

Teknologi Biopriming untuk Meningkatkan Perkecambahan dan Kolonisasi Mikroba Bermanfaat pada Benih Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*)

Biopriming Technology to Enhance Germination Rate and Beneficial Microbial Colonization in Oil Palm (*Elaeis guineensis*) Seeds

Muhammad Luqman Hakim^{1*}, Putri Shania Noor^{2,3}, Arif Hidayat²

¹Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Jacob Rais, Tembalang, Semarang, 50275, Indonesia

²PT. Astra Agro Lestari, Jl Pulo Ayang Raya Blok OR-1, Jakarta Timur

³Industrial Biotechnology for A Bio-based Economy, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse

135 Av. de Rangueil, Toulouse, 31400, France

*Email: luqmanhakim@live.undip.ac.id

Diterima 1 Maret 2025 / Disetujui 30 Juni 2025

ABSTRAK

Biopriming merupakan teknik inovatif dalam meningkatkan daya kecambah dan kesehatan benih melalui kolonisasi mikroba menguntungkan. Penelitian ini mengevaluasi efek biopriming menggunakan konsorsium mikroba bermanfaat yang mengandung *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., dan *Rhizobium* sp. terhadap perkecambahan dan dinamika mikroba pada benih kelapa sawit (*Elaeis guineensis*). Studi dilakukan menggunakan rancangan acak kelompok dua faktor dengan tiga jenis perendaman (formula NB, formula *Effervescent*, dan air sebagai kontrol) dan tiga varietas benih (Nirmala, Lestari, Sejahtera). Parameter yang diamati adalah populasi mikroba sebelum dan setelah benih berkecambah serta daya kecambah benih kelapa sawit. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode analisis varians (ANOVA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa biopriming meningkatkan jumlah bakteri pemfiksasi nitrogen dan pelarut fosfat sebelum dan setelah perkecambahan, yang berdampak positif terhadap daya kecambah. Varietas Nirmala dan Lestari mengalami peningkatan daya kecambah yang signifikan, sedangkan varietas Sejahtera tidak menunjukkan perbedaan berarti. Penelitian ini menegaskan bahwa biopriming mikroba berpotensi diterapkan secara luas dalam produksi benih kelapa sawit, mendukung praktik pertanian berkelanjutan. Studi lanjutan diperlukan untuk mengoptimalkan formulasi mikroba dan mengevaluasi dampak jangka panjangnya pada produktivitas tanaman.

Kata kunci: benih kelapa sawit, biopriming, mikroba bermanfaat, perkecambahan,

ABSTRACT

Biopriming is an innovative technique to enhance seed germination and health by promoting beneficial microbial colonization. This study evaluates the effects of biopriming using a consortium of beneficial microbes containing Bacillus sp., Pseudomonas sp., and Rhizobium sp. on germination performance and microbial dynamics in oil palm (Elaeis guineensis) seeds. A randomized complete block design with a factorial approach was applied, involving three soaking treatments (NB formula, Effervescent formula and water as a control) and three seed varieties (Nirmala, Lestari, Sejahtera). The observed parameters were the microbial population before and after seed germination, as well as the germination rate of oil palm seeds. The data obtained were analyzed using the analysis of variance (ANOVA) method. The results indicate that biopriming significantly increased the abundance of nitrogen-fixing and phosphate-solubilizing bacteria before and after germination, positively impacting seed germination rates. Nirmala and Lestari varieties exhibited significant improvements in germination, whereas Sejahtera showed no substantial difference. This study confirms that microbial biopriming holds great potential for large-scale oil palm seed production, supporting sustainable agricultural practices. Further research is required to optimize microbial formulations and assess the long-term effects on plant productivity.

Keywords: oil palm seeds, biopriming, beneficial microbes, germination.

PENDAHULUAN

Pertumbuhan dan produktivitas tanaman sangat dipengaruhi oleh kualitas benih yang digunakan dalam proses budidaya. Benih yang berkualitas tinggi memiliki viabilitas dan vigor yang baik, sehingga dapat menghasilkan tanaman yang lebih sehat dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Salah satu teknik inovatif yang telah dikembangkan untuk meningkatkan kualitas benih adalah biopriming, yaitu perlakuan pra-tanam yang bertujuan untuk meningkatkan hidrasi benih dan mengaktifkan metabolisme awal guna mempercepat perkecambahan serta meningkatkan ketahanan terhadap cekaman biotik dan abiotik. Teknik ini telah diterapkan pada berbagai jenis tanaman dan terbukti mampu meningkatkan daya kecambah serta memperkuat pertumbuhan awal tanaman (Nawaz et al., 2020; Srivastava et al., 2023). Selain itu, biopriming juga mendukung praktik pertanian berkelanjutan karena dapat mengurangi ketergantungan pada perlakuan kimia yang berpotensi merusak lingkungan (Patel et al., 2023; Fiodor et al., 2023).

