



EFEKTIVITAS *SEED COATING* PADA BENIH CABAI RAWIT (*Capsicum frutescens* L.) VARIETAS BARA KEDALUWARSA

Aulia Azzahrah Akhyak Putri¹, Ida Retno Moeljani^{1*}, Nova Triani¹

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur
Jl. Raya Rungkut Madya No. 1, Gunung Anyar, Surabaya, Indonesia

*Corresponding Author: ida_retno@upnjatim.ac.id

ABSTRACT

[EFFECTIVENESS OF SEED COATING ON EXPIRED ‘BARA’ BIRD’S EYE CHILI (*Capsicum frutescens* L.) SEEDS]. The decline in physiological quality of bird’s eye chili (*Capsicum frutescens* L.) seeds due to prolonged storage poses a significant challenge in horticultural crop production, particularly in ensuring the availability of high-quality seeds. This study aimed to evaluate the effectiveness of seed coating using carboxymethyl cellulose (CMC) and humic acid in combination with Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in enhancing the viability and vigor of aged ‘Bara’ chili seeds. The experiment was conducted from March to June 2025 at the laboratory, field, and greenhouse facilities of the UPT for Rice and Palawija Seed Development, Singosari, Malang, East Java. A factorial completely randomized design (CRD) was employed with two factors: type of coating material (CMC, humic acid, and CMC + humic acid) and PGPR dosage (10 g and 20 g). The observed variables included maximum growth potential, germination rate, vigor index, and seedling growth rate. The results indicated that treatment with 1% humic acid + 20 g PGPR yielded the highest maximum growth potential and germination rate (100%), while the combination of 1% humic acid + 10 g PGPR produced the highest vigor index (33.33%) and growth rate (5.89%/day). The application of organic coating materials combined with PGPR was proven effective in restoring the physiological quality of aged chili seeds. These findings can be implemented as a seed invigoration strategy to extend the shelf life of horticultural seeds and improve seedling establishment under field conditions, thereby supporting sustainable crop production systems.

Keyword: *chili seed viability, humic acid, PGPR, seed coating, seed invigoration*

ABSTRAK

Penurunan mutu fisiologis benih cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) akibat masa simpan yang kedaluwarsa menjadi tantangan serius dalam pengembangan hortikultura, terutama dalam menjamin ketersediaan benih bermutu. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas kombinasi bahan pelapis benih berupa carboxymethyl cellulose (CMC) dan asam humat dengan Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) dalam meningkatkan viabilitas dan vigor benih cabai rawit varietas Bara yang telah mengalami penyimpanan jangka panjang. Penelitian dilaksanakan pada Maret hingga Juni 2025 di laboratorium, lahan, dan greenhouse UPT Pengembangan Benih Padi dan Palawija, Singosari, Malang, Jawa Timur. Rancangan percobaan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor, yaitu jenis bahan pelapis (CMC, asam humat, dan kombinasi CMC + asam humat) dan dosis PGPR (10 g dan 20 g). Peubah yang diamati meliputi potensi tumbuh maksimum, daya berkecambah, indeks vigor, dan kecepatan tumbuh benih. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan asam humat 1% + PGPR 20 g memberikan potensi tumbuh maksimum dan daya berkecambah tertinggi sebesar 100%, sementara perlakuan asam humat 1% + PGPR 10 g menghasilkan indeks vigor tertinggi sebesar 33,33% dan kecepatan tumbuh 5,89%/etmal. Kombinasi bahan pelapis organik dan PGPR terbukti efektif dalam memulihkan mutu fisiologis benih cabai rawit yang telah disimpan lama. Hasil penelitian ini dapat diimplementasikan sebagai teknologi invigorasi benih untuk memperpanjang masa simpan benih hortikultura dan meningkatkan keberhasilan persemaian di lapangan secara berkelanjutan.

