

**INVIGORASI BENIH JABON PUTIH (*Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser)
MENGGUNAKAN POLYETHYLENE GLYCOL DAN ULTRA FINE BUBBLES**

*(Invigoration Treatment of White Jabon (*Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser) Seeds Using Polyethylene Glycol and Ultrafine Bubbles)*

Nura Aulia Nurul Fata¹, Supriyanto¹, *Evayusvita Rustam² dan/and *Dede J. Sudrajat²

¹Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor
Jl. Ulin, Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia

² Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Perbenihan Tanaman Hutan
Jl. Pakuan Ciheuleut PO Box 105; Telp. (0251) 8327768, Bogor, Jawa Barat, Indonesia
e-mail: eva_yr@yahoo.co.id

Naskah masuk: 27 Januari 2020; Naskah direvisi: 8 Mei 2020; Naskah diterima: 9 Juli 2020

ABSTRACT

Polyethylene glycol (PEG) and ultrafine bubbles (UFB) can be used to increase seed germination and its vigor. The purpose of this study was to examine the effect of PEG-6000 and UFB on the seed germination and vigor of white jabon after 7 years of storage. This study used a completely randomized design with factorial pattern using two factors, i.e. provenances (Alas Purwo, Kapuas, Kampar, Pomalaa) and invigoration treatments (seed without treatment, PEG -0.8 MPa for 24 h, PEG -1.2 MPa for 24 h, UFB (operating 30 min) for 24 h, UFB (operating 30 min) for 48 h, UFB (operating 55 min) for 24 h, UFB (operating 55 min) for 48 h). UFB treatments had a better effect on white jabon seeds germination compared to PEG. Interaction of Pomalaa provenance seed with soaking in UFB (operating 55 min) for 24 h gave the best germination capacity (87%), germination value (7.35), and seed germination speed (7.39% day⁻¹). While for the very low seed vigor (seed from Alas Purwo, Kampar and Kapuas), the treatment of soaking in UFB water (operating 30 min) for 48 h improved the germination capacity of seed from Alas Purwo (35.50%), Kapuas (35.25%), and Kampar (14.75%).

Keywords: *germination, jabon, provenance, seed, vigor*

ABSTRAK

Polyethylene glycol (PEG) dan ultrafine bubbles (UFB) dapat digunakan untuk meningkatkan perkecambahan dan vigor benih. Tujuan penelitian ini adalah menguji pengaruh PEG-6000 dan UFB terhadap perkecambahan dan vigor benih jabon putih setelah penyimpanan 7 tahun. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap pola faktorial dengan dua faktor, yaitu provenans (Alas Purwo, Kapuas, Kampar, Pomalaa), dan perlakuan invigorasi (benih tanpa perlakuan, PEG -0,8 MPa 24 jam, PEG -1,2 MPa 24 jam, UFB (pengoperasian 30 menit) 24 jam, UFB (pengoperasian 30 menit) 48 jam, UFB (pengoperasian 55 menit) 24 jam, dan UFB (pengoperasian 55 menit) 48 jam). Perendaman dalam UFB lebih efektif meningkatkan perkecambahan dan vigor benih jabon putih dibandingkan dengan menggunakan PEG. Interaksi benih jabon putih provenans Pomalaa dengan perlakuan UFB (pengoperasian 55 menit) dengan lama perendaman 24 jam menghasilkan perkecambahan benih terbaik dengan daya berkecambah sebesar 87%, nilai perkecambahan sebesar 7,35 dan kecepatan tumbuh benih sebesar 7,39% hari⁻¹. Pada benih dengan daya berkecambah awal sangat rendah (benih asal provenans Alas Purwo, Kampar dan Kapuas), perlakuan perendaman air UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 48 jam mampu memperbaiki daya berkecambah benih masing-masing menjadi 35,50% untuk benih asal Alas Purwo, 35,25% untuk benih asal Kapuas, dan 14,75% untuk benih asal Kampar.

Kata kunci : *benih, jabon, perkecambahan, provenans, vigor, polyethylene glykol, ultra fine bubbles*

I. PENDAHULUAN

Jabon putih (*Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser) merupakan jenis cepat tumbuh

yang memiliki karakter benih ortodoks (Yuniarti & Nurhasybi, 2015). Namun, Mansur (2012) menyatakan benih ini

*Kontribusi penulis: Evayusvita Rustam dan Dede J. Sudrajat sebagai kontributor utama

mengalami kemunduran setelah penyimpanan 2–3 bulan. Mutu benih yang mengalami kemunduran dapat ditingkatkan dengan memberikan perlakuan invigorasi yang merupakan perlakuan untuk meningkatkan viabilitas dan vigor benih yang telah mengalami penurunan kualitas. Rustam (2018) melakukan penelitian invigorasi benih jabon putih dari berbagai provenans yang telah disimpan selama 4,5 tahun, hasilnya bahwa perlakuan invigorasi yang paling efektif adalah dengan merendam benih dalam larutan PEG 6000 -0,8 MPa dan -1,2 MPa selama 24 jam, meningkatkan daya berkecambah, kecepatan dan keserempakan tumbuh benih.

Polyethylene Glikol (PEG) adalah suatu larutan yang dapat meningkatkan mutu benih karena dapat mengontrol imbibisi benih (Yuanasari, Kendarini, & Saptadi, 2015). Penggunaan PEG untuk meningkatkan vigor benih telah lama dikembangkan. Perendaman menggunakan PEG menyebabkan potensial lingkungan benih menjadi rendah, sehingga laju penyerapan air diperlambat dan durasi penyerapan air diperpanjang sehingga menyebabkan terjadinya penguatan (perbaikan) permiabilitas membran plasma dan memperkecil kehilangan elektrolit sel (Ruliyansyah, 2011). Keberhasilan peningkatan vigor dilaporkan oleh Susanti (2014) dengan konsentrasi 3% direndam selama 2 jam meningkatkan daya

berkecambah dan keserempakan tumbuh benih *Hibiscus cannabinus* L. masing-masing 32,67% dan 39,53%. Teknologi lain yang sangat potensial untuk perbaikan viabilitas dan vigor benih adalah *ultra fine bubbles* (UFB) yang berupa gelembung halus berukuran mikro dan nano di dalam air (Liu & Makino, 2016). Teknologi ini masih belum banyak diterapkan pada benih-benih kehutanan. Beberapa penelitian melaporkan efektivitas UFB dalam meningkatkan perkecambahan dan vigor benih, seperti pada *Zea mays* L. Saccharata dan *Hordeum vulgare* L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perendaman benih *Zea mays* L. Saccharata selama 5 menit dan *Hordeum vulgare* L. selama 1 jam meningkatkan perkecambahan benih (Sritontip, Dechthummarong, Thonglek, & Phonsaeng, 2017)