Salah satu pendekatan utama dalam teknologi biopriming adalah pemanfaatan mikroba bermanfaat, terutama dari genus *Bacillus* dan *Pseudomonas*, yang telah banyak diteliti karena kemampuannya dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dan melindungi tanaman dari cekaman biotik maupun abiotik (Pandey et al., 2024; Neto et al., 2023). Mikroba ini bekerja melalui berbagai mekanisme, seperti fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, produksi fitohormon, serta induksi ketahanan sistemik terhadap patogen tanaman (Singh et al., 2023; Verma et al., 2022). Dengan membentuk koloni di permukaan benih dan zona perakaran, mikroba ini dapat meningkatkan penyerapan nutrisi serta daya tahan tanaman terhadap penyakit yang disebabkan oleh patogen tanah, menjadikan biopriming sebagai strategi yang menjanjikan untuk meningkatkan kualitas benih dan hasil pertanian.

Meskipun berbagai metode perlakuan benih konvensional, seperti aplikasi fungisida dan *priming* kimia, telah digunakan dalam meningkatkan kualitas benih, pendekatan ini

memiliki berbagai keterbatasan. Penggunaan bahan kimia sering kali hanya berfungsi untuk melindungi benih dari serangan patogen tanpa memberikan manfaat fisiologis tambahan, seperti peningkatan vigor dan ketahanan terhadap cekaman lingkungan (Forni & Borromeo, 2023). Selain itu, penggunaan bahan kimia dalam jangka panjang dapat menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan serta mendorong resistensi patogen, yang mengurangi efektivitas perlakuan (Singh et al., 2023; Fiodor et al., 2023). Oleh karena itu, diperlukan alternatif perlakuan benih yang lebih berkelanjutan, salah satunya melalui biopriming berbasis mikroba.

Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa *Bacillus* spp. dan *Pseudomonas* spp. memiliki peran penting dalam meningkatkan keberhasilan biopriming pada berbagai tanaman (Srivastava et al., 2023; Patel et al., 2023). *Bacillus* diketahui mampu menghasilkan senyawa antimikroba yang dapat menekan pertumbuhan patogen tanah, sedangkan *Pseudomonas* berperan dalam meningkatkan ketersediaan nutrisi serta merangsang respons pertahanan tanaman melalui produksi fitohormon dan enzim pertahanan (Pérez-García et al., 2023; Reis et al., 2022). Selain itu, biopriming juga dapat meningkatkan aktivitas enzim antioksidan dalam benih, yang membantu mengurangi stres oksidatif dan meningkatkan daya tahan tanaman terhadap cekaman lingkungan (Vitorino et al., 2020; Soliman et al., 2020).

Aplikasi biopriming telah banyak dieksplorasi dalam berbagai tanaman pertanian, termasuk kelapa sawit (*Elaeis guineensis*). Karakteristik permukaan benih kelapa sawit yang keras dapat menghalangi penetrasi mikroba melalui mekanisme fisik, oleh karena itu perlakuan awal seperti biopriming, sangat penting untuk merangsang germinasi dengan mempercepat metabolisme internal dan memungkinkan mikroba berinteraksi lebih langsung dengan jaringan embrio (Singh et al., 2023). Berbeda dengan hortikultura lainnya seperti tomat atau cabai, mikroba seringkali lebih mudah mengkolonisasi benih yang memiliki dinding luar yang lebih tipis dan permeable, tanpa memerlukan perlakuan (Patel et al., 2023).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa biopriming dapat meningkatkan persentase

perkecambahan dan vigor benih kelapa sawit melalui aktivasi jalur metabolisme yang mendukung perkembangan awal tanaman (Akram et al., 2024; Das et al., 2023). Selain itu, manfaat fisiologis dari biopriming mencakup peningkatan penyerapan air, mobilisasi cadangan nutrisi yang lebih efisien, serta sintesis metabolit sekunder yang berfungsi sebagai perlindungan terhadap cekaman lingkungan (Ha-Tran et al., 2021; Kumar, 2022).

Namun, meskipun memiliki banyak manfaat, penerapan biopriming mikroba dalam skala luas masih menghadapi berbagai tantangan. Salah satu hambatan utama adalah variabilitas efektivitas mikroba, di mana kinerja suatu strain mikroba dapat berbeda tergantung pada jenis benih dan kondisi lingkungan tempat biopriming diterapkan (Singh et al., 2020; Kumar, 2025). Selain itu, keberhasilan kolonisasi mikroba tanpa adanya kontaminasi merupakan faktor kritis dalam menentukan efektivitas biopriming. Oleh karena itu, diperlukan optimasi metode aplikasi, seperti durasi perendaman dan konsentrasi mikroba yang tepat, untuk memastikan hasil yang konsisten dan dapat direproduksi dalam sistem pertanian komersial (El-Sayed et al., 2022).

Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas biopriming menggunakan suatu konsorsium mikroba yang terdiri dari *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., dan *Rhizobium* sp., terhadap daya kecambah dan kolonisasi mikroba pada benih kelapa sawit. Penelitian ini akan menganalisis dinamika populasi mikroba sebelum dan setelah perkecambahan serta mengevaluasi keberhasilan biopriming pada berbagai varietas benih kelapa sawit. Dengan mengeksplorasi interaksi antara mikroba dan benih, studi ini diharapkan dapat memberikan wawasan mendalam mengenai mekanisme biopriming mikroba dalam meningkatkan viabilitas benih kelapa sawit.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan strategi biopriming yang lebih efektif dalam mendukung pertanian berkelanjutan. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan dalam literatur ilmiah terkait biopriming mikroba pada kelapa sawit, yang hingga saat ini masih kurang mendapat perhatian dibandingkan dengan

tanaman hortikultura. Melalui pendekatan berbasis ilmiah, penelitian ini berupaya untuk membangun dasar yang kuat bagi implementasi biopriming mikroba sebagai teknik standar dalam produksi benih kelapa sawit di sektor pertanian komersial.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh biopriming mikroba terhadap daya kecambah dan kolonisasi mikroba pada benih kelapa sawit (*Elaeis guineensis*). Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak kelompok lengkap (*Randomized Complete Block Design*, RCBD) dengan tujuan untuk mengurangi variabilitas lingkungan yang dapat memengaruhi hasil. Rancangan ini dipilih karena kemampuannya dalam meningkatkan akurasi estimasi efek perlakuan terhadap pertumbuhan tanaman dan mendeteksi perbedaan perlakuan yang lebih kecil dengan menghilangkan variasi yang tidak perlu (Brahim et al., 2022; Singh et al., 2024). Selain itu, penelitian ini menggunakan desain faktorial untuk menganalisis interaksi antara jenis perlakuan mikroba dan varietas benih dalam menentukan efektivitas biopriming.

Rancangan Percobaan

Percobaan ini menggunakan tiga varietas benih kelapa sawit, yaitu Nirmala (N), Lestari (L), dan Sejahtera (S). Perlakuan biopriming dilakukan dengan menggunakan konsorsium bakteri menguntungkan, yaitu *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., dan *Rhizobium* sp.. Setiap varietas benih direndam dalam suspensi mikroba selama 72 jam sebelum dikeringkan dalam kondisi udara terkontrol untuk memastikan kolonisasi mikroba yang optimal pada permukaan benih. Dua faktor utama yang diuji dalam penelitian ini adalah jenis perendaman dan varietas benih. Jenis perendaman terdiri dari tiga perlakuan utama: Air (A) sebagai kontrol, formula *Effervescent* (E), dan formula NB (M). Dengan demikian, terdapat sembilan kombinasi perlakuan, yang masing-masing diulang tiga kali, dengan jumlah benih per ulangan sebanyak 35 butir (Tabel 1). Kandungan formula NB terdiri dari pepton 5 g/L, ekstrak daging 3 g/L,

dan NaCl 0,5 g/L. Sedangkan kandungan formula *Effervescent* terdiri dari pepton 10 g/L, ekstrak daging 5 g/L, NaCl 5 g/L, glukosa 1 g/L dan *Effervescent agents*.

Evaluasi Dinamika Populasi Mikroba

Efektivitas biopriming mikroba dievaluasi melalui analisis populasi mikroba pada benih sebelum dan setelah perkecambahan menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC). TPC merupakan teknik yang umum digunakan untuk menentukan jumlah mikroba yang berkolonisasi pada benih setelah perlakuan biopriming (El-Wakil & Essa, 2020).

Proses Analisis Mikroba

Benih sawit yang telah direndam dengan 3 jenis perendaman (air, formula *Effervescent* dan formula NB) diambil secara acak sebelum dan setelah perkecambahan. Pengenceran bertingkat (*serial dilution*) benih dilakukan dengan aquades steril untuk mendapatkan suspensi mikroba. Suspensi mikroba diinkubasi pada media pertumbuhan spesifik untuk menghitung jumlah koloni mikroba. Inkubasi suspensi mikroba dilakukan pada suhu berkisar antara 28-37°C selama 24-48 jam. Setelah inkubasi, koloni mikroba dihitung untuk mendapatkan jumlah populasi mikroba baik sebelum dan setelah perkecambahan. Metode ini memberikan informasi mengenai efektivitas biopriming dalam meningkatkan populasi mikroba menguntungkan pada permukaan benih, yang dapat berperan dalam meningkatkan

daya kecambah dan kesehatan tanaman (Patel et al., 2023; Jovičić-Petrović et al., 2021).

Pengukuran Daya Kecambah

Daya kecambah benih diamati setiap hari hingga stabilisasi perkecambahan tercapai. Parameter utama yang diukur adalah persentase benih berkecambah pada setiap kombinasi perlakuan. Pengamatan ini dilakukan berdasarkan metode standar, yaitu dengan membandingkan jumlah benih yang berkecambah normal terhadap total benih yang diuji. Pengukuran daya kecambah mempertimbangkan kecepatan dan keseragaman perkecambahan sebagai indikator utama keberhasilan biopriming. Kecepatan perkecambahan dihitung sebagai rata-rata waktu yang dibutuhkan benih untuk mulai berkecambah, sedangkan keseragaman dihitung berdasarkan distribusi perkecambahan dalam periode tertentu.

