314. <https://doi.org/10.20886/jpht.2011.8.5.301-314>.
- Sudrajat, D.J., Putri, A., Purwanto, Y.A., & Siregar, I.Z. (2022). Effectiveness of ultrafine bubbles and gamma irradiation treatments to improve seed viability and vigor of *Albizia chinensis* (Osbeck) Merr. *Journal of Forestry Research*, 33(5), 1607–1613. <https://doi.org/10.1007/s11676-021-01442-5>
- Sudrajat, D.J., Siregar, I.Z., & Purwanto, Y.A. (2022). *Teknologi Ultrafine Bubbles (UFB)*. IPB Press.
- Sudrajat, D.J., Yuniarti, N., Nurhasybi, Syamsuwida, D., Danu, Pramono, A.A., & Putri, K.P. (2017). *Karakteristik dan Prinsip Penanganan Benih Tanaman Hutan Berwatak Intermediet dan Rekalsitran* (Issue December).
- Sudrajat, D.J., Yuskianti, V., Siregar, I.Z., & Rustam, E. (2024). *Teknologi Penanganan Benih dan Bibit Spesies Potensial untuk Restorasi Hutan dan Lanskap di Indonesia*. Dee Publish.
- Suita, & Syamsuwida. (2016). Pengaruh pengeringan terhadap viabilitas benih malapari. *Jurnal Perbenihan Tanaman Hutan*, 4(1), 9–16.
- Suita, E & Syamsuwida (2015). Peningkatan daya dan kecepatan berkecambah benih malapari (*Pongamia pinnata*). *Jurnal Perbenihan Tanaman Hutan*, 3(1), 43–50.
- Surono, & Narisawa, K. (2017). The dark septate endophytic fungus *Phialocephala fortinii* is a potential decomposer of soil organic compounds and a promoter of *Asparagus officinalis* growth. *Fungal Ecology*, 28(October), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2017.04.001>
- Surono, & Narisawa, K. (2018). The inhibitory role of dark septate endophytic fungus *Phialocephala*

- fortinii against fusarium disease on the *Asparagus officinalis* growth in organic source conditions. *Biological Control*, 121, 159–167. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.02.017>
- Sutopo, L. (2002). *Teknologi Benih*. PT Raja Grafindo Persada.
- Timotiwu, P.B., Nurmauli, N., & Khairunnisa, F.H. (2022). Studi mengenai viabilitas dan vigor benih kedelai baru dan lama. *Jurnal Agrotek Tropika*, 10(4), 541. <https://doi.org/10.23960/jat.v10i4.6450>
- Widajati, E. (2013). Metode Pengujian Mutu Benih. *Dasar Ilmu dan Teknologi Benih*. Pertama, 109–148. IPB Press.
- Widodo, T.W., Damanhuri, D., Muhklisin, I., & Titale, I.A. (2022). Production of 3 varieties of rice (*Oryza sativa* L.) on soilless farming system based on intermittent irrigation as urban farming method. *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 22(2), 184–193. <https://doi.org/10.25047/jii.v22i2.3352>
- Yuniarti, N., Nurhasybi, & Darwo. (2016). Karakteristik benih kayu bawang (*Azadirachta excelsa* (Jack) Jacobs) berdasarkan tingkat pengeringan dan ruang penyimpanan. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 13(2), 105–112.
- Zakia, A., Ulum, M.B., Iriany, A., & Zainudin, A. (2021). Modifikasi teknik invigorasi untuk meningkatkan viabilitas dan vigor benih jagung manis (*Zea mays sacharata* L.). *Agriprima : Journal of Applied Agricultural Sciences*, 5(1), 50–60. <https://doi.org/10.25047/agriprima.v5i1.383>