

**TEKNOLOGI *ULTRAFINE BUBBLES* UNTUK PEMATAHAN DORMANSI BENIH
CENDANA (*Santalum album L.*)**

(Ultrafine Bubbles Technology for Breaking Dormancy of Sandalwood Seeds (Santalum album L.)

Juliana Maia¹, Abdul Qadir², Eny Widajati², dan/and Yohannes Aris Purwanto³

- ¹⁾ Sekolah Pascasarjana, Program Studi Ilmu dan Teknologi Benih, Institut Pertanian Bogor,
Jl. Ulin, Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia
²⁾ Departemen Agronomi dan Hortikultura, Institut Pertanian Bogor,
Jl. Ulin, Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia
³⁾ Departemen Teknologi Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor,
Jl. Ulin, Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia
e-mail: leonizu2009@gmail.com

Naskah masuk: 19 Desember 2020; Naskah direvisi: 14 Maret 2021; Naskah diterima: 11 Agustus 2021

ABSTRACT

Sandalwood seed has two types of dormancy, namely physical dormancy and physiological dormancy which is a combination of the Two-part is called morphophysiological dormancy. There is for breaks dormancy in sandalwood for earlier embryo maturation and elongation also it has hard and impermeable skin. Its structure consists of layers of thick-walled palisade-like cells especially on the outermost surface and the inside has a waxy coating and curse material. The objective of this study was to break of seed dormancy with technology Ultrafine Bubbles (UFB) on the morphophysiological dormancy on sandalwood seeds. The experiments used a randomized complete block designed (RCBD) with 3 replications. The data were analyzed using ANOVA and will be continued using the DMRT test at the 5% level. The research was conducted from February - March Of 2020. The results showed that immersion using UFB water with oxygen 20 ppm or either UFB free oxygen for 24 and 48 hours combined with physical scarification and chemical scarification could accelerate germination in 13 days after germination (appeared radicle), percentage of growth speed (GS) is 4.67%, maximum growth (MG) in 21 days after sowing is 66.67% with normal sprouts 2-4 leaves have grown.

Keywords: *germination, imbibition, morphophysiological, scarification*

ABSTRAK

Benih cendana mempunyai dormansi morfofisiologi yaitu kombinasi dari 2 tipe yakni dormansi fisik dan fisiologis. Dormansi fisik disebabkan oleh kulit benih yang keras dan strukturnya terdiri dari lapisan sel-sel serupa palisade berdinding tebal dipermukaan luar dan bagian dalamnya mempunyai lapisan lilin dan bahan kutikula. Sedangkan. Dormansi fisiologis disebabkan zat pengatur tumbuh yang berupa penghambat maupun perangsang tumbuh dan benih mempunyai embrio yang kurang matang dan kurang panjang sehingga perlu diberi perlakuan terlebih dahulu sebelum pengecambahan. Tujuan penelitian mematahkan benih dormansi morfofisiologis benih cendana dengan teknologi *Ultra Fine Bubble* (UFB). Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari sampai Maret 2020. Percobaan menggunakan Rancangan Kelompok Lengkap Teracak dengan 3 ulangan. Data dianalisis menggunakan (ANOVA) serta dilanjutkan dengan uji DMRT pada tingkat 5% Perlakuan percobaan terdiri atas skarifikasi fisik, tanpa skarifikasi dan skarifikasi kimia yang dikombinasikan dengan perlakuan perendaman tanpa perendaman (kontrol) dan perendaman dengan H₂SO₄ (30 menit) lalu dilanjutkan dengan perendaman dalam air UFB selama 24 dan 48 jam, Aquades selama 24 dan 48 jam, Air UFB dengan injeksi oksigen (UFB 20 ppm) selama 24 dan 48 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perendaman menggunakan air UFB selama 24 dan 48 jam dengan oksigen 20 ppm maupun air UFB tanpa oksigen di kombinasikan dengan skarifikasi fisik mampu mempercepat perkecambahan yaitu 13 hari setelah semai (sudah muncul radikula), Kecepatan tumbuh yakni 4,67%, Potensi tumbuh maksimum (PTM) dalam jangka waktu 21 hari setelah pengecambah yaitu 66,67% dengan kecambah normal yakni sepasang daun 2-4 helai telah tumbuh.

Kata kunci: *imbibisi, morfofisiologi, perkecambahan, skarifikasi*

*Kontribusi penulis: Juliana Maia, Abdul Qadir, Eny Widajati, dan Yohannes Aris Purwanto sebagai kontributor utama

I. PENDAHULUAN

Cendana (*Santalum album* L.) merupakan tanaman tahunan yang banyak tumbuh di Indonesia Bagian Timur dan Timor Leste. Tanaman ini memiliki nilai ekonomi yang tinggi, kandungan minyak atsirinya tinggi serta produksi kayu terasnya juga tinggi (Annapura *et al.*, 2004) Berdasarkan *International Union for Conservation of Nature* tanaman cendana merupakan tanaman dengan kategori rawan mengalami kepunahan di alam akibat kebakaran hutan, penebangan liar, dan budidayanya yang tergolong sulit (Vié *et al.*, 2008). Sifat dormansi benih cendana menurut (Baskin *et al.*, 2006) digolongkan sebagai dormansi morfofisiologi, yaitu embrio harus mengalami pemanjangan terlebih dahulu sebelum akhirnya benih berkecambah atau patah dormansi (Dileepa *et al.*, 2015) dan diduga bahwa benih cendana juga memiliki tipe dormansi fisik akibat kulit benihnya yang keras.

Upaya pematahan dormansi benih cendana telah banyak dilakukan, namun hasil yang diperoleh relatif belum memuaskan. Penelitian Suthesh dan Jijeesh (2016) menunjukkan bahwa perlakuan perendaman benih cendana dengan menggunakan GA₃ 1000 ppm menghasilkan daya berkecambah 44,7% pada hari ke 128 setelah tanam dan perlakuan dengan H₂SO₄ selama 10 menit menghasilkan daya berkecambah sebesar 18,3% selama 153 hari setelah tabur. Dileepa *et al.* (2015) menyatakan

bahwa perlakuan GA₃ 500 ppm menghasilkan perkecambahan dengan daya berkecambah 100% pada minggu ke-7 setelah tabur. Hal tersebut menunjukkan metode pematahan dormansi yang digunakan belum mampu mematahkan dormansi benih cendana dengan waktu yang lebih singkat. Perlu adanya pengkajian metode baru yang lebih efektif dan cepat sebagai upaya dalam mematahkan dormansi benih cendana.