Analisis Statistik

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode analisis varians (ANOVA) untuk menentukan perbedaan yang signifikan antara perlakuan. Jika terdapat perbedaan yang signifikan, uji lanjut *Tukey post-hoc* dilakukan untuk mengetahui pasangan perlakuan yang menunjukkan perbedaan nyata. Analisis statistik dilakukan dengan perangkat lunak SPSS, dan hasilnya divisualisasikan dalam bentuk grafik dan tabel untuk memberikan interpretasi yang lebih jelas terhadap efek biopriming pada benih kelapa sawit (Bashyal et al., 2021; Bukhari et al., 2024; Vitorino et al., 2020).

Tabel 1. Rancangan Percobaan

Jenis perendaman (R)	Varietas Benih (V)		
	Nirmala (N)	Lestari (L)	Sejahtera (S)
Air (A)	NA	LA	SA
Formula <i>Effervescent</i> (E)	NE	LE	SE
Formula NB (M)	NM	LM	SM

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Biopriming Terhadap Total Bakteri pada Benih Sebelum dan Setelah Perkecambahan

Dinamika populasi mikroba sebelum dan setelah perkecambahan menunjukkan perbedaan yang signifikan berdasarkan jenis perendaman dan varietas benih (**Tabel 2**). Sebelum perkecambahan, faktor varietas benih berpengaruh terhadap kandungan total bakteri, dengan varietas Nirmala menunjukkan kandungan mikroba tertinggi (6.04 log 10 cfu/g). Namun, setelah perkecambahan, jenis perendaman menjadi faktor utama yang mempengaruhi jumlah bakteri, dengan perlakuan formula NB menghasilkan populasi mikroba

tertinggi (7.20 log 10 cfu/g), dibandingkan dengan formula *Effervescent* dan air.

Perbedaan ini menunjukkan bahwa biopriming tidak hanya meningkatkan kolonisasi awal mikroba tetapi juga memungkinkan mikroba bertahan lebih lama dan berperan dalam perkembangan benih setelah perkecambahan. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa kolonisasi bakteri selama perkecambahan berkontribusi terhadap ketersediaan nutrisi dan pertumbuhan benih yang lebih baik (Singh et al., 2023). Biopriming telah terbukti sebagai metode yang dapat meningkatkan metabolisme internal benih dan meningkatkan toleransi terhadap cekaman lingkungan, yang mendukung perkecambahan yang lebih konsisten (Brahim et al., 2022).

Tabel 2. Total Bakteri pada benih

Total Kolonisasi Bakteri	Sebelum berkecambah Log 10 (cfu/g)			Rata-rata	Setelah berkecambah Log 10 (cfu/g)			Rata-rata
	N	L	S		N	L	S	
A	6.10	4.87	5.42	5.46	6.70	6.60	5.65	6.32
E	6.42	5.82	6.03	6.09	5.86	4.74	5.66	5.42
M	5.61	4.00	6.43	5.34	7.42	7.11	7.07	7.20
Rata-rata	6.04	4.90	5.96		6.66	6.15	6.13	
			<i>p-value</i>				<i>p-value</i>	
Jenis Perendaman (R)			0,141				0,000	
Varietas Benih (V)			0,020				0,083	
R*V			0,187				0,084	

Pengaruh Biopriming Terhadap Total Bakteri Pemfiksasi Nitrogen (BPN) dan Total Bakteri Pelarut Fosfat (BPF)

Hasil analisis menunjukkan bahwa biopriming meningkatkan jumlah bakteri pemfiksasi nitrogen (BPN) dan bakteri pelarut fosfat (BPF) secara signifikan (**Tabel 3 dan 4**). Sebelum perkecambahan, perlakuan formula *Effervescent* menghasilkan jumlah BPN tertinggi (5.97 log 10 cfu/g), sementara setelah perkecambahan, jumlah BPN tertinggi terdapat pada perlakuan formula NB dengan 6.47 log 10 cfu/g. Hasil ini menunjukkan bahwa bakteri dalam formula NB lebih mampu bertahan setelah perkecambahan dibandingkan dengan formula *Effervescent*.

Bakteri pelarut fosfat juga mengalami peningkatan dengan pola serupa. Sebelum perkecambahan, perlakuan formula *Effervescent* memiliki kandungan BPF tertinggi (6.19 log 10 cfu/g), sementara setelah perkecambahan, perlakuan formula NB menunjukkan kolonisasi BPF tertinggi (5.97 log 10 cfu/g). Temuan ini menunjukkan bahwa jenis perendaman tidak hanya menentukan jumlah mikroba awal tetapi juga memengaruhi kelangsungan hidup mikroba setelah perkecambahan. Peran bakteri pemfiksasi nitrogen seperti *Rhizobium* dan bakteri pelarut fosfat seperti *Bacillus* spp. dan *Pseudomonas* spp. sangat penting dalam meningkatkan ketersediaan nitrogen dan fosfat yang diperlukan untuk pertumbuhan awal tanaman (Li et al., 2021; Roslan et al., 2020).

Tabel 3. Total Bakteri Pemfiksasi Nitrogen pada benih

Total Kolonisasi Bakteri	Sebelum berkecambah Log 10 (cfu/g)			Rata-rata	Setelah berkecambah Log 10 (cfu/g)			Rata-rata
	N	L	S		N	L	S	
A	4.79	4.56	5.58	4.97	6.39	5.23	5.74	5.79
E	6.20	5.84	5.88	5.97	5.45	5.34	4.67	5.15
M	4.78	3.70	5.38	4.62	6.76	6.48	6.18	6.47
Rata-rata	5.26	4.70	5.61		6.20	5.68	5.53	
			<i>p-value</i>				<i>p-value</i>	
Jenis Perendaman (R)			0,010				0,000	
Varietas Benih (V)			0,077				0,001	
R*V			0,401				0,034	

Tabel 4. Total Bakteri Pelarut Fosfat pada benih

Total Kolonisasi Bakteri	Sebelum berkecambah Log 10 (cfu/g)			Rata-rata	Setelah berkecambah Log 10 (cfu/g)			Rata-rata
	N	L	S		N	L	S	
A	6.04	5.54	6.01	5.86	6.09	6.52	5.66	6.09
E	6.20	6.12	6.26	6.19	5.84	4.79	5.40	5.34
M	5.50	4.22	6.16	5.30	5.42	6.32	6.18	5.97
Rata-rata	5.91	5.30	6.14		5.78	5.88	5.75	
			<i>p-value</i>				<i>p-value</i>	
Jenis Perendaman (R)			0,024				0,000	
Varietas Benih (V)			0,029				0,454	
R*V			0,144				0,000	

Pengaruh Biopriming Terhadap Daya Kecambah Benih

Daya kecambah benih secara signifikan dipengaruhi oleh jenis perendaman dan varietas benih. Grafik pada Gambar 1 menunjukkan bahwa perlakuan formula NB dan *Effervescent* meningkatkan daya kecambah secara signifikan dibandingkan kontrol air. Varietas Nirmala mengalami peningkatan daya kecambah paling besar, yaitu meningkat 13% hingga 53%, diikuti oleh varietas Lestari meningkat 18% hingga 38%. Namun, daya kecambah varietas Sejahtera tidak menunjukkan peningkatan signifikan setelah biopriming, yang menunjukkan bahwa faktor genetik varietas memiliki peran dalam menentukan efektivitas biopriming.

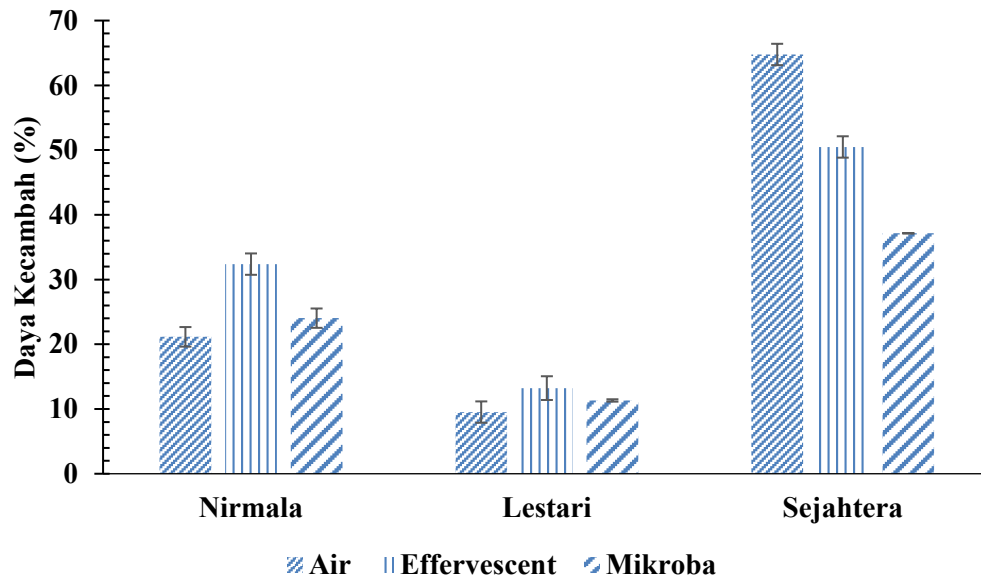
Peningkatan daya kecambah yang diamati ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa mikroba seperti *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp. dapat menghasilkan fitohormon seperti auksin dan giberelin yang meningkatkan perkecambahan benih dan perkembangan sistem

akar (Singh et al., 2019; Forti et al., 2020). Fitohormon ini berperan dalam meningkatkan elongasi sel dan stimulasi pembentukan akar, yang mendukung pertumbuhan awal benih yang lebih kuat (Rashi & Kaushik, 2024).