Kata kunci: *asam humat, invigorasi benih, pelapisan benih, PGPR, viabilitas benih cabai*

PENDAHULUAN

Kualitas benih memegang peran penting sebagai penentu keberhasilan pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Benih yang bermutu mampu menghasilkan kecambah yang normal dan seragam, vigor yang optimal, serta daya adaptasi yang baik terhadap kondisi lingkungan. Seiring meningkatnya kebutuhan akan benih unggul, perhatian terhadap mutu fisiologis benih semakin menjadi fokus utama dalam penelitian dan praktik pertanian modern. Salah satu tantangan yang dihadapi ialah penurunan mutu benih akibat penyimpanan yang melebihi masa edar yang dapat menyebabkan penurunan nilai viabilitas dan vigor secara signifikan (Javed *et al.*, 2022). Praktik penyimpanan dan distribusi, benih sering melewati masa edar yang ditetapkan yang dapat menyebabkan penurunan viabilitas dan vigor. Penurunan ini dapat disebabkan oleh proses deteriorasi yaitu kemunduran kualitas benih akibat faktor genetik dan lingkungan selama tahap penyimpanan (Wahyuni & Kartika, 2022). Selain itu juga memberikan dampak terhadap berkurangnya cadangan makanan dan terganggunya tahap perkecambahan (Pangastuti *et al.*, 2019).

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan dalam mengatasi kemunduran mutu benih adalah teknik pelapisan benih (*seed coating*) yang menjadi metode invigorasi dalam meningkatkan mutu fisiologis, memperpanjang masa simpan, melindungi benih dari serangan hama penyakit (Aryanti *et al.*, 2021), mempercepat pertumbuhan awal dan memberikan perlindungan terhadap cekaman lingkungan (Afzal *et al.*, 2020). Bahan pelapis CMC dan asam humat memiliki potensi dalam meningkatkan mutu benih. CMC memiliki sifat stabil, higroskopis serta mampu menghomogenkan suspensi *coating* (Palupi *et al.*, 2012) serta dapat meningkatkan kadar air dan mempercepat laju respirasi benih (Riesdewanti, 2024). Asam humat berperan dalam mempercepat proses imbibisi dan meningkatkan permeabilitas sel pada benih, serta menyediakan karbon organik yang dapat mendukung aktivitas mikroba tanah (Li *et al.*, 2019).

Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) seperti *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas capacia* dan *Necercia sp.* berperan sebagai agen biostimulasi yang mampu menghasilkan hormon pertumbuhan seperti auksin, giberelin serta enzim seperti α -amilase yang dapat mempercepat perombakan cadangan makanan (Simanjuntak *et al.*, 2019). PGPR memiliki fungsi sebagai biofertilizer dan bioprotektan, serta mampu meningkatkan viabilitas dan vigor benih cabai merah yang telah lewat masa edar lima bulan penyimpanan (Tefa *et al.*, 2016).

Efektivitas setiap komponen seperti CMC dan asam humat secara terpisah terbukti dapat meningkatkan mutu benih cabai merah (Maulana *et al.*, 2022). Namun, kajian mengenai sinergi antara bahan pelapis

organik dan PGPR dalam satu formulasi masih terbatas, terutama pada benih cabai rawit yang telah melewati masa edar. Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas kombinasi bahan pelapis dengan dosis PGPR terhadap potensi benih cabai rawit dalam mempertahankan dan meningkatkan viabilitas dan vigor benih.

Kebaruan ilmiah dari penelitian ini terletak pada pendekatan revitalisasi benih secara terpadu melalui sinergi bahan *coating* dan PGPR, diharapkan dapat menjadi solusi praktis dalam pemanfaatan benih yang telah lewat masa edar secara efisien.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium, lahan dan *Green House* Unit Pelaksana Teknis Pengembangan Benih Padi dan Palawija Desa Randuagung, Kecamatan Singosari, Kabupaten Malang, Jawa Timur pada ketinggian 491 mdpl. Alat yang digunakan ialah bak perkecambahan, cangkul, sekop, timbangan analitik, *magnetic stirrer*, mesin *rotary coater*, cawan petri, saringan, *beaker glass*, pengaduk, *hand sprayer*, *moisture meter Draminski GMM*. Bahan yang digunakan adalah benih cabai rawit varietas Bara yang lewat masa edar lima bulan (Daya Berkecambah: 65,25% dan Kadar Air: 7,0%), *Carboxyl-methyl Cellulase* (CMC) 1 g, Bactegrowth PGPR 10 g dan 20 g, asam humat 1 mL, pasir steril, fungisida Antracol, air, aquades, plastik klip, kertas CD atau kertas filter dan kertas label.

Penelitian dirancang menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dua faktor. Faktor pertama terdiri atas tiga jenis bahan *coating* yaitu CMC 1 %, asam humat 1 % dan CMC 1% + asam humat 1 % dan 2 taraf dosis Bactegrowth PGPR yaitu 10 g dan 20 g. Pembanding pada penelitian ini adalah bahan *coating* secara tunggal. Hasil rancangan menghasilkan 6 kombinasi perlakuan dengan 3 ulangan (total 18 unit percobaan).

Penelitian diawali dengan seleksi benih cabai rawit varietas Bara kedaluwarsa lima bulan, dilanjutkan proses *coating* dengan mencampurkan larutan *coating* yang telah dibuat sesuai dengan perlakuan, kemudian PGPR sesuai dosis ke dalam mesin *rotary coater* yang telah ada benihnya. Mesin berputar untuk meng-*coating* benih cabai rawit dengan kecepatan 35 rpm selama 20 menit. Setelah pelapisan, benih dikeringkan kurang lebih 3 hari di suhu ruang. Benih yang telah kering kemudian dilakukan uji mutu menggunakan media steril dengan pasir yang disterilkan menggunakan fungisida antracol.

Variabel yang diamati meliputi potensi tumbuh maksimum, daya berkecambah, indeks vigor dan kecepatan tumbuh benih.

Potensi Tumbuh Maksimum (PTM) (%)

Jumlah benih yang tumbuh dihitung berdasarkan keseluruhan kondisi kecambah baik yang normal maupun abnormal (Tefa, 2017):

$$PTM = \frac{\text{Jumlah Benih Tumbuh}}{\text{Jumlah Benih yang Ditanam}} \times 100 \%$$

Daya Berkecambah (DB) (%)

Perhitungan daya berkecambah benih cabai rawit dilakukan pada hari ke-14 sebagai penghitungan akhir (Sakinah *et al.*, 2023):

$$DB = \frac{\text{Jumlah Kecambah Normal}}{\text{Total Benih yang dikecambahkan}} \times 100 \%$$

Indeks Vigor (IV) (%)

Pengamatan mencerminkan jumlah kecambah normal yang teridentifikasi pada penghitungan awal (hari ke-7) (Tefa, 2017):

$$IV = \frac{\text{Jumlah KN hari ke - 7}}{\text{Jumlah Benih yang Ditanam}} \times 100 \%$$

Keterangan: KN: Kecambah Normal

Kecepatan Tumbuh (KcT) (%/etmal)

Perhitungan dilakukan selama 7 hari, dimulai dari hari pertama munculnya kecambah hingga hari ke-14 (Sakinah *et al.*, 2023) :

$$KcT = \frac{\% KN1}{\text{etmal } 1} + \frac{\% KN2}{\text{etmal } 2} + \dots + \frac{\% KN7}{\text{etmal } 7}$$

Keterangan: KN: Kecambah Normal; 1 etmal: 24 jam

Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan ANOVA (analisis ragam) pada tingkat signifikansi 5 %, jika ditemukan nilai yang berpengaruh nyata, maka dilanjutkan dengan uji beda rata-rata BNT (Beda Nyata Terkecil) 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kombinasi perlakuan bahan pelapis benih dan dosis *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) Bactegrowth menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap seluruh variabel fisiologis benih cabai rawit varietas Bara yang diamati. Perlakuan terbaik diperoleh pada kombinasi bahan coating asam humat 1% dengan

Bactegrowth 20 g, yang menghasilkan potensi tumbuh maksimum dan daya berkecambah tertinggi, masing-masing sebesar 100,00%. Nilai ini berbeda nyata dibandingkan dengan perlakuan lainnya, sebagaimana disajikan dalam Tabel 1. Hasil ini mengindikasikan adanya sinergi yang efektif antara bahan pelapis organik dan PGPR dalam memulihkan viabilitas benih yang telah disimpan dalam jangka waktu lama. Fenomena ini sesuai dengan temuan sebelumnya yang menunjukkan bahwa PGPR dapat meningkatkan viabilitas benih dan merangsang pertumbuhan awal tanaman melalui produksi hormon dan senyawa bioaktif (Kloepper *et al.*, 2004; Adesemoye *et al.*, 2009).

Asam humat sebagai bahan pelapis berperan penting dalam menyediakan unsur hara esensial di sekitar benih yang mampu merangsang pertumbuhan awal akar. Selain itu, asam humat juga diketahui mampu menekan aktivitas respirasi benih, sehingga mempercepat proses perombakan cadangan makanan menjadi energi yang diperlukan selama fase perkecambahan (Victolika *et al.*, 2014; Canellas & Olivares, 2014). Keberhasilan perlakuan juga dapat dipengaruhi oleh karakteristik fisik bahan pelapis, khususnya kecepatan disolusi. Bahan pelapis yang lebih tebal atau lambat larut dapat memperlambat penetrasi air dan keterlambatan munculnya kecambah (Basra *et al.*, 2004).

Benih dengan viabilitas tinggi umumnya memiliki cadangan makanan yang mencukupi dalam endosperm, sehingga mampu mendukung proses perkecambahan secara optimal (Bewley *et al.*, 2013). Perlakuan dengan bahan *Coating Carboxymethyl Cellulose* (CMC) juga menunjukkan hasil yang cukup baik terhadap variabel potensi tumbuh dan daya berkecambah. Namun, pada perlakuan ini teramati adanya keterlambatan munculnya kecambah. Hal ini disebabkan oleh sifat CMC yang lengket, yang menyebabkan air membutuhkan waktu lebih lama untuk memutus ikatan antar molekul CMC, sehingga menghambat proses imbibisi air oleh benih (Farooq *et al.*, 2009).

Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa kombinasi asam humat 1% dan PGPR Bactegrowth 20 g mampu menginisiasi dan mempercepat proses perkecambahan benih cabai rawit yang telah mengalami penurunan mutu akibat penyimpanan jangka panjang. Peningkatan nilai potensi tumbuh maksimum yang tidak selalu diikuti oleh peningkatan daya berkecambah juga dapat menjadi indikasi adanya kecambah abnormal, benih keras, atau benih mati. Oleh karena itu, daya berkecambah yang tinggi dapat dijadikan indikator keberhasilan perlakuan dalam menghasilkan kecambah normal yang tumbuh secara sempurna (Copeland & McDonald, 2001).

Tabel 1. Rata-rata potensi tumbuh maksimum dan daya berkecambah pada kombinasi perlakuan bahan *coating* dan dosis bactegrowth PGPR

Perlakuan	Potensi tumbuh maksimum (%)	Daya berkecambah (%)
CMC 1% + PGPR 10 g	83,33a	83,33a
CMC 1% + PGPR 20 g	86,67ab	86,67a
Asam humat 1% + PGPR 10 g	88,33b	88,33a
Asam humat 1% + PGPR 20 g	100,00c	100,00b
CMC 1% + asam humat 1% + PGPR 10 g	88,33b	85,00a
CMC 1% + asam humat 1% + PGPR 20 g	86,67ab	86,67a

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji BNT 5%; CMC= *Carboxymethyl Cellulose*

Kecambah normal ditandai dengan struktur embrio yang utuh serta kemampuan tumbuh dan berkembang secara sempurna. Sebaliknya, kecambah abnormal menunjukkan ketidaksempurnaan struktur atau gangguan fisiologis selama proses perkecambahan. Adapun benih keras tidak menunjukkan tanda-tanda perkecambahan hingga akhir masa pengamatan, yang mengindikasikan rendahnya kemampuan kulit benih untuk menyerap air, sehingga proses imbibisi terhambat (Copeland & McDonald, 2001).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan bahan pelapis benih dan dosis PGPR Bactegrowth memberikan pengaruh nyata terhadap indeks vigor dan kecepatan tumbuh benih cabai rawit varietas Bara. Perlakuan terbaik diperoleh pada kombinasi asam humat 1% dengan Bactegrowth PGPR 10 g, yang menghasilkan indeks vigor tertinggi sebesar 33,33% dan kecepatan tumbuh sebesar 5,89% per etmal (Tabel 2). Menariknya, penggunaan dosis PGPR yang lebih rendah justru terbukti efektif dalam merangsang pertumbuhan awal benih secara cepat dan serempak. Temuan ini menunjukkan adanya hubungan sinergis antara ketersediaan senyawa bioaktif dari PGPR dan peningkatan aktivitas fisiologis benih.