Ultrafine Bubble dapat masuk ke dalam benih melalui kulit benih karena ukurannya yang sangat halus. Oksigen yang dibawa masuk ke dalam benih akan meningkatkan respirasi di dalam benih sehingga energi untuk berkecambah dapat diproduksi. Selain itu, radikal hidroksil yang dihasilkan oleh UFB dapat memicu terbentuknya *Reactive Oxygen Species* (ROS) di dalam benih yang menjadi regulator fisiologis dalam pemberian sinyal untuk perkecambahan dan dapat meningkatkan kadar giberelin dalam benih (Liu *et al*, 2015; Gomes & Garcia, 2013). Giberelin merupakan

hormon yang diperlukan dalam proses perkecambahan (Khairani, Syamsuddin, & Ichsan, 2016).

Penelitian ini membandingkan antara perlakuan terbaik hasil penelitian sebelumnya yang menggunakan PEG (Rustam, 2018) dengan penggunaan UFB dalam peningkatan mutu fisiologis benih jabon putih. Benih jabon putih yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Alas Purwo, Kapuas, Kampar, dan Pomalaa yang telah disimpan selama 7 tahun. Diharapkan penelitian ini mampu menemukan metode yang efektif untuk meningkatkan vigor benih yang tersimpan lama dan dapat diaplikasikan pada benih-benih hasil pemuliaan untuk program penanaman atau

benih-benih hasil eksplorasi untuk tujuan konservasi (bank benih).

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah benih jabon putih (*N. cadamba*) provenans Alas Purwo, Kampar, Kapuas, dan Pomalaa yang telah disimpan selama 7 tahun (Juni 2012–Juni 2019) di refrigator (suhu 0°C–4°C dan kelembapan nisbi 40%–50%), PEG 6000, dan air UFB. Kondisi geo-iklim setiap provenans dan kondisi benih yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 1. Alat yang digunakan adalah generator *ultra fine bubbles* (UltrafineGaLF tipe FZ1N-10).

Tabel (Table) 1. Kondisi geo-iklim dan benih dari 4 provenans jabon putih yang digunakan dalam penelitian (*Geo-climate and seeds conditions of 4 white jabon provenances used in the study*)

Kondisi geo-iklim (<i>Geo-climate conditions</i>)	Provenans (<i>Provenance</i>)			
	Alas Purwo	Kapuas	Kampar	Pomalaa
– Bujur (<i>Latitude</i>)	114°21' BT	114°28' BT	100°57' BT	116°48' BT
– Lintang (<i>Longitude</i>)	08°38' LS	01°00' LS	00°18' LU	04°03' LS
– Ketinggian tempat (m dpl) (<i>Altitude, m asl</i>)	33	147	50	210
– Curah hujan (mm/tahun) (<i>Precipitation, mm/year</i>)	1500	2340	3000	1780
– Tipe iklim (<i>Type of climate</i>) (Schmidt Ferguson)	D-E (sedang-agak kering)	A (sangat basah)	A (sangat basah)	C (agak basah)
Kondisi benih sebelum disimpan (<i>Seed condition before storaged</i>)				
– Daya berkecambah (<i>Germination capacity</i>) (%)*	63	75	69	93
– Kadar air benih (<i>Seed moisture content</i>) (%)	7,3	7,5	6,5	5,5
– Karbohidrat (<i>Carbohydrate content</i>) (%)	72,89	73,89	72,55	74,53
– Lamak (<i>Lipid content</i>) (%)	0,68	0,61	0,50	0,60
– Protein (<i>Protein content</i>) (%)	13,70	14,04	14,88	11,04

Keterangan (*Remark*): *Data sebelum penyimpanan diadopsi dari penelitian (*The data before storage is adopted from the research of*) (Sudrajat, 2016)

B. Prosedur Penelitian

1. Pembuatan larutan PEG 6000 dan UFB

Pembuatan larutan PEG 6000 dilakukan di Laboratorium Pengujian Benih, Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Perbenihan Tanaman Hutan (BP2TPH)

Bogor. Larutan PEG 6000 yang dibuat dalam penelitian ini adalah larutan dengan potensial osmotik –0,8 MPa dan –1,2 MPa. Pembuatan larutan tersebut menggunakan rumus sebagai berikut (Michel & Kaufmann, 1973):

$$\Psi_s = -(1,18 \times 10^{-2})C - (1,18 \times 10^{-4})C^2 + (2,67 \times 10^{-4})CT + (8,39 \times 10^{-7})C^2T..(1)$$

Keterangan:

T = suhu ruangan (28°C).

Pembuatan air yang mengandung UFB dilakukan menggunakan *ultrafine bubbles generator* (UltrafineGaLF tipe FZ1N-10) di Laboratorium Teknik Lingkungan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Pembuatan UFB dilakukan dalam dua kali pengoperasian alat, yaitu pengoperasian 55 menit dan 30 menit. Satu kali pengoperasian alat ini membutuhkan aquades ±15 liter. Benih hasil perlakuan ditabur pada media campuran pasir dan tanah (1:1 v/v) yang terlebih dahulu disaring menggunakan saringan dengan ukuran tidak lebih dari 1 mm dan disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 1 jam.

2. Rancangan penelitian dan perlakuan benih

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap pola faktorial dengan dua faktor, yaitu provenans jabon putih dan perlakuan invigorasi. Faktor pertama (provenans jabon putih) terdiri dari 4 provenans, yaitu Alas Purwo (A1), Kapuas (A2), Kampar (A3), dan Pomalaa (A4). Faktor kedua (perlakuan invigorasi) terdiri dari 7 perlakuan, yaitu benih tanpa perlakuan (B1), PEG -0,8 MPa dengan lama perendaman 24 jam (B2), PEG -1,2 MPa dengan lama perendaman 24 jam (B3), UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama

perendaman 24 jam (B4), UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 48 jam (B5), UFB (pengoperasian 55 menit) dengan lama perendaman 24 jam (B6), dan UFB (pengoperasian 55 menit) dengan lama perendaman 48 jam (B7).