Berdasarkan hasil yang diperoleh, peningkatan daya kecambah setelah perlakuan biopriming disebabkan oleh beberapa mekanisme utama. Kehadiran bakteri pemfiksasi nitrogen dan bakteri pelarut fosfat meningkatkan ketersediaan nutrisi esensial bagi benih, mempercepat metabolisme benih, dan meningkatkan keseragaman perkecambahan (Osman et al., 2024). Hasil penelitian menunjukkan bahwa inokulasi dengan bakteri mampu meningkatkan daya kecambah dan produksi biomassa benih kelapa sawit (Nawaz et al., 2020; Pandey et al., 2024). Strain *Bacillus* menghasilkan auksin yang merangsang pemanjangan akar, sedangkan *Pseudomonas* meningkatkan ketersediaan fosfor yang penting bagi pembentukan sistem akar yang sehat (Singh et al., 2023; Mageshwaran et al., 2022). Mikroba dalam biopriming meningkatkan

ketahanan terhadap cekaman lingkungan dengan meningkatkan produksi enzim, mengurangi efek negatif stres oksidatif selama perkecambahan (Verma et al., 2022; Singh et al., 2020). Hal ini dapat bermanfaat pada pertumbuhan kelapa sawit dalam lingkungan yang kurang mendukung (Akram et al., 2024; Verma et al., 2022). Bakteri yang

menguntungkan juga bersaing dengan patogen di zona perakaran kelapa sawit, sehingga mengurangi risiko infeksi. Penelitian telah menunjukkan bahwa kolonisasi mikroba yang menguntungkan dapat meningkatkan viabilitas benih, yang dapat mendukung pertumbuhan yang sehat (Pandey et al., 2024; Ferreira et al., 2024).



Gambar 1. Grafik Daya Kecambah Benih setelah Perlakuan Biopriming

Implikasi dan Potensi Aplikasi Biopriming dalam Skala Besar

Hasil penelitian ini menegaskan bahwa biopriming mikroba bermanfaat merupakan teknologi yang efektif dalam meningkatkan daya kecambah dan kesehatan benih kelapa sawit, serta dapat diterapkan dalam skala komersial untuk meningkatkan produktivitas pertanian. Penerapan biopriming secara luas di perkebunan kelapa sawit dapat membantu mengurangi ketergantungan pada pupuk dan pestisida sintetis, sehingga mendukung praktik pertanian yang lebih berkelanjutan. Namun, beberapa tantangan perlu diperhatikan, termasuk variabilitas efektivitas mikroba di berbagai kondisi lingkungan serta optimasi metode aplikasi agar dapat diterapkan secara konsisten di skala industri.

Tantangan utama dalam aplikasi biopriming skala besar termasuk faktor lingkungan seperti kelembapan dan pH yang mempengaruhi keberhasilan kolonisasi mikroba. Selain itu, interaksi dengan pestisida dan herbisida yang

umum digunakan dalam pertanian dapat mempengaruhi keberlanjutan mikroba yang bermanfaat (Srivastava et al., 2023; Ha-Tran et al., 2021). Oleh karena itu, strategi seperti pemilihan konsorsium mikroba yang lebih adaptif dan penggunaan formulasi berbasis bahan alami seperti ekstrak alga atau saponin dapat meningkatkan efektivitas biopriming dalam skala besar (Bashyal et al., 2021; Patel et al., 2023; Dutta et al., 2023).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa biopriming secara signifikan meningkatkan populasi mikroba menguntungkan, termasuk bakteri pemfiksasi nitrogen (BPN) dan bakteri pelarut fosfat (BPF), yang berperan dalam meningkatkan daya kecambah benih kelapa sawit. Perlakuan formula NB menghasilkan kolonisasi mikroba tertinggi setelah perkecambahan, yang berdampak positif pada pertumbuhan awal benih. Selain itu, biopriming terbukti meningkatkan

ketersediaan nutrisi, produksi fitohormon, serta ketahanan terhadap cekaman lingkungan dan patogen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Astra Agro Lestari, Tbk. atas dukungan dan bantuan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Kami menghargai fasilitas, sumber daya, serta bimbingan yang telah diberikan oleh tim *Research & Development* (R&D) dalam setiap tahap eksperimen. Kolaborasi ini telah memberikan kontribusi yang signifikan dalam mendukung keberhasilan penelitian mengenai biopriming benih kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- Akram, W., Waqar, S., Hanif, S., Anjum, T., Aftab, Z., Li, G., ... & Umer, M. (2024). Comparative effect of seed coating and biopriming of bacillus aryabhattai z-48 on seedling growth, growth promotion, and suppression of fusarium wilt disease of tomato plants. *Microorganisms*, 12(4), 792. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12040792>
- Bashyal, B. M., Parmar, P., Zaidi, N. W., & Aggarwal, R. (2021). Molecular programming of drought-challenged trichoderma harzianum-bioprimed rice (oryza sativa l.). *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.655165>
- Bukhari, S. A., Farah, N., Mustafa, G., Ahmed, S., & Albeshr, M. F. (2024). Biopriming of momordica charantia seeds with enterobacter to improve nutritional and biochemical attributes. *Journal of Food Quality*, 2024, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2024/8012474>
- Brahim, A. H., Ali, M. B., Daoud, L., Jlidi, M., Akremi, I., Hmani, H., ... & Ali, M. B. (2022). Biopriming of durum wheat seeds with endophytic diazotrophic bacteria enhances tolerance to fusarium head blight and salinity. *Microorganisms*, 10(5), 970. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10050970>
- Das, S., Kundu, S., Meena, K., Jha, R., Varma, A., Bahuguna, R., ... & Tripathi, S. (2023). Seed biopriming with potential bioagents influences physiological processes and plant defense enzymes to ameliorate sheath blight induced yield loss in rice (oryza sativa l.). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(5). <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03576-6>
- Dutta, B., Datta, A., Dey, A., Ghosh, A., & Bandopadhyay, R. (2023). Establishment of seed biopriming in salt stress mitigation of rice plants by mangrove derived bacillus sp.. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 48, 102626. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102626>
- El-Sayed, A., Dief, H., Hashem, E., Desouky, A., Shah, Z., & Fawzan, S. (2022). Fungal biopriming increases the resistance of wheat to abiotic stress. *Journal of Plant Biotechnology*, 49(2), 107-117. <https://doi.org/10.5010/jpb.2022.49.2.107>
- El-Wakil, D. and Essa, A. (2020). Antagonistic potential of some bacterial strains against xanthomonas campestris, the cause of bacterial blight in hordeum vulgare. *Bioresources*, 15(2), 4205-4216. <https://doi.org/10.15376/biores.15.2.4205-4216>
- Ferreira, M. J., Veríssimo, A. C. S., Pinto, D. C. G. A., Sierra-García, I. N., Granada, C. E., Cremades, J., ... & Cunha, Â. (2024). Engineering the rhizosphere microbiome with plant growth promoting bacteria for modulation of the plant metabolome. *Plants*, 13(16), 2309. <https://doi.org/10.3390/plants13162309>
- Fiodor, A., Ajijah, N., Dziewit, Ł., & Pranaw, K. (2023). Biopriming of seed with plant growth-promoting bacteria for improved germination and seedling growth. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1142966>
- Forni, C. and Borromeo, I. (2023). The utilization of seed priming as a tool to overcome salt and drought stresses: is still a long way to go?. *Seeds*, 2(4), 406-420. <https://doi.org/10.3390/seeds2040031>
- Forti, C., Shankar, A., Singh, A., Balestrazzi, A., Prasad, V., & Macovei, A. (2020). Hydropriming and biopriming improve medicago truncatula seed germination and upregulate dna repair and antioxidant genes. *Genes*, 11(3), 242. <https://doi.org/10.3390/genes11030242>
- Ha-Tran, D. M., Nguyen, T. T. M., Hung, S. W., Huang, E., & Huang, C. (2021). Roles of plant growth-promoting rhizobacteria (pgpr) in stimulating salinity stress defense in

- plants: a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(6), 3154. <https://doi.org/10.3390/ijms22063154>
- Jovičić-Petrović, J., Karličić, V., Petrović, I., Ćirković, S., Ristić-Djurović, J., & Raičević, V. (2021). Biomagnetic priming—possible strategy to revitalize old mustard seeds. *Bioelectromagnetics*, 42(3), 238-249. <https://doi.org/10.1002/bem.22328>
- Kumar, A. (2022). Microbial biocontrol: sustainable agriculture and phytopathogen management.. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-87512-1>
- Kumar, R. (2025). Impact of mineral nutrition and biopriming on crop performance, energetics, and the carbon footprint in rainfed castor bean (*ricinus communis* l.). *Energy Nexus*, 17, 100370. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2025.100370>
- Li, H., Yue, H., Li, L., Yu, L., Zhang, H., Wang, J., ... & Jiang, X. (2021). Seed biostimulant *bacillus* sp. mgw9 improves the salt tolerance of maize during seed germination. *AMB Express*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13568-021-01237-1>
- Mageshwaran, V., Gupta, R., Singh, S., Sahu, P. K., Singh, U. B., Chakdar, H., ... & Singh, H. V. (2022). Endophytic *bacillus subtilis* antagonize soil-borne fungal pathogens and suppress wilt complex disease in chickpea plants (*cicer arietinum* l.). *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.994847>
- Nawaz, H., Hussain, N., Jamil, M., Yasmeen, A., Bukhari, S., Aurangzaib, M., ... & Usman, M. (2020). Seed biopriming mitigates terminal drought stress at reproductive stage of maize by enhancing gas exchange attributes and nutrient uptake. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44(3), 250-261. <https://doi.org/10.3906/tar-1904-51>
- Neto, H., Freiria, G., Silva, A., Ponce, R., & Takahashi, L. (2023). Snap bean production from seeds treated with *bacillus subtilis*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 53. <https://doi.org/10.1590/1983-40632023v5376324>
- Osman, N. Y., Ahmad-Hamdani, M. S., Oslan, S. N., Zulperi, D., Hashim, A. M., & Saidi, N. B. (2024). Bacteria as potential biocontrol agents for managing purple witchweed (*striga hermonthica*) in grain sorghum. *Weed Science*, 72(5), 646-653. <https://doi.org/10.1017/wsc.2024.42>
- Pandey, C., Christensen, A., Jensen, M., Rechnagel, E., Gram, K., & Roitsch, T. (2024). Stimulation of *arabidopsis thaliana* seed germination at suboptimal temperatures through biopriming with biofilm-forming *pgpr pseudomonas putida* kt2440. *Plants*, 13(19), 2681. <https://doi.org/10.3390/plants13192681>
- Patel, M., Islam, S., Husain, F., Yadav, V., Park, H., Yadav, K., ... & Patel, A. (2023). *Bacillus subtilis* er-08, a multifunctional plant growth-promoting rhizobacterium, promotes the growth of fenugreek (*trigonella foenum-graecum* l.) plants under salt and drought stress. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1208743>
- Pérez-García, L., Sáenz-Mata, J., Fortis-Hernández, M., Navarro-Muñoz, C. E., Palacio-Rodríguez, R., & Preciado-Rangel, P. (2023). Plant-growth-promoting rhizobacteria improve germination and bioactive compounds in cucumber seedlings. *Agronomy*, 13(2), 315. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020315>
- Rashi and Kaushik, N. (2024). Enhancing germination percentage and seed vigor in horticultural crops through biopriming techniques. *Bio Web of Conferences*, 110, 01012. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411001012>
- Reis, M. N. O., Vitorino, L. C., Lourenço, L. L., & Bessa, L. A. (2022). Microbial inoculation improves growth, nutritional and physiological aspects of *glycine max* (l.) merr.. *Microorganisms*, 10(7), 1386. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10071386>
- Roslan, M. A. M., Zulkifli, N. N., Sobri, Z. M., Zuan, A. T. K., Cheak, S. C., & Rahman, N. A. A. (2020). Seed biopriming with p- and k-solubilizing *enterobacter hormaechei* sp. improves the early vegetative growth and the p and k uptake of okra (*abelmoschus esculentus*) seedling. *Plos One*, 15(7), e0232860. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232860>
- Singh, A., Patani, A., Patel, M., Vyas, S., Verma, R. K., Amari, A., ... & Patel, A. (2024). Tomato seed bio-priming with *pseudomonas aeruginosa* strain par: a study on plant growth parameters under sodium fluoride stress. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1330071>

- Singh, P., Singh, J., Ray, S., Rajput, R., Vaishnav, A., Singh, R., ... & Singh, H. (2020). Seed biopriming with antagonistic microbes and ascorbic acid induce resistance in tomato against fusarium wilt. *Microbiological Research*, 237, 126482. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126482>
- Singh, S., Singh, U., Trivedi, M., Sahu, P., Paul, S., Paul, D., ... & Saxena, A. (2019). Seed biopriming with salt-tolerant endophytic *pseudomonas geniculata*-modulated biochemical responses provide ecological fitness in maize (*zea mays* l.) grown in saline sodic soil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), 253. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010253>
- Singh, P., Vaishnav, A., Liu, H., Xiong, C., Singh, H. B., & Singh, B. K. (2023). Seed biopriming for sustainable agriculture and ecosystem restoration. *Microbial Biotechnology*, 16(12), 2212-2222. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14322>
- Soliman, M. H., Abdulmajeed, A. M., Alhaithloul, H. A. S., Alharbi, B. M., El-Esawi, M. A., Hasanuzzaman, M., ... & Elkelish, A. (2020). Saponin biopriming positively stimulates antioxidants defense, osmolytes metabolism and ionic status to confer salt stress tolerance in soybean. *Acta Physiologiae Plantarum*, 42(7). <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03098-w>
- Srivastava, S., Tyagi, R., & Sharma, S. (2023). Seed biopriming as a promising approach for stress tolerance and enhancement of crop productivity: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(3), 1244-1257. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13048>
- Verma, P., Hiremani, N., Gawande, S., Sain, S., Nagrale, D., Narkhedkar, N., ... & Prasad, Y. (2022). Modulation of plant growth and antioxidative defense system through endophyte biopriming in cotton (*Gossypium* spp.) and non-host crops. *Heliyon*, 8(5), e09487. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09487>
- Vitorino, L. C., Silva, F. O. d., Cruvinel, B. G., Bessa, L. A., Rosa, M., Souchie, E. L., ... & Silva, F. G. (2020). Biocontrol potential of *sclerotinia sclerotiorum* and physiological changes in soybean in response to *butia archeri* palm rhizobacteria. *Plants*, 9(1), 64. <https://doi.org/10.3390/plants9010064>