

PENGARUH INVIGORASI MENGGUNAKAN *MICROBUBBLE* PADA BENIH TREMBESI DI JAWA BARAT UNTUK MENDUKUNG INOVASI *AEROSEEDING*

Dwi Wahyuni^{1,2*}, Raizal Fahmi¹, Ina Darliana¹

¹Fakultas Kehutanan, Universitas Winaya Mukti, Jl. Bandung-Sumedang No.29, Gunungmanik, Kec. Tanjungsari, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat 45362

²Jurusan Kehutanan, Politeknik Pertanian Negeri Kupang, Jl. Prof. Dr. Herman Johanes, Lasiana, Kec. Kelapa Lima, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur 85011

Email: dwiwahyuni.2104@gmail.com (*Corresponding author)

Submit: 29-12-2024

Revisi: 07-05-2025

Diterima: 06-10-2025

ABSTRAK

Pengaruh Invigorasi Menggunakan *Microbubble* Pada Benih Trembesi Di Jawa Barat Untuk Mendukung Inovasi *Aeroseeding*. Jawa Barat merupakan provinsi dengan kejadian bencana alam terbanyak di Indonesia. Hal ini dipengaruhi oleh tingginya pertumbuhan penduduk yang mendorong perluasan permukiman dan alih fungsi lahan hutan demi kebutuhan ekonomi tanpa memperhatikan kelestarian lingkungan. Akibatnya, terbentuk lahan kritis yang rentan terhadap longsor dan banjir. Upaya rehabilitasi melalui penghijauan telah dilakukan, namun metode konvensional sulit menjangkau seluruh wilayah kritis. Inovasi *Aeroseeding* menjadi alternatif penanaman melalui udara yang lebih efisien, meskipun keberhasilannya sangat bergantung pada kualitas fisiologis benih. Teknologi invigorasi menggunakan *Microbubble* diketahui mampu meningkatkan viabilitas benih dengan mempercepat perkecambahan. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas invigorasi *Microbubble* pada benih Trembesi, spesies umum di Jawa Barat, untuk mendukung penerapan *Aeroseeding*. Rancangan percobaan menggunakan RAL faktorial dua faktor dengan tiga ulangan, masing-masing 50 benih. Faktor pertama ialah perendaman *Microbubble* (A1) dan air biasa (A2); faktor kedua ialah metode penanaman seedball (B1) dan tabur langsung (B2). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi *Microbubble* dan seedball paling efektif meningkatkan viabilitas benih Trembesi.

Kata kunci : *Aeroseeding*, Benih, Invigorasi, *Microbubble*, Penghijauan.

ABSTRACT

The Effect of Invigoration Using Microbubbles on Rain Tree Seeds in West Java to Support Aeroseeding Innovation. West Java is the province with the highest number of natural disasters in Indonesia. This condition is influenced by rapid population growth, which drives the expansion of settlements and the conversion of forest land for economic purposes without considering environmental sustainability. As a result, critical lands vulnerable to landslides and floods have emerged. Reforestation efforts have been carried out; however, conventional methods are difficult to apply across all degraded areas. *Aeroseeding* innovation offers a more efficient alternative for aerial planting, although its success largely depends on the physiological quality of the seeds used. The invigoration technology using *Microbubbles* has been shown to enhance seed viability by accelerating germination. This study aims to analyze the effectiveness of *Microbubble* invigoration on Trembesi seeds, a common species in West Java, to support the implementation of *Aeroseeding*. The experimental design used a factorial randomized complete design (RCD) with two factors, three replications, and 50 seeds each. The first factor was soaking treatment: *Microbubble* (A1) and regular water (A2); the second factor was the planting method: seedball (B1) and direct sowing (B2). The results showed that the combination of *Microbubble* and seedball was the most effective in improving Trembesi seed viability.

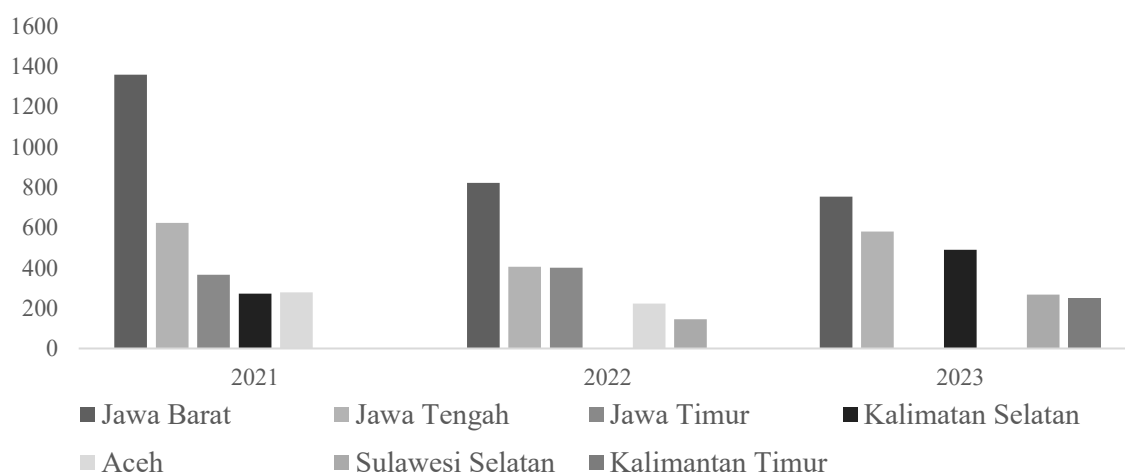
Kata kunci : *Aeroseeding*, Invigoration, Greening, *Microbubbles*, Seeds.

1. PENDAHULUAN

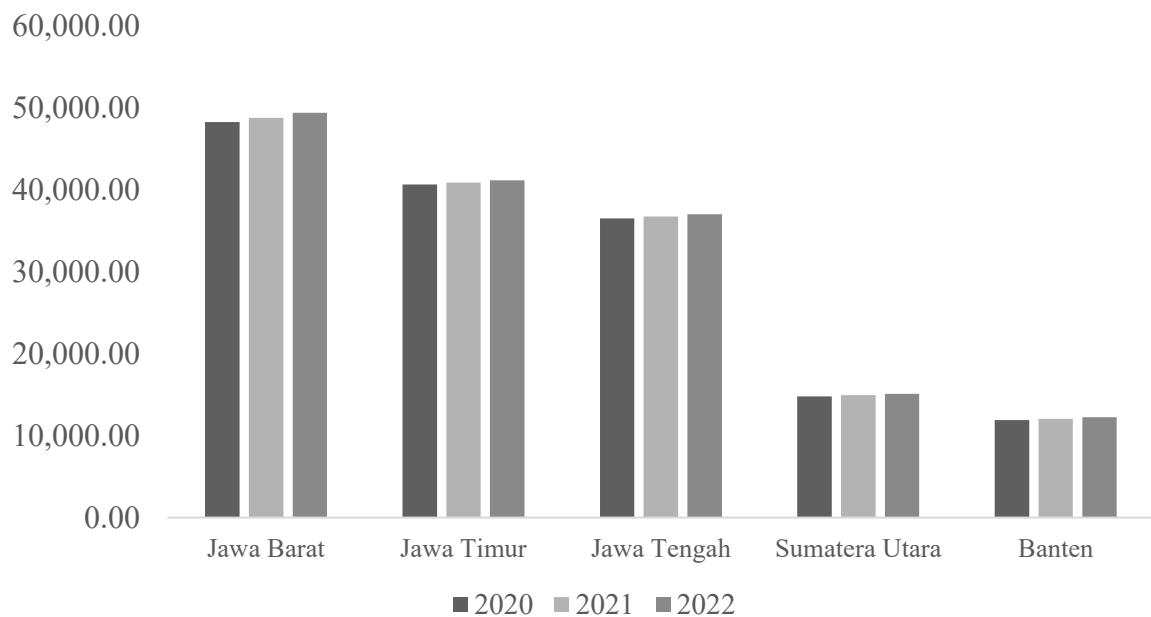
Secara geografis, Indonesia dilintasi oleh garis khatulistiwa yang menyebabkan Indonesia memiliki tingginya tingkat keanekaragaman dan kekayaan spesies flora dan fauna (Andwitasari & Handayani, 2022). Namun dibalik hal itu, Indonesia menjadi wilayah yang sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim karena Indonesia merupakan negara kepulauan yang hanya memiliki musim hujan dan kemarau, sehingga saat kenaikan dan penurunan suhu terjadi secara ekstrem maka sangat mudah memicu berbagai macam bencana seperti erosi, banjir, tanah longsor, dan lainnya (Rohman & Annisa, 2024; World Bank Group & Asian Development Bank, 2021). Penyebab lainnya karena secara letak geologis berada tepat di antara Sirkum Mediterania dan Sirkum Pasifik, juga di pertemuan tiga lempeng dunia yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Australia. Posisi ini yang menyebabkan Indonesia sering dilanda bencana alam seperti gempa bumi, gunung

meletus serta berbagai bencana lainnya (Andwitasari & Handayani, 2022).

Salah satu wilayah di Indonesia yang tercatat banyak mengalami bencana alam adalah provinsi Jawa Barat. Hal ini dapat diamati pada data BPS yang melampirkan bahwa lima provinsi yang terekap sebagai wilayah dengan banyaknya kejadian bencana alam di tiga tahun belakangan ini didominasi oleh Jawa Barat (Gambar 1). Adapun, kejadian bencana alam yang tercatat merupakan rekapan kejadian dari jumlah kejadian gempa bumi, tsunami, gempa bumi dan tsunami, letusan gunung api, tanah longsor, banjir, kekeringan, kebakaran hutan dan lahan, cuaca ekstrem, dan abrasi. Walaupun beberapa upaya adaptasi dan mitigasi telah dilakukan, namun angka kejadiannya masih tergolong besar dibanding provinsi lainnya. Menurut (Katherina, 2017), selain didukung oleh faktor geografis Indonesia, bencana alam di Jawa Barat juga dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduknya yang tinggi (Gambar 2).



Gambar 1. Provinsi yang paling banyak mengalami bencana alam di tiga tahun belakangan Sumber: data diolah dari (BPS, 2023a).



Gambar 2. Lima provinsi dengan jumlah penduduk tertinggi di Indonesia (Ribu Jiwa)
 Sumber: data diolah dari (BPS, 2023b).

Hal ini karena wilayah dengan laju pertumbuhan penduduk yang tinggi akan mendorong penduduk untuk mendapatkan hunian di kawasan baru. Apabila pertumbuhan penduduk terus menerus meningkat maka, kawasan hunian baru juga akan terus berkembang dan menyebar pada kawasan rawan bencana atau lahan marginal yang tidak aman. Hal ini pula juga diiringi dengan pengalihan fungsi lahan hutan untuk memenuhi kebutuhan perekonomian mereka tanpa mempertimbangkan aspek kelestarian. Akibatnya adalah terbentuk beberapa lahan kritis yang bersifat rawan bencana seperti longsor, banjir atau lainnya. Maka penanganan yang tepat untuk menganggulangi areal kritis tersebut adalah dengan cara penghijauan.

Upaya penghijauan yang selama ini dilakukan hanya bermetodekan secara konvensional. Namun, mengingat karakteristik topologis dan geografis Jawa Barat yang didominasi oleh perbukitan (Hardianto et al., 2020). Maka, banyak lahan kritis yang sulit untuk dijangkau oleh manusia untuk menerapkan penghijauan secara konvensional. Salah

satu inovasi terbaru yang dapat melakukan penghijauan dengan cara penaburan benih tidak langsung yaitu *Aeroseeding*. *Aeroseeding* merupakan penghijauan dengan metode penyebaran benih dari udara. Inovasi ini kembali mencuat sebagai solusi penurunan laju deforestasi karena beriringan dengan pengembangan teknologi unmanned aerial vehicles (UAV) atau Pesawat Tanpa Awak berupa mesin terbang yang dapat dikendalikan dari jarak jauh. Keuntungan penanaman menggunakan UAV selain mampu menjangkau areal yang sulit dilalui, juga mampu menekan biaya tenaga kerja dan meminimalisir resiko kerja (Lysych et al., 2021).

Inovasi *Aeroseeding* memerlukan benih yang mampu bertahan dan tetap hidup setelah benih dijatuhkan ke lokasi sasaran. Oleh karena itu, untuk penjaminan viabilitas dan vigor benih maka dapat dilakukan dengan invigorasi. Metode ini digunakan untuk penanganan benih benih hutan yang bersifat ortodoks dan memiliki dormansi. Seiring perkembangan teknologi, invogorasi

dapat dilakukan dengan menggunakan *Microbubble*.

Microbubble atau sering dikenal nanobubbles merupakan teknologi yang memanfaatkan gelembung udara dengan diameter 1–100 µm untuk masuk ke benih. Ukuran gelembung udara yang halus akan mempermudah untuk menembus kulit benih. Gelembung udara ini mengandung oksigen yang dapat meningkatkan respirasi di dalam benih sehingga benih mampu menghasilkan energi untuk cepat berkecambah (Fata et al., 2020; Oshita et al., 2023).

Maka pada penelitian ini, dengan memanfaatkan teknologi *Microbubble* untuk diterapkan pada benih Trembesi dari pohon yang banyak tersebar di Jawa Barat supaya mendapat pertumbuhan kecambah yang optimal karena benih yang ditanam masih berasal dari lingkungan yang sama sehingga diharapkan dapat cepat beradaptasi dengan lingkungannya. Selain itu, tujuannya adalah menjamin keberadaan spesies tersebut dan tetap dapat mempertahankan ekonomi bagi masyarakat sekitarnya yang terbiasa dengan pemanfaatannya supaya kedepan, masyarakat dapat melibatkan diri dalam keberlanjutan menjaga kelestarian alam. Berdasarkan latar masalah diatas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas invigorasi menggunakan teknologi *Microbubble* pada benih pohon khas jawa barat untuk mendukung inovasi *Aeroseeding* dalam upaya penanganan rehabilitasi lahan.

2. METODA PENELITIAN

2.1. Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Univeristas Winaya Mukti. Pada bulan Agustus - Desember 2024.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah Benih Trembesi (*Samanea saman*). Sedangkan alat yang digunakan

teknologi *microbubble*, cangkul, bak persemaian, label unit percobaan, tali raffia, hand sprayer kecil, ember, gayung, meteran, alat tulis.

2.3. Rancangan Penelitian

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial dengan dua faktor. Faktor pertama yaitu:

A1 : pematihan dormansi dengan *microbubble*

A2 : pematihan dormansi dengan rendaman biasa

Faktor kedua yaitu:

B1 : penaburan benih dengan *seedball*

B2 : penaburan benih langsung

Berdasarkan rancangan tersebut diperoleh $2 \times 2 = 4$ kombinasi perlakuan. Setiap kombinasi diulang tiga kali sehingga $3 \times 4 = 12$ unit percobaan dan setiap percobaan membutuhkan 50 benih, sehingga dibutuhkan 600 benih trembesi. Adapun unit percobaan sebagai berikut:

Ulangan 1 Ulangan 2 Ulangan 3

T1A1B1 T2A1B1 T3A1B1

T1A1B2 T2A1B2 T3A1B2

T1A2B1 T2A2B1 T3A2B1

T1A2B2 T2A2B2 T3A2B2

2.4. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Pengunduhan Benih

Benih trembesi diunduh pada 3 November 2024, di jalan Ujung Jaya Cikamurang Sakuraja, Kecamatan Ujung Jaya, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat.

Ekstraksi dan pengujian fisik benih

Ekstraksi benih meliputi seperti pembersihan benih dari campuran lainnya (daun, tanah, dan kulit tebal pada biji),

kemudian benih dihitung sesuai dengan kebutuhan. Pengujian fisik benih termasuk uji kelayakan benih untuk penelitian. Benih yang layak berupa benih yang dikategorikan sehat, dengan ciri-ciri: masih tersedia embrionya, tidak

kopong/kosong, tidak terbelah, tidak lembek dan berair, tidak berjamur seperti ada putih putih pada benih. Selain itu, diperlukan juga pengukuran kadar air benih, dengan rumus:

$$KA = \frac{M2-M3}{M2-M1} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

- KA : Kadar air benih (%)
- M1 : Berat cawan beserta tutupnya sebelum dioven (g)
- M2 : Berat cawan beserta tutup dan sampel contoh benih sebelum dioven (g)
- M3 : Berat cawan beserta tutup dan sampel contoh benih setelah dioven (g)

Invigorasi benih

- a. Perendaman di *microbubble water*
 Pembuatan *microbubble water* dengan bantuan teknologi *microbubble* dengan ukuran 100 µm, dilakukan pengoperasian selama 60 menit menghasilkan *microbubble water* 300 ppm. Setelahnya, *microbubble water* dimasukkan ke dalam toples yang telah berisi benih. Kemudian, direndam selama 24 jam.
- b. Perendaman biasa
 Rendaman biasa dilakukan dengan menggunakan air bersuhu ruang 27°C yang langsung direndamkan dengan benih selama 24 jam.

Penaburan benih

- a. Penaburan benih di *seedball*
 Benih yang ditabur dengan metode *seedball*, menggabungkan top soil

dan arang sekam membentuk bola dengan komposisi 2 : 1. *Seedball* dibentuk dengan ukuran diameter 1 – 2 cm. Setelahnya, benih ditebar di bak tabur yang kemudian pertumbuhan dikontrol dan penyiraman dilakukan dua kali sehari

- b. Penaburan benih langsung
 Benih langsung ditabur di bak tabur dan penyiraman dilakukan dua kali sehari.

2.5. Pengamatan

Pengamatan dilakukan adalah melihat pengaruh invigorasi benih terhadap kemampuan perkecambahan benih trembesi dengan penaburan metode *seedball*. Adapun yang diamati adalah viabilitas dan vigor benih trembesi yang berkecambah selama 30 HST.

2.6. Analisis Data

- a. Daya berkecambah (%):

$$DK = \frac{\sum ni}{N} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

- *ni* : Jumlah benih yang berkecambah pada hari ke-*i*
- N : Jumlah benih yang diuji

b. Kecepatan tumbuh benih (KCT)

$$KCT = \frac{N1}{D1} + \frac{N2}{D2} + \dots + \frac{Nn}{Dn} \quad (3)$$

Keterangan:

- Nn = persen kecambah normal pada n setelah tanam
- Dn = jumlah hari dicapainya kecambah normal (24 jam/ etmal)

c. Indeks Vigor (IV):

$$IV = \frac{\sum KN \text{ Hitungan I}}{\text{Benih yang ditanam}} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

- KN = Kecambah Normal

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

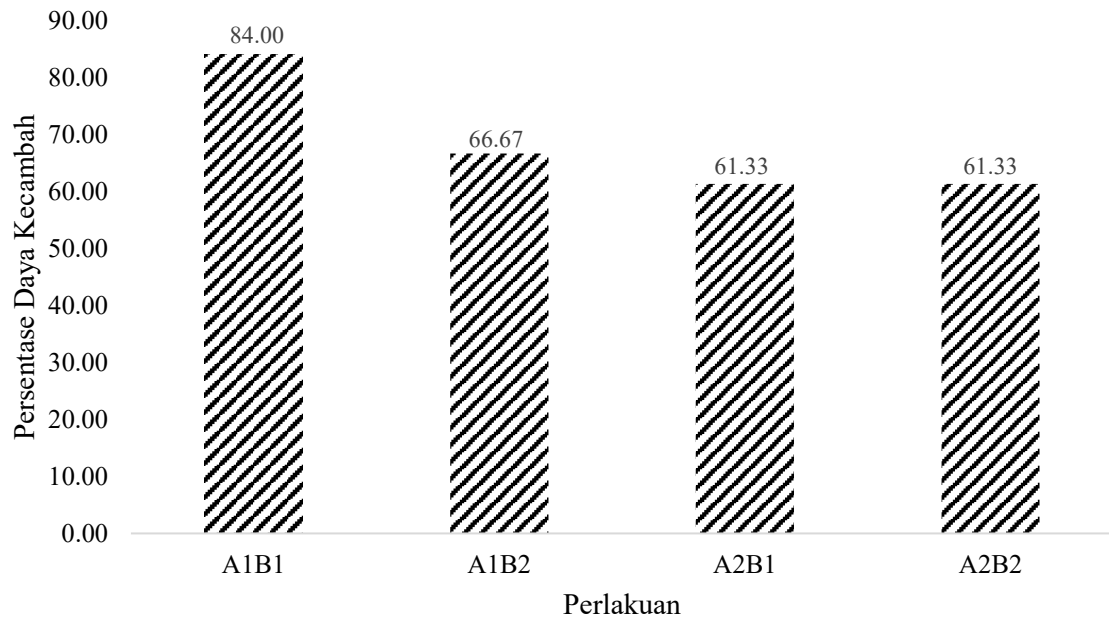
Viabilitas benih menunjukkan kemampuan benih untuk berkecambah dipengaruhi oleh banyak faktor. Salah satunya ketersediaan kadar air pada benih. Kadar air benih trembesi rata rata sebesar 6,871% ~ 7%. Kadar air ini tergolong kepada kadar air optimal karena termasuk kadar air rendah (< 10%). Kadar air rendah akan mendukung untuk dilakukannya pengujian viabilitas benih karena benih dengan kadar air rendah memiliki sifat higrokopis yang dapat menyeimbangkan kelembaban nisbi udara sehingga cenderung menurunkan aktivitas metabolisme seperti aktivitas degradasi (kerusakan enzim dan lainnya) (Akhmadi & Wijaya, 2005).

Faktor lainnya, yaitu proses invigorasi yang mana dalam penelitian ini diamati melalui perendaman pada *microbubble water* dan air biasa. Kemudian, dalam rangka mendukung rehabilitasi lahan di Jawa Barat. Maka, penelitian ini menggunakan tanah sebagai media tabur. Namun, perbedaannya adalah penaburan benih untuk rehabilitasi lahan di lahan kritis dengan metode *aeroseeding* biasanya terbagi 2 sesuai dengan kapasitas *drone*, yaitu

menggunakan *seedball* dan penaburan benih secara langsung. Umumnya untuk benih yang berukuran < 0,5 cm atau yang bersifat halus direkomendasikan menggunakan penaburan *seedball*. Namun, perlu dipahami bahwa media *seedball* didalamnya terdapat kombinasi 2 – 3 media dan pupuk yang juga menjadi pengaruh terhadap viabilitas benih. Berikut perolehan kombinasi perlakuan invigorasi dan penaburan benih dalam berbagai parameter untuk mengetahui keefektifan metode yang tepat dalam mendukung rehabilitasi lahan di Jawa Barat dengan benih trembesi.

3.1. Daya Kecambah

Daya berkecambah merupakan tolak ukur suatu viabilitas benih. Berdasarkan data hasil perhitungan dan grafik daya kecambah pada penelitian ini dapat dilihat di Gambar 3. Persentase perkecambahan benih trembesi dengan invigorasi menggunakan rendaman *microbubble water* dengan metode tabur *seedball* mengungguli dibanding perlakuan lainnya, sebesar 84% diatas standar SNI (minimal 80%) (Badan Standarisasi Nasional, 1995).



Gambar 3. Daya kecambah pada setiap perlakuan.

Menurut (Siregar et al., 2020), Penggunaan *microbubble water* dapat menambahkan suntikan oksigen sebesar 20,56 ppm yang mampu memperbaiki perkecambahan benih. Pernyataan ini sejalan dengan data daya kecambah benih trembesi, bahwa peningkatan ppm air dapat meningkatkan daya kecambah. Berdasarkan pengukurannya, air biasa yang digunakan memiliki kadar oksigen sebesar 150 ppm sedangkan *microbubble water* berjumlah 300 ppm. Selain, karena kadar oksigen, pengaruh penggunaan teknologi *microbubble* juga meningkatkan suhu air secara perlahan, karena air terus dialirkan dalam satu arah (tanpa ada penambahan air) oleh pipa air. Panasnya mesin pompa membuat suhu air juga turut meningkat. Apabila suhu air biasa hanya berkisar 27°C. Sementara, *microbubble water* mencapai > 40°C untuk pengoperasian selama 60 menit.

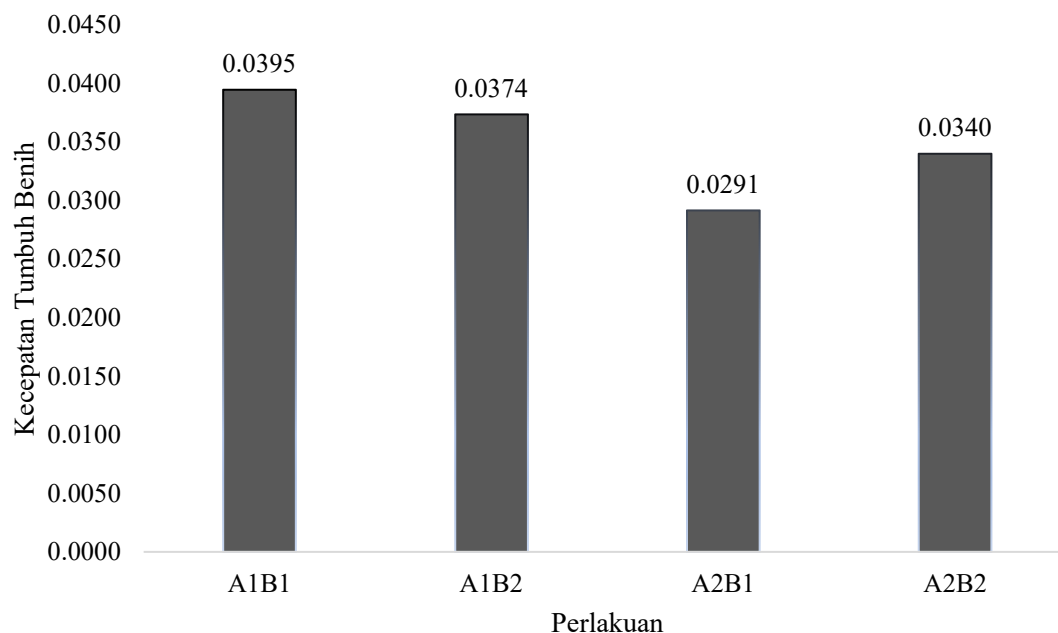
Peningkatan suhu ini akan menjadi baik bagi pematangan dormansi benih, karena menurut (Anafarida et al., 2021), Suhu berperan penting dalam penyerapan air dan laju reaksi kimia, yang memicu perkembangan, pengangkutan cadangan makanan, dan sintesis pada benih.

3.2. Kecepatan tumbuh benih

Berdasarkan perhitungan dan kurva pada Gambar 4, dapat dilihat bahwa kecepatan tumbuh benih dengan metode invigorasi *water microbubble* dan tabur *seedball* mengungguli perlakuan lainnya dengan perbedaan yang sangat tipis. Data ini menunjukkan bahwa kerapatan gelembung mikro dapat mempengaruhi persen perkecambahan. Namun, hal ini tidak mengartikan bahwa kerapatan gelembung mikro yang rendah dapat memberi pengaruh negatif pada perkecambahan benih (Liu et al., 2014).

Kecepatan tumbuh benih yang tinggi mengindikasikan bahwa benih memiliki vigor

yang tinggi. Hal ini dapat diamati pada Gambar 5.

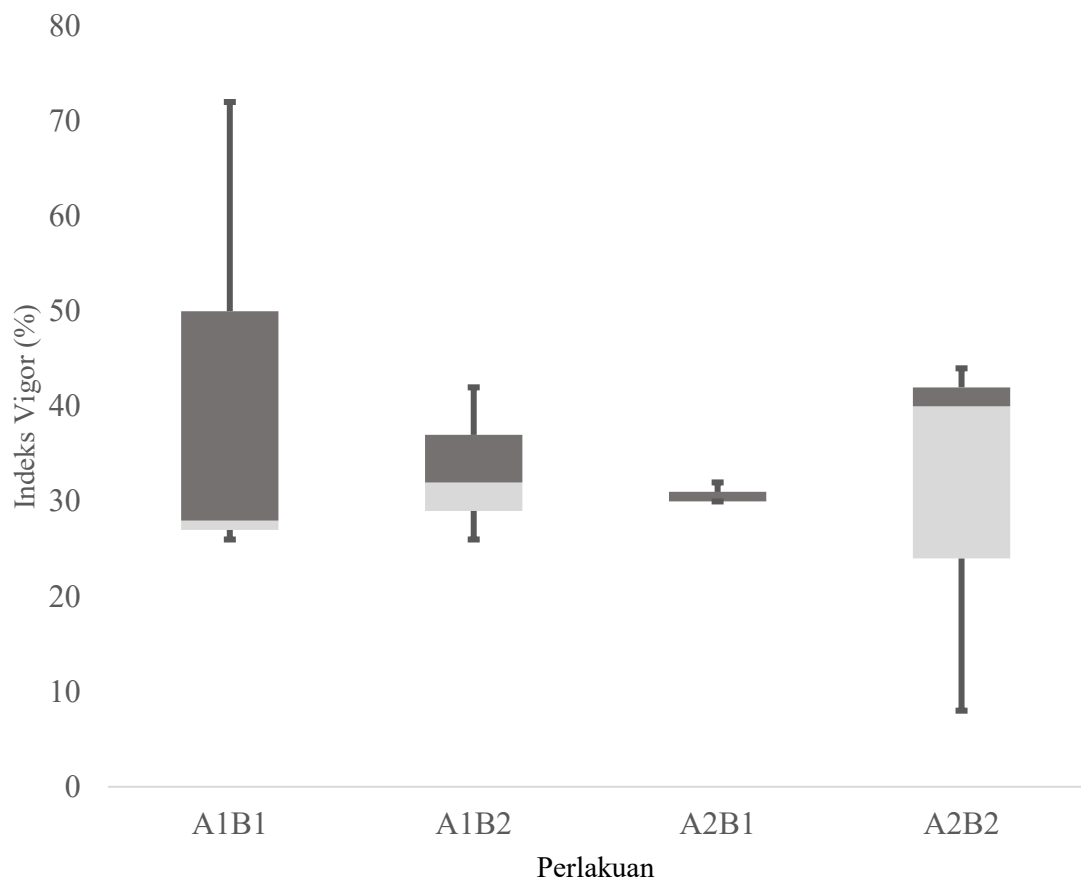


Gambar 4. Kecepatan tumbuh benih trembesi pada perlakuan invigorasi dan metode tabur.

3.3. Indeks Vigor

Invigorasi dengan teknologi *Microbubble* menghasilkan gelembung berukuran sangat kecil (mikroskopis) yang mampu menembus air lebih stabil dibanding gelembung biasa. Gelembung ini meningkatkan ketersediaan oksigen terlarut dalam larutan perendaman benih. Oksigen yang cukup sangat penting pada tahap awal imbibisi untuk mendukung respirasi seluler benih. Dengan meningkatnya pasokan oksigen, proses respirasi pada benih berjalan lebih optimal sehingga energi (ATP) yang dihasilkan meningkat. Benih yang mengalami penurunan vigor biasanya memiliki membran sel yang rusak atau enzim yang tidak aktif. Perendaman dengan *Microbubble* membantu memperbaiki fungsi fisiologis tersebut melalui peningkatan aktivitas oksidatif yang terkendali, sehingga benih lebih siap berkecambah (Heriyati et al., 2020;

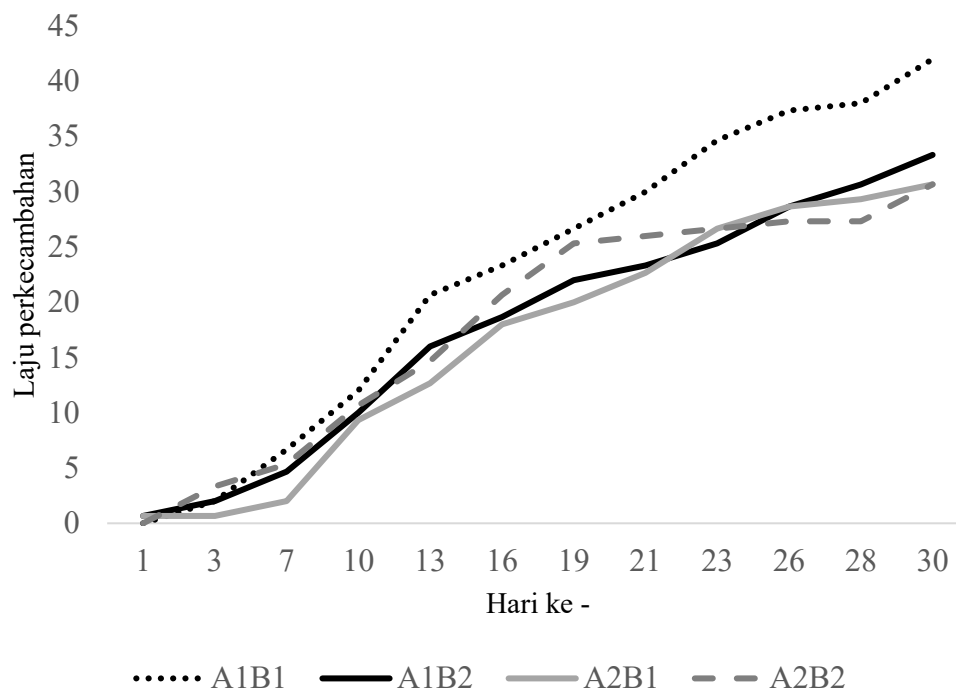
Sudrajat et al., 2022; Wulansari et al., 2023). Oleh karena itu, vigor benih yang tinggi menunjukkan kemampuan benih untuk tumbuh baik dan tahan pada lingkungan sub optimal. Berdasarkan Gambar 5, boxplot menunjukkan sebaran nilai indeks vigor benih trembesi dengan perlakuan invigorasi menggunakan rendaman *microbubble water* dan penaburan *seedball* banyak menyebar diatas nilai rata rata dengan sebaran 30 – 70%. Karena *seedball* dibentuk oleh media campuran yang terdiri dari arang sekam dan *top soil* yang dibuat membalut benih. Media ini menyediakan nutrisi tambahan untuk mempercepat benih berkecambah. Selain itu, kondisi benih yang terbalut juga mendukung untuk benih terhindar terpapar matahari secara langsung, dimakan serangga dan pengganggu lainnya.



Gambar 5. Indeks Vigor benih trembesi pada perlakuan invigorasi dan metode tabur.

Apabila diamati berdasarkan daya kecambah, kecepatan tumbuh dan indeks vigor. Ketiganya saling berbanding lurus dan menunjukkan keunggulan di perlakuan yang sama dengan perbedaan yang tipis dengan perlakuan lainnya. Hal ini terangkum pada Gambar 6. Benih

trembesi mulai berkecambah pada hari ke-2, dan masih berlanjut di hari ke – 30. Pada Gambar 6 terlihat jelas bahwa perlakuan dengan rendaman *water microbubble* sangat efektif untuk meningkatkan viabilitas benih trembesi.



Gambar 6. Kurva perkecambahan pada setiap perlakuan selama 30 hari.

4. KESIMPULAN

Perendaman dalam larutan *microbubble water* dapat meningkatkan viabilitas benih Trembesi di Jawa Barat dan efektif apabila diikutsertakan dengan penaburan benih menggunakan metode *seedball*. Dibuktikan dengan tingginya nilai kombinasi perlakuan ini pada daya kecambah 84%, kecepatan tumbuh benih 0,0395 dan indeks vigor yang mencapai di 70%. Benih trembesi dengan kombinasi perlakuan ini dapat diaplikasikan dalam mendukung kegiatan penghijauan *aeroseeding* di lahan kritis Jawa Barat.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi, dan BIMA 2024 yang menyediakan pendanaan secara penuh dalam penelitian ini, serta LPPM Universitas Winaya Mukti yang membantu dalam perantara administrasi selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhmadi, A., & Wijaya, I. (2005). Kadar Air Awal Benih Dan Penggunaan Bahan Desikan Pada Daya Simpan Benih Kedelai (*Glycine max*, L. Merrill). *Jurnal Ilmu Ilmu Pertanian*, 3(1), 29.
- Anafarida, O., Susilawati, I., & Rusmana, R. (2021). The Effect of Temperature and H₂SO₄ Concentration and Soaking TIME on Breaking Dormancy of Sengon Seed (*Falcataria Moluccana* (Miq.). *Jurnal Galam*, 2(1), 41–53.
<https://doi.org/10.20886/glm.2021.2.1.41-53>.
- Andwitasari, N., & Handayani, B. L. (2022). Mengapa Masyarakat Indonesia Lemah dalam Menghadapi Ancaman Bencana. *Hasanuddin Journal of Sociology (HJS)*, 4(2), 150–162.
- BPS. (2023a). *Jumlah Kejadian Bencana Alam Menurut Provinsi, 2018-2022*. Badan Pusat Statistik.

- <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/3/TUZaMGVteFVjSEJ4T1RCMllyRjRTazVvVDJocVFUMDkjMw==/jumlah-kejadian-bencana-alam-menurut-provinsi--2022.html>
- BPS. (2023b). *Jumlah Penduduk Menurut Provinsi di Indonesia (Ribu Jiwa), 2018-2022*. Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTQxIzI=/kepadatan-penduduk-menurut-provinsi--jiwa-km2-.html>
- Fata, N. A. N., Supriyanto, N., Rustam, E., & Sudrajat, D. J. (2020). Invigoration Treatment of White Jabon (*Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser) Seeds Using Polyethylene Glycol and Ultrafine Bubbles. *Jurnal Perbenihan Tanaman Hutan*, 8(1), 11–24. <https://doi.org/10.20886/bptpth.2020.8.1.11-24>
- Hardianto, A., Winardi, D., Rusdiana, D., Putri, A., Ananda, F., Devitasari, Djarwoatmodjo, F., Yustika, F., & Gustav, F. (2020). Pemanfaatan Informasi Spasial Berbasis SIG untuk Pemetaan Tingkat Kerawanan Longsor di Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 1, 23–31. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2020.v1i1.16>
- Heriyati, E., Rustadi, R., Isnansetyo, A., & Triyatmo, B. (2020). Uji Aerasi Microbubble dalam Menentukan Kualitas Air, Nilai Nutrition Value Coefficient (NVC), Faktor Kondisi (K) dan Performa pada Budidaya Nila Merah (*Oreochromis Sp.*). *Jurnal Pertanian Terpadu*, 8(1), 27–41. <https://doi.org/10.36084/jpt.v8i1.232>
- Katherina, L. K. (2017). Dinamika Pertumbuhan Penduduk Dan Kejadian Banjir Di Kota: Kasus Surabaya. *Jurnal Kependudukan Indonesia*, 12(2).
- Liu, S., Oshita, S., & Makino, Y. (2014). Reactive oxygen species induced by water containing nano-bubbles and its role in the improvement of barley seed germination. *Research in Agricultural & Life Sciences*, 1–8.
- Lysych, M. N., Bukhtoyarov, L. D., & Shabanov, M. L. (2021). Investigation of the impact interaction of pelleted seeds with the soil environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 875(1), 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/875/1/012023>
- Oshita, S., Boerzhijin, S., Kameya, H., Yoshimura, M., & Sotome, I. (2023). Promotion Effects of Ultrafine Bubbles/Nanobubbles on Seed Germination. *Nanomaterials*, 13(10), 1677. <https://doi.org/10.3390/nano13101677>
- Rohman, D., & Annisa, R. (2024). Clustering bencana alam menggunakan K-means pada wilayah Jawa Barat. *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika (JATI)*, 8(1), 493–500.
- 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 Journal of Biological Diversity*, 21(10).

<https://doi.org/10.13057/biodiv/d211013>

Sudrajat, D. J., Siregar, I. Z., & Purwanto, Y. A. (2022). *Teknologi Ultrafine Bubbles (UFB) untuk Meningkatkan Viabilitas dan Vigor Benih* (Cetakan 1). IPB Press.

World Bank Group & Asian Development Bank. (2021). *Climate Risk Country Profile: Indonesia*. World

Bank.

<https://doi.org/10.1596/36379>

Wulansari, R., Farhana, B., & Fajrina, N. (2023). Field Emergence Test in Relation to Laboratory Seed Quality Tests of Sweet Corn Seed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1160(1), 012017.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1160/1/012017>