Peningkatan indeks vigor dan kecepatan tumbuh mengindikasikan bahwa stimulasi fisiologis benih tidak hanya ditentukan oleh tingkat viabilitas awal, tetapi juga oleh efisiensi metabolisme serta integritas membran sel selama proses imbibisi dan inisiasi pertumbuhan (Bewley *et al.*, 2013). Indeks vigor yang tinggi mencerminkan kemampuan benih untuk berkecambah secara cepat dan serempak, serta menghasilkan kecambah normal yang sehat dan kuat. Kecepatan tumbuh, sebagai indikator fisiologis, menggambarkan waktu yang dibutuhkan benih untuk

memulai dan menyelesaikan proses perkecambahan dalam satuan waktu tertentu. Nilai yang tinggi pada parameter ini menunjukkan bahwa benih masih memiliki efisiensi metabolisme awal yang baik, meskipun telah disimpan selama lima bulan.

PGPR berperan sebagai agen biostimulasi yang menghasilkan fitohormon seperti auksin (IAA) dan giberelin, yang berfungsi dalam merangsang pembelahan dan pemanjangan sel embrio (Nurhadi & Noor, 2022). Selain itu, PGPR juga mampu meningkatkan aktivitas enzim, seperti α -amilase, yang berperan penting dalam proses perombakan cadangan makanan menjadi energi (Tefa *et al.*, 2016; Mahmood *et al.*, 2016). Aktivitas hormon dan enzim ini merupakan bagian dari proses invigorasi fisiologis yang mempercepat fase metabolisme awal benih. Penelitian serupa juga dilaporkan oleh Ali & Moon (2025), yang menemukan bahwa aplikasi PGPR mampu meningkatkan produksi α -amilase dan mempercepat perkecambahan benih melalui aktivasi jalur metabolik awal.

Selain PGPR, asam humat juga berkontribusi penting dalam mendukung proses perkecambahan. Sebagai bahan organik aktif, asam humat dapat meningkatkan daya serap air oleh benih melalui peningkatan permeabilitas membran sel dan merangsang aktivitas enzim, seperti dehidrogenase dan fosfatase (Canellas & Olivares, 2014). Kombinasi antara asam humat dan PGPR menghasilkan lingkungan mikro yang mendukung aktivasi metabolisme, imbibisi air, dan pertumbuhan akar kecambah. Hasil ini sejalan dengan temuan Sera & Frantisek (2022), yang melaporkan bahwa aplikasi asam humat secara signifikan dapat meningkatkan laju perkecambahan benih melalui peningkatan aktivitas fisiologis dan enzimatis.

Tabel 2. Rata-rata indeks vigor dan kecepatan tumbuh benih pada kombinasi perlakuan bahan *coating* dan dosis *bactegrowth* PGPR

Perlakuan	Indeks Vigor (%)	Kecepatan Tumbuh (%/etmal)
CMC 1% + PGPR 10 g	18,33a	3,06a
CMC 1% + PGPR 20 g	21,67ab	3,89ab
Asam humat 1% +	33,33c	5,89c
Asam humat 1% +	20,00ab	3,56ab
CMC 1% + asam humat 1% + PGPR 10 g	21,67ab	3,83ab
CMC 1% + asam humat 1% + PGPR 20 g	26,67bc	4,72bc

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji BNT 5%; CMC= *Carboxymethyl Cellulose*

Secara keseluruhan, kombinasi bahan pelapis asam humat 1% dengan PGPR 10 g terbukti membe-

rikan pengaruh yang positif terhadap vigor awal dan kecepatan tumbuh benih cabai rawit kedaluwarsa, menunjukkan potensi strategi invigorasi benih dalam memperpanjang umur simpan dan meningkatkan kualitas fisiologisnya.

Korelasi positif antara indeks vigor dan kecepatan tumbuh mengindikasikan bahwa keduanya bukan sekadar variabel berbasis waktu, melainkan mencerminkan kualitas fisiologis benih secara menyeluruh. Benih yang mampu tumbuh dengan cepat umumnya memiliki sistem enzimatis yang aktif, struktur embrio yang utuh, serta cadangan makanan yang cukup untuk mendukung metabolisme awal. Kecepatan tumbuh yang tinggi mempercepat proses pembelahan dan pemanjangan sel, sehingga berkontribusi langsung terhadap peningkatan nilai indeks vigor (Li *et al.*, 2019). Oleh karena itu, kedua variabel ini dapat dijadikan indikator utama dalam mengevaluasi performa fisiologis benih, khususnya benih yang telah mengalami penyimpanan jangka panjang.

Bahan pelapis yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan asam humat, merupakan senyawa polisakarida dan organik yang bersifat *biodegradable* dan ramah lingkungan. Keduanya telah terbukti efektif dalam meningkatkan mutu fisiologis benih serta mendukung pertumbuhan awal tanaman (Sohail *et al.*, 2022). CMC memiliki kemampuan membentuk lapisan pelindung yang menjaga kelembapan sekitar benih, sementara asam humat berfungsi sebagai stimulan fisiologis yang meningkatkan permeabilitas membran dan aktivitas enzim (Canellas & Olivares, 2014).

Hubungan fungsional antara viabilitas dan vigor benih juga terlihat jelas dalam hasil penelitian ini. Viabilitas tinggi umumnya sejalan dengan vigor yang baik, namun tidak sebaliknya. Hal ini menunjukkan bahwa viabilitas tidak dapat dijadikan satu-satunya variabel untuk menilai mutu benih, karena benih yang mampu berkecambah belum tentu memiliki kemampuan tumbuh secara optimal. Sebaliknya, benih yang memiliki vigor tinggi hampir selalu menunjukkan viabilitas yang baik, karena seluruh sistem fisiologis internalnya masih berfungsi dengan efisien (Bewley *et al.*, 2013).

Evaluasi mutu benih yang menyeluruh perlu mempertimbangkan semua variabel fisiologis secara simultan, termasuk viabilitas, indeks vigor, kecepatan tumbuh, dan persentase kecambah normal. Pendekatan ini penting untuk menghindari bias penilaian yang hanya berfokus pada satu aspek fisiologis benih. Penerapan bahan pelapis berbasis organik, seperti CMC dan asam humat, terbukti mampu meningkatkan performa benih cabai rawit, termasuk benih yang telah melewati masa edar atau mengalami penurunan mutu akibat penyimpanan jangka panjang (Maulana *et al.*, 2022; Rocha *et al.*, 2019).

Secara khusus, kombinasi asam humat 1% dengan 10 g PGPR Bactegrowth terbukti paling efektif dalam meningkatkan viabilitas dan vigor benih cabai rawit yang telah disimpan selama lima bulan. Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan invigorasi melalui *seed coating* dengan bahan organik dan biostimulan hayati memiliki potensi tinggi untuk mengembalikan mutu fisiologis benih yang telah menurun. Kombinasi tersebut tidak hanya mendukung revitalisasi benih, tetapi juga selaras dengan prinsip pertanian berkelanjutan karena menggunakan bahan alami yang ramah lingkungan dan dapat diperbarui (Ekin, 2019).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh bahan *coating* dan dosis PGPR terhadap mutu fisiologis benih cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) yang telah kedaluwarsa disimpulkan bahwa perlakuan *seed coating* menggunakan asam humat 1 % + Bactegrowth PGPR 20 g mampu secara signifikan meningkatkan mutu fisiologis benih cabai rawit yang telah lewat masa edar. Potensi tumbuh maksimum dan daya berkecambah mendapatkan nilai tertinggi sebesar 100 %, serta menunjukkan efektivitas dalam memulihkan viabilitas benih. Sementara itu kombinasi asam humat 1% + Bactegrowth PGPR 10 g memberikan hasil tertinggi dalam meningkatkan indeks vigor sebesar 33,33 % dan kecepatan tumbuh secepat 5,89 %/etmal, mencerminkan stimulasi fisiologis yang optimal pada benih berumur simpan lanjut. Kombinasi bahan pelapis organik dan PGPR terbukti efektif dalam memulihkan mutu fisiologis benih cabai rawit yang telah kedaluwarsa. Hasil penelitian ini dapat diimplementasikan sebagai teknologi invigorasi benih untuk memperpanjang masa simpan benih hortikultura dan meningkatkan keberhasilan persemaian di lapangan secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adesemoye, A. O., Torbert, H. A. & Kloepper, J. W. (2009). Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microbial Ecology*, 58(4), 921–929. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-009-9531-y>.
- Afzal, I., Talha, J., Masoume, A. & Alan, G. T. (2020). Modern seed technology: Seed coating delivery systems for enhancing seed and crop performance. *Agriculture*, 10(526), 1-20.
- Ali, M. & Moon, J. Y. (2025). Effect of PGPR on seed invigoration and α -amylase activity in aged vegetable seeds. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 17(1), 45–52.

- Ali, S. & Moon, Y. S. (2025). Unveiling auxins role in seed dormancy, germination and possible impact of IAA producing PGPR in seed bio-priming and plant growth. *Pakistan Journal of Botany*, 57(2), 515 – 522.
- Aryanti, N. A., Anwar, A., Efendi, S. & Suhendra, D. (2021). Pengaruh coating gel lidah buaya terhadap viabilitas dan vigor benih kakao. *Jurnal Pertanian*, 12(2), 55 – 65.
- Basra, S. M. A., Farooq, M., Tabassum, R. & Ahmad, N. (2004). Physiological and biochemical aspects of seed vigor enhancement treatments in fine rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Science and Technology*, 32(3), 623–628.
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M. & Nonogaki, H. (2013). Seeds: Physiology of development, germination and dormancy (3rd ed.). *Springer*. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>.
- Canellas, L. P. & Olivares, F. L. (2014). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 1(1), 3. DOI: <https://doi.org/10.1186/2196-5641-1-3>
- Copeland, L. O. & McDonald, M. B. (2001). Principles of seed science and technology (4th ed.). *Springer*.
- Ekin, Z. (2019). Integrated use of humic acid and plant growth promoting rhizobacteria to ensure higher potato productivity in sustainable agriculture. *Sustainability*, 11(12), 1-13. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11123417>.
- Ekin, Z. (2019). Integrated use of humic acid and plant growth-promoting rhizobacteria to ensure sustainable crop production. *Journal of Plant Nutrition*, 42(11–12), 1433–1441. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1614532>.
- Farooq, M., Basra, S. M. A., Tabassum, R. & Afzal, I. (2009). Enhancing the performance of direct seeded fine rice by seed priming. *Plant Production Science*, 9(4), 446–456. DOI: <https://doi.org/10.1626/pps.9.446>.
- Javed, T., Irfan, A., Rubab, S., Kamran, I., Muhammad, S. Z., Muhammad, F., Hafiz, H. A. & Javaid, I. (2022). Seed coating technology: An innovative and sustainable approach for improving seed quality and crop performance. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(8), 536–545.
- Kloepper, J. W., Ryu, C. M. & Zhang, S. (2004). Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology*, 94(11), 1259–1266. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.11.1259>.
- Li, S., Wang, M., Liu, F. & Yin, J. (2019). Seed vigor and seedling establishment as affected by seed metabolic activity and germination speed. *Seed Science and Technology*, 47(2), 227–238. DOI: <https://doi.org/10.15258/sst.2019.47.2.07>.
- Li, Y., Feng, F., Jianlin, W., Xiaobin, W., Rongzong, C., Guosheng, L., Fuli, Z. & Deshui, T. (2019). Humic acid fertilizer improved soil properties and soil microbial diversity of continuous cropping peanut: A three-year experiment. *Scientific Reports*, 9, 12014. DOI: <https://doi.org/10.038/s41598-019-48620-4>.
- Mahmood, A., Turgay, O. C. & Hayat, R. (2016). Seed biopriming with rhizobacteria for improving seed vigor, germination and early seedling growth. *Soil Biology and Biochemistry*, 103, 113–121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.007>.
- Mahmood, A., Turgay, O. C., Farooq, M. & Hayat, R. (2016). Seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria: A review. *FEMS Microbiology Ecology*, 92(8), 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw112>.
- Maulana, A. R., Moeljani, I. R. & Triani, N. (2022). Pengaruh formulasi bahan coating terhadap mutu benih tiga komoditas hortikultura. *Plumula*, 10(2), 101–110. DOI: <https://doi.org/10.33005/plumula.v10i2.95>.
- Maulana, A., Widodo, W. & Yusnaini, Y. (2022). Pengaruh bahan pelapis organik terhadap viabilitas dan vigor benih cabai merah selama penyimpanan. *Jurnal Agronomi Tropika*, 10(1), 45–52.
- Nurhadi, N. N. & Noor, S. (2022). Manfaat, cara perbanyakan dan aplikasi plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). *Jurnal Agriekstensia*, 21(1), 64–71. DOI: <https://doi.org/10.34145/agriekstensia.v21i1.1877>.
- Nurhadi, R. & Noor, A. (2022). Peran PGPR dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui produksi hormon tumbuh. *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 10(2), 121–130.
- Palupi, T., Satriyas, I., Muhammad, M. & Eny, W. (2012). Pengaruh formula coating terhadap viabilitas dan vigor serta daya simpan benih padi (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Agron Indonesia*, 40(1), 21–28.
- Pangastuti, D., Kukuh, S., Eko, P. & Nyimas, S. (2019). Pengaruh suhu ruang dan lama penyimpanan terhadap vigor benih dan kecambah sorgum varietas Super-2. *Jurnal Agrotek Tropika*, 7(3), 443. DOI: <https://doi.org/10.23960/jat.v7i3.3548449>

- Riesdewanti, E. (2024). The effect of coating formulation and storage periods on the quality and growth of TSS (true shallot seed) onion (*Allium cepa* L.). *International Journal of Multidisciplinary Research and Literature*, 3 (3), 300–309. DOI: <https://doi.org/10.53067/ijomral.v3i3.221>.
- Rocha, I., Ma, Y., Souza-Alonso, P., Vosátka, M., Freitas, H. & Oliveira, R. S. (2019). Seed coating: A tool for delivering beneficial microbes to agricultural crops. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1357. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01357>.
- Rocha, R. C., Silva, F. L., Costa, J. C. & Silva, J. A. A. (2019). Use of seed coating with humic substances to improve physiological quality of pepper seeds (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Seed Science*, 41(3), 307–315. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n3219725>.
- Sakinah, F., Sri, L. P. & Izmi, Y. (2023). Respon benih cabai (*Capsicum annuum* L.) kadaluarsa terhadap lama perendaman dan macam ZPT alami pada viabilitas, vigor dan pertumbuhan bibit. *Jurnal Produksi Tanaman*, 11(3), 199–208. DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.protan.2023.011.03.07>.
- Sera, B. & Frantisek, N. (2022). Stimulation of seed germination and early growth by humic substances on poppy, pepper, rape and hemp. *Biologia*, 77, 641–648. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11756-021-00952-1>.
- Sera, B. & Frantisek, B. (2022). The role of humic acids in seed germination and seedling development: A review. *Plant Physiology Reports*, 27(3), 217–225. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40502-022-00641-w>.
- Simanjuntak, D. R., Halimursyadah & Syamsuddin. (2019). Perlakuan rizobakteri pemacu pertumbuhan tanaman (RPPT) dengan beberapa tingkat kerapatan inokulum rizobakteri terhadap viabilitas dan vigor benih cabai merah kadaluarsa (*Capsicum annuum* L.). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian Unsyiah*, 4(1), 229–238. DOI: <https://doi.org/10.17969/jimfp.v4i1.6423>.
- Sohail, M. A., Ahmad, S., Saeed, M. Q. & Habibur-Rehman, M. (2022). Environmentally friendly seed coatings based on polysaccharides and humic substances enhance seed vigor and plant performance. *International Journal of Agriculture and Biology*, 26(4), 691–698. DOI: <https://doi.org/10.17957/IJAB/26.4.3648>.
- Sohail, M., Pirzada, T., Opperman, C. H. & Khan, S. A. (2022). Recent advances in seed coating technologies: A sustainable approach to improve crop performance. *Green Chemistry*, 24(15), 5692–5708. DOI: <https://doi.org/10.1039/D2GC02389J>.
- Tefa, A. (2017). Uji viabilitas dan vigor benih padi (*Oryza sativa* L.) selama penyimpanan pada tingkat kadar air yang berbeda. *Savana Cendana*, 2 (3), 48–50. DOI: <https://doi.org/10.32938/sc.v2i03.210>.
- Tefa, A., Eny, W., Muhammad, S. & Giyanto. (2016). Aplikasi bakteri probiotik untuk meningkatkan mutu fisiologi dan kesehatan bibit cabai (*Capsicum annuum* L.). *Jurnal Agron Indonesia*, 44(2), 176–182.
- Victolika, H., Sarno & Yohannes, C. G. (2014). Pengaruh pemberian asam humat dan K terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Jurnal Agrotek Tropika*, 2(2), 297–301.
- Victolika, R., Kurniawan, J. & Harsono, E. (2014). Pengaruh pemberian asam humat terhadap pertumbuhan awal bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 16(2), 59–66.
- Wahyuni, W. & Kartika. (2022). Kajian teknik invigorasi benih kedelai (*Glycine max*) di Indonesia: Review artikel. *Fruitset Sains: Jurnal Pertanian Agroteknologi*, 10(4), 146–156.