Fine bubble (FB) merupakan suatu teknologi yang menggunakan gelembung-gelembung air *ultra fine bubbles* (UFB) dengan diameter <10⁶ nm dengan ukuran yang berbeda-beda untuk berbagai keperluan, memiliki ukuran yang kecil UFB bersifat *invisible* (Liu *et al.*, 2016). Hasil dari proses FB ini disebut sebagai air UFB (*micro and nano bubbles*) yang mengandung gelembung udara halus yang dapat menyebabkan terbentuknya *Reactive Oxygen Species* (ROS) (Dayem *et al.*, 2017). *Fine bubble* (FB) adalah suatu teknologi yang peranannya sangat penting di bidang pertanian yaitu menggunakan air UFB yang diproduksi generator yang berukuran 100-400 nm dapat mempercepat proses pertumbuhan tanaman dan khususnya pada benih dormansi fisik dan dormansi fisiologis bisa mempercepat proses perombakan cadangan makanan hingga proses munculnya radikula dan plumula lebih cepat.

Air UFB dilaporkan cukup efektif untuk mematahkan dormansi benih saga, benih jati

putih, padi, kedelai, dan sayur-sayuran (Sritontip *et al.*, 2018). Perlakuan perendaman dengan air UFB terbukti dapat mematahkan dormansi benih saga dalam jangka waktu pendek yakni 12 hari setelah pengecambah dengan nilai perkecambahan di atas 80% (Iswara *et al.*, 2018). Hasil penelitian yang dilakukan pada benih jati putih dengan lama penyimpanan benih yang sudah di atas satu tahun setelah diinvigorasi dengan air UFB viabilitas dan vigornya masih tinggi dengan nilai perkecambahan > 80% dalam jangka waktu 14 hari (Siregar *et al.*, 2020).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan metode pematihan dormansi benih cendana yang efektif dengan teknologi UFB. Sasaran penelitian adalah untuk memperkenalkan teknologi *ultrafine bubbles* kepada para petani dan khususnya kepada staf program pembibitan tanaman tahunan untuk mematahkan dormansi benih – benih tanaman hutan yang mayoritas memiliki kulit keras dengan menggunakan air UFB dapat mempercepat perkecambahan.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Benih cendana aksesori lokal Timor Leste (TL) yang dipanen di Desa Migir, Kecamatan Atabae Kabupaten Bobonaro dengan tinggi pohon sekitar 25-30 meter diduga pohon cendana tersebut berumur sekitar 20-25 tahun. Benih cendana dipungut dibawah pohonnya

lalu diekstraksi dan dikeringkan bijinya pada bulan Agustus 2019 kemudian disimpan selama 4 bulan di ruang simpan benih AC dengan suhu 16°C -18°C dengan kelembapan antara 50%-55%. Bahan yang digunakan untuk perendaman benih yaitu air UFB, aquades dan H₂SO₄. Bahan media untuk pengecambahan yakni pasir yang telah disterilisasi. Penelitian dilaksanakan dari bulan Februari sampai Maret 2020 di Laboratorium Lingkungan dan Biosistem Mesin dan Rumah Kaca Kebun Percobaan Leuwikopo IPB. Data suhu harian dari hasil observasi selama penelitian berlangsung yang diukur dengan termometer menunjukkan rata-rata suhu bulanan untuk wilayah Dramaga pada bulan Februari hingga Maret 2020 sebesar 25,06°C. Rata-rata kelembapan bulanan untuk wilayah Dramaga pada bulan Februari hingga Maret 2020 sebesar 76,8%.

Peralatan yang digunakan pada penelitian adalah chamber, bak pengecambahan, timbangan analitik, termometer, gelas ukur, botol winkler, labu erlenmeyer, pasir yang telah disteril dan cawan petri dan UFB *water generator* (FZ1N-10, IDEC) berkapasitas tekanan input gas dengan kisaran 280-320 kPa

B. Prosedur Penelitian

Penelitian terdiri atas 2 faktor yang disusun secara factorial pada rancangan lingkungan yaitu Rancangan Kelompok Lengkap Teracak (RKLTL). Faktor pertama adalah jenis skarifikasi (tanpa skarifikasi, skarifikasi fisik, skarifikasi kimia) dan faktor kedua adalah

perlakuan lama perendaman pada konsentrasi air UFB oksigen 20 ppm dan tanpa oksigen selama 24 dan 48 jam, dengan aquades selama 24 dan 48 jam menggunakan H₂SO₄ 10% (10 ml H₂SO₄ yang dicampur dengan air aquades 90 ml menjadi 100 ml) dengan lama perendaman selama 30 menit. Faktor kedua adalah perlakuan perendaman benih yaitu tanpa perendaman (kontrol), perlakuan dengan air UFB oksigen 20 ppm (dengan oksigen) selama 24 dan 48 jam, perlakuan dengan air UFB tanpa oksigen (udara bebas) selama 24 dan 48 jam, serta perlakuan dengan aquades selama 24 jam dan 48 jam. Percobaan terdiri atas 21 kombinasi perlakuan yang diulang 3 kali sehingga terdapat 63 satuan percobaan. Satu satuan percobaan terdiri dari 25 butir benih. Pengecambahan benih menggunakan media pasir yang telah disterilisasi ±4 jam dengan metode sterilisasi dipanaskan dengan tungku pemanas lalu didinginkan selama satu jam kemudian diisi media ke wadah hingga penuh dan wadahnya dilubangi bagian bawah.

Pengamatan yang dilakukan pada pematangan dormansi benih cendana setelah di tanam terdiri atas:

1. Uji Laju Imbibisi

Benih cendana yang akan diuji dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu benih yang di skarifikasi fisik, benih tanpa skarifikasi dan skarifikasi kimia, masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali. Benih masing-masing

direndam sesuai dengan perlakuan selama 24 jam dan 48 jam. Setiap 4 jam sekali benih ditimbang bobotnya (Sadjad, 2010). Rumus yang digunakan untuk menghitung absorpsi adalah:

$$\text{Rata absorpsi} = \frac{\text{Berat pada jam yang ditimbang (n) - berat sebelum (n)}}{\text{Berat kering awal}} \times 100 \dots(1)$$

2. Kecepatan Tumbuh (Kct)

Persentase kecambah normal (KN) yang dihitung dan diambil setiap etmal (24 jam) mulai dari 1 hari hingga 41 hari setelah tanam (HST) (Widajati, 2012).

$$KcT = \sum_{k=0}^x (\%KN/etmal) \dots\dots\dots(2)$$

3. Indeks vigor (IV) yaitu persentase kecambah normal (KN) pada hitungan I uji daya berkecambah (DB) yaitu 21 HSP (Sadjad, 2010).

$$IV (\%) = \frac{KN \text{ hitungan I}}{\text{Total benih yang dikecambahkan}} \times 100\% \dots\dots(3)$$