Model linear untuk rancangan percobaan yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- Y_{ijk} = Nilai pengamatan pada perlakuan provenans ke-i, invigorasi ke-j, dan ulangan ke-k
- μ = Rataan umum
- α_i = Pengaruh provenans ke-i
- β_j = Pengaruh invigorasi ke-j
- ε_{ij} = Pengaruh galat perlakuan ke-i dan ke-j pada satuan percobaan ke-k.

Benih direndam dalam larutan PEG dan UFB dengan rasio 1:5 (w/v) yang dilakukan pada ruang gelap, suhu 15°C – 25°C dan RH 45 persen (Farooq & Hafeez, 2006; Rustam, 2018). Setiap perlakuan diulang sebanyak 4 kali dengan jumlah benih 100 butir/ulangan. Benih dicampur dengan pasir halus (1:10 v/v) untuk menaburkan benih secara merata. Kecambah jabon putih dikatakan normal apabila telah muncul sepasang daun secara sempurna (Rustam, 2018). Pengamatan perkecambahan dilakukan setiap hari selama 21 hari (Sudrajat, 2016).

3. Pengamatan dan pengukuran

a. Daya berkecambah

Pengamatan dan pengambilan daya kecambah dilakukan setiap hari sampai

akhir pengamatan. Rumus daya berkecambah (DB) sebagai berikut:

$$DB (\%) = \frac{\sum KN}{\sum \text{benih yang dikecambahkan}} \times 100\% \quad \dots(3)$$

Keterangan:

KN = kecambah normal.

b. Kecepatan tumbuh benih

Kecepatan tumbuh benih (Kct) diukur setiap hari hingga akhir pengamatan berdasarkan jumlah kecambah normal yang tumbuh. Kecepatan tumbuh benih jabon dihitung dengan rumus berikut (Gairola, Nautiyal, Sharma, & Dwivedi, 2011):

$$Kct (\%/\text{hari}) = \frac{n1}{d1} + \frac{n2}{d2} + \dots + \frac{ni}{di} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

N = jumlah kecambah normal,

d = hari

c. Nilai perkecambahan

Nilai perkecambahan dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$NP = PV \times MDG$$

dimana:

$$PV = \frac{\% \text{ perkecambahan tertinggi}}{\sum \text{hari untuk mencapainya}} \dots\dots\dots(5)$$

$$MDG = \frac{\% \text{ perkecambahan pada akhir pengamatan}}{\text{Hari perkecambahan terakhir}} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

PV = *peak value* (puncak perkecambahan)

MDG = rata kecambah harian (*mean daily germination*)

d. Rata-rata waktu berkecambah (RWB)

Parameter ini dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$RWB (\text{hari}) = \frac{(n_1 \cdot d_1) + (n_2 \cdot d_2) + \dots + (n_i \cdot d_i)}{\text{total benih yang berkecambah}} \dots(7)$$

Keterangan:

n_i = jumlah benih yang berkecambah pada hari ke- i

d_i = hari berkecambah

e. Keserempakan tumbuh benih

Keserempakan tumbuh benih dapat digunakan untuk menduga vigor benih dan diperoleh menggunakan metode hitungan I (*first count*) dan hitungan II (*second count*). Nilai perkecambahan harian tertinggi selama pengamatan ditentukan sebagai hitungan I dan nilai pada saat tidak terjadi lagi penambahan daya berkecambah ditentukan sebagai hari hitungan II (Sudrajat, Nurhasybi, & Bramasto, 2017). Keserempakan tumbuh benih (Kst) dihitung berdasarkan rumus berikut (Syafuruddin & Miranda, 2015):

$$Kst (\%) = \frac{\sum KN \text{ antara hitungan I dan II}}{\sum \text{benih yang dikecambahkan}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

KN = kecambah normal

f. Indeks vigor (IV)

Indeks vigor dihitung berdasarkan persentase kecambah normal yang muncul pada hitungan I (*first count*), yaitu saat nilai perkecambahan harian tertinggi selama pengamatan.

$$IV = \frac{\sum KN \text{ pada hitungan I}}{\sum \text{benih yang dikecambahkan}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan:

KN = kecambah normal

C. Analisis Data

Pengujian statistik dengan menggunakan sidik ragam dengan uji F dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan dalam penelitian ini. Data diolah menggunakan *software SAS 9.0*. Nilai *P-value* > α (0,05), maka perlakuan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap parameter perkecambahan dan

nilai $P\text{-value} < \alpha$ (0,05), maka perlakuan memberikan pengaruh nyata terhadap parameter perkecambahan pada penelitian ini. Uji Duncan (*Duncan Multiple Range Test*) digunakan untuk membedakan nilai tengah antar perlakuan yang diuji bila hasil analisis ragam dari perlakuan-perlakuan tersebut menunjukkan pengaruh yang nyata.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Sebelum penyimpanan nilai daya berkecambah benih antara 63%—93% dengan kadar air benih sebesar 5,5%—7,5%. Dari ke-4 provenans, provenans Pomalaa memiliki mutu fisiologis (daya berkecambah) lebih tinggi, diikuti provenans Kapuas, Kampar dan Alas

Purwo. Sedangkan untuk nilai kadar air benih provenans Pomalaa memiliki kadar air lebih rendah dibandingkan benih provenans lainnya (Tabel 1).

Pengujian setelah 7 tahun penyimpanan menunjukkan bahwa perkecambahan benih jabon putih sangat dipengaruhi oleh faktor provenans dan perlakuan invigorasi, kecuali untuk parameter indek vigor tidak dipengaruhi oleh perlakuan invigorasi (Tabel 2). Interaksi antara provenans dan perlakuan invigorasi berpengaruh nyata terhadap daya berkecambah, kecepatan tumbuh, nilai perkecambahan dan keserempakan tumbuh benih, sedangkan untuk parameter rata-rata waktu berkecambah dan indek vigor tidak berpengaruh nyata (Tabel 2).

Tabel (Table) 2. Rekapitulasi hasil sidik ragam pengaruh perlakuan invigorasi terhadap perkecambahan benih 4 provenans jabon putih (*Recapitulation of analysis of variance of the effect of invigoration treatment on the seed germination of the 4 white jabon provenances*)

Parameter (Parameter)	Provenans (Provenance)	Invigorasi (Invigoration)	Interaksi provenans dan perlakuan invigorasi (Interaction of provenance and invigoration)
Daya berkecambah (Germination capacity) (%)	<0,0001**	0,0094*	0,0180*
Kecepatan tumbuh (Germination speed) (% hari ⁻¹)	<0,0001**	0,0001**	0,0380*
Nilai perkecambahn (Germination value)	<0,0001**	0,0028*	0,0010**
Rata-rata waktu berkecambah (Mean germination capacity) (hari)	<0,0001**	<0,0001**	0,3290 ^m
Keserempakan tumbuh (uniformity of emergency) (%)	<0,0001**	0,0011*	0,0012**
Indek vigor (Vigor index)	<0,0001**	0,7436 ^m	0,5368 ^m

Keterangan (Remarks): *= berpengaruh nyata pada tingkat kepercayaan 95% (P-value < 0,05), **= berpengaruh sangat nyata pada tingkat kepercayaan 99% (P-value < 0,01), tn= tidak berpengaruh nyata, (** = significant at 99% confident level, * = significant at 95% confident level, ns = not significant)

Interaksi perlakuan terbaik pada penelitian ini ditunjukkan oleh provenans Pomalaa yang diberi perlakuan air UFB (pengoperasian 55 menit) dan direndam

selama 24 jam (B6) (Tabel 3). Untuk benih provenans Alas Purwo dan Kapuas peningkatan terjadi pada parameter daya berkecambah dan kecepatan tumbuh pada

perlakuan UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 48 jam (B5), sedangkan untuk parameter lainnya terjadi peningkatan akan tetapi tidak berbeda nyata dengan benih tanpa perlakuan. Hasil yang

sama untuk provenans Kampar setiap parameter mengalami peningkatan akan tetapi tidak berbeda nyata dengan benih tanpa perlakuan (Tabel 3).

Tabel (Table) 3. Parameter perkecambahan benih jabon putih pada interaksi provenans dan perlakuan invigorasi (*Germination parameters of white jabon seed on the interaction of provenance and invigoration treatment*)

Perlakuan Invigorasi (<i>Invigoration treatment</i>)	Provenans (<i>Provenance</i>)			
	Alas Purwo	Kapuas	Kampar	Pomalaa
	Daya berkecambah (<i>Germination capacity</i>) (%)			
B1 (benih tanpa perlakuan) (<i>Seed without treatment</i>)	26,75 cde	19,50 ef	10,75 g	86,75 a
B2 (PEG -0,8 MPa dengan lama perendaman 24 jam) (<i>PEG -0.8 Mpa with soaking for 24 hours</i>)	33,00 bc	23,50 de	12,75 fg	80,25 a
B3 (PEG -1,2 MPa dengan lama perendaman 24 jam) (<i>PEG -1.2 Mpa with soaking for 24 hours</i>)	32,00 bc	23,75 de	14,25 fg	84,00 a
B4 (UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 24 jam) (<i>soaking in UFB (operating 30 minutes) for 24 hours</i>)	34,00 bc	28,25 bcd	9,50 g	81,50 a
B5 (UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 48 jam) (<i>soaking in UFB (operating 30 minutes) for 48 hours</i>)	35,50 b	35,25 b	14,75 fg	82,50 a
B6 (UFB (pengoperasian 55 menit) dengan lama perendaman 24 jam) (<i>soaking in UFB (operating 55 minutes) for 24 hours</i>)	34,50 bc	23,75 de	10,25 g	87,00 a
B7 (UFB (pengoperasian 55 menit) dengan lama perendaman 48 jam) (<i>soaking in UFB (operating 55 minutes) for 48 hours</i>)	30,50 bcd	30,25 bcd	15,50 fg	81,25 a
	Kecepatan tumbuh (<i>Germination speed</i>) (%/hari)			
B1 (benih tanpa perlakuan) (<i>Seed without treatment</i>)	2,07 fgh	1,46 hi	0,69 j	6,96 abc
B2 (PEG -0,8 MPa dengan lama perendaman 24 jam) (<i>PEG -0.8 Mpa with soaking for 24 hours</i>)	2,73 def	2,02 fgh	0,89 ij	6,46 c
B3 (PEG -1,2 MPa dengan lama perendaman 24 jam) (<i>PEG -1.2 Mpa with soaking for 24 hours</i>)	2,67 def	2,00 fgh	1,04 ij	7,19 ab
B4 (UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 24 jam) (<i>soaking in UFB (operating 30 minutes) for 24 hours</i>)	2,91 de	2,28 efg	0,61 j	6,65 bc
B5 (UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 48 jam) (<i>soaking in UFB (operating 30 minutes) for 48 hours</i>)	2,97 de	3,13 d	1,05 ij	7,12 abc
B6 (UFB (pengoperasian 55 menit) dengan lama perendaman 24 jam) (<i>soaking in UFB (operating 55 minutes) for 24 hours</i>)	2,73 def	1,92 gh	0,72 j	7,39 a
B7 (UFB (pengoperasian 55 menit) dengan lama perendaman 48 jam) (<i>soaking in UFB (operating 55 minutes) for 48 hours</i>)	2,68 def	2,56 defg	1,13 ij	7,38 a
	Nilai perkecambahan (<i>Germination value</i>)			
B1 (benih tanpa perlakuan) (<i>Seed without treatment</i>)	0,69 de	0,38 de	0,10 e	6,58 ab
B2 (PEG -0,8 MPa dengan lama perendaman 24 jam) (<i>PEG -0.8 Mpa with soaking for 24 hours</i>)	1,08 de	0,59 de	0,19 e	4,60 c
B3 (PEG -1,2 MPa dengan lama perendaman 24 jam) (<i>PEG -1.2 Mpa with soaking for 24 hours</i>)	1,02 de	0,48 de	0,21 de	5,61 bc
B4 (UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 24 jam) (<i>soaking in UFB (operating 30 minutes) for 24 hours</i>)	1,39 d	0,73 de	0,06 e	4,67 c
B5 (UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 48 jam) (<i>soaking in UFB (operating 30 minutes) for 48 hours</i>)	1,14 de	1,13 de	0,24 de	5,23 c
B6 (UFB (pengoperasian 55 menit) dengan lama perendaman 24 jam) (<i>soaking in UFB (operating 55 minutes) for 24 hours</i>)	1,19 de	0,48 de	0,12 e	7,35 a
B7 (UFB (pengoperasian 55 menit) dengan lama perendaman 48 jam) (<i>soaking in UFB (operating 55 minutes) for 48 hours</i>)	1,39 d	0,81 de	0,23 de	6,38 ab

Perlakuan Invigorasi (<i>Invigoration treatment</i>)	Provenans (<i>Provenance</i>)			
	Alas Purwo	Kapuas	Kampar	Pomalia
	Rata-rata waktu berkecambah (<i>Mean germination time</i>) (hari)			
B1 (benoh tanpa perlakuan) (<i>Seed without treatment</i>)	13,7	14,0	16,1	13,0
B2 (PEG -0,8 MPa dengan lama perendaman 24 jam) (<i>PEG -0.8 Mpa with soaking for 24 hours</i>)	12,7	12,4	14,6	13,1
B3 (PEG -1,2 MPa dengan lama perendaman 24 jam) (<i>PEG -1.2 Mpa with soaking for 24 hours</i>)	12,5	12,5	14,0	12,2
B4 (UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 24 jam) (<i>soaking in UFB (operating 30 minutes) for 24 hours</i>)	12,5	13,3	16,2	13,1
B5 (UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 48 jam) (<i>soaking in UFB (operating 30 minutes) for 48 hours</i>)	12,0	11,9	14,6	12,2
B6 (UFB (pengoperasian 55 menit) dengan lama perendaman 24 jam) (<i>soaking in UFB (operating 55 minutes) for 24 hours</i>)	13,2	13,0	14,5	12,4
B7 (UFB (pengoperasian 55 menit) dengan lama perendaman 48 jam) (<i>soaking in UFB (operating 55 minutes) for 48 hours</i>)	12,0	12,5	14,6	11,7
	Keserempakan tumbuh (<i>Uniformity of emergence</i>) (%)			
B1 (benih tanpa perlakuan) (<i>Seed without treatment</i>)	20,50 de	17,00 efghi	10,75 ghi	55,25 a
B2 (PEG -0,8 MPa dengan lama perendaman 24 jam) (<i>PEG -0.8 Mpa with soaking for 24 hours</i>)	20,00 def	13,75 efghi	12,25 fghi	54,75 a
B3 (PEG -1,2 MPa dengan lama perendaman 24 jam) (<i>PEG -1.2 Mpa with soaking for 24 hours</i>)	17,75 efg	15,25 efghi	13,25 efghi	49,00 ab
B4 (UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 24 jam) (<i>soaking in UFB (operating 30 minutes) for 24 hours</i>)	17,75 efg	18,25 efg	9,25 i	51,50 ab
B5 (UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 48 jam) (<i>soaking in UFB (operating 30 minutes) for 48 hours</i>)	17,00 efghi	16,75 efghi	12,50 fghi	45,50 b
B6 (UFB (pengoperasian 55 menit) dengan lama perendaman 24 jam) (<i>soaking in UFB (operating 55 minutes) for 24 hours</i>)	26,00 d	16,50 efghi	9,75 i	46,50 b
B7 (UFB (pengoperasian 55 menit) dengan lama perendaman 48 jam) (<i>soaking in UFB (operating 55 minutes) for 48 hours</i>)	13,00 efghi	17,50 efgh	12,75 efghi	38,50 c
	Indeks vigor (<i>Vigor index</i>)			
B1 (benih tanpa perlakuan) (<i>Seed without treatment</i>)	5,50	5,25	0,75	13,25
B2 (PEG -0,8 MPa dengan lama perendaman 24 jam) (<i>PEG -0.8 Mpa with soaking for 24 hours</i>)	5,50	4,00	3,00	12,25
B3 (PEG -1,2 MPa dengan lama perendaman 24 jam) (<i>PEG -1.2 Mpa with soaking for 24 hours</i>)	4,75	5,00	3,25	13,25
B4 (UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 24 jam) (<i>soaking in UFB (operating 30 minutes) for 24 hours</i>)	5,75	5,25	1,25	14,25
B5 (UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 48 jam) (<i>soaking in UFB (operating 30 minutes) for 48 hours</i>)	6,00	4,50	2,75	12,00
B6 (UFB (pengoperasian 55 menit) dengan lama perendaman 24 jam) (<i>soaking in UFB (operating 55 minutes) for 24 hours</i>)	8,50	3,50	1,75	12,50
B7 (UFB (pengoperasian 55 menit) dengan lama perendaman 48 jam) (<i>soaking in UFB (operating 55 minutes) for 48 hours</i>)	3,00	4,25	2,25	11,75

Keterangan (*Remarks*): Angka-angka pada kolom yang sama dan diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata pada selang kepercayaan 95%, (*different letters within a column indicate significant differences at P < 0.05*)

Perendaman dalam air UFB dari hasil pengoperasian generator UFB (UltrafineGaLF tipe FZ1N-10) 30 menit dengan lama perendaman 48 jam (B5) dan perendaman air

UFB dari hasil pengoperasian generator 55 menit dengan lama perendaman 48 jam (B7) menghasilkan rata-rata waktu berkecambah tercepat (12,7 hari) dan berbeda nyata dengan

benih tanpa perlakuan (14,2 hari). Perlakuan lain yang juga menunjukkan perbedaan nyata dengan benih tanpa perlakuan adalah B2 (PEG -0,8 MPa dengan lama perendaman 24 jam), B3 (PEG -1,2 MPa dengan lama perendaman 24 jam) dan B6 (UFB pengoperasian 55 menit, dengan lama perendaman 24 jam) (Tabel 4).

Tabel 4. Rata-rata waktu berkecambah benih jabon putih pada berbagai perlakuan invigorasi (*Mean of germination time of white jabon seed on the various invigoration treatment*)

Perlakuan Invigorasi (<i>Invigoration treatment</i>)	Rata-rata waktu berkecambah (<i>Mean of germination time</i>)
B1 (benih tanpa perlakuan) (<i>seed without treatment</i>)	14,2 a
B2 (PEG -0,8 MPa dengan lama perendaman 24 jam) (<i>PEG -0.8 Mpa with soaking for 24 hours</i>)	13,2 c
B3 (PEG -1,2 MPa dengan lama perendaman 24 jam) (<i>PEG -1.2 Mpa with soaking for 24 hours</i>)	12,8 c
B4 (UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 24 jam) (<i>soaking in UFB (operating 30 minutes) for 24 hours</i>)	13,8 b
B5 (UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 48 jam) (<i>soaking in UFB (operating 30 minutes) for 48 hours</i>)	12,7 c
B6 (UFB (pengoperasian 55 menit) dengan lama perendaman 24 jam) (<i>soaking in UFB (operating 55 minutes) for 24 hours</i>)	13,3 c
B7 (UFB (pengoperasian 55 menit) dengan lama perendaman 48 jam) (<i>soaking in UFB (operating 55 minutes) for 48 hours</i>)	12,7 c

Keterangan (*Remark*): Huruf yang mengikuti angka di atas menunjukkan perbedaan nyata pada taraf 95% (*the letter following the number on the top of bar diagram indicate significant differences at P < 0.05*)

Hasil analisis menunjukkan bahwa provenans mempengaruhi rata-rata waktu berkecambah dan indek vigor benih (Tabel 4). Rata-rata waktu berkecambah benih jabon putih provenans Pomalaa, Alas Purwo dan Kapuas berbeda nyata dengan benih provenans

Kampar. Provenans Pomalaa menunjukkan waktu berkecambah (RWB) lebih singkat yaitu 12,5 hari. Hal yang sama untuk parameter indek vigor provenans Pomalaa memiliki indek vigor lebih tinggi berbeda nyata dengan provenans lainnya (Tabel 5).

Tabel 5. Rata-rata waktu berkecambah dan indek vigor benih jabon putih pada masing-masing provenans (*Mean germination time and vigor indek of white jabon seed on provenance*)

Provenans (<i>Provenance</i>)	Rata-rata waktu berkecambah (<i>Mean germination time</i>) (hari/day)	Indek vigor (<i>Vigor indek</i>) (%)
Alas Purwo	12,7 b	5,57 b
Kapuas	12,8 b	4,54 b
Kampar	15,0 a	2,14 c
Pomalaa	12,5 b	12,75 a

Keterangan (*Remark*): Angka-angka pada kolom yang sama dan diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata pada selang kepercayaan 95% (*Different letters within a column indicate significant differences at P < 0.05*).

B. Pembahasan

Perkecambahan benih jabon putih dipengaruhi oleh faktor provenans dan

perlakuan invigorasi benih. Interaksi antara provenans dan perlakuan invigorasi menunjukkan pengaruh nyata terhadap daya

berkecambah, kecepatan tumbuh benih, keserempakan tumbuh benih, dan nilai perkecambahan. Interaksi terbaik pada penelitian ini ditunjukkan oleh provenans Pomalaa yang diberi perlakuan perendaman air UFB (pengoperasian 55 menit) selama 24 jam. Perlakuan tersebut memberikan kecepatan tumbuh dan nilai perkecambahan tertinggi. Begitu juga untuk daya berkecambah memberikan nilai tertinggi meskipun tidak berbeda nyata dengan perlakuan invigorasi lainnya pada benih asal Pomalaa. Hal ini mengindikasikan bahwa untuk provenans dengan daya berkecambah awal yang masih tinggi memiliki daya berkecambah lebih baik meskipun tidak diberi perlakuan invigorasi.

Pada benih-benih dengan daya berkecambah sangat rendah (daya berkecambah <27%), seperti benih asal Alas Purwo, Kampar dan Kapuas, perlakuan dengan perendaman air UFB (pengoperasian 30 menit) selama 48 jam memberikan daya berkecambah tertinggi pada setiap provenans. Air UFB mengandung gelembung-gelembung udara yang sangat halus dengan diameter kurang dari 1 μm atau 10^{-6} m sehingga memungkinkan untuk dapat masuk melewati kulit benih (Ahmed *et al.*, 2018). Oksigen diperlukan benih untuk berkecambah dan air UFB dapat menyuplai oksigen tersebut (Liu, Oshita, Makino, *et al.*, 2016). Air UFB juga mampu membentuk *reactive oxygen species* (ROS)

yang dihasilkan dari gelombang kejut akibat kempisnya gelembung UFB (Ahmed *et al.*, 2018). Senyawa ROS menjadi faktor yang menyebabkan dinding sel dapat mengalami pelonggaran sehingga air, gas, dan struktur embrio dapat menembus kulit benih. Pelonggaran dinding sel ini terjadi karena UFB dapat menginduksi ekspresi gen yang terkait dalam proses tersebut (Liu, Oshita, Makino, *et al.*, 2016). Dengan demikian, benih dapat melakukan imbibisi sebagai tahap awal dalam proses perkecambahan.

Air yang masuk ke dalam benih kemudian merangsang hormon giberelin untuk aktif (Agurahe, Rampe, & Mantir, 2019). Giberelin selanjutnya mengaktifkan enzim α -amilase, proktoase, ribonuklease, β -glikonase serta fosfatase yang sangat penting dalam proses perkecambahan (Khairani *et al.*, 2016). Enzim-enzim akan masuk ke dalam endosperma secara difusi untuk menjadi katalis perombakan cadangan makanan menjadi gula dan asam amino. Perombakan cadangan makanan dalam proses respirasi juga memerlukan oksigen. Perendaman benih dalam air UFB mampu meningkatkan kelarutan gas dalam cairan (Liu, Oshita, Kawabata, Makino, & Yoshimoto, 2016). Faktor lain yang menyebabkan perlakuan air UFB lebih efektif dibandingkan dengan perlakuan PEG 6000 disebabkan oleh adanya ROS yang dibentuk oleh air UFB dapat

memacu pembentukan ROS dalam benih sehingga terbentuk senyawa pensinyalan seluler untuk mengatur perkecambahan benih (Liu, Oshita, Kawabata, *et al.*, 2016).

Metode invigorasi menggunakan PEG juga mampu meningkatkan daya berkecambah pada berbagai provenans jabon putih, namun air UFB menunjukkan pengaruh lebih baik dibandingkan dengan PEG (Tabel 3). Metode invigorasi dengan PEG banyak digunakan untuk memperbaiki viabilitas dan vigor benih, seperti pada benih *Triticum aestivum* (Faijunnahar, Baque, Habib, & Hossain, 2017), *Cicer arietinum* (Varshini, Reddy, Radhika, & Naik, 2018) dan *Glycine max* (Aisyah, Kendarini, & Ashari, 2018). Mekanisme metode ini adalah dengan cara mengatur banyaknya air yang masuk ke dalam benih. *Polyethylene Glycol* membuat benih menyerap air hingga potensial air dalam benih dan potensial media pengimibisi (PEG 6000) menjadi sama. Benih-benih yang mengalami kemunduran diindikasikan dengan rusaknya membran sel. Membran sel yang rusak apabila dihadapkan pada penyerapan air secara cepat (fase I penyerapan air oleh benih) dapat meningkatkan risiko kebocoran membran sel sehingga menyebabkan cadangan makanan pada benih keluar sehingga benih kekurangan cadangan makanan untuk proses perkecambahan selanjutnya (Yuanasari *et al.*, 2015). Namun, PEG mampu melindungi benih sehingga kebocoran membran tidak terjadi

karena molekul PEG yang berada di luar membran sel benih dapat membentuk lapisan tipis. Selain itu, PEG juga dapat mengontrol kadar air dan masuknya oksigen ke dalam benih.

Dari empat kelompok benih yang diuji, benih asal provenans Pomalaa mempunyai daya simpan paling baik. Kecepatan tumbuh dan nilai perkecambahan mencerminkan vigor benih. Benih dengan vigor tinggi memungkinkan untuk dapat disimpan dalam waktu lama serta tahan terhadap serangan hama dan penyakit. Selain itu kandungan biokimia awal benih (karbohidrat) yang tinggi memungkinkan benih mampu disimpan lebih lama seperti pada provenans Pomalaa yang memiliki kandungan karobidrat lebih tinggi (Tabel 1). Karbohidrat berperan sebagai energi utama dalam perkecambahan benih. Selain itu kadar air juga mempengaruhi daya simpan benih. Menurut Jyoti dan Malik (2013), kadar air benih rendah mampu meningkatkan daya simpan benih lebih lama. Setiap provenans dapat memiliki karakter genetik berbeda-beda sehingga memungkinkan adanya perbedaan mutu benih (Tabel 1). Djaman dan Sudrajat (2017) menyatakan bahwa faktor genetik dapat dipengaruhi oleh tempat asal tanaman tumbuh (provenans). Faktor genetik juga memberi kontribusi lebih besar terhadap perkecambahan benih jabon putih yang berasal dari provenans berbeda (Sudrajat *et al.*, 2014; Sudrajat, 2016). Hal ini juga terjadi pada perkecambahan benih

Pinus wallichiana (Rawat & Bakshi, 2011), *Sterculia foetida* (Sudrajat, Suwandhi, Siregar, & Siregar, 2018) dan *Manilkara kauki* (Sudrajat & Megawati, 2010) yang dipengaruhi oleh provenans karena adanya variasi karakter benih dan intensitas dormansi antar provenans.

Benih jabon putih provenans Pomalaa menunjukkan perkecambahan (daya berkecambah, kecepatan tumbuh/berkecambah, nilai perkecambahan, rata-rata waktu berkecambah, keserempakan tumbuh dan indeks vigor) benih terbaik, sedangkan benih provenans Kampar menunjukkan perkecambahan benih terendah. Hal ini disebabkan oleh keragaman genetik provenans Kampar lebih rendah dibandingkan dengan provenans lainnya. Sudrajat *et al.* (2015) menyatakan bahwa ukuran populasi Kampar lebih kecil dibandingkan dengan populasi Kapuas dan Pomalaa sehingga menyebabkan keragaman genetik provenans Kampar lebih rendah ($H_e = 0,1489$) dibandingkan dengan provenans Kapuas ($H_e = 0,3339$) dan Pomalaa ($H_e = 0,2270$). Keragaman genetik yang rendah seperti yang ditunjukkan populasi Kampar (Sudrajat *et al.*, 2015; Rustam & Sudrajat, 2019) mempunyai potensi yang lebih besar untuk *inbreeding* atau kawin kerabat yang berdampak pada menurunnya mutu benih. Rendahnya mutu fisiologis benih hasil *inbreeding* juga terjadi pada benih pangg

buaya (*Zanthoxylum rhetsa*) yang berasal dari pohon soliter (Sudrajat, Megawati, & Siswandi, 2011).

Viabilitas benih yang tinggi menggambarkan benih tersebut memiliki daya simpan dan metabolisme baik, hal ini dapat dilihat dari daya berkecambah dan kadar air benih. Benih asal Pomalaa mempunyai daya berkecambah awal yang tinggi dan kadar air yang lebih rendah dibandingkan benih asal provenans lainnya. Kadar air awal yang tinggi memungkinkan proses respirasi benih menjadi tinggi. Respirasi yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan asam lemak yang berdampak negatif bagi benih karena dapat merusak membran sel sehingga viabilitas benih menurun. Respirasi juga dapat menghabiskan jaringan yang mendistribusikan zat makanan sehingga sel-sel meristematis pada embrio tidak mendapat asupan makanan yang berdampak pada kematian sel-sel meristematis (Chidananda *et al.*, 2014).

IV. KESIMPULAN

Benih jabon putih yang telah mengalami kemunduran dapat ditingkatkan viabilitas dan vigornya. Perlakuan perendaman dalam UFB lebih efektif meningkatkan perkecambahan dan vigor benih keempat provenans jabon putih dibandingkan dengan menggunakan PEG 6000. Benih dengan viabilitas awal yang tinggi (provenans Pomalaa) dapat menggunakan

perlakuan UFB (pengoperasian 55 menit) dan direndam selama 24 jam, sedangkan benih-benih dengan viabilitas rendah (provenans Alas Purwo, Kampar dan Kapuas) peningkatan vigor benih menggunakan metode perendaman UFB (pengoperasian 30 menit) dengan lama perendaman 48 jam. Provenans Pomalaa lebih dianjurkan sebagai sumber benih dalam kegiatan perbanyak tanaman secara generatif karena memiliki viabilitas dan vigor cukup tinggi meskipun telah disimpan selama 7 tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Prof. Dr. Y. Aris Purwanto yang telah memberikan kesempatan menggunakan *ultra fine bubbles generator* (UltrafineGaLF tipe FZ1N-10) di Laboratorium Teknik Lingkungan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

DAFTAR PUSTAKA

- Agurahe, L., Rampe, H. L., & Mantir, F. R. (2019). Pematangan dormansi benih pala (*Myristica fragrans* Houtt.) menggunakan hormon gibberalin. *PHARMACON Jurnal Ilmiah Farmasi*, 8(1), 30–40.
- 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>
- Aisyah, D. N., Kendarini, N., & Ashari, S. (2018). Efektivitas PEG-6000 sebagai media osmoconditioning dalam peningkatan mutu benih dan produksi kedelai (*Glycine max* L. Merr.). *Jurnal Produksi Tanaman*, 6(7), 1344–1353.
- Chidananda, K. P., Chelladurai, V., Jayas, D. S., Alagusundaram, K., White, N. D. G., & Fields, P. G. (2014). Respiration of pulses stored under different storage conditions. *Journal of Stored Products Research*, 59, 42–47. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.04.006>
- Djaman, D. F., & Sudrajat, D. J. (2017). Keragaman morfo-fisiologi benih suren (*Toona sinensis*) dari berbagai tempat tumbuh su Sumatera dan Jawa. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*, 11(2), 139–150.
- Faijunnahar, M., Baque, A., Habib, M. A., & Hossain, H. M. M. T. (2017). Polyethylene glycol (PEG) induced changes in germination, seedling growth and water relation behavior of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Universal Journal of Plant Science*, 5(4), 49–57. <https://doi.org/10.13189/ujps.2017.050402>
- Farooq, M., & Hafeez, K. (2006). Seed invigoration by osmohardening in coarse and fine rice. *Seed Sci. & Technol*, 34, 181–187.
- Gairola, K. C., Nautiyal, A. R., Sharma, G., & Dwivedi, A. K. (2011). Variability in seed characteristics of *Jatropha curcas* Linn. from hill region of Uttarakhand. *Bulletin of Enviroment, Pharmacology & Life Sciences*, 1(1), 64–69.
- Gomes, M. P., & Garcia, Q. S. (2013). Reactive oxygen species and seed germination. *Biologia* 68/3:, 68(3), 351–357. <https://doi.org/10.2478/s11756-013-0161-y>
- Khairani, Z., Syamsuddin, & Ichsan, C. N. (2016). Penggunaan polyethilen glycol (PEG 6000) untuk mengetahui vigor kekuatan tumbuh benih kedelai hitam (*Glycine max* (L.) Merrill) pada kondisi kekeringan. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian Unsyiah*, 1(1), 280–288.
- 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* 2016, 32, 11295–11302. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.6b01621>
- Liu, S., Oshita, S., Makino, Y., Wang, Q., Kawagoe, Y., & Uchida, T. (2016). Oxidative

- capacity of nanobubbles and its effect on seed germination. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 4(3), 1347–1353. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b01368>
- Mansur, I. (2012). Prospek pengembangan jabon untuk mendukung pengembangan hutan tanaman. In M. Langi, J. S. Tasirin, H. Walangitan, & L. Asir (Eds.), *Prospek Pengembangan Hutan Tanaman (Rakyat), Konservasi dan Rehabilitasi Hutan* (pp. 1–14). Menado: IPB Press.
- Michel, B. E., & Kaufmann, M. R. (1973). The osmotic potential of Polyethylene Glycol 6000. *Plant Physiology*, 51, 914–916.
- Rawat, K., & Bakshi, M. (2011). Provenance variation in cone, seed and seedling characteristics in natural populations of *Pinus wallichiana* A.B. Jacks (Blue Pine) in India. *Annals of Forest Research*, 54(1), 39–55.
- Rustam, E. (2018). Mutu fisiologis dan invigorasi benih jabon putih (*Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser) setelah penyimpanan. Institut Pertanian Bogor.
- Rustam, E., & Sudrajat, D. J. (2019). Keragaman morfologi dan genetik bibit jabon putih dari 4 populasi di Sumatera, Nusa Kambangan, Kalimantan dan Sulawesi. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 8(2), 81–92.
- Sritontip, C., Dechthummarong, C., Thonglek, V., & Phonsaeng, W. (2017). Effects of high voltage plasma and micro / nano bubbles on seed germination and growth of crop under hydroponic system. In *2nd International Symposium on Application of High-voltage, Plasmas & Micro/Nano Bubbles to Agriculture and Aquaculture (ISHPMNBII2017)* (pp. 1–2).
- Sudrajat, D. J. (2016). Genetic variation of fruit, seed, and seedling characteristics among 11 populations of white jabon in Indonesia. *Forest Science and Technology*, 12(1), 9–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/21580103.2015.1007896>
- Sudrajat, D. J., Bramasto, Y., Siregar, I. Z., Siregar, U. J., Mansur, I., & Khumaida, N. (2014). Karakteristik tapak, benih dan bibit 11 populasi jabon putih (*Anthocephalus cadamba* Miq.). *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 11(1), 31–44.
- Sudrajat, D. J., & Megawati. (2010). Keragaman morfologi dan respon pra perkecambahan benih dari lima populasi sawo kecik (*Manilkara kauki* (L.) Durbard). *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 7(2), 67–76.
- Sudrajat, D. J., Megawati, & Siswandi, J. (2011). Karakteristik dan perkecambahan benih panggall buaya (*Zanthoxylum rhetsa*) dari beberapa pohon induk di Bali. *Tekno Hutan Tanaman*, 4(2), 69–78.
- Sudrajat, D. J., Nurhasybi, & Bramasto, Y. (2017). *Standar Pengujian dan Mutu Benih Tanaman Hutan*.
- Sudrajat, D. J., Siregar, I. Z., Khumaida, N., Siregar, U. J., & Mansur, I. (2015). Genetic diversity in white jabon (*Anthocephalus cadamba* (Roxb.) Miq.) based on AFLP markers. *AsPac J. Mol. Biol. Biotechnol.*, 22(3), 224–231.
- Sudrajat, D. J., Suwandhi, I., Siregar, I. Z., & Siregar, U. J. (2018). Variation in seed morpho-physiological and biochemical traits of java olive populations originated from Java, Bali, Lombok, and Timor Islands, Indonesia. *Biodiversitas*, 19(3), 1004–1012.
- Syafruddin, & Miranda, T. (2015). Vigor brnih beberapa varietas jagung pada media tanam tercemar hidrokarbon. *J. Floratek*, 10, 18–25.
- Varshini, P. S., Reddy, K. B., Radhika, K., & Naik, V. S. (2018). Influence of seed invigoration treatments on germination and vigor of chickpea. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(5), 2837–2840.
- Yuanasari, B. S., Kendarini, N., & Saptadi, D. (2015). Peningkatan viabilitas benih kedelei hitam (*Glycine max* L. Merr) melalui invigorasi ormocontioning. *Jurnal Produksi Tanaman*, 3(6), 518–527.
- Yuniarti, N., & Nurhasybi. (2015). Viability and biochemical content changes in seed storage of jabon putih (*Anthocephalus cadamba* (Roxb) Miq.). *Jurnal Manajemen Hutan Tropis*, 21(August), 92–98. <https://doi.org/10.7226/jtfm.21.2.92>