



BIOFARM

Jurnal Ilmiah Pertanian

ISSN Print: 0216-5430; ISSN Online: 2301-6442

Vol. 22, No. 1, April 2026

Efektifitas Nanosuspensi Metabolit Sekunder *Pseudomonas fluorescens* P60 dengan Maltodekstrin Terhadap Pengendalian Layu Fusarium dan Sebagai Pemacu Pertumbuhan pada Cabai Merah Keriting.

Nanosuspension of Pseudomonas fluorescens P60 Secondary Metabolites with Maltodextrin Against Fusarium Wilt Control and As A Growth Promotor in Curly Red Chili.

Rida Rustati^{*1}, Loekas Soesanto¹, Woro Sri Suharti

¹Program Pasca Sarjana Bioteknologi Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman

*Korespondensi penulis: Rida.Firdaus2904@gmail.com

ABSTRAK

Layu fusarium adalah salah satu penyakit penting pada Cabai Merah Keriting yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f.sp. capsici. Pengendalian penyakit tersebut dapat dilakukan dengan penerapan metabolit sekunder dari *Pseudomonas fluorescens* P60 dalam bentuk nanosuspensi dengan maltodekstrin sebagai nanokarier. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan apakah metabolit sekunder *P. fluorescens* P60 dalam bentuk nanosuspensi dan aplikasinya mampu mengendalikan layu Fusarium serta meningkatkan pertumbuhan tanaman Cabai Merah Keriting. Penelitian dilakukan di Laboratorium Perlindungan Tanaman dan Kebun Percobaan, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman dari bulan Juni sampai dengan Desember 2025. Percobaan *In Vitro* menggunakan Rancangan acak lengkap dengan enam ulangan. Perlakuan yang dicoba antara lain *F. oxysporum* + Propineb 70%, *F. oxysporum* + Bio P60, *F. oxysporum* + Nanosuspensi Bio P60. Percobaan *in Planta* menggunakan Rancangan acak kelompok dengan enam ulangan dan empat perlakuan, yang terdiri dari *F. oxysporum* (kontrol), *F. oxysporum* + Propineb 70%, *F. oxysporum* + Bio P60, *F. oxysporum* + nanosuspension Bio P60. Variabel yang diamati yaitu komponen patosistem dan komponen pertumbuhan. Data hasil penelitian dianalisis menggunakan Uji F/Anova dilanjutkan BNT 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Nanosuspensi Bio P60 berpengaruh terhadap daya hambat terhadap *F.oxysporum* secara *in vitro*. Percobaan secara *in planta* pada komponen pertumbuhan menunjukkan bahwa nanosuspensi Bio P60 mampu meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun dan waktu berbunga. Nanosuspensi Bio P60 mampu menurunkan intensitas penyakit dan masa inkubasi penyakit. Aplikasi nanosuspensi Bio P60 menunjukkan adanya kandungan fenol yang tinggi pada tanaman cabai sehingga meningkatkan ketahanan terhadap layu Fusarium dan meningkatkan pertumbuhan tanaman cabai merah keriting.

Kata kunci: Layu Fusarium, formula nanosuspensi, *Pseudomonas fluorescens* P60, metabolit sekunder, cabai merah keriting

ABSTRACT

Fusarium Wilt is one of the important diseases in Curly Red Chili caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. capsici. The control of that disease can be achieved by applying secondary metabolites from *Pseudomonas fluorescens* P60 in the form of nanosuspensions with maltodextrin as a nanocarrier. The study aimed to determine the secondary metabolites of *P. fluorescens* P60 in the form of nanosuspensions and their application can control Fusarium wilt and enhance the growth of Curly Red Chili plants. The study conducted at the Plant Protection Laboratory and Experimental Garden, Faculty of Agriculture, Jenderal Soedirman University from June to December 2025. A randomized complete design was used for *in vitro* with six replications and three treatments consisting *F. oxysporum* + Propineb 70%, *F. oxysporum* + Bio P60, *F. oxysporum* + Nanosuspension Bio P60. A randomized block design was used for *in planta* with six replications and four treatments, consisting of *F. oxysporum* (control), *F. oxysporum* + Propineb 70%, *F. oxysporum* + Bio P60, *F. oxysporum* + Bio P60 nanosuspension. The observed variables were pathosystem components and growth components. Research data were analyzed using the F-test/ANOVA followed by a 5% LSD test. The *in Vitro* results showed that Bio P60 nanosuspension affected the inhibitory activity against *F. oxysporum*. The *in Planta* experiment on growth components showed that Bio P60 nanosuspension was able to increase plant height, number of leaves, and flowering time. Bio P60 nanosuspension was able to reduce disease intensity and disease incubation period. The application of Bio P60 nanosuspension showed a high phenol in chili plants, thereby increasing resistance to Fusarium wilt and enhancing the growth of curly red chili plants.