4. Persentase kecambah normal (%) diamati pada 21 hari setelah tanam (HST), kecambah dikategorikan normal apabila ujung tunas berkembang sempurna dan sehat dengan minimal sepasang daun (ISTA, 2018).

$$\text{Kecambah Normal (\%)} = \frac{\text{Jumlah kecambah normal}}{\text{Jumlah benih yang ditanam}} \times 100\% \dots\dots(4)$$

5. Potensi Tumbuh Maksimum (PTM) dihitung berdasarkan persentase jumlah benih yang tumbuh dengan kriteria minimal tumbuh radikula pada akhir pengamatan yaitu 41 hari setelah tanam (HST) (ISTA, 2018).

$$PTM (\%) = \frac{\text{Total benih yang tumbuh}}{\text{Jumlah benih yang diuji}} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

6. Intensitas dormansi (ID).

Benih yang terserang cendawan sebelum akhir pengamatan dan belum berkecambah tidak termasuk ke dalam perhitungan intensitas dormansi (ISTA, 2018). Perhitungan intensitas dormansi menggunakan rumus:

$$\text{Intensitas dormansi (\%)} = \frac{\text{Jumlah benih segar tidak tumbuh}}{\text{Jumlah benih yang ditanam}} 100\% \dots \dots (6)$$

7. Persentase benih mati (BM)

Kriteria benih mati ditunjukkan untuk benih-benih yang busuk sebelum berkecambah atau tidak tumbuh setelah jangka waktu pengujian yang ditentukan, tetapi bukan dalam keadaan dorman. Persentase benih segar yang tidak tumbuh diamati di akhir pengamatan (41 HST) (ISTA, 2018).

C. Analisis Data

Analisis data menggunakan program SAS. Uji ANOVA pada selang kepercayaan 95% dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing-masing perlakuan. Apabila menunjukkan pengaruh nyata maka dilakukan uji lanjut dengan menggunakan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) pada taraf $\alpha=5\%$.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. HASIL

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan jenis skarifikasi dan perlakuan konsentrasi UFB dengan lama perendaman yang diamati berpengaruh sangat nyata terhadap semua peubah pengamatan.

Tabel Table 1. Rekapitulasi sidik ragam pada peubah yang diamati (*Recapitulation of variance on observed variables*)

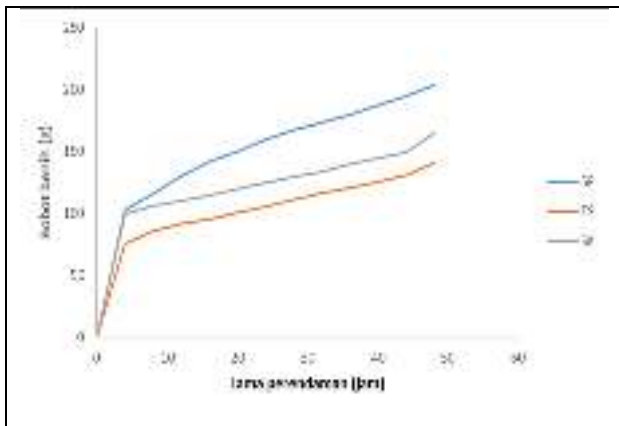
Peubah (Variable)	Jenis skarifikasi (scarification type)	Konsentrasi UFB (UFB concentration)	Jenis skarifikasi x Konsentrasi UFB (scarification type x UFB concentration)	KK (%) (CV) (%)
Index vigor (Vigor index)	**	**	**	21,72%
Kecepatan tumbuh (Speed of growing)	**	**	**	19,85%
Kecambah normal (Normal sprouts)	**	**	**	15,90%
Potensi tumbuh maksimum (Maximum growth potential)	**	**	**	14,00%
Intensitas dormansi (Dormancy intensity)	**	**	**	16,16%
Benih mati (Dead seed)	**	**	**	19,17%

Keterangan (Remarks) : KK = koefisien keragaman ** = berpengaruh sangat nyata pada $\alpha = 1\%$ berpengaruh nyata pada $\alpha = 5\%$, ^bdata ditransformasi dengan rumus $(x+0.5)^{1/2}$ (Cv = Coefficient of variant, ** = significant at $\alpha = 1\%$, significant at $\alpha = 5\%$, ^b data is transformed by formulas $(x+0.5)^{1/2}$

Imbibisi adalah proses air yang masuk ke dalam benih menyebabkan proses metabolisme dalam benih berjalan lebih cepat akibatnya perkecambahan yang dihasilkan akan

menjelaskan imbibisi merupakan proses meningkatnya kandungan air benih yang diperlukan untuk memicu proses biokimiawi perkecambahan. Laju imbibisi benih sangat erat

kaitannya dengan sifat permeabilitas kulit benih (testa) terhadap air dan gas. Testa yang agak keras, memiliki lilin sebagai lapisan pelindung dan penutup embrio mempengaruhi karakter morfologi benih terkait proses fisiologi embrio.



Gambar (Figure) 1. Proses imbibisi benih cendana dari perlakuan perendaman air UFB dan jenis skarifikasi (*The process of imbibition of sandalwood seeds from UFB immersion treatment and scarification*)

Skarifikasi adalah salah satu upaya perlakuan awal pada benih yang untuk mematahkan dormansi dan mempercepat terjadinya perkecambahan benih yang seragam (Nurmiaty *et al.*, 2014). Gambar 1 menunjukkan bahwa proses imbibisi benih yang diskarifikasi fisik memiliki kecenderungan peningkatan laju imbibisi yang lebih tinggi daripada tanpa skarifikasi dan skarifikasi kimia. Skarifikasi fisik diduga

menyebabkan kulit benih menjadi lebih tipis sehingga benih mudah menyerap air. Hal ini menyebabkan terjadinya pembengkakan benih lebih cepat sehingga menyebabkan bobot benih bertambah besar. Bobot benih pada perlakuan skarifikasi kimia dengan H_2SO_4 pada awal 0 jam lebih berat daripada perlakuan tanpa skarifikasi dan skarifikasi fisik. Hal ini diduga karena sebelum direndam dengan air UFB, benih direndam terlebih dahulu dalam H_2SO_4 selama 30 menit sehingga bobot benih bertambah lebih tinggi 100 g dari 25 butir per perlakuan akibat dari proses imbibisi air.

Jenis skarifikasi yang terbaik pada semua peubah adalah skarifikasi fisik. Benih yang telah diampas sampai kulit yang tipis mudah menyerap air hingga mempercepat proses perombakan metabolisme dalam benih akan mendorong pemanjangan radikula dan plumula untuk menembus kulit benih. Rusmin *et al.* (2016) menyatakan vigor atau uji kekuatan tumbuh diartikan sebagai kemampuan benih untuk tumbuh normal pada keadaan lingkungan yang suboptimal. Ada kemungkinan benih memiliki kemampuan untuk tumbuh menjadi kecambah normal meskipun keadaan biofisik lapangan produksi suboptimum. Kekuatan tumbuh atau vigor benih dapat diamati oleh tiga peubah yakni indeks vigor (IV), keserampakan tumbuh dan kecepatan tumbuh (Kct) (Yuniarti *et al.*, 2014).

Tabel (Table) 2. Indeks vigor (%) benih cendana dengan berbagai perlakuan pematangan dormansi.
 (*Vigor index (%) sandalwood seed with various treatment of dormancy breaking*)

Perlakuan (<i>Treatment</i>)	Jenis skarifikasi (<i>Scarification type</i>)		
	SF (PS)	TS (NS)	SK (CS)
Kontrol (<i>Control</i>)	0,71c	0,71c	0,71c
UFB 24 jam (<i>UFB 24 hours</i>)	4,06a	0,71c	0,71c
UFB20 24 jam (<i>UFB20 20 hours</i>)	4,37a	0,71c	0,71c
UFB 48 jam (<i>UFB 20 hours</i>)	3,88a	0,71c	0,71c
UFB20 48 jam (<i>UFB 20 48 hours</i>)	4,04a	0,71c	0,71c
Aqu. 24 jam (<i>Aqu 24 hours</i>)	0,71c	0,71c	0,71c
Aqu. 48 jam (<i>Aqu 48 hours</i>)	1,82b	0,71c	0,71c

Keterangan (*Remarks*): Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha=5\%$. SF=Skarifikasi fisik; UFB 24 jam = perendaman UFB selama 24 jam; UFB 48 jam = perendaman UFB selama 48 jam; UFB20 24 jam = perendaman UFB + oksigen ≥ 20 ppm selama 24 jam; UFB20 48 jam = UFB + oksigen ≥ 20 ppm selama 48 jam; Aqu. 24 jam = perendaman aquadest selama 24 jam; Aqu. 48 jam = perendaman aquades selama 48 jam (*Numbers followed by the same letter in the same column and row show not significantly different based on DMRT test at $\alpha=5\%$. PS= Physical scarification; UFB 24 hours= Immersion of UFB for 24 hours; UFB 48 hours=immersion of UFB for 48 hours; UFB 20 24 hours=immersion of UFB 20 for 48 hours; Aqu.24 hours=immersion of aquadest for 24 hours; Agu.48 hours=immersion of aquadest for 48 hours*)

Kombinasi perendaman dengan air UFB selama 24 dan 48 jam dengan 20 ppm serta dengan air UFB 24 dan 48 jam tanpa oksigen dengan skarifikasi fisik menunjukkan mampu meningkatkan indeks vigor yaitu 4,37%, 4,06%, 4,04% dan 3,88% dibandingkan perlakuan lainnya (Tabel 1). Hal ini karena aktivitas *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang dihasilkan oleh air UFB pada perlakuan skarifikasi fisik yang direndam dengan air UFB mampu mempercepat perkecambahan benih karena benih telah tipis yang berkaitan dengan proses perkecambahan mampu memfasilitasi pelemahan dinding membran sel untuk proses mempercepat pertumbuhan dan pemanjangan sel radikula (Muller *et al.*, 2009).

Jenis skarifikasi yang terbaik pada semua peubah yaitu skarifikasi fisik. Benih yang diamplas sampai tipis membuat benih mudah menyerap air hingga mempercepat proses

perombakan metabolisme dalam benih dan akan mendorong pemanjangan radikula dan plumula untuk menembus kulit benih. Air UFB yang berfungsi untuk melunakan kulit benih, mudah menembus dinding sel hingga benih cepat menyerap air dan terjadi perombakan cadangan makanan untuk perkecambahannya (Song *et al.*, 2017).

Kecepatan tumbuh (Kct) benih cendana setiap hari mengalami peningkatan. Skarifikasi fisik memberikan hasil yang signifikan lebih baik daripada skarifikasi kimia dan tanpa skarifikasi. Kecepatan tumbuh tertinggi diperoleh pada pengamatan 13 hari setelah penanaman (HSP) yaitu pada perlakuan air UFB20 24 jam, UFB20 48 jam dan UFB tanpa oksigen 48 jam. Hal ini menggambarkan penggunaan air UFB sangat efisien dan baik untuk diterapkan ke benih dorman yang di skarifikasi (Dharma *et al.*, 2015). Tabel 3

menunjukkan hasil kecepatan tumbuh yang lebih tinggi yaitu 6.75 pada jenis skarifikasi fisik diikuti skarifikasi kimia dan tanpa skarifikasi dengan perendaman air UFB20 ppm dan air UFB tanpa oksigen selama 24 dan 48 jam. Hal ini karena aplikasi dengan air UFB yang mengandung ROS (*Reactive*

oxygenspecies) merupakan radikal bebas yang berupa oksigen dan turunnya sangat reaktif (Dayem, 2017) melaporkan bahwa aplikasi ROS melalui air UFB menstimulasi perkecambahan secara endogen di dalam benih dan memainkan peranan penting dalam proses perkecambahan benih.

Tabel (Table) 3. Kecepatan tumbuh (% KN etmal⁻¹) benih cendana dengan berbagai perlakuan pematangan dormansi (*Speed of growth (% SG etmal⁻¹) sandalwood seed with various treatment of dormancy resistance*)

Perlakuan(Treatment)	Jenis Skarifikasi (scarification type)		
	SF(PS)	TS(NS)	SK(CS)
Kontrol(Control)	1,81g	0,00h	0,21h
UFB 24 jam(UFB 24 hours)	5,59b	2,31f	0,26ef
UFB20 24 jam(UFB 20 2 hours)	6,70a	3,24de	3,99c
UFB 48 jam(UFB 48 hours)	6,75a	3,17de	3,67cd
UFB20 48 jam(UFB 20 48 hours)	6,72a	3,72cd	3,56cd
Aquades 24 jam(Aquadest 24 hours)	2,43f	0,99gh	1,09gh
Aquades 48 jam(Aquadest 48 hours)	2,78df	0,99gh	0,99gh

Keterangan (Remarks): Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha=5\%$. SF=Skarifikasi fisik; UFB 24 jam = perendaman UFB selama 24 jam; UFB 48 jam = perendaman UFB selama 48 jam; UFB20 24 jam = perendaman UFB + oksigen ≥ 20 ppm selama 24 jam; UFB20 48 jam = UFB + oksigen ≥ 20 ppm selama 48 jam; Aqu. 24 jam = perendaman aquadest selama 24 jam; Aqu. 48 jam = perendaman aquadest selama 48 jam (*Numbers followed by the same letter in the same column and row show not significantly different based on DMRT test at $\alpha=5\%$. PS= Physical scarification; UFB 24 hours= Immersion of UFB for 24 hours; UFB 48 hours=immersion of UFB for 48 hours; UFB 20 24 hours=immersion of UFB 20 for 48 hours; Aqu.24 hours=immersion of aquadest for 24 hours; Agu.48 hours=immersion of aquadest for 48 hours*)

Tabel (Table) 4. Kecambah normal (%) benih cendana dengan berbagai perlakuan pematangan dormansi (*Normal sprouts (%) sandalwood seed with various treatment of dormancy breaking*)

Perlakuan (Treatment)	Jenis Skarifikasi (scarification type)		
	SF(PS)	TS(NS)	SK (CS)
Kontrol(Control)	3,71de	0,71f	0,71f
UFB 24 jam(UFB 24 hours)	4,51bc	3,10e	4,81ab
UFB20 24 jam(UFB 20 24 hours)	5,20ab	4,37ab	4,08cd
UFB 48 jam(UFB 48 hours)	5,34a	4,21bc	4,65ab
UFB20 48 jam(UFB 20 48 hours)	5,21ab	4,37ab	4,53ab
Aqu. 24 jam(Aquadest 24 hours)	3,88cde	0,71f	0,71f
Aqu. 48 jam(Aquadest 48 hours)	3,92cde	0,71f	0,71f

Keterangan (Remarks): Angka yang diikuti huruf yang Sama pada kolom dan baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha=5\%$. SF=Skarifikasi fisik; UFB 24 jam = perendaman UFB selama 24 jam; UFB 48 jam = perendaman UFB selama 48 jam; UFB20 24 jam = perendaman UFB + oksigen ≥ 20 ppm selama 24 jam; UFB20 48 jam = UFB + oksigen ≥ 20 ppm selama 48 jam; Aqu. 24 jam = perendaman aquades selama 24 jam; Aquades 48 jam = perendaman aquadest selama 48 jam (*Numbers followed by the same letter in the same column and row show not significantly different based on DMRT test at $\alpha=5\%$. PS= Physical scarification; UFB 24 hours= Immersion of UFB for 24 hours; UFB 48 hours=immersion of UFB for 48 hours; UFB 20 24 hours=immersion of UFB 20 for 48 hours; Aqu.24 hours=immersion of aquadest for 24 hours; Agu.48 hours=immersion of aquadest for 48 hours*)

Peubah kecambah normal (KN) signifikan dipengaruhi oleh perlakuan perendaman dan jenis skarifikasi. Perendaman benih dengan air UFB oksigen 20 ppm selama 24 dan 48 jam serta dengan air UFB tanpa oksigen sebagai faktor utama yang dikombinasi dengan skarifikasi fisik, skarifikasi kimia dan tanpa skarifikasi menunjukkan kecambah normal lebih banyak yakni 5,34%, 5,21%, 5,20%, 4,81%, 4,51% dan 4,37% dari pada tanpa skarifikasi (kontrol) dan perendaman dengan aquades (Tabel 4). Skarifikasi fisik yang dikombinasikan dengan perendaman menggunakan air UFB20 ppm selama 48 jam

hasil benih tumbuh menjadi kecambah normal lebih tinggi yaitu 5.34% dibandingkan dengan perendaman dengan aquades 24 dan 48 jam dan kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa perendaman dengan air UFB memicu kecepatan benih berkecambah karena air UFB yang mengandung gelumbung halus dapat menyebabkan ROS. Kriteria kecambah normal yaitu kulit benih terluka dan radikula muncul merupakan kriteria yang terbaik untuk menentukan daya berkecambah benih cendana. Ini berkorelasi dengan beberapa tolok ukur vigor bibit (Nurhasybi *et al.*, 2008)

Tabel (Table) 5. Potensi tumbuh maksimum (%) benih cendana dengan berbagai perlakuan pematihan dormansi (*Maximum growth potential (%) of sandalwood seeds with various treatments of dormancy breaking*)

Perlakuan (<i>Treatment</i>)	Jenis Skarifikasi (<i>scarification type</i>)		
	SF (PS)	TS (NS)	SK(CS)
Kontrol (<i>Control</i>)	34,66hg	0,00i	8,00i
UFB 24 jam (<i>UFB 24 hours</i>)	58,66ab	37,33fg	42,66cd
UFB20 24 jam (<i>UFB 20 24 hours</i>)	66,67a	48,00cd	53,33bc
UFB 48 jam (<i>UFB 48 hours</i>)	66,66a	41,33de	50,66bc
UFB20 48 jam (<i>UFB 20 48 hours</i>)	66,66a	52,00bcd	53,33bc
Aqu. 24 jam (<i>Aquadest 24 hours</i>)	40,00ef	37,33fg	30,66h
Aqu. 48 jam (<i>Aquadest 48 hours</i>)	46,66cd	34,66gh	30,66h

Keterangan (*Remarks*): Angka yang diikuti huruf yang Sama pada kolom dan baris yang Sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha=5\%$. SF=Skarifikasi fisik; UFB 24 jam = perendaman UFB selama 24 jam; UFB 48 jam = perendaman UFB selama 48 jam; UFB20 24 jam = perendaman UFB + oksigen ≥ 20 ppm selama 24 jam; UFB20 48 jam = UFB + oksigen ≥ 20 ppm selama 48 jam; Aqu. 24 jam = perendaman aquadest selama 24 jam; Aqu. 48 jam = perendaman aquadest selama (Numbers followed by the same letter in the same column and row show not significantly different based on DMRT test at $\alpha=5\%$. PS= Physical scarification; UFB 24 hours= Immersion of UFB for 24 hours; UFB 48 hours=immersion of UFB for 48 hours; UFB 20 24 hours=immersion of UFB 20 for 48 hours; Aqu.24 hours=immersion of aquadest for 24 hours; Agu.48 hours=immersion of aquadest for 48 hours).

Potensi tumbuh maksimum merupakan jumlah keseluruhan benih yang berkecambah baik kecambah normal maupun abnormal pada hitungan 2 (41 hari). Potensi tumbuh

maksimum tertinggi diperoleh dengan perendaman air UFB20 ppm dan air UFB tanpa oksigen dengan lama perendaman 24 dan 48 jam. Kombinasi perlakuan yang menyebabkan

PTM rendah yakni tanpa skarifikasi dengan kontrol. PTM > 60% pada 1 MSP diperoleh dari perendaman UFB20 ppm dan air UFB tanpa oksigen selama 24 jam. Potensi tumbuh maksimum meningkat hingga 66,76%. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan skarifikasi fisik + UFB oksigen 20 ppm dengan perendaman 24 dan 48 jam efektif untuk mendapatkan PTM

yang maksimal (Iswara *et al.*, 2018). Potensi tumbuh maksimum sangat baik terdapat pada semua perlakuan perendaman dengan air UFB baik 24 maupun 48 jam hal ini disebabkan karena ROS yang dihasilkan UFB akan meningkatkan keseimbangan hormon sehingga dapat memicu aktivitas metabolik penting dalam metabolisme perkecambahan benih.

Tabel (Table) 6. Intensitas dormansi (%) benih cendana dengan berbagai perlakuan pematihan dormansi (*Intensity of dormancy (%) sandalwood seed with various treatment of dormancy breaking*)

Perlakuan (<i>Treatment</i>)	Jenis Skarifikasi(<i>scarification type</i>)		
	SF(PS)	TS(NS)	SK(CS)
Kontrol (<i>Control</i>)	37,33cd	90,66a	76,00b
UFB 24 jam(<i>UFB 24 hours</i>)	37,33cd	49,33c	44,00cd
UFB20 24 jam(<i>UFB 20 24 hours</i>)	25,33f	37,33cd	40,00cd
UFB 48 jam(<i>UFB 48 hours</i>)	28,00ef	41,33cd	34,66de
UFB20 48 jam(<i>UFB 20 48 hours</i>)	28,00ef	36,66cd	37,33cd
Aqu. 24 jam(<i>Aquadest 24 hours</i>)	46,00cd	90,66a	76,00b
Aqu. 48 jam(<i>Aquadest 48 hours</i>)	37,33cd	42,66cd	45,33cd

Keterangan (*Remarks*): Angka yang diikuti huruf yang Sama pada kolom dan baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha=5\%$. SF=Skarifikasi fisik; UFB 24 jam = perendaman UFB selama 24 jam; UFB 48 jam = perendaman UFB selama 48 jam; UFB20 24 jam = perendaman UFB + oksigen ≥ 20 ppm selama 24 jam; UFB20 48 jam = UFB + oksigen ≥ 20 ppm selama 48 jam; Aqu. 24 jam = perendaman aquadest selama 24 jam; Aqu. 48 jam = perendaman aquadest selama 48 jam (*Numbers followed by the same letter in the same column and row show not significantly different based on DMRT test at $\alpha=5\%$. PS= Physical scarification; UFB 24 hours= Immersion of UFB for 24 hours; UFB 48 hours=immersion of UFB for 48 hours; UFB 20 24 hours=immersion of UFB 20 for 48 hours; Aqu. 24 hours=immersion of aquadest for 24 hours; Agu. 48 hours=immersion of aquadest for 48 hours*)

Intensitas dormansi pada perlakuan kombinasi perendaman dengan air UFB dan skarifikasi fisik menunjukkan hasil benih segar tidak tumbuh terendah yakni hanya 28% dibandingkan dengan perlakuan tanpa air UFB (kontrol) yang dikombinasikan dengan tanpa skarifikasi terbanyak 90%. Benih segar tidak tumbuh pada skarifikasi kimia tanpa air UFB

dan perendaman dengan aquades 48 jam lebih rendah yaitu 76%. Intensitas dormansi yang rendah diduga karena benih masih dalam keadaan dorman dan perendaman hanya selama 30 menit dengan H₂SO₄ dan dilanjutkan dengan perendaman aquades 48 jam belum dapat mematahkan dormansi benih cendana dalam waktu cepat.

Tabel (Table) 7. Benih mati (%) pada benih cendana dengan berbagai perlakuan pematahan dormansi (*Dead seeds (%) in sandalwood seeds with various treatments of dormancy breaking*)

Perlakuan (<i>Treatment</i>)	Jenis Skarifikasi (<i>Scarification type</i>)		
	SF(PS)	TS (NS)	SK (CS)
Kontrol (<i>Control</i>)	5,21a	3,12def	4,01abc
UFB 24 jam (<i>UFB 24 hours</i>)	2,18h	4,65abc	4,20abc
UFB20 24 jam (<i>UFB 20 24 hours</i>)	2,56gh	3,80bc	2,86efg
UFB 48 jam (<i>UFB 48 hours</i>)	2,65fgh	4,20abc	3,30cde
UFB20 48 jam (<i>UFB 20 48 hours</i>)	2,65fgh	3,50cde	3,50cde
Aqu. 24 jam (<i>Aquadest 24 hours</i>)	3,71bcd	4,53abc	4,94ab
Aqu. 48 jam (<i>Aquadest 48 hours</i>)	3,50cde	4,34abc	4,51abc

Keterangan (*Remarks*): Angka yang diikuti huruf yang Sama pada kolom dan baris yang Sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha=5\%$. SF=Skarifikasi fisik; UFB 24 jam = perendaman UFB selama 24 jam; UFB 48 jam = perendaman UFB selama 48 jam; UFB20 24 jam = perendaman UFB + oksigen ≥ 20 ppm selama 24 jam; UFB20 48 jam = UFB + oksigen ≥ 20 ppm selama 48 jam; Aqu. 24 jam = perendaman aquadest selama 24 jam; Aqu. 48 jam = perendaman aquadest selama 48 jam (*Numbers followed by the same letter in the same column and row show not significantly different based on DMRT test at $\alpha=5\%$. PS= Physical scarification; UFB 24 hours= Immersion of UFB for 24 hours; UFB 48 hours=immersion of UFB for 48 hours; UFB 20 24 hours=immersion of UFB 20 for 48 hours; Aqu.24 hours=immersion of aquadest for 24 hours; Agu.48 hours=immersion of aquadest for 48 hours*)

Tingginya benih mati pada perlakuan skarifikasi fisik, tanpa skrifikasi dan skarifikasi kimia pada perlakuan tanpa perendaman (kontrol) menyebabkan kondisi benih kering dan memfasilitasi serangan cendawan tumbuh di sekitar area perkecambahan. Serangan cendawan tersebut menyebabkan jumlah benih mati meningkat yaitu 5,21%, 4,94% dan 4,53% (Tabel 7). Benih cendana yang diskarifikasi fisik maupun tanpa skarikasi dan skarifikasi kimia yang dikombinasikan dengan kontrol dan perendaman dalam Aquades memiliki serangan cendawan lebih banyak dibandingkan dengan perendaman air UFB. Skarifikasi benih menyebabkan endosperma benih terluka sehingga benih mudah terserang cendawan hingga busuk. Benih yang telah busuk mengganggu proses metabolisme dan merusak

jaringan kotiledon serta embrio (Yuniarti, 2015).

B. PEMBAHASAN

Kulit benih cendana memiliki tingkat ketebalan yang mempengaruhi daya tumbuh benih. Benih cendana memiliki dormansi fisik dan dormansi fisiologi karena embrio benihnya belum masak. Pengukuran benih cendana yang dilakukan di Laboratorium Bioteknologi yaitu memiliki ketebalan kulit dari endosperma 0,6 mm dan terdiri dari 3 lapisan yaitu terluar (32,2 μm), palisade (44,6 μm) dan sub epidermal (219,8 μm). Perkecambahan benih menurut (Schmidt, 2000) salah satunya didukung oleh proses imbibisi, yaitu penyerapan air oleh embrio dan endosperma sehingga menyebabkan pembengkakan, mendesak kulit benih yang sudah lunak sampai pecah dan

memberikan ruang untuk keluarnya akar. Karakteristik kulit benih sangat mempengaruhi laju kemunculan kecambah selama pengujian mutu benih. Pengujian mutu benih perlu dilakukan untuk menentukan mutu benih terkait dengan nilai viabilitas dan vigor. Viabilitas dan vigor benih ditentukan dengan mengamati jumlah kecambah normal yang muncul setiap hari selama pengujian hingga akhir masa pengujian.

Benih cendana perlakuan kontrol menunjukkan pemunculan kecambah yang sangat lambat dengan daya berkecambah sebesar 0%, hitungan pertama diamati pada hari ke-21 dan hitungan kedua diamati pada hari ke-41. Kulit benih yang keras dengan lapisan lilin pada permukaan kulit benih mengakibatkan imbibisi menjadi lambat dan daya berkecambah rendah sebesar 0% Perlakuan dengan air UFB, air UFB 20 ppm, dan H₂SO₄ dengan lama perendaman selama 24 maupun 48 jam tanpa diberikan skarifikasi fisik menunjukkan potensi tumbuh maksimum yang rendah 0.0% dengan pada hari 20-30 dan pada hari ke 30-41, serta potensi tumbuh maksimum yang rendah berkisar antara 17-35%. Perlakuan-perlakuan tersebut tanpa adanya skarifikasi tidak efektif untuk meningkatkan daya berkecambah dan mempercepat pemunculan kecambah benih cendana.

Pematahan dormansi morfofisiologi pada benih cendana dilakukan skarifikasi fisik

dengan mengamplas salah satu bagian sisi benih sampai kulit nampak dalam berwarna putih kecoklatan. Skarifikasi kimia menggunakan perendaman dengan H₂SO₄ selama 30 menit. Skarifikasi adalah salah satu upaya perlakuan awal pada benih untuk mematahkan dormansi dan mempercepat terjadinya perkecambahan benih yang seragam. Karakter benih cendana yang memiliki kulit keras, lapisan lilin di permukaan testa dan dormansi fisiologis yaitu embrio yang lama matang. Pematahan dengan menggunakan Teknologi *Fine bubble* dengan perlakuan air UFB agar dapat melunakkan kulit benih yang keras, menghilangkan lapisan lilin agar benih *permeable* terhadap air dan gas yang menjadi elemen penting dalam proses metabolisme yakni perombakan cadangan makanan untuk ditranslokasi ke titik tumbuh yaitu embrio agar mendorong pemanjangan tumbuh radikula dan plumula.

Skarifikasi fisik benih cendana tanpa dilanjutkan dengan perendaman menunjukkan laju perkecambahan tetap rendah yaitu 30% dengan diamati pada hari ke-13 dan pada hari ke-21. Skarifikasi fisik yang dilanjutkan dengan perendaman dalam air UFB, air UFB20, selama 24 dan 48 jam menunjukkan daya berkecambah tinggi. Perlakuan skarifikasi dilanjutkan perendaman dalam air UFB20 selama 24 menghasilkan PTM sebesar 66,67%, skarifikasi dilanjutkan perendaman dalam UFB

+ oksigen selama 24 dan 48 jam menghasilkan PTM sebesar 66%, dan skarifikasi dilanjutkan perendaman dalam aquades selama 24 jam menghasilkan PTM sebesar 40%. Benih cendana yang diberi perlakuan skarifikasi fisik dengan mengamplas salah satu bagian sisi benih sampai kulitnya tipis lalu direndam dengan air UFB dalam evaluasi daya berkecambahnya rentang dan relatif lebih singkat.

Skarifikasi fisik yang diberikan mampu meningkatkan efektivitas UFB dalam meningkatkan imbibisi benih dan mempercepat laju kemunculan kecambah dan meningkatkan daya berkecambah. Ketiga perlakuan tersebut menunjukkan daya berkecambah yang rendah (kurang dari 50%) ketika dilakukan perendaman selama 48 jam.

Perlakuan skarifikasi kimia dilanjutkan perendaman dalam air UFB selama 48 jam menghasilkan PTM sebesar 50,66% dan skarifikasi kimia dilanjutkan perendaman dalam air UFB + oksigen 20 ppm selama 48 jam menghasilkan PTM sebesar 53% dan skarifikasi dilanjutkan perendaman dalam aquades selama 48 jam menghasilkan PTM sebesar 46% dengan ketiga perlakuan dapat mempercepat laju kemunculan kecambah dibandingkan kontrol, dan waktu perendaman dengan aquades yang cukup lama menyebabkan rendahnya daya berkecambah. Diduga perendaman dengan aquades selama 24 jam menyebabkan benih mengalami lisis dan

terjadi kebocoran metabolit sehingga benih berkecambah rendah.

Mengamati daya berkecambah benih cendana dapat dilakukan pada hari ke-13 untuk pengamatan pertama dan pada hari ke-21 untuk pengamatan kedua. Benih cendana tanpa perlakuan skarifikasi (kontrol) menunjukkan waktu perkecambahan awal sangat tertunda dan sampai akhir pengamatan 41 haripun tidak berkecambah. Pengamatan untuk kontrol dapat dilakukan dengan mengamati pertama 50 hari dan ke dua 60 hari. Uji daya berkecambah cendana sebaiknya terlebih dahulu diberikan perlakuan skarifikasi. Skarifikasi yang dapat dilakukan adalah skarifikasi fisik dan skarifikasi kimia diikuti perendaman dengan air UFB selama 24 jam pada hari ke-13 telah berkecambah dan pada hari ke-21 kecambah normal dengan sepasang dua helai daun telah muncul.

IV. KESIMPULAN

Perlakuan perendaman benih cendana dalam air UFB dengan oksigen 20 ppm selama 48 jam dengan skarifikasi fisik adalah kombinsai perlakuan yang terbaik dapat meningkatkan kecepatan tumbuh ($> 6\%$ etmal) 2 minggu lebih cepat, potensi tumbuh maksimum lebih tinggi ($>60\%$) dan lebih cepat yaitu 21 HSP (telah muncul sepasang helai daun). Efektifitas perlakuan dengan perendaman air UFB dalam mematahkan dormansi benih cendana lebih cepat dapat terjadi jika diikuti dengan skarifikasi fisik dan

sakrifikasi kimia dengan waktu perendaman cukup hanya selama 24 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada pihak Beasiswa dari SEARCA-SEAMEO yang telah mendanai penelitian ini. Terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Almarhum Dr. Ir. Asep Setiawan, MS., selaku pembimbing yang telah membantu memberikan arahan, masukan dan saran dalam penyusunan penelitian ini hingga selesai. Ungkapan terima kasih juga kepada pihak Beasiswa dari SEARCA-SEAMEO yang telah mendanai penelitian ini. Semoga penelitian ini bermanfaat dan memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pertanian dan kehutanan khususnya pada ilmu dan teknologi benih di masa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

- Annapura D., Rayhore, T. S., & Joshi, G. (2004). Effect of container type and size on the growth and quality of seedlings of Indian sandalwood (*Santalum album* L.). *Australian Forestry* 67(2), 82–87. <https://doi.org/10.1080/00049158.2004.10676211>
- Baskin, J. M., Baskin, C. C., Chien, C.-T., & Chen, S.-Y. (2006). Seed dormancy in the early diverging eudicot *Trochodendron aralioides* (Trochodendraceae). *Seed Science Research*, 16(1), 71–75. <https://doi.org/10.1079/ssr2005235>
- Costa, A., Dias, L., & Dias, A. (2019). Imbibition, germination, and early seedling growth responses of light purple and yellow seeds of red clover to distilled water, sodium chloride, and nutrient solution. *Sci*, 1(2), 51. <https://doi.org/10.3390/sci1020051>
- Dayem, A. A., Hossain, M. K., Lee, S. Bin, Kim, K., Saha, S. K., Yang, G. M., Choi, H. Y., & Cho, S. G. (2017). The role of reactive oxygen species (ROS) in the biological activities of metallic nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/ijms18010120>
- Dharma, I. P. E. S., Samudin, S., & Adrianton. (2015). Perkecambah benih pala (*Myristica fragrans* Houtt). *E-J. Agrotekbis*, 3(April), 158–167.
- Dilepa, M. M., Jayawardena, M., Gehan Jayasuriya, K. M. G., & Walck, J. L. (2015). Confirmation of morphophysiological dormancy in sandalwood (*Santalum album*, Santalaceae) seeds. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 43(3), 209–215. <https://doi.org/10.4038/jnsfr.v43i3.7949>
- Iswara, V., Setiawan, A., Palupi, E. R., & Purwanto, Y. A. (2018). Efektivitas perlakuan ultrafine bubble water dalam mematahkan dormansi benih padi. *Ejurnal.Litbang. Pertanian*, 137–144. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21082/jppt.p.v2n3.2018.p137-143>
- Liu, S., Oshita, S., Kawabata, S., Makino, Y., & Yoshimoto, T. (2016). Identification of ROS produced by nanobubbles and their positive and negative effects on vegetable seed germination. *Langmuir*, 32(43), 11295–11302. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.6b01621>
- Muller, K., Linkies, A., Vreeburg, R. A. M., Fry, S. C., Krieger-Liszkay, A., & Leubner-Metzger, G. (2009). In vivo cell wall loosening by hydroxyl radicals during cress seed germination and elongation growth. *Plant Physiology*, 150(4), 1855–1865. <https://doi.org/10.1104/pp.109.139204>
- Nurhasybi, Sudrajat, D., & Aisyah, P. (2008). Penentuan kriteria kecambah normal yang berkorelasi dengan vigor tusam (Pinus merkusii Jungh et de Vriese). *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*. 5(1):1-11.
- Nurmiaty, Y., Ermawati, & Purnamasari, V. W. (2014). Pengaruh cara skarifikasi dalam

- pematahan dormansi pada viabilitas benih saga manis (*Abrus precatorius* L.). *J. Agrotek Tropika*, 2(1), 73–77. <http://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JA/article/view/1933/1694>
- Rusmin, D., Suwarno, F. C., Darwati, I., & Ilyas, S. (2016). Pengaruh suhu dan media perkecambahan terhadap viabilitas dan vigor benih purwoceng untuk menentukan metode pengujian benih. *Buletin Penelitian Tanaman Rempah Dan Obat*, 25(1), 45. <https://doi.org/10.21082/bullitro.v25n1.2014.45-51>
- Schmidt, L. (2000). *Pedoman Penanganan Benih Tanaman Hutan Tropis dan Sub Tropis 2000* (Vol. 4, Issue 2). Jakarta: Direktorat Perbenihan Tanaman Hutan. http://elib.fahatan.ipb.ac.id/index.php?p=show_detail&id=53&keywords=
- 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>
- Song, D., Jaganathan, G. K., Han, Y., & Liu, B. (2017). Seed dormancy in camellia sinensis L. (theaceae): Effects of cold-stratification and exogenous gibberellic acid application on germination. *Botany*, 95(2), 147–152. <https://doi.org/10.1139/cjb-2016-0149>
- Sritontip, C., Thonglek, N., & Dechthummarong, C. (2018). The application of micro / nano bubbles to seed germination and seedling growth of chinese kale. *Agricultural Sci. J.* 49, 49(1), 37–41.
- Sutheesh V.K., & Jijeesh C.M.D.T. (2016). Evaluation of organic and inorganic pretreatments for better seed germination and seedling vigour in *Santalum Album L.* *Plant Archives*, 16(1), 143–150.
- Vié, J.-C., Hilton-Taylor, C., Pollock, C., Ragle, J., Smart, J., Stuart, S., & Tong, R. (2008). The IUCN Red List: a Key Conservation Tool. *The 2008 Review of The IUCN Red List of Threatened Species. IUCN Gland*, 16. <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=hgErHErt6-gC&oi=fnd&pg=PA1&dq=THE+IUCN+RED+LIST:+A+KEY+CONSERVATION+TOOL&ots=ujrmQod0Fn&sig=FJYuKIJSKqEyVJ-2E2cIrlmT9rA>
- Yuniarti, N. (2015). *Teknik pematahan dormansi untuk mempercepat perkecambahan benih kourbaril (Hymenaea courbaril)*. 1(September), 1433–1437. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010629>
- Yuniarti, N., Zanzibar, M., . M., & Leksono, B. (2014). Perbandingan vigoritas benih *Acacia mangium* hasil pemuliaan dan yang belum dimuliakan. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 3(1), 57-64. <https://doi.org/10.18330/jwallacea.2014.vol3iss1pp57-64>