

RESPONS PERKECAMBAHAN BENIH KOPSIA (*Kopsia arborea* Blume) PADA TINGKAT KEMATANGAN BUAH YANG BERBEDA DAN APLIKASI RIZOBAKTERI

Germination Response of Kopsia (Kopsia arborea Blume) Seeds to Different Fruit Maturity Levels and Rhizobacteria Application

Rachmad Chaerul H^{1*}, Arum Sekar Wulandari¹, Yunik Istikorini¹

(Diterima 24 September 2025 / Disetujui 13 November 2025)

ABSTRACT

Kopsia plants are known secondary metabolites. While extensive research has been conducted on the secondary metabolites of kopsia, studies on its cultivation and propagation techniques remain limited. This study aims to analyze the effects of fruit maturity level and rhizobacteria application on kopsia seed germination. The treatment tested in this study included different fruit maturity levels (immature, semi-mature, and mature) and rhizobacteria application (0% and 5%). All mature fruits germinated successfully (68%), whereas immature and semi-mature fruits showed no germination at all (0%). The absence of germination in immature and semi-mature fruits was due to the physiologically immature embryos. Rhizobacteria were found to accelerate seed germination in mature fruits, and the resulting kopsia seedlings exhibited better growth. Overall, kopsia seed germination occurred only in mature fruits. Rhizobacteria application helped balance shoot and root development.

Keywords: embryos, fruit maturity level, germination rate, seed, shoot-to-root ratio, vigor index

ABSTRAK

Tumbuhan kopsia merupakan tanaman yang menghasilkan metabolit sekunder. Penelitian mengenai metabolit sekunder pada tanaman kopsia telah banyak dilakukan, namun penelitian terkait budidaya dan teknik perbanyakannya masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh tingkat kematangan buah dan pemberian rizobakteri terhadap perkecambahan benih kopsia. Percobaan dilakukan di rumah kaca. Perlakuan yang dicobakan pada penelitian ini yaitu tingkat kematangan buah yang berbeda (belum matang, setengah matang, dan matang) dan aplikasi rizobakteri (0 g dan 5 g). Semua buah yang matang dapat berkecambah dengan baik (68%), namun buah yang belum matang maupun setengah matang sama sekali tidak mengalami perkecambahan (0%). Embrio yang belum matang secara fisiologis pada buah yang belum matang maupun setengah matang menjadi penyebab tidak terjadinya perkecambahan. Rizobakteri dapat mempercepat perkecambahan benih pada buah yang matang, dan kecambah kopsia yang dihasilkan juga mempunyai pertumbuhan yang lebih baik. Secara umum, perkecambahan benih kopsia hanya terjadi pada buah yang sudah matang. Aplikasi rizobakteri dapat menyeimbangkan pertumbuhan pucuk dan akar.

Kata kunci: benih, daya kecambah, embrio, indeks vigor, tingkat kematangan buah

¹ Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University

* Penulis korespondensi:

e-mail: rachmadch17@gmail.com

PENDAHULUAN

Tumbuhan kopsia atau purnajiwa (*Kopsia arborea* Blume) adalah salah satu jenis tanaman dari famili *Apocynaceae* dan memiliki sekitar 30 spesies yang tersebar di Asia, Cina, Australia, dan beberapa pulau di Pasifik Barat. Kopsia dikenal sebagai sumber alkaloid indol (aspidospermidin, kopsinine, quebrachamin, dan tabersonin) yang memiliki berbagai bioaktivitas (Chen *et al.* 2022; Chen *et al.* 2023; Ariati *et al.* 2024). Tanaman kopsia dapat dianggap sebagai tanaman peneduh karena memenuhi persyaratan seperti buah yang berukuran kecil, tidak mudah menggugurkan daun, memiliki batang yang kokoh, sistem perakaran yang tidak tumbuh terlalu cepat, serta tahan terhadap serangan hama dan penyakit (Suraida 2012). Tanaman kopsia berpotensi sebagai tanaman obat karena kandungan metabolit sekunder seperti alkaloid, flavonoid, tanin, dan saponin yang terbukti dalam ekstraknya memiliki sifat antioksidan alami. Potensi ini menjadikan kopsia bahan baku yang bermanfaat untuk pencegahan penyakit kronis, seperti jantung koroner dan kanker (Purwanto *et al.* 2017). Upaya pemanfaatan kopsia tidak hanya bergantung pada kandungan metabolit sekundernya, tetapi juga pada ketersediaan bibit yang bermutu, sehingga perlu dikembangkan teknik perbanyakan benih yang melibatkan agen hayati seperti bakteri rizosfer (Ahmed *et al.* 2019; Andrade *et al.* 2023).

Bakteri rizosfer (contoh: *Pseudomonas*, *Azospirillum*, dan *Bacillus*) merupakan bakteri yang hidup di daerah sekitar perakaran tanaman (rizosfer) dan berinteraksi langsung dengan tanaman (rizobakteri). Rizobakteri ini berperan penting dalam meningkatkan perkecambahan benih dan pertumbuhan tanaman melalui berbagai mekanisme, seperti fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, produksi fitohormon, dan pengendalian patogen tanah secara hayati. Selain itu, bakteri rizosfer dapat menginduksi ketahanan tanaman terhadap stres abiotik dan biotik melalui peningkatan ketersediaan nutrisi serta produksi senyawa bioaktif (Sembiring dan Sumanto 2021; Liu *et al.* 2025). Salah satu metode yang dapat diterapkan untuk meningkatkan vigor dan viabilitas benih adalah teknik priming yang dikombinasikan dengan rizobakteri (*bio-priming*). *Bio-priming* merupakan proses hidrasi benih secara terkontrol dengan memanfaatkan senyawa biologis (Ashraf dan Foolad 2005). Penelitian mengenai *bio-priming* pada *Kopsia arborea* masih terbatas. Pérez-García *et al.* (2023) melaporkan bahwa inokulasi *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas paralactis* meningkatkan persentase perkecambahan dan panjang akar pada kecambah *Cucumis sativus*. Chabbi *et al.* (2024) melaporkan bahwa *Pseudomonas fluorescens*,

Bacillus subtilis, dan *Azospirillum brasilense* mampu meningkatkan vigor dan pertumbuhan awal bibit *Argania spinosa*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hussain *et al.* (2019), penggunaan teknik *bio-priming* benih dengan menggunakan rizobakteri dapat meningkatkan mutu benih. Penelitian mengenai metabolit sekunder pada tanaman kopsia telah banyak dilakukan, namun penelitian terkait budidaya dan teknik perbanyakannya masih terbatas. Informasi mengenai perbanyakan kopsia secara generatif sudah ada, namun belum ada yang meneliti mengenai pengaruh tingkat kematangan buah terhadap perkecambahan benih kopsia. Tingkat kematangan buah merupakan faktor penting yang menentukan kualitas benih awal sebelum pengecambahan (de carvalho *et al.* 2021). Dengan demikian, kajian yang menghubungkan antara tingkat kematangan buah dengan efektivitas aplikasi rizobakteri pada benih kopsia masih belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh tingkat kematangan buah dan perlakuan rizobakteri terhadap perkecambahan benih kopsia.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan April hingga Juni 2025. Lokasi penelitian berada di Rumah Kaca dan Laboratorium Silvikultur Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor (IPB).

Alat dan Bahan

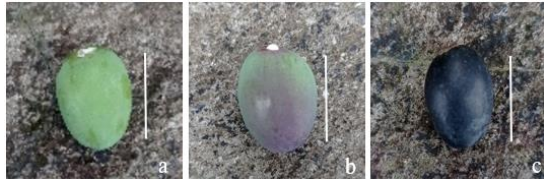
Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu galah, sekop kecil, *tally sheet*, *software excel*, *software Rstudio*, botol jar, timbangan digital, nampan, penggaris, buku *Munsell Color Chart of Plant Tissue*, dan ember 2 L. Bahan yang dibutuhkan adalah buah tanaman kopsia dengan berbagai tingkat kematangan, pasir, pupuk rizobakteri (mengandung *Pseudomonas* sp. > 107 Cf/g, *Bacillus* sp. > 107 Cf/g, dan *Azospirillum* sp. > 107 Cf/g), dan air steril.

Prosedur Penelitian

1. Tahapan Persiapan

Persiapan buah kopsia. Buah kopsia didapatkan melalui pengunduhan langsung dari pohon kopsia yang berada di area Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB. Buah yang diambil merupakan buah dengan tiga tingkat kematangan berbeda yaitu: (1) buah yang belum matang berwarna hijau (5G 3/2) (sebelum berubah warna menjadi hijau dan merah keunguan gelap),

(2) setengah matang berwarna hijau dan merah keunguan gelap (5G 3/2 dan 5RP 3/4), dan (3) matang berwarna biru keunguan gelap (5PB 2/1) (Gambar 1). Penentuan warna buah menggunakan buku *Munsell Color Chart of Plant Tissue*.



Gambar 1. Tingkat kematangan buah kopsia: (a) belum matang, (b) setengah matang, (c) matang. — = 2 cm.

Persiapan media tabur. Media tabur yang digunakan adalah pasir. Sebelum digunakan, pasir disaring menggunakan ayak dengan ukuran 6×6 mm, kemudian dijemur selama 48 jam di bawah sinar matahari. Pasir yang telah dijemur kemudian dimasukkan ke dalam bak kecambah. Banyaknya pasir yang digunakan adalah $\frac{2}{3}$ dari tinggi bak kecambah.

Persiapan aplikasi pupuk rizobakteri. Pupuk rizobakteri yang digunakan mengandung bakteri *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp. dan *Azospirillum* sp. Pupuk tersebut diperoleh dari Laboratorium Patologi Hutan Departemen Silvikultur Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB. Konsentrasi rizobakteri yang digunakan sebanyak 5% sesuai dengan konsentrasi anjuran dan sudah memenuhi syarat ketentuan jumlah mikrob (10^7) CFU/g untuk aplikasi. Pupuk rizobakteri ditimbang sebanyak 5 g, kemudian dilarutkan dalam 100 mL air steril dan diinkubasi selama 24 jam. Larutan rizobakteri yang telah diinkubasi, kemudian diencerkan sampai 1 L air.

2. Pengecambahan Buah

Buah kopsia yang telah dikumpulkan kemudian direndam ke dalam larutan rizobakteri. Lama perendaman yang dilakukan adalah 0 (kontrol) dan 24 jam. Setiap perlakuan berjumlah 20 buah kopsia dengan 3 ulangan. Sebagai kontrol buah kopsia hanya direndam dengan air.

Buah kopsia yang telah direndam kemudian disemai ke dalam media tabur yang telah disiapkan sebelumnya. Setiap nampan berisikan buah sesuai dengan perlakuan masing-masing.

3. Pemeliharaan

Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan adalah penyiraman yang dilakukan 1-2 kali sehari dengan memerhatikan kondisi cuaca. Pembersihan gulma yang tumbuh pada media tabur. Monitoring hama dan penyakit dilakukan untuk menghindari

kerusakan dan gangguan pada tanaman, tanaman yang terserang penyakit dipisahkan dengan tanaman yang sehat.

4. Pengamatan dan Pengambilan Data

Peubah yang diamati yaitu proses perkecambahan, awal berkecambah (hari), daya berkecambah (%), rata-rata hari berkecambah (hari), laju perkecambahan (%/hari), potensi tumbuh maksimum (%), tinggi kecambah (cm), panjang kecambah (cm), panjang akar (cm), indeks vigor, berat basah total (g), berat kering total (g), dan nisbah pucuk akar. Proses perkecambahan diamati mulai dari awal muncul plumula ke permukaan media tabur sampai kecambah berumur 60 hari. Awal berkecambah merupakan saat pertama kali plumula muncul ke permukaan media tabur. Plumula yang telah muncul kemudian dihitung dan dicatat waktu munculnya. Daya berkecambah benih merupakan persentase benih yang berhasil tumbuh menjadi kecambah normal dibandingkan dengan total benih yang ditanam (Fata *et al.* 2020). Nilai daya berkecambah dihitung menggunakan rumus berikut:

$$DB (\%) = \frac{\text{Jumlah kecambah normal}}{\text{Jumlah benih yang ditanam}} \times 100\%$$

Rata-rata hari berkecambah (*mean germination time*) dilakukan menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Fata *et al.* (2020):

$$MGT = \frac{N1T1 + N2T2 + \dots + NiTi}{\text{Jumlah benih yang berkecambah}}$$

Keterangan:

Ni = jumlah benih yang berkecambah pada hari ke-i

Ti = hari berkecambah

Proses pengamatan dilakukan dengan menghitung jumlah benih yang berkecambah setiap hari. Pengamatan terhadap laju perkecambahan (LP) mencerminkan kemampuan benih untuk berkecambah dengan cepat dalam rentang waktu tertentu. LP diukur berdasarkan jumlah hari yang dibutuhkan hingga munculnya radikula dan plumula. LP dihitung berdasarkan rumus yang dikemukakan oleh Fata *et al.* (2020):

$$LP (\%/hari) = \frac{N1}{T1} + \frac{N2}{T2} + \dots + \frac{Ti}{Ti}$$

Keterangan:

LP = Laju Perkecambahan

N = Jumlah benih yang berkecambah

T = Jumlah waktu antara pengujian awal sampai pengujian akhir pada interval tertentu suatu pengamatan (N1T1 hingga NxTx)

Sesuai dengan Sutariati *et al.* (2014), potensi tumbuh maksimum merepresentasikan viabilitas benih. Perhitungannya dilakukan dengan menjumlahkan kecambah normal pada pengamatan pertama dan kecambah abnormal. Kecambah dikategorikan sebagai kecambah normal apabila akar primer, hipokotil, kotiledon, dan titik tumbuh berkembang utuh serta mampu mendukung pertumbuhan menjadi tanaman sehat. Sebaliknya, kecambah yang memperlihatkan kerusakan atau ketidaksempurnaan pada organ penting tersebut, seperti akar primer tidak terbentuk, kotiledon rusak berat, atau titik tumbuh tidak aktif, sehingga tidak memiliki kemampuan tumbuh lanjut, dikategorikan sebagai kecambah abnormal (ISTA 2019). Pengamatan kedua menggunakan rumus berikut yang dikemukakan oleh Sutariati *et al.* (2014):

$$PTM = \frac{\text{Kecambah normal} + \text{Kecambah abnormal}}{\text{Jumlah benih yang ditanam}} \times 100\%$$

Pengukuran tinggi kecambah dan panjang kecambah berbeda pada saat pengukurannya. Pengukuran tinggi kecambah dilakukan setelah 10 hari sejak perkecambahan (Rehman *et al.* 2024). Pengukuran dilakukan dari permukaan tanah hingga ujung pucuk semai menggunakan penggaris. Pengukuran panjang kecambah dilakukan pada hari terakhir pengamatan. Pengukuran dilakukan dari ujung pucuk hingga ujung akar menggunakan penggaris. Pengukuran panjang kecambah dilakukan pada hari terakhir pengamatan. Pengukuran dilakukan dari pangkal batang bawah hingga ujung akar menggunakan penggaris. Tingkat vigor benih dapat dihitung menggunakan rumus berikut menurut Abdul-Baki dan Anderson (1973):

$$\text{Indeks Vigor} = \text{Daya kecambah (\%)} \times \text{Rata} \\ - \text{rata tinggi kecambah (cm)}$$

Pengukuran berat basah total (BBT) dilakukan bersamaan setelah panen. Berat basah total diperoleh dari jumlah berat basah bagian pucuk dan akar dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Berat Basah Total (BBT)} = \text{Berat Basah Pucuk} + \text{Berat Basah Akar}$$

Pengukuran berat kering total (BKT) dilakukan pada akhir pengamatan setelah proses pengeringan. BKT diperoleh dengan menjumlah secara langsung berat kering bagian pucuk dan berat kering bagian akar dengan menggunakan rumus berikut (Sukendro dan Sugiarto 2012):

$$\text{Berat Kering Total} = \text{Berat Kering Pucuk} + \text{Berat Kering Akar}$$

Nisbah pucuk akar (NPA) ditentukan dengan membandingkan berat kering pucuk dengan berat kering akar dengan menggunakan rumus berikut (Kusmana dan Sukaesih 2021):

$$\text{Nisbah Pucuk Akar (NPA)} = \frac{\text{berat kering pucuk}}{\text{berat kering akar}}$$

Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Rancangan yang digunakan pada penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial 2 faktor. Faktor pertama adalah tingkat kematangan buah kopsia yang terdiri atas 3 taraf, yaitu: belum matang, setengah matang, dan matang. Faktor kedua adalah inokulasi rizobakteri yang terdiri atas 2 taraf, yaitu: 0% (kontrol) dan 5%. Setiap perlakuan terdiri atas 3 kali ulangan, setiap ulangan terdiri atas 20 unit, sehingga total bibit kopsia yang digunakan adalah 360 buah kopsia.

Model statistika yang digunakan adalah sebagai berikut (Montgomery 2020):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Keterangan:

Y_{ijk} = Nilai pengamatan pada taraf kematangan buah ke-i, rizobakteri ke-j, dan ulangan ke-k

μ = Nilai tengah umum

α_i = Pengaruh kematangan buah ke-i

β_j = Pengaruh rizobakteri ke-j

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Pengaruh interaksi antara perlakuan kematangan buah ke-i dan rizobakteri ke-j

ε_{ijk} = Galat acak percobaan pada faktor kematangan buah ke-i, faktor rizobakteri ke-j, dan ulangan ke-k

I = Kematangan buah (1, 2, 3)

J = Rizobakteri (1, 2)

K = Ulangan (1, 2, 3)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Benih yang berkecambah hanya berasal dari buah dengan tingkat kematangan penuh. Buah yang masih muda dan setengah matang tidak mengalami perkecambahan. Perlakuan pemberian inokulum rizobakteri tidak memberikan perubahan terhadap fisik buah kopsia, namun mampu mempercepat proses perkecambahan benih pada buah kopsia yang matang. Benih kopsia yang diberi rizobakteri mulai berkecambah pada hari ke-11 setelah tanam, sedangkan benih tanpa perlakuan (kontrol) baru

berkecambah pada hari ke-16 setelah tanam. Benih kopsia tergolong benih poliembrioni karena memiliki lebih dari satu embrio (Gambar 2a), sehingga dari satu benih dapat muncul lebih dari satu kecambah. Pada penelitian ini, jumlah maksimal kecambah yang tumbuh dari satu benih mencapai lima (Gambar 2b).

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa faktor tingkat kematangan buah berpengaruh sangat nyata terhadap seluruh peubah yang diamati, meliputi daya kecambah, rata-rata hari berkecambah, laju perkecambahan, dan nisbah pucuk akar, namun tidak berpengaruh terhadap peubah pertumbuhan

lainnya. Interaksi antara rizobakteri dan tingkat kematangan berpengaruh nyata pada rata-rata hari berkecambah dan nisbah pucuk akar (Tabel 1).

Tingkat kematangan buah memberikan pengaruh nyata terhadap seluruh peubah pertumbuhan benih kopsia (Tabel 2). Buah yang belum matang maupun setengah matang tidak menunjukkan adanya perkecambahan, sehingga semua parameter bernilai nol. Sebaliknya, benih dari sebuah matang memiliki daya berkecambah, tinggi kecambah, panjang kecambah, serta bobot basah dan kering yang nyata lebih tinggi dibandingkan dua tingkat kematangan lainnya.



Gambar 2. Pertumbuhan benih kopsia: a. Bentuk embrio buah kopsia peringkat kematangan, b. kecambah kopsia yang tumbuh lebih dari satu. — = 2 cm

Tabel 1 Pengaruh pemberian perlakuan terhadap perkecambahan benih kopsia

No.	Peubah	Hasil anova perlakuan		
		Rizobakteri	Tingkat kematangan	Rizobakteri × tingkat kematangan
1	Daya berkecambah (%)	0,268 ^{tn}	$2,55 \times 10^{-9***}$	0,297 ^{tn}
2	Rata-rata hari berkecambah (hari)	0,010 [*]	$1,25 \times 10^{-12***}$	0,003 ^{**}
3	Laju perkecambahan (kecambah/hari)	0,019 [*]	$3,39 \times 10^{-9***}$	0,008 ^{**}
4	Potensi tumbuh maksimum (%)	0,268 ^{tn}	$2,55 \times 10^{-9***}$	0,297 ^{tn}
5	Tinggi kecambah (cm)	0,335 ^{tn}	$5,26 \times 10^{-6***}$	0,395 ^{tn}
6	Panjang kecambah (cm)	0,404 ^{tn}	$2,12 \times 10^{-8***}$	0,494 ^{tn}
7	Panjang akar (cm)	0,160 ^{tn}	$6,79 \times 10^{-9***}$	0,151 ^{tn}
8	Indek vigor	0,468 ^{tn}	$1,43 \times 10^{-5***}$	0,583 ^{tn}
9	Berat basah total (g)	0,370 ^{tn}	$2,22 \times 10^{-9***}$	0,444 ^{tn}
10	Berat kering total (g)	0,219 ^{tn}	$2,55 \times 10^{-7***}$	0,228 ^{tn}
11	Nisbah pucuk akar	$1,56 \times 10^{-9***}$	$1,44 \times 10^{-11***}$	$1,21 \times 10^{-9***}$

(***) = sangat berpengaruh nyata pada p value < 0.001, (**) = berpengaruh nyata pada pa value < 0.01,

(*) = cukup berpengaruh nyata pada p value < 0.05, tn = tidak berpengaruh nyata

Tabel 2 Hasil uji lanjut pengaruh tingkat kematangan terhadap pertumbuhan tanaman kopsia

No.	Peubah	Tingkat kematangan		
		Belum matang	Setengah matang	Matang
1	Daya berkecambah (%)	0,00±0,00 ^b	0,00±0,00 ^b	0,68±0,10 ^a
2	Potensi tumbuh maksimum (%)	0,00±0,00 ^b	0,00±0,00 ^b	0,68±0,10 ^a
3	Tinggi kecambah (cm)	0,00±0,00 ^b	0,00±0,00 ^b	2,90±0,92 ^a
4	Panjang kecambah (cm)	0,00±0,00 ^b	0,00±0,00 ^b	11,13±1,99 ^a
5	Panjang akar (cm)	0,00±0,00 ^b	0,00±0,00 ^b	5,13±1,00 ^a
6	Indek vigor	0,00±0,00 ^b	0,00±0,00 ^b	4,19±1,43 ^a
7	Berat basah total (g)	0,00±0,00 ^b	0,00±0,00 ^b	1,87±0,27 ^a
8	Berat kering total (g)	0,00±0,00 ^b	0,00±0,00 ^b	6,73±1,71 ^a

Angka yang diikuti huruf yang sama pada baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan p -value < α (0,001)

Tabel 3 Hasil uji lanjut interaksi perlakuan terhadap pertumbuhan tanaman kopsia

Perlakuan		Peubah		
Tingkat kematangan buah	Rizobakteri (g/L)	Rata-rata hari berkecambah harian (hari)	Laju perkecambahan (%/hari)	Nisbah Pucuk akar
Belum matang	0	0,00±0,00 ^c	0,00±0,00 ^c	0,00±0,00 ^c
	5	0,00±0,00 ^c	0,00±0,00 ^c	0,00±0,00 ^c
Setengah matang	0	0,00±0,00 ^c	0,00±0,00 ^c	0,00±0,00 ^c
	5	0,00±0,00 ^c	0,00±0,00 ^c	0,00±0,00 ^c
Matang	0	35,22±2,97 ^a	0,42±0,01 ^b	0,43±0,01 ^b
	5	27,28±3,41 ^b	0,65±0,15 ^a	2,35±0,20 ^a

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan $p\text{-value} < \alpha$ (0,001)

Interaksi antara tingkat perlakuan kematangan buah dan rizobakteri berpengaruh nyata terhadap rata-rata hari berkecambah, laju perkecambahan, dan nisbah pucuk akar (Tabel 3). Buah matang tanpa rizobakteri membutuhkan waktu berkecambah lebih lama dibandingkan dengan buah matang dengan rizobakteri. Perlakuan rizobakteri juga meningkatkan laju perkecambahan dan nisbah pucuk akar dibanding kontrol. Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan rizobakteri pada benih matang mampu mempercepat perkecambahan sekaligus meningkatkan pertumbuhan awal bibit kopsia.

Pembahasan

Perkecambahan benih kopsia hanya terjadi pada buah kopsia yang sudah matang. Hal yang sama ditemukan pada perkecambahan benih kopi Arabika, buah yang telah matang dengan warna merah menunjukkan kemampuan berkecambah lebih baik dibandingkan buah yang masih hijau atau belum matang (Saefudin dan Wardiana 2013; Rohaeni dan Farida 2019). Tingkat kematangan buah dan perlakuan terhadap benih merupakan faktor penting yang menentukan keberhasilan perkecambahan. Kematangan buah menentukan tercapainya fase masak fisiologis benih, saat vigor dan daya berkecambah berada pada tingkat maksimum (Paramita *et al.* 2018). Sebaliknya, benih dari buah belum matang dan setengah matang tidak mampu berkecambah karena embrio belum berkembang sempurna, cadangan makanan dan keseimbangan hormonal belum memadai (Mhaske *et al.* 2024). Hal ini menyebabkan benih dari buah yang belum matang atau setengah matang umumnya mempunyai daya kecambah yang lebih rendah atau bahkan tidak berkecambah dibandingkan benih dari buah yang sudah matang. Hasil yang sama ditemukan pada penelitian Solikin dan Nurfadilah (2017) terhadap perkecambahan sambiloto yang mendapatkan perkecambahan sangat tinggi (98,5%) pada benih matang, sedangkan benih yang belum matang sangat rendah

(4,25%). Menurut Ali dan Singh (2015), buah yang matang memiliki akumulasi cadangan energi dan perkembangan embrio yang lengkap. Kondisi ini sejalan dengan konsep dormansi fisiologis (dormansi embrio) (Baskin dan Baskin 2014).

Perlakuan rizobakteri terbukti efektif hanya pada benih yang berasal dari buah matang. Hal ini terlihat dari percepatan waktu berkecambah, peningkatan laju perkecambahan, dan nilai nisbah pucuk akar. Hasil yang sama ditemukan pada penelitian yang dilakukan oleh Sutariati *et al.* (2021) mengenai penggunaan rizobakteri pada benih cabai. Benih dengan campuran rizobakteri mempunyai viabilitas dan vigor yang lebih baik dibandingkan dengan kontrol. Menurut Hutapea *et al.* (2024) beberapa jenis bakteri yang hidup di wilayah rizosfer (seperti *Bacillus*, *Pseudomonas*, dan *Azospirillum*) diketahui mampu menunjang pertumbuhan tanaman melalui beragam mekanisme, termasuk sintesis hormon pertumbuhan (auksin, sitokinin, dan giberelin), kemampuan fiksasi nitrogen, pelarut fosfat, dan aktivitas antagonis terhadap patogen. Menurut Zhang *et al.* (2021) rizobakteri (seperti *Bacillus*, *Pseudomonas*, dan *Azospirillum*) diketahui mampu menghasilkan hormon pertumbuhan tanaman, terutama indole-3-acetic acid (IAA) yang termasuk ke dalam golongan auksin berfungsi menstimulasi pemanjangan sel, pembentukan akar lateral, dan keseimbangan pertumbuhan pucuk-akar. Namun, respons ini hanya dapat dimanfaatkan oleh benih dengan embrio yang sudah matang secara fisiologis, karena keberadaan embrio yang sehat memungkinkan interaksi hormon mikroba dengan sistem fisiologis benih berlangsung secara optimal. Dengan demikian, aplikasi rizobakteri tidak dapat menggantikan peran kematangan embrio, melainkan hanya bersifat mendukung untuk mempercepat perkecambahan dan meningkatkan vigor benih yang sudah matang secara fisiologis.

Benih kopsia dari buah matang memiliki daya berkecambah dan nilai potensi tumbuh maksimum

yang sama, yaitu sebesar 68%. Hal ini menunjukkan semua kecambah yang tumbuh adalah kecambah normal, tidak ada kecambah yang abnormal. Hal yang sama ditemukan pada penelitian Iswari *et al.* (2024), yang menunjukkan benih dengan kualitas fisiologis baik memiliki daya berkecambah dan potensi tumbuh maksimum yang tinggi karena sebagian besar kecambah yang muncul adalah normal. Menurut Fu *et al.* (2024), munculnya kecambah abnormal dipengaruhi oleh kondisi fisiologis benih yang belum matang sempurna, kerusakan fisik pada embrio, dan faktor lingkungan seperti suhu, cahaya, dan kelembapan yang tidak sesuai. Selain itu, serangan patogen dan ketidakseimbangan hormon dalam benih juga dapat menghambat diferensiasi jaringan, sehingga menghasilkan kecambah yang abnormal.

Peubah pertumbuhan vegetatif awal seperti tinggi kecambah, panjang kecambah, panjang akar, dan indeks vigor hanya terlihat pada benih yang berasal dari buah matang. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Xing *et al.* (2023) bahwa benih pada fase matang fisiologis memiliki kemampuan pertumbuhan yang lebih baik dibanding buah yang dipanen prematur atau belum matang. Panjang akar yang lebih tinggi pada buah matang juga menunjukkan ketersediaan cadangan makanan dan aktivitas metabolisme yang optimal, sebagaimana dijelaskan oleh Machado *et al.* (2023), bahwa buah yang matang memiliki embrio sempurna dan cadangan energi yang cukup, sehingga pertumbuhan akar dan pucuk dapat berlangsung lebih cepat serta menghasilkan vigor yang lebih kuat dibandingkan benih dari buah belum matang. Tingginya indeks vigor pada benih matang mengindikasikan potensi pertumbuhan yang lebih kuat, sejalan dengan Abdul-baki dan Anderson (1973) yang menekankan bahwa vigor benih mencerminkan kemampuan benih untuk tumbuh cepat, seragam, dan membentuk bibit normal pada kondisi lapang. Dengan demikian, benih dari buah matang tidak hanya memiliki viabilitas tinggi, tetapi juga vigor yang untuk menunjang pertumbuhan awal tanaman kopsia.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa berat basah total dan berat kering total benih kopsia hanya diperoleh pada benih dari buah matang. Penelitian yang dilakukan oleh Parab *et al.* (2021) mengenai pengecambahan pepaya menyatakan bahwa buah yang matang memperlihatkan berat kering bibit yang lebih tinggi dibandingkan buah yang dipanen lebih awal. Tingginya berat basah dan kering pada benih matang mengindikasikan keberhasilan akumulasi cadangan makanan serta aktivitas metabolisme yang optimal selama fase pertumbuhan awal (Colombari *et al.* 2022). Berat

kering yang lebih tinggi juga mencerminkan keberlanjutan proses fotosintesis dan diferensiasi jaringan pada kecambah, sehingga benih dari buah matang memiliki kapasitas lebih besar dalam mendukung pertumbuhan selanjutnya. Dengan demikian, peubah biomassa ini semakin menegaskan bahwa hanya benih dari buah matang yang memiliki viabilitas dan vigor optimal untuk berkembang menjadi bibit yang sehat. Benih yang dipanen pada tahap kematangan lebih lanjut menghasilkan berat kering total biomassa kecambah, baik pucuk maupun akar, yang jauh lebih besar dibandingkan dengan benih dari tahap kematangan awal (Silva *et al.* 2020).

Hasil uji lanjut menunjukkan adanya interaksi nyata antara tingkat kematangan buah dan pemberian rizobakteri pada peubah rata-rata hari berkecambah, laju perkecambahan, dan nisbah pucuk-akar benih kopsia. Benih dari buah matang yang diberi perlakuan rizobakteri memiliki rata-rata hari berkecambah yang lebih singkat dan laju perkecambahan yang lebih cepat dibandingkan dengan perlakuan tanpa rizobakteri. Hal ini sejalan dengan penelitian Putri *et al.* 2023 yang melaporkan bahwa perlakuan bio-priming dengan rizobakteri meningkatkan viabilitas, laju perkecambahan, dan vigor benih pagi, namun efektivitasnya tetap bergantung pada kualitas fisiologis awal benih. Menurut Machado *et al.* (2023), bahwa peningkatan vigor dan biomassa awal hanya terjadi bila benih berada pada kondisi fisiologis yang baik, sedangkan pada benih dengan kualitas rendah perlakuan eksternal tidak mampu memperbaiki keterbatasan internal. Efektivitas rizobakteri pada benih kopsia sangat ditentukan oleh tingkat kematangan buah, dan aplikasi terbaik hanya dapat diperoleh pada benih matang dengan viabilitas tinggi.

Nisbah pucuk-akar kecambah kopsia dengan perlakuan rizobakteri mempunyai nilai >1 , sedangkan tanpa perlakuan rizobakteri nilainya <1 . Hal ini menunjukkan bahwa pada perlakuan rizobakteri pertumbuhan pucuk lebih tinggi dibandingkan dengan pertumbuhan akar, sebaliknya pada perlakuan tanpa rizobakteri pertumbuhan pucuk lebih rendah dibandingkan dengan pertumbuhan akar. Hal ini sesuai dengan penelitian Liu *et al.* (2013) yang menunjukkan bahwa inokulasi *Bacillus subtilis* dapat meningkatkan berat kering pucuk yang lebih besar daripada berat kering akar, sehingga rasio pucuk-akar >1 . Berdasarkan hasil penelitian Sorokan *et al.* 2021, hal ini karena *B. subtilis* strain 26D mampu mensintesis indole-3-acetic acid dan sitokinin yang dapat merangsang pembelahan dan perpanjangan sel di pucuk sehingga mendorong pertumbuhan daun dan batang. Menurut Espinosa *et al.* (2024), bahwa

nisbah pucuk-akar bibit pohon tropis yang ideal berada dalam kondisi seimbang (1:1), sehingga pertumbuhan pucuk didukung oleh sistem perakaran yang kuat. Rasio yang terlalu tinggi atau terlalu rendah menurunkan kemampuan bibit beradaptasi setelah ditanam di lapangan.

Perkecambahan benih kopsia hanya berhasil apabila menggunakan benih yang berasal dari buah matang dengan ciri warna buah hitam keunguan. Buah pada tahap kematangan ini menunjukkan vigor dan viabilitas tertinggi, ditandai dengan daya berkecambah dan potensi tumbuh maksimum yang tinggi, serta menghasilkan kecambah yang normal (tanpa ada kecambah yang abnormal). Penambahan rizobakteri sangat direkomendasikan karena mampu mempercepat munculnya kecambah, menurunkan rata-rata hari berkecambah, dan meningkatkan pertumbuhan awal kecambah.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat kematangan buah berperan penting dalam menentukan viabilitas, daya kecambah, dan vigor benih kopsia. Hanya benih dari buah matang yang mampu berkecambah dan menghasilkan pertumbuhan awal yang optimal, sedangkan benih dari buah belum matang maupun setengah matang tidak menunjukkan kemampuan berkecambah karena embrio belum berkembang sempurna secara fisiologis. Aplikasi rizobakteri (seperti *Bacillus*, *Pseudomonas*, dan *Azospirillum*) terbukti efektif dalam mempercepat waktu berkecambah, meningkatkan lajut perkecambahan, dan memperbaiki nisbah pucuk-akar, namun efek tersebut hanya terjadi pada benih matang dengan embrio yang fisiologisnya sempurna. Temuan ini menegaskan pentingnya pemilihan tingkat kematangan buah yang tepat dan pemanfaatan rizobakteri sebagai strategi biologis dalam meningkatkan keberhasilan perkecambahan dan pertumbuhan awal *Kopsia arborea* untuk mendukung upaya perbanyakan dan konservasi spesies ini.

Saran

Penggunaan benih dari buah yang matang dan pemberian rizobakteri (seperti *Bacillus*, *Pseudomonas*, dan *Azospirillum*) dalam penelitian ini dapat menghasilkan perkecambahan kopsia yang

lebih cepat dan tinggi. Dalam percobaan ini konsentrasi rizobakteri yang digunakan hanya konsentrasi anjuran. Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan menerapkan konsentrasi yang lebih bervariasi dalam rangka mendapatkan konsentrasi yang tepat untuk benih kopsia.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul-Baki AA, Anderson JD. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science* 13(6):630-633.
- Ahmed S, Samaddar S, Choudhury AR, Chatterjee P. 2019. *Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Sustainable Agriculture*. Singapore(SG):Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Ali A, Singh BP. 2015. Effect of seed maturity on germination and seedling growth of *Physalis peruviana* (L.). *Internasional Journal of Forestry and Crop Improvement* 6:100-104. DOI:10.15740/HAS/IJFCI/6.2/100-104.
- Andrade LAD, Santos CHB, Frezarin ET, Sales LR, Rigobelo EC. 2023. Plant growth-promoting rhizobacteria for sustainable agricultural production. *MDPI*. 11(4):1088. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041088>.
- Ariati PEP, Wirawan IGP, Sasadara MMV, Jawi IM, Sunyamurthi IGNA, Wijaya IN. 2024. Phytochemical profiling of balinese alkaloid-source plant purnajiwa (*Kopsia arborea* Blume, and *Euchresta horsfieldii* (Lesch.) Benn.). *Natural Product Research* 8(4):7082-7088. DOI: <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v8i5.5%20>.
- Ashraf M, Foolad MR. 2005. Pre-sowing seed treatment – a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy* 88:223-271. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)88006-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88006-X).
- Baskin CC, Baskin JM. 2000. *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. California (US): Academic Press.
- Chabbi N, Chafiki S, Telmoudi M, Labbassi S, Bouharroud R, Tahiri A, Mentag R, Amri ME, Bendiab K, Hsissou D, et al. 2024. Plant-growth-promoting rhizobacteria improve seeds and seedling growth of *Argania spinosa*. *Plants*. 13(15): 2025. <https://doi.org/10.3390/plants13152025>.
- Chen C, Ding X, Han L, Zhu W, Huang K, Hao X, Zhang Y. 2023. Two new monoterpenoid

- indole alkaloids from the kernels of *Kopsia arborea*. *Natural Product Research* 37(7):1047-1052. <https://doi.org/10.1080/14786419.2021.1984911>.
- Chen C, Liu J, Guo L, Xiong F, Ran X, Guo Y, Yao Y, Hao X, Luo R, Zhang Y. 2022. Monoterpenoid indole alkaloid dimers from *Kopsia arborea* inhibit cyclin-dependent kinase 5 and tau phosphorylation. *Phytochemistry*. 203:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2022.113392>.
- Colombari LF, Chamma L, Silva GFD, Zanetti WAL, Putti FF, Cardoso AII. 2022. Maturation and post-harvest resting of fruits affect the macronutrients and protein content in sweet pepper seeds. *MDPI*. 11(16):2084. <https://doi.org/10.3390/plants11162084>.
- de Carvalho DU, Boakye DA, Gast T, Junior RPL, Alferez F. 2021. Determining seed viability during fruit maturation to improve seed production and availability of new citrus rootstocks. *Frontiers in Plant Science*. 12:777078. doi: 10.3389/fpls.2021.777078.
- Espinosa CI, Esparza E, Guerrero AJ. 2024. Adaptive seedling strategies in seasonally dry tropical forest: a comparative study of six tree species. *Plants*. 13(20):1-13. <https://doi.org/10.3390/plants13202900>.
- Fata NAN, Supriyanto, Rustam E, Sudrajat DJ. 2020. Invigorasi benih jabon putih (*Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser) menggunakan Polyethylene glycol dan Ultra fine bubbles. *Jurnal Perbenihan Tanaman Hutan* 8(1):11-24. DOI: 10.20886/bptpth.2020.8.1.11-24.
- Fu Y, Ma L, Li J, Hou D, Zeng B, Zhang L, Liu C, Bi Q, Tan J, Yu X, *et al.* 2024. Factors influencing seed dormancy and germination and advances in seed priming technology. *Plants*. 13:1-19. <https://doi.org/10.3390/plants13101319>.
- Hussain S, Khaliq A, Alis S, Khan I. 2019. Physiological, biochemical, and molecular aspects of seed priming bt – priming and pretreatment of seeds and seedlings: implicatin in plant stress tolerance and enhancing productivity in crop plants. *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings* 43-62. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1_3.
- Hutapea VH, Suranto, Hidayati U. 2024. Isolasi dan karakteristik bakteri penghasil IAA (*Indole Acetic Acid*) dari rhizosfer tanaman karet (*Hevea brasiliensis* Mull.Arg.). *Jurnal Penelitian Karet*. 42(2):149-152.
- DOI: <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v42i2.879>. [ISTA] International Seed Testing Association. 2019. International Rules for Seed Testing. Switzerland (CH): Bassersdorf.
- Iswari I, Ermawati, Ramadiana S, Pramono E. 2024. Respons viabilitas benih kedelai (*Glycine max* L.) varietas Dega-I terhadap berbagai proporsi kapur tohor selama penyimpanan empat bulan. *Jurnal Agrotek Tropika*. 12(2):345-356. DOI: <http://dx.doi.org/10.23960/jat.v12i2.8946>.
- Kusmana C, Sukaesih YY. 2021. Pengaruh media dan intensitas naungan terhadap pertumbuhan bibit tancang (*Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Lamk.). *Jurnal Silvikultur Tropika* 12(3):123-128. DOI: <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.12.3.123-128>.
- Liu A, Wang H, Wang M. 2025. Na₂SeO₃ seed priming improves seed germination, seedling growth and rhizosphere microbial community structure of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) under salt stress. *Plant Stress*. 16:1-14. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.100795>.
- Liu F, Xing S, Ma H, Du Z, Ma B. 2013. Cytokinin-producing, plant growth-promoting rhizobacteria that confer resistance to drought stress in *Plantycladus orientalis* container seedlings. *Appl Microbiol Biotechnol*. 97:9155-9164. DOI 10.1007/s00253-013-5193-2.
- Machado CG, Silva GZD, Cruz SCS, Anjos RCLD, Silva CL, Matos LFLD, Smaniotto AO. 2023. Germination and vigor of soybean and corn seed treated with mixed mineral fertilizers. *Plants*. 12(2):1-16. <https://doi.org/10.3390/plants12020338>.
- Montgomery DC. 2020. *Design and Analysis of Experiments*. Edisi ke-10. Hoboken, New Jersey, United States: John Wiley & Sons, Inc.
- Mhaske T, Kumar S, Wani AW, Banerjee D, Saran R, Mishra S. 2024. Mechanism of fruit ripening and seed development: A review. *Research in Agronomy*. 7(7):123-136. DOI: <https://doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i7b.991>.
- Parab A, Mathad JC, Malshe KV. 2021. Influence of stages of fruit maturity on germination, growth and vigour of papaya (cv. Solo) seedlings. *Journal of Eco-Friendly Agriculture*. 16(1):58-60. DOI: <https://doi.org/10.5958/2582-2683.2021.00010.1>.
- Paramita KE, Suharsi TK, Surahman M. 2018. Optimasi pengujian daya berkecambah dan faktor yang mempengaruhi viabilitas dan vigor benih kelor (*Moringa oleifera* Lam.) dalam penyimpanan. *Buletin Agrohorti*. 6(2):221-230.
- Pérez-García LA, Sáenz-Mata J, Fortis-Hernández

- M, Navarro-Muñoz CE, Palacio-Rodríguez R, Preciado-Rangel P. 2023. Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria improve germination and bioactive compounds in cucumber seedlings. *Agronomy*. 13(4):1005. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020315>.
- Purwanto D, Bahri S, Ridhay A. 2017. Uji aktivitas antioksidan ekstrak buah purnajiwa (*Kopsia arborea* Blume.) dengan berbagai pelarut. *KOVALEN*. 3(1):24-32.
- Putri SIH, Suwignyo RA, Negara ZP, Sulaiman F, Irmawati I. 2023. *Improvement of Seed Viability and Vigor of Several Rice Varieties with Various Priming Methods*. *Biological Research Journal*. 9(1):52–62. DOI: 10.24233/biov. 9.2.2023.392.
- Rehman ZU, Haq RU, Ullah S, Iqbal A, Khan AM, Assogba CMA, Awais M. 2023. Enhancing growth and yield parameter of *Sinapis alba* through optimized seed priming techniques. *Agrosystems, Geosciences, & Environment*. 7(1):1-14. <https://doi.org/10.1002/agg2.20466>.
- Rohaeni N, Farida. 2019. Pengaruh tingkat kematangan buah terhadap viabilitas benih kopi (*Coffea robusta* L.). *Jurnal Pertanian Terpadu* 7(2):228-235. <https://doi.org/10.36084/jpt.v7i2.202>.
- Saefudin, Wardiana E. 2013. Pengaruh varietas dan tingkat kematangan buah terhadap perkecambahan dan fisik benih kopi Arabika. *Buletin RISTRI*. 4(3):245-256.
- Sembiring A, Sumanto NL. Isolasi bakteri penghasil asam indol asetat (AIA) pengaruhnya terhadap viabilitas benih cabai merah. *AGROTEK UMMAT*. 8(1):27-31.
- Silva RT, Lopes JC, Santos JO, Vieira RD. 2020. Seed physiological quality and harvest point of *Dovyalis* fruits. *Revista Ciência Agronômica*. 51(3). <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200052>
- Solikin S, Nurfadilah S. 2017. Effect of seed maturity and storage duration on germination of sambiloto (*Andrographis paniculata*). *Biosaintifika*. 9(2):282-288. DOI: <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v9i2.8782>.
- Sorokan A, Veselova S, Benkovskaya G, Maksimov I. 2021. Endophytic strain *Bacillus subtilis* 26D increases levels of phytohormones and repairs growth of potato plants after Colorado potato beetle damage. *PLANTS*. 10(5):923. doi: 10.3390/plants10050923.
- Sukendro A, Sugiarto E. 2012. Respon pertumbuhan anakan *Shorea leprosula* Miq. *Shorea mecistopteryx* Ridley, *Shorea ovalis* (Korth) Blume dan *Shorea selanica* (DC) Blum terhadap tingkat intensitas cahaya matahari. *Jurnal Silvikultur Tropika* 3(1):22-27.
- Suraida. 2012. Identifikasi tumbuhan penghijauan sebagai media belajar biologi. *Jurnal Edu-Bio*. 3:55-64.
- Sutariati GAK, Rakian TC, Muhidin, Khaeruni A, Yusuf DN, Wibawa GNA, Mudi L. 2021. Efektivitas bio-matrcontioning benih pratanam dengan campuran endo-rizobakteri dalam meningkatkan viabilitas dan vigor benih cabai (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Agrikultura*. 32(3):266-274.
- Sutariati GAK, Zul'aiza, Darsan S, Kasra LMA, Wangadi S, Mudi L. 2014. Invigorasi benih padi gogo lokal untuk meningkatkan vigor dan mengatasi permasalahan dormansi fisiologis pascapanen. *Jurnal Agroteknos*. 4(1):2087-7706.
- Xing M, Long Y, Wang Q, Tian X, Fan S, Zhang C, Huang W. 2023. Physiological alterations and nondestructive test methods of crop seed vigor: a comprehensive review. *Agriculture*. 13(3):527. DOI: 10.3390/agriculture13030527.
- Zhang BX, Li PS, Wang YY, Wang JJ, Liu XL, Wang XY, Hu XM. 2021. Characterization and synthesis of indole-3-acetic acid in plant growth promoting *Enterobacter* sp. *RSC Advances*. 11:31601-31607. DOI: 10.1039/d1ra05659j.