Keywords: Fusarium wilt, nanosuspension formula, *Pseudomonas fluorescens* P60, secondary metabolites, curly red chilli.

PENDAHULUAN

Tanaman cabai merah keriting (*Capsicum annum* L.) merupakan salah satu komoditas unggulan yang digemari oleh masyarakat Indonesia sebagai bahan utama masakan Nusantara (Setiadi, 2015). Kebutuhan masyarakat Indonesia terhadap cabai merah dalam kurun waktu 5 tahun terakhir (2019 – 2023) secara rata-rata persentase tergolong cukup tinggi yaitu sebesar 5,99%; paling tinggi dibandingkan dengan jenis cabai hijau dan cabai rawit masing-masing sebesar 2% dan 5,76%. Ketersediaan cabai secara keseluruhan di Indonesia tidak sebanding dengan kebutuhan pasar, bahkan menunjukkan kekurangan ketersediaan yaitu sebesar 32,17% per ton, dan kebutuhan per kapita yaitu sebesar 33,63% (Kg/kapita/tahun) (Badan Pangan Nasional, 2025). Hal ini menunjukkan bahwa ketersediaan cabai di lapangan belum mampu memenuhi kebutuhan masyarakat secara menyeluruh.

Masalah utama yang dihadapi petani di lapangan adalah banyaknya cabai yang terinfeksi penyakit layu, khususnya pada saat musim hujan (Bai *et al.*, 2018). Penyakit layu pada tanaman cabai disebabkan oleh cendawan *Fusarium oxysporum* f.sp. capsici, yang menginfeksi pada akar, terutama akar lateral (Gabrekiristos *et al.*, 2020). Jamur ini merupakan jenis jamur tular tanah yang mampu bertahan bertahun-tahun di dalam tanah tanpa inang (Menge *et al.*, 2020), dan dapat menyerang dari masa perkecambahan hingga dewasa, sehingga menyebabkan penurunan kualitas maupun kuantitas hasil panen cabai yang menyebabkan kerugian mencapai 68 hingga 71% (Gabrekiristos *et al.*, 2020).

Sebagian besar petani saat ini menggunakan pestisida anorganik dalam mengatasi serangan *F. oxysporum* karena dianggap efektif untuk memperoleh hasil panen yang diharapkan (Sumarni *et al.*, 2024). Penggunaan pestisida kimia secara berlebihan dan terus menerus memiliki dampak kurang baik terhadap kelestarian lingkungan, selain itu juga akan berdampak pada kesehatan petani dan kesehatan konsumen baik secara langsung maupun tidak langsung (Curl *et al.*, 2020).

Perlu dilakukan peralihan pola pikir dari kebiasaan menggunakan pestisida anorganik menjadi pestisida organik, supaya pencemaran lingkungan tidak terus terjadi, terutama kualitas tanah sebagai media tanam, salah satunya dengan memanfaatkan metabolit sekunder dari bakteri antagonis *Pseudomonas fluorescens* sebagai agensia pengendali hayati (Soesanto *et al.*, 2022). Upaya mencari mikroba antagonis yang efektif sudah dilakukan dalam beberapa tahun terakhir, namun belum dapat dikembangkan lebih lanjut, karena adanya masalah dalam skala produksi dan uji formulasi (Droby *et al.*, 2016).

Menurut Wu *et al.* (2020), penggunaan *P. fluorescens* mampu berperan meningkatkan pertumbuhan tanaman secara keseluruhan. Peningkatan kualitas pertumbuhan dan kondisi tanaman mampu mengurangi keparahan berbagai penyakit akibat serangan jamur (Watson *et al.*, 2018) sehingga pada akhirnya produksi hasil panen tanaman cabai akan meningkat (Kahli *et al.*, 2022).

Penelitian yang dilakukan oleh Abada *et al.* (2018), memperkuat bahwa *Pseudomonas fluorescens* merupakan agen paling efektif dalam penekanan pertumbuhan linear patogen penyebab penyakit, dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 19,9 mm. Efektivitas tersebut diikuti oleh *Bacillus subtilis* dengan rata-rata 24,6 mm, kemudian *Bacillus megaterium* sebesar 26,4 mm, dan *Bacillus pumilus* dengan rata-rata 34,0 mm.

Seiring dengan perkembangannya, pemanfaatan *P. fluorescens* sebagai agensia hayati telah diformula menjadi Bio P60. Bio P60 mengandung metabolit sekunder senyawa antibiotika berupa 2,4-diacetylphloroglucinol, asam karboksilat fenazin (PCA), pirolnitrin, oomisin A, dan pioluteorin (Plt) (Mishra & Arora, 2018; Soesanto *et al.*, 2025). Selain itu, *P. fluorescens* juga mampu memproduksi IAA (Indol Acetyl Acid) yang berperan sebagai hormon pemacu pertumbuhan tanaman (Muthiah *et al.*, 2023). Bio P60 terbukti mampu mengendalikan berbagai penyakit tanaman, di antaranya layu *Fusarium* dan layu bakteri pada tanaman tomat (Soesanto *et al.*, 2023), penyakit layu bakteri pada kentang (Soesanto

et al., 2022), dan juga pada tanaman melon hidroponik (Soesanto et al., 2024). Selain itu, Bio P60 juga mampu merangsang pertumbuhan akar, pertumbuhan tanaman akan menjadi lebih baik, sehingga mampu menghadapi serangan bakteri dan jamur patogen (Soesanto et al., 2024).

Penggunaan teknologi nano sebagai salah satu teknologi inovatif di bidang pertanian saat ini sedang giat dikembangkan guna meningkatkan produksi pangan dengan tetap menjaga keseimbangan ekosistem pertanian, terutama di tengah perubahan iklim yang cepat (Wang et al., 2022), terutama dalam bidang pengendalian hayati (Usman et al., 2020), berupa pengantaran nanopestisida yang terenkapsulasi dalam nanomaterial untuk pelepasan terkendali dan juga kestabilan biopestisida sebagai generasi baru pestisida hijau yang ramah lingkungan dan tepat sasaran (Jiang et al., 2024).

Salah satu nanomaterial pembentuk nanopartikel adalah maltodekstrin (Barthold et al., 2019). Maltodekstrin sebagai material pembawa (carrier) dalam teknologi nanosuspensi memiliki banyak keunggulan, yaitu mampu membentuk partikel berukuran nanometrik, bersifat biokompatibilitas dan biodegradabilitas sehingga memungkinkan pembuatan nanopartikel yang aman serta mempertahankan stabilitas fisikokimia selama proses produksi dan selama penggunaan (Fasquelle et al., 2024), bersifat *anti-caking* sehingga mencegah agregasi partikel membantu meningkatkan kelarutan dan kemampuan terdispersi (Alibekov et al., 2025). Berbagai penelitian menunjukkan bahawa maltodekstrin berpengaruh positif terhadap bakteri Gram negatif yaitu pada *Pseudoalteromonas piscicida* yang dapat melindungi dan mempertahankan viabilitas bakteri tersebut (Ramadhani & Lesmanawati, 2021). Penelitian lain menunjukkan dengan menggunakan nanomaterial maltodekstrin pada ekstrak daun ketumpang dengan konsentrasi 20% dapat meningkatkan mortalitas ulat krop pada tanaman sawi (Safrida et al., 2020).

Uraian di atas menunjukkan bahwa *P. fluorescens* dalam formula Bio P60 mampu menekan serangan patogen *F.oxysporum* pada berbagai jenis tanaman, dan

maltodekstrin sebagai nanomaterial dapat diaplikasikan bersama dengan metabolit sekunder *P. fluorescens*.

Penelitian ini bertujuan dengan nanoteknologi sebagai teknologi terbaru dalam bentuk nanosuspensi Bio P60 dengan nanopartikel maltodekstrin diharapkan mampu meningkatkan efektifitas *P. fluorescens* sebagai agensia pengendali hayati terhadap patogen *F.oxysporum*, serta diharapkan mampu meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman cabai merah keriting.

MATERIAL DAN METODE

Tempat dan Waktu

Percobaan ini akan dilaksanakan di Laboratorium Perlindungan Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto dan di Rumah Kaca/Screen House Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto pada bulan Juni 2025 sampai dengan Desember 2025.

Tahapan pelaksanaan

1. Perbanyak Isolat *F. oxysporum*.

Koleksi biakan jamur diperoleh dari Laboratorium Perlindungan Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman. Perbanyak dilakukan dengan cara mengambil bagian isolat *F. oxysporum* dengan bor gabus kemudian diletakkan pada cawan Petri yang telah dicawankan (*plating*) pada PDA (*Potato Dextrosa Agar*) dengan bantuan spatula.

2. Pembuatan Bio P60 berbasis nanosuspensi dengan maltodekstrin.

Bio P60 40 mL dicampurkan ke dalam 3 mL aseton dan divortex selama 2 menit, yang mewakili sistem *solvent*. Sistem *anti-solvent* terdiri atas 20 mL air deionisasi, 160 mg maltodekstrin, dan 20 mg poloxamer 407, kemudian divortex selama 2 menit. *Solvent* ditambahkan setetes demi setetes melalui jarum suntik plastik langsung ke dalam *anti-solvent* pada suhu kamar. Campuran diaduk

dengan kecepatan 1.000 rpm menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam untuk memastikan penguapan pelarut secara sempurna (Alwan & Rajab, 2024).

3. Pelaksanaan secara *in vitro*.

Rancangan perlakuan *in vitro* menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 3 perlakuan dan 6 ulangan. Perlakuan tersebut adalah:
P1: Fungisida sintetis (Propineb 70%)
P2: Bio P60 (10 mL/L)
P3: Nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin (10 mL/L)

Pelaksanaan secara *in vitro* dilakukan dengan menguji daya hambat *P. fluorescens* dalam formula nanosuspensi Bio P60 terhadap *F. oxysporum*. Formula nanosuspensi Bio P60 ditetaskan pada kertas saring dan diletakkan dalam media cawan Petri diameter 9 cm pada salah satu sisinya. Metode biakan dua (*dual culture*) digunakan untuk uji daya hambat jamur patogen yaitu pada dua sisi yang berseberangan dengan jarak 3 cm dari tepi cawan pada medium di dalam cawan Petri diameter 9 cm antara *F. oxysporum* dengan kertas saring sesuai perlakuan dengan diameter 0,5 cm pada titik tengah medium. Pengamatan dilakukan terhadap daya hambat pertumbuhan jamur patogen sejak hari pertama hingga cawan tanpa perlakuan memenuhi cawan Petri. Cawan Petri kemudian diinkubasi pada suhu ruang ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) selama 24 jam untuk memungkinkan difusi Bio P60 ke dalam media. Aktivitas antibakteri dinilai berdasarkan pengukuran diameter zona hambat (zona bening) di sekitar cakram (Balouiri *et al.*, 2016).

4. Inokulasi *F.oxysporum* secara *in planta*.

Jamur dikultur dalam medium cair PDB (*Potato Dextrose Broth*) dengan menempatkan 2 potongan (berdiameter 1 cm) dari *F. oxysporum* ke dalam labu Erlenmeyer 250 mL yang berisi 125 mL PDB dingin dan steril, lalu diinkubasi dengan pengocokan (*shaking*) pada 135 rpm selama 7 hari pada suhu ruang. Kepadatan mikrokonidium jamur dihitung

menggunakan hemositometer hingga mencapai kepadatan 10^6 konidia per mL (Soesanto *et al.*, 2025). Sejumlah 10 mL suspensi *F.oxysporum* dengan kepadatan 1×10^6 konidium/mL diinokulasikan pada medium tanam sebelum bibit cabai merah keriting pindah tanam ke media tanam dengan cara disiramkan di sekitar lubang tanam (Soesanto *et al.*, 2024). Kepadatan ini digunakan karena dianggap sebagai kerapatan spora standar yang dapat menimbulkan infeksi penyakit layu Fusarium pada tanaman cabai tanpa menyebabkan kematian tanaman secara cepat (Yulia *et al.*, 2017).

5. Penanaman bibit cabai.

Bibit cabai merah keriting dipilih yang terbaik, dengan 7-10 daun pada bibit cabai kemudian ditanam pada *polybag* sebanyak 1 tanaman.

6. Aplikasi Formula Nanosuspensi Bio P60 secara *in planta*.

Rancangan perlakuan *in planta* adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 4 perlakuan termasuk kontrol. Masing-masing perlakuan diulang 6 kali ulangan dan setiap kombinasi terdapat 3 unit sehingga total terdapat 72 unit percobaan. Masing-masing unit menggunakan *polybag* ukuran 30 x 35 cm. Jarak tanam antar-unit sebesar 50 x 70 cm, jarak antar-blok sebesar 70 cm.

F1 = Kontrol

F2 = Fungisida sintetis (Propineb 70%)

F3 = Bio P60

F4 = Nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin

Aplikasi perlakuan dilakukan dengan penyiraman ke dalam lubang tanam setelah penanaman bibit cabai pada hari yang sama, yaitu sebanyak 10 mL setiap lubang tanam, dengan interval 5 hari untuk penyiraman selanjutnya (Soesanto *et al.*, 2024). Formulasi perlakuan akan dikalibrasi sesuai dengan dosis yang dianjurkan, dan akan dilakukan pengulangan setiap 5 hari sekali dengan dosis yang bertambah sesuai dengan pertumbuhan tanaman

dengan cara di siram disekitar lubang tanam.

Variabel yang diamati

1. Uji PSA (*Particle Size Analyzer*)

PSA Merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengetahui ukuran partikel dan distribusi ukuran partikel (*Particle Distribution Index/PDI*) yang berukuran nanometer (Kurniawan et al., 2020). Metode pengukuran partikel dengan PSA dinilai lebih akurat dalam menentukan ukuran partikel (Taba et al., 2019). Prinsip pengukuran metode PSA didasarkan pada hamburan cahaya oleh partikel sampel (Kurniawan et al., 2018). Uji PSA menggunakan alat dengan merk Malvern dari UK, dilakukan di Laboratorium Pengujian Terpadu, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta.

2. Uji daya hambat

Hasil pengujian daya hambat tersebut berupa persentase dari penghambatan, dengan menggunakan rumus (Stracquadanio et al., 2020):

$$PGI (\%) = (D_c - D_t) / (D_c) \times 100$$

Keterangan:

PGI = *Percentage of growth inhibition*

D_c = Diameter koloni mikroba pada kontrol

D_t = Diameter koloni mikroba pada perlakuan.

3. Bobot kering miselium

Miselium yang berada pada cawan Petri ditambahkan 10 ml HCl 1%, lalu dipanaskan dengan *water bath* pada suhu 70°C hingga medium mencair (Suprianto et al., 2020). Hasil pencairan dituangkan pada kertas saring yang telah diukur beratnya dan disemprot dengan menggunakan akuades diulang sebanyak 3 kali untuk menghilangkan medium agar dan HCl yang masih melekat. Koloni jamur yang tertinggal pada kertas saring, dikeringkan dengan menggunakan inkubator bersuhu 30°C selama 24 jam dan kemudian ditimbang sebanyak dua kali (Hapsari et al., 2021). Perhitungan bobot kering miselium dilakukan dengan cara menghitung selisih antara bobot miselium jamur

dengan bobot kertas saring *whattman* ukuran nomor 1 (Gita et al., 2020).

4. Kerapatan konidium

Perhitungan kerapatan konidium dilakukan dengan menggunakan *haemocytometer*. Perhitungan dilakukan dengan cara mengambil suspensi konidium sebanyak 0,2 mL, kemudian ditetaskan pada *haemocytometer* dan diamati dengan perbesaran 400x. Kerapatan spora dihitung dengan menggunakan rumus dari Kastilong et al. (2022), yaitu:

$$S = \frac{\bar{x}}{L \times t \times d} \times 10^3$$

Keterangan:

S = kerapatan konidium/ml

$\bar{x}$ = rerata jumlah konidium pada masing-masing sampel

L = luas kotak hitung 0,04 mm²

t = kedalaman bidang hitung 0,1 mm

d = faktor pengenceran

10³ = volume suspensi yang dihitung (1 ml = 10³mm³)

5. Masa inkubasi penyakit

Periode inkubasi dihitung dari waktu bibit yang ditanam di dalam *polybag* plastik yang berisi campuran medium tanah dan pupuk kandang diinokulasi dengan *Fusarium oxysporum* hingga munculnya gejala pertama penyakit (Soesanto et al., 2023).

6. Intensitas penyakit

Intensitas penyakit digunakan untuk mengamati tingkat kerusakan yang disebabkan oleh patogen *Fusarium oxysporum* pada tanaman. Rumus yang digunakan untuk mengukur intensitas penyakit menurut Cameron et al. (2024) adalah:

$$\text{Intensitas penyakit} = \frac{\sum(ni \times vi)}{Z \times N} \times 100\%$$

Keterangan:

ni = Jumlah daun yang terserang

vi = Nilai skala setiap kategori serangan

Z = Nilai skala dari kategori serangan tertinggi

N = Jumlah daun yang diamati

Nilai skoring setiap tanaman digunakan untuk menghitung intensitas penyakit pada tanaman cabai (Soesanto et al., 2024)

0 Tidak ada gejala

- 1= Gejala daun menguning 0-20%
 2= Gejala daun menguning 21-40%
 3= Gejala daun menguning 41-60%
 4= Gejala daun menguning 61-80%
 5= Gejala daun menguning >80%

7. *Area Under the Disease Progress Curve* (AUDPC)

Area Under The Disease Progress Curve (AUDPC) atau Luas Bawah Kurva Perkembangan Penyakit (LBKPP) digunakan sebagai alat penilaian perkembangan penyakit Layu Fusarium selama terjadinya infeksi. AUDPC (*Area Under Disease Progress Curve*) dihitung menggunakan Soesanto *et al.* (2023), sebagai berikut:

$$AUDPC = \sum_{i=1}^{n-1} \left[\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right] (t_{i+1} - t_i)$$

AUDPC = Area di bawah kurva

perkembangan penyakit (%-minggu)

Y_{i+1} = Data pengamatan dari kejadian penyakit ke- $i + 1$

Y_i = Data pengamatan dari kejadian penyakit 1st

t_{i+1} = Waktu pengamatan dari kejadian penyakit ke- $i + 1$

t_i = Waktu pengamatan dari kejadian penyakit 1st.

8. Tinggi tanaman

Tinggi tanaman digunakan untuk mengukur tinggi tajuk pada tanaman cabai keriting. Tinggi tanaman diukur pada umur 14, 28, 42 HST (hari setelah tanam). Tinggi tanaman diukur menggunakan penggaris (Sholihah *et al.*, 2020).

9. Jumlah daun

Jumlah daun yang diamati merupakan daun yang telah membuka sempurna. Jumlah daun diamati sampai memasuki fase generatif (Nurosid *et al.*, 2018).

10. Waktu berbunga

Waktu berbunga yang diamati merupakan bunga yang muncul. Waktu berbunga diamati saat memasuki fase generatif (Nurosid *et al.*, 2018).

11. Nilai efektivitas

Uji efektivitas digunakan untuk mengetahui efektivitas dari nanosuspensi Bio P60 dengan

maltodekstrin dalam menekan penyakit layu Fusarium pada tanaman cabai merah keriting. Rumus yang digunakan dengan menggunakan formula Abbott (Peter *et al.*, 2024) yaitu:

$$E = \frac{C-T}{C} \times 100\%$$

Keterangan:

E = Nilai efektivitas (%)

C = Nilai pada kontrol

T = Nilai pada perlakuan

12. Senyawa fitokimia

Pengujian senyawa fitokimia dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif dengan menggunakan alat spektrofotometer. Senyawa yang diujikan yaitu:

a. Uji saponin

Uji ini dilakukan dengan mengambil sebanyak 5 g sampel dihaluskan dengan menggunakan mortar, hasil penumbukan daun cabai kemudian ditambahkan dengan menggunakan ethanol 80% sebanyak 20 mL. Sampel dihomogenkan dengan diaduk hingga merata dan disaring dengan menggunakan kertas saring. Hasil penyaringan kemudian dilakukan pengocokan selama 30 detik. Kandungan saponin ditunjukkan dengan kemunculan busa pada sampel (Wijiningrum, 2017)

b. Uji tanin

Uji ini dilakukan berdasarkan Wijiningrum (2017) sebanyak 5 g sampel dihaluskan dengan menggunakan mortar, hasil penumbukan daun cabai kemudian ditambahkan dengan menggunakan ethanol 80% sebanyak 20 mL. Sampel dihomogenkan dengan diaduk hingga merata dan disaring dengan menggunakan kertas saring. Hasil penyaringan ditambahkan dengan 3 tetes $FeCl_3$ 10%. Kandungan tanin akan ditunjukkan dengan adanya perubahan warna menjadi biru tua atau hitam kehijauan.

c. Uji glikosida

Uji ini dilakukan berdasarkan Wijiningrum (2017) sebanyak 5 gram sampel dihaluskan dengan menggunakan mortar, hasil penumbukan daun cabai kemudian ditambahkan dengan menggunakan ethanol 80% sebanyak 20 mL. Sampel dihomogenkan dengan diaduk hingga merata dan disaring dengan menggunakan kertas saring. Hasil penyaringan ditambahkan heksana

sebanya 2 tetes yang berguna untuk mencuci kandungan lemaknya, kemudian ditetaskan dengan F3Cl sebanyak 3 tetes dan H₂SO₄ sebanyak 2 tetes. Kandungan glikosida ditunjukkan dengan adanya perubahan warna pada sampel.

d. Uji hidroquinon

Uji ini dilakukan oleh Julan *et al.* (2023) yang dimodifikasi. Sampel sebanyak 0,1 g ditimbang dan dihaluskan dengan menggunakan mortar, hasil penumbukan kemudian ditambahkan ethanol 96% sebanyak 5 tetes dan FeCl₃ sebanyak 5 tetes. Kandungan hidroquinon ditunjukkan dengan adanya perubahan warna hijau hingga kehitaman pada sampel

Analisis Data

Data hasil pengamatan dianalisis secara statistika dengan uji Anova/F untuk mengetahui pengaruh perlakuan menggunakan fitur DSAASTAT pada software Microsoft Excel. Apabila hasilnya berbeda nyata, maka analisis dilanjutkan dengan uji lanjut BNT pada taraf $\alpha = 5\%$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Particle Size Analyze (PSA) dan Particle Distribution Index (PDI).

Hasil Uji PSA menunjukkan bahwa BioP60 dalam formula nanosuspensi dengan maltodekstrin sebagai carrier terbukti berukuran nano dengan ukuran 396, 33 nm (Tabel 1) dengan nilai indeks polidispersitas sebesar 0,5119 (Tabel 2). Ukuran tersebut terbukti sesuai dengan ketentuan ukuran dan dispersitas suatu partikel nano sebesar 1-1000nm (Abobatta, 2018).

Tabel 1. Uji ukuran partikel biopestisida BioP60 dalam bentuk nanosuspensi

Formula	Zeta Average (nm)			Ukuran Partikel rata-rata
	1	2	3	
Nanosuspensi BioP60	393,1	396,6	396,3	395,33

Tabel 2. Uji indeks polidispersitas (PDI) biopestisida BioP60 dalam bentuk nanosuspensi

Formula	Indeks Polidispersitas			Ukuran Partikel rata-rata
	1	2	3	
Nanosuspensi BioP60	0,5119	0.5469	0.5423	0,5119

Uji *in Vitro* metabolit sekunder nanosuspensi *Pseudomonas fluorescens* P60 dengan maltodekstrin.

Nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin (P3) yang diuji secara *in vitro*

berpengaruh terhadap daya hