
MATRICONDITIONING PLUS BERBASIS *TRICHODERMA HARZIANUM* DAN BERBAGAI JENIS MATRIKS UNTUK REVITALISASI BENIH KEDELAI (*Glycine max* L. Merr.) KEDALUWARSA

Oleh

Putri Santika¹, Fammi Sella Arinda Putri², Ilham Muhklisin³, Dewi Fatmawaty Sabiku⁴
^{1,2,3,4}Politeknik Negeri Jember

E-mail: 1putri_santika@polije.ac.id

Article History:

Received: 05-06-2026

Revised: 28-06-2026

Accepted: 08-07-2026

Keywords:

Biopriming, Expired Seeds,
Glycine Max, Seed Viability,
Seed Vigor

Abstract: Soybean (*Glycine max* L. Merr.) seeds are susceptible to deterioration during storage, resulting in reduced viability and vigor. Matriconditioning plus, which combines controlled hydration with beneficial microorganisms, offers a promising approach to improve seed quality. This study evaluated the effects of different matrix materials and *Trichoderma harzianum* on the physiological quality of expired soybean seeds. A completely randomized factorial design was used with two factors: matrix type (rice husk charcoal, sawdust, and vermiculite) and *T. harzianum* application (without and with *T. harzianum*). Seed quality was evaluated based on germination percentage, mean germination time (MGT), vigor index, germination rate, and germination uniformity. The combination of sawdust and *T. harzianum* produced the highest germination percentage (68.75%), vigor index (44.75%), germination rate (18.26% etmal^{-1}), and germination uniformity (40.75%). Sawdust was the most effective matrix material, while *T. harzianum* significantly improved germination percentage, vigor index, germination rate, and germination uniformity but did not affect MGT. These findings indicate that matriconditioning plus using sawdust and *T. harzianum* is an effective seed invigoration technique for improving the viability and vigor of expired soybean seeds.

PENDAHULUAN

Kedelai (*Glycine max* L. Merr.) merupakan salah satu komoditas pangan strategis yang produktivitasnya sangat dipengaruhi oleh mutu benih. Namun, benih kedelai tergolong benih yang cepat mengalami kemunduran selama penyimpanan karena kandungan minyak dan asam lemak tidak jenuh yang relatif tinggi. Proses deteriorasi menyebabkan penurunan viabilitas dan vigor benih akibat akumulasi *reactive oxygen species* (ROS), kerusakan membran sel, peroksidasi lipid, serta terganggunya aktivitas enzim dan metabolisme benih. Kondisi tersebut berdampak pada menurunnya persentase dan keserempakan

perkecambahan, yang selanjutnya memengaruhi pertumbuhan awal tanaman dan produktivitas di lapangan [1], [2].

Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan untuk memperbaiki mutu fisiologis benih yang mengalami kemunduran adalah *seed priming*, khususnya teknik *matricconditioning*. Teknik ini memanfaatkan media padat lembap untuk mengendalikan laju imbibisi sehingga proses perbaikan membran, aktivasi enzim, dan inisiasi metabolisme perkecambahan dapat berlangsung sebelum radikula muncul. Keberhasilan *matricconditioning* sangat dipengaruhi oleh karakteristik media matriks yang digunakan, seperti kapasitas menahan air, porositas, aerasi, dan kestabilan kelembapan. Vermikulit telah banyak digunakan sebagai media standar, namun bahan organik lokal seperti sekam padi dan serbuk gergaji juga berpotensi menjadi alternatif karena memiliki kemampuan menyerap dan mempertahankan air dengan karakteristik fisik yang berbeda, sehingga diduga menghasilkan respons invigorasi benih yang berbeda pula [3], [4].

Efektivitas *matricconditioning* juga dapat ditingkatkan melalui penambahan agen hayati dalam konsep *matricconditioning plus* atau *biopriming*. Salah satu mikroorganisme yang banyak dilaporkan mampu meningkatkan vigor benih adalah *Trichoderma harzianum*. Cendawan ini berperan sebagai *plant growth-promoting fungus* yang mampu menghasilkan zat pengatur tumbuh, meningkatkan penyerapan hara, mempercepat pertumbuhan akar, serta menginduksi ketahanan tanaman terhadap cekaman biotik dan abiotik. Selain itu, kolonisasi *Trichoderma* pada permukaan benih dapat memperbaiki performa perkecambahan dan pertumbuhan bibit, sehingga berpotensi mempercepat pemulihan benih yang telah mengalami deteriorasi [5]–[7].

Meskipun manfaat *matricconditioning* maupun *Trichoderma harzianum* telah banyak dilaporkan, penelitian yang menggabungkan kedua teknologi tersebut dengan berbagai jenis media matriks, khususnya sekam padi, serbuk gergaji, dan vermikulit pada benih kedelai kedaluwarsa, masih relatif terbatas. Perbedaan sifat fisik masing-masing matriks diduga memengaruhi proses hidrasi benih sekaligus keberhasilan kolonisasi *Trichoderma*, sehingga berpotensi menghasilkan respons yang berbeda terhadap mutu fisiologis dan pertumbuhan vegetatif tanaman. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas berbagai jenis matriks dan pemberian *Trichoderma harzianum* pada teknik *matricconditioning plus* terhadap mutu benih dan pertumbuhan vegetatif benih kedelai (*Glycine max* L. Merr.) kedaluwarsa.

LANDASAN TEORI

Deteriorasi pada Benih Kedelai

Deteriorasi benih merupakan proses penurunan mutu fisiologis yang berlangsung secara alami, progresif, dan tidak dapat dihindari selama penyimpanan. Proses ini menyebabkan penurunan viabilitas, vigor, kemampuan berkecambah, serta kemampuan benih menghasilkan bibit normal. Menurut [1], deteriorasi dimulai sejak benih mencapai masak fisiologis dan terus berlangsung meskipun benih disimpan pada kondisi optimum. Laju deteriorasi dipengaruhi oleh faktor genetik, kadar air benih, suhu penyimpanan, kelembapan relatif, kandungan kimia benih, serta keberadaan cekaman lingkungan selama penyimpanan. Pada benih ortodoks, proses deteriorasi merupakan penyebab utama hilangnya viabilitas dan vigor selama penyimpanan jangka panjang [8], [9].

Benih kedelai tergolong benih yang memiliki daya simpan relatif pendek (*short-lived seed*) dibandingkan sebagian besar serealia. Kondisi ini berkaitan dengan tingginya kandungan minyak ($\pm 18-22\%$) dan dominasi asam lemak tidak jenuh yang mudah mengalami oksidasi. Oksidasi lipid menghasilkan berbagai senyawa reaktif yang mempercepat kerusakan membran sel dan organel sehingga mempercepat penurunan mutu benih. Selain itu, peningkatan kadar air benih dan suhu penyimpanan akan mempercepat respirasi serta reaksi oksidatif yang akhirnya meningkatkan laju deteriorasi [8]–[10].

Secara fisiologis, deteriorasi diawali oleh akumulasi reactive oxygen species (ROS) yang melampaui kapasitas sistem antioksidan benih. Akumulasi ROS mengakibatkan peroksidasi lipid membran, karbonilasi protein, degradasi DNA dan RNA, serta gangguan fungsi mitokondria. Kerusakan membran menyebabkan meningkatnya kebocoran elektrolit selama imbibisi, sedangkan kerusakan mitokondria mengurangi produksi ATP yang diperlukan untuk memulai proses perkecambahan. Penurunan aktivitas enzim antioksidan seperti superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT), dan askorbat peroksidase (APX) semakin mempercepat proses kemunduran benih [9].

Kemunduran mutu benih kedelai ditunjukkan oleh menurunnya daya berkecambah, indeks vigor, kecepatan tumbuh, panjang akar, panjang hipokotil, serta meningkatnya abnormalitas kecambah. Oleh karena itu, berbagai teknologi invigorasi benih dikembangkan untuk memperbaiki kembali mutu fisiologis benih yang telah mengalami deteriorasi, salah satunya melalui teknik seed priming [11], [12].

Matriconditioning Plus

Seed priming merupakan perlakuan pra-tanam yang dilakukan melalui hidrasi benih secara terkendali sehingga metabolisme awal perkecambahan dapat berlangsung tanpa munculnya radikula. Salah satu metode seed priming yang banyak digunakan adalah matriconditioning, yaitu teknik hidrasi menggunakan media padat lembap yang memiliki potensial matriks rendah. Berbeda dengan hydropriming, teknik ini mengendalikan laju imbibisi sehingga kerusakan akibat penyerapan air yang terlalu cepat (*imbibitional injury*) dapat diminimalkan. Selama proses tersebut terjadi perbaikan membran sel, aktivasi enzim, sintesis protein, dan mobilisasi cadangan makanan sehingga benih memiliki vigor yang lebih tinggi setelah dikeringkan kembali [3], [4].

Keberhasilan matriconditioning sangat dipengaruhi oleh karakteristik media matriks. Media yang ideal harus mampu mempertahankan kelembapan secara stabil, memiliki porositas yang baik, menyediakan aerasi yang cukup, serta bersifat inert terhadap benih. Vermikulit merupakan salah satu media yang paling banyak digunakan karena memiliki kapasitas menahan air yang tinggi dan struktur berlapis yang mampu menjaga keseimbangan antara air dan udara. Selain vermiculit, bahan organik seperti sekam padi dan serbuk gergaji juga berpotensi digunakan sebagai media matriconditioning karena memiliki kemampuan menyerap air dan porositas yang baik, meskipun karakteristik fisiknya berbeda. Perbedaan kemampuan menyimpan air tersebut diperkirakan memengaruhi kecepatan imbibisi dan respons fisiologis benih selama proses invigorasi [3], [4].

Konsep matriconditioning plus merupakan pengembangan dari teknik matriconditioning dengan menambahkan senyawa kimia atau agen hayati selama proses hidrasi benih. Pendekatan ini bertujuan tidak hanya memperbaiki metabolisme benih, tetapi

juga memberikan perlindungan terhadap patogen serta meningkatkan pertumbuhan tanaman sejak fase perkecambahan. Kombinasi antara hidrasi terkendali dan agen biologis memungkinkan terjadinya efek sinergis yang menghasilkan peningkatan vigor benih lebih tinggi dibandingkan matriconditioning konvensional, terutama pada benih yang telah mengalami kemunduran [3].

Trichoderma harzianum

Trichoderma harzianum merupakan cendawan tanah yang banyak dimanfaatkan sebagai agen pengendali hayati sekaligus plant growth-promoting fungus (PGPF). Kemampuan tersebut diperoleh melalui berbagai mekanisme, antara lain kompetisi ruang dan nutrisi, mikoparasitisme, produksi enzim hidrolitik (kitinase, β -1,3-glukanase, dan selulase), serta produksi metabolit antimikroba yang mampu menghambat perkembangan berbagai patogen tular tanah [13], [14]. Selain berfungsi sebagai agen biokontrol, *T. harzianum* juga diketahui mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui interaksi yang menguntungkan dengan sistem perakaran.

Sebagai mikroorganisme pemacu pertumbuhan tanaman, *T. harzianum* mampu menghasilkan berbagai senyawa bioaktif, termasuk indole-3-acetic acid (IAA), siderofor, dan berbagai metabolit volatil yang berperan dalam merangsang pembentukan akar serta meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara. Kolonisasi akar oleh *Trichoderma* juga dapat mengaktifkan mekanisme induced systemic resistance (ISR), meningkatkan aktivitas enzim antioksidan tanaman, serta membantu tanaman menghadapi cekaman biotik maupun abiotik. Akibatnya, tanaman menunjukkan peningkatan tinggi tanaman, luas daun, biomassa, dan efisiensi penggunaan hara [15].

Dalam teknologi benih, aplikasi *T. harzianum* melalui teknik biopriming telah dilaporkan mampu meningkatkan persentase perkecambahan, indeks vigor, panjang akar, bobot bibit, serta keserempakan tumbuh pada berbagai komoditas. Mikroorganisme ini dapat berkolonisasi pada permukaan benih selama proses priming sehingga mempercepat aktivasi metabolisme benih sekaligus memberikan perlindungan terhadap infeksi patogen pada fase awal perkecambahan. Oleh karena itu, kombinasi *Trichoderma harzianum* dengan teknik matriconditioning plus diperkirakan mampu memberikan efek sinergis dalam memperbaiki mutu fisiologis benih kedelai yang telah mengalami deteriorasi sekaligus meningkatkan pertumbuhan vegetatif awal tanaman ([5], [6], [16]).

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan November–Desember 2022 di greenhouse dan lahan Politeknik Negeri Jember, Jawa Timur. Bahan penelitian berupa benih kedelai (*Glycine max* L. Merr.) varietas Biosoy 1 yang telah kedaluwarsa selama delapan bulan, *Trichoderma harzianum* (Trichotec WP, 10^9 CFU g^{-1}), serta tiga jenis media matriks, yaitu arang sekam, serbuk gergaji, dan vermikulit. Benih bernas dipilih melalui uji apung sebelum digunakan sebagai bahan penelitian.

Penelitian disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial yang terdiri atas dua faktor. Faktor pertama adalah jenis matriks, yaitu arang sekam, serbuk gergaji, dan vermikulit, sedangkan faktor kedua adalah pemberian *T. harzianum*, yaitu tanpa dan dengan aplikasi *T. harzianum*. Kombinasi kedua faktor menghasilkan enam perlakuan

yang masing-masing diulang empat kali sehingga diperoleh 24 satuan percobaan. Setiap satuan percobaan terdiri atas 100 benih untuk pengujian mutu benih dan 20 benih untuk pengamatan pertumbuhan vegetatif.

Perlakuan *matriconditioning plus* dilakukan dengan mencampurkan benih, media matriks, dan larutan *T. harzianum* (atau air untuk perlakuan kontrol) dengan perbandingan 9:6:7 (b/b/v). Campuran diinkubasi selama 12 jam, kemudian benih digunakan untuk pengujian perkecambahan metode *in sand* di greenhouse dan penanaman pada media tanah dalam polybag untuk pengamatan pertumbuhan vegetatif. Pemeliharaan tanaman dilakukan sesuai standar budidaya kedelai yang meliputi penyiraman, penyiangan, pemupukan, dan pengendalian hama serta penyakit.

Parameter mutu benih yang diamati meliputi daya berkecambah, kecepatan tumbuh, keserempakan tumbuh, indeks vigor, dan *mean germination time* (MGT). Sementara itu, parameter pertumbuhan vegetatif meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, dan umur berbunga. Pengamatan pertumbuhan dilakukan pada 14, 21, dan 28 hari setelah tanam (HST), sedangkan umur berbunga diamati hingga lebih dari 50% tanaman pada setiap perlakuan memasuki fase berbunga.

Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) sesuai dengan rancangan percobaan yang digunakan. Apabila perlakuan menunjukkan pengaruh nyata pada taraf 5%, pengujian dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf signifikansi 5% untuk membandingkan rerata antarperlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perlakuan *matriconditioning plus* menggunakan berbagai jenis matriks yang dikombinasikan dengan pemberian *Trichoderma harzianum* memberikan pengaruh nyata terhadap seluruh parameter mutu fisiologis benih, yaitu daya berkecambah, mean germination time (MGT), indeks vigor, kecepatan tumbuh, dan keserempakan tumbuh (Tabel 1). Kombinasi serbuk gergaji dengan *T. harzianum* menghasilkan daya berkecambah tertinggi (68,75%), indeks vigor tertinggi (44,75%), kecepatan tumbuh tercepat (18,26% etmal^{-1}), dan keserempakan tumbuh tertinggi (40,75%). Sebaliknya, kombinasi vermikulit tanpa *T. harzianum* menghasilkan daya berkecambah (59,25%), indeks vigor (30,25%), dan kecepatan tumbuh (14,12% etmal^{-1}) terendah, sedangkan nilai MGT tertinggi (4,25 hari) diperoleh pada perlakuan vermikulit dengan *T. harzianum*.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa efektivitas *matriconditioning plus* sangat dipengaruhi oleh sinergi antara karakteristik media matriks dan aktivitas biologis *T. harzianum*. Serbuk gergaji diduga mampu mempertahankan kelembapan secara lebih stabil selama proses hidrasi sehingga imbibisi berlangsung secara bertahap. Kondisi ini memungkinkan terjadinya perbaikan membran sel, aktivasi enzim respirasi, serta mobilisasi cadangan makanan sebelum radikula muncul. Menurut [3], hidrasi terkendali selama proses *seed priming* memungkinkan berlangsungnya proses perbaikan fisiologis tanpa memulai perkecambahan sehingga meningkatkan vigor benih setelah pengeringan kembali. [4] juga menjelaskan bahwa keberhasilan *matriconditioning* sangat dipengaruhi oleh sifat fisik media yang mampu mengatur ketersediaan air secara optimal.

Tabel 1. Pengaruh *matriconditioning plus* dengan *Trichoderma harzianum* terhadap

mutu fisiologis benih kedelai kedaluwarsa

Perlakuan	Daya berkecambah (%)	Mean Germination Time (hari)	Indeks Vigor	Kecepatan tumbuh (% etmal ⁻¹)	Keserempakan tumbuh (%)
Sekam Tanpa <i>T. harzianum</i>	60,5 a	3,92 a	32,75 ab	16,10 b	31,50 a
Sekam Dengan <i>T. harzianum</i>	63,75 b	3,88 a	33,75 b	17,84 c	35,50 b
Serbuk Gergaji Tanpa <i>T. harzianum</i>	64,75 b	3,99 a	32,25 ab	16,57 bc	34,75 b
Serbuk Gergaji Dengan <i>T. harzianum</i>	68,75 c	4,00 ab	44,75 d	18,26 c	40,75 c
Vermikulit Tanpa <i>T. harzianum</i>	59,25 a	4,21 b	30,25 a	14,12 a	33,25 ab
Vermikulit Dengan <i>T. harzianum</i>	63,75 b	4,25 b	40,75 c	15,50 b	35,00 b
Nilai BNT 5%	2,18	0,22	3,06	1,34	2,63

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama adalah tidak berbeda nyata berdasarkan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5%

Peningkatan mutu fisiologis pada perlakuan yang diberi *T. harzianum* juga menunjukkan bahwa mikroorganisme tersebut berperan sebagai plant growth-promoting fungus (PGPF). *Trichoderma* diketahui mampu menghasilkan fitohormon seperti indole-3-acetic acid (IAA), meningkatkan aktivitas enzim antioksidan, serta mempercepat perkembangan sistem perakaran sejak fase awal perkecambahan. Selain itu, kolonisasi *Trichoderma* pada permukaan benih dapat meningkatkan efisiensi metabolisme selama perkecambahan sekaligus melindungi benih dari infeksi patogen [5], [7], [16]. Kombinasi media yang sesuai dengan aktivitas biologis *Trichoderma* menghasilkan respons fisiologis yang lebih baik dibandingkan penggunaan matriks tanpa agen hayati.

Tabel 2. Pengaruh jenis matriks terhadap mutu fisiologis benih kedelai kedaluwarsa

Jenis matriks	Daya berkecambah (%)	Mean Germination Time (hari)	Indeks Vigor	Kecepatan tumbuh (% etmal ⁻¹)	Keserempakan tumbuh (%)
Sekam	62,38 a	3,90 a	33,25 a	16,97 b	33,50 a
Serbuk gergaji	66,63 b	4,00 a	38,50 c	17,54 b	37,75 b
Vermikulit	61,13 a	4,23 b	35,50 b	14,81 a	34,13 a
Nilai BNT 5%	1,54	0,16	2,17	0,95	1,86

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama adalah tidak berbeda nyata berdasarkan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5%

Jenis matriks berpengaruh nyata terhadap seluruh parameter mutu fisiologis benih (Tabel 2). Penggunaan serbuk gergaji menghasilkan daya berkecambah (66,63%), indeks vigor (38,50%), kecepatan tumbuh (17,54% etmal⁻¹), dan keserempakan tumbuh (37,75%) tertinggi dibandingkan sekam maupun vermikulit. Sebaliknya, vermikulit menghasilkan nilai MGT tertinggi (4,23 hari) dan kecepatan tumbuh terendah (14,81% etmal⁻¹), yang menunjukkan bahwa proses perkecambahan berlangsung lebih lambat.

Perbedaan respons antar media matriks diduga berkaitan dengan karakteristik fisik masing-masing bahan. Serbuk gergaji memiliki porositas yang baik serta mampu mempertahankan kelembapan dalam jumlah yang cukup tanpa menyebabkan benih mengalami imbibisi berlebihan. Sebaliknya, vermikulit memiliki kapasitas menyimpan air yang sangat tinggi sehingga diduga menyebabkan benih menyerap air lebih cepat. Pada benih yang telah mengalami deteriorasi, imbibisi yang terlalu cepat dapat memperparah kerusakan membran akibat rendahnya integritas membran sel. [1] menjelaskan bahwa benih yang mengalami deteriorasi lebih rentan mengalami imbibitional injury karena membran plasma kehilangan sifat semipermeabel akibat proses penuaan. Kondisi tersebut menyebabkan kebocoran elektrolit yang lebih tinggi dan memperlambat proses perkecambahan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan media matriks merupakan faktor penting dalam keberhasilan teknik matriconditioning. Media dengan kemampuan mengatur ketersediaan air secara seimbang mampu meningkatkan sinkronisasi perkecambahan, mempercepat aktivitas metabolisme, dan menghasilkan vigor benih yang lebih tinggi. Temuan ini sejalan dengan [3] yang menyatakan bahwa efektivitas seed priming sangat dipengaruhi oleh kontrol hidrasi selama fase aktivasi metabolisme awal.

Tabel 3. Pengaruh pemberian *Trichoderma harzianum* terhadap mutu fisiologis benih kedelai kedaluwarsa

Perlakuan	Daya berkecambah (%)	Mean Germination Time (hari)	Indeks Vigor	Kecepatan tumbuh (% etmal ⁻¹)	Keserempakan tumbuh (%)
Tanpa <i>T. harzianum</i>	61,40 a	4,00 a	31,75 a	15,60 a	33,17 a
Dengan <i>T. harzianum</i>	65,40 b	4,00 a	39,75 b	17,20 b	37,08 b
Nilai BNT 5%	3,55	0,13	1,77	0,78	1,51

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama adalah tidak berbeda nyata berdasarkan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5%

Pemberian *T. harzianum* meningkatkan seluruh parameter mutu fisiologis benih kecuali MGT yang tidak menunjukkan perbedaan nyata (Tabel 3). Perlakuan *T. harzianum* meningkatkan daya berkecambah dari 61,40% menjadi 65,40%, indeks vigor dari 31,75% menjadi 39,75%, kecepatan tumbuh dari 15,60 menjadi 17,20% etmal⁻¹, serta keserempakan tumbuh dari 33,17% menjadi 37,08%.

Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa *T. harzianum* berperan dalam mempercepat pemulihan benih yang telah mengalami deteriorasi. Selama proses biopriming,

cendawan ini mengkolonisasi permukaan benih dan menghasilkan berbagai metabolit yang mampu merangsang aktivitas metabolisme awal perkecambahan. Selain menghasilkan fitohormon, *Trichoderma* juga meningkatkan aktivitas enzim antioksidan sehingga mampu menekan akumulasi reactive oxygen species (ROS) yang merupakan penyebab utama deteriorasi benih [5]. Penurunan ROS memungkinkan membran sel mempertahankan integritasnya sehingga mobilisasi cadangan makanan berlangsung lebih efisien dan menghasilkan kecambah yang lebih vigor.

Tidak adanya pengaruh nyata terhadap MGT menunjukkan bahwa *T. harzianum* tidak mempercepat waktu munculnya radikula, tetapi lebih berperan dalam meningkatkan kualitas fisiologis kecambah setelah proses perkecambahan dimulai. [8] menyatakan bahwa peningkatan vigor benih tidak selalu diikuti oleh penurunan waktu perkecambahan, karena vigor lebih mencerminkan kemampuan benih menghasilkan bibit normal yang tumbuh cepat dan seragam. Oleh karena itu, peningkatan daya berkecambah, indeks vigor, dan keserempakan tumbuh pada penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi *T. harzianum* lebih efektif dalam meningkatkan kualitas pertumbuhan awal dibandingkan mempercepat inisiasi perkecambahan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi matricconditioning plus dengan media serbuk gergaji dan *T. harzianum* merupakan perlakuan paling efektif dalam memperbaiki mutu fisiologis benih kedelai kedaluwarsa. Efek sinergis antara hidrasi terkendali oleh media matriks dan aktivitas biologis *Trichoderma* mampu meningkatkan viabilitas, vigor, serta keserempakan perkecambahan sehingga berpotensi diterapkan sebagai teknologi invigorasi benih kedelai yang telah mengalami deteriorasi.

KESIMPULAN

Matricconditioning plus menggunakan berbagai jenis matriks dan *Trichoderma harzianum* efektif meningkatkan mutu fisiologis benih kedelai kedaluwarsa. Kombinasi serbuk gergaji dan *T. harzianum* memberikan hasil terbaik dengan meningkatkan daya berkecambah, indeks vigor, kecepatan tumbuh, dan keserempakan tumbuh dibandingkan perlakuan lainnya. Secara umum, serbuk gergaji merupakan media matriks yang paling efektif, sedangkan aplikasi *T. harzianum* mampu meningkatkan viabilitas dan vigor benih tanpa memengaruhi mean germination time. Temuan ini menunjukkan bahwa matricconditioning plus berbasis serbuk gergaji dan *T. harzianum* berpotensi menjadi teknologi invigorasi yang efektif untuk meningkatkan kualitas benih kedelai yang telah mengalami deteriorasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. D. Bewley, "Seed Germination and Dormancy.," *Plant Cell*, vol. 96, pp. 1055–1066, Jul. 1997, doi: 10.1105/tpc.9.7.1055.
- [2] L. A. Ebone, A. Caverzan, A. Tagliari, J. L. T. Chiomento, D. C. Silveira, and G. Chavarria, "Soybean Seed Vigor: Uniformity and Growth as Key Factors to Improve Yield," *Agronomy*, vol. 10, no. 4, p. 545, Apr. 2020, doi: 10.3390/agronomy10040545.
- [3] S. Paparella, S. S. Araújo, G. Rossi, M. Wijayasinghe, D. Carbonera, and A. Balestrazzi, "Seed priming: state of the art and new perspectives," *Plant Cell Rep.*, vol. 34, no. 8, pp. 1281–1293, Aug. 2015, doi: 10.1007/s00299-015-1784-y.

- [4] A. G. Taylor, P. S. Allen, M. A. Bennett, K. J. Bradford, J. S. Burris, and M. K. Misra, "Seed enhancements," *Seed Sci. Res.*, vol. 8, no. 2, pp. 245–256, Jun. 1998, doi: 10.1017/S0960258500004141.
- [5] G. E. Harman, F. Doni, R. B. Khadka, and N. Uphoff, "Endophytic strains of *Trichoderma* increase plants' photosynthetic capability," *J. Appl. Microbiol.*, vol. 130, no. 2, pp. 529–546, Feb. 2021, doi: 10.1111/jam.14368.
- [6] M. Shores, G. E. Harman, and F. Mastouri, "Induced Systemic Resistance and Plant Responses to Fungal Biocontrol Agents," *Annu. Rev. Phytopathol.*, vol. 48, no. 1, pp. 21–43, Jul. 2010, doi: 10.1146/annurev-phyto-073009-114450.
- [7] N. A. Zin and N. A. Badaluddin, "Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications," *Ann. Agric. Sci.*, vol. 65, no. 2, pp. 168–178, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.aogas.2020.09.003.
- [8] W. M. Waterworth, S. Footitt, C. M. Bray, W. E. Finch-Savage, and C. E. West, "DNA damage checkpoint kinase ATM regulates germination and maintains genome stability in seeds," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 113, no. 34, pp. 9647–9652, 2016, doi: 10.1073/pnas.1608829113.
- [9] L. A. Ebone, A. Caverzan, and G. Chavarria, "Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes," *Plant Physiol. Biochem.*, vol. 145, pp. 34–42, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.plaphy.2019.10.028.
- [10] C. Walters, D. Ballesteros, and V. A. Vertucci, "Structural mechanics of seed deterioration: Standing the test of time," *Plant Sci.*, vol. 179, no. 6, pp. 565–573, Dec. 2010, doi: 10.1016/j.plantsci.2010.06.016.
- [11] W. E. Finch-Savage and G. W. Bassel, "Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation," *J. Exp. Bot.*, vol. 67, no. 3, pp. 567–591, Feb. 2016, doi: 10.1093/jxb/erv490.
- [12] D. R. I. Permatasari, S. Ilyas, and A. Qadir, "Effectiveness of Vermicompost Priming in Improving the Physiological Quality of Soybean Seeds," *J. Trop. Crop Sci.*, vol. 12, no. 02, pp. 274–283, Jun. 2025, doi: 10.29244/jtcs.12.02.274-283.
- [13] K. Gutiérrez-Moreno, A. I. Olgún-Martínez, A. C. Montoya-Martínez, and S. de los Santos-Villalobos, "Trichoderma in Sustainable Agriculture and the Challenges Related to Its Effectiveness," *Diversity*, vol. 17, no. 10, p. 734, Oct. 2025, doi: 10.3390/d17100734.
- [14] X. Yao, H. Guo, K. Zhang, M. Zhao, J. Ruan, and J. Chen, "Trichoderma and its role in biological control of plant fungal and nematode disease," *Front. Microbiol.*, vol. 14, p. 1160551, May 2023, doi: 10.3389/fmicb.2023.1160551.
- [15] J. M. Chin, Y. Y. Lim, and A. S. Y. Ting, "Biopriming chilli seeds with *Trichoderma asperellum*: A study on biopolymer compatibility with seed and biocontrol agent for disease suppression," *Biol. Control*, vol. 165, p. 104819, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.biocontrol.2021.104819.
- [16] A. Sahur, R. Dermawan, and S. Hendrik, "The application of biopriming using trichoderma and *Streptomyces* spp. on the germination stage of soybean," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 575, no. 1, p. 012122, Oct. 2020, doi: 10.1088/1755-1315/575/1/012122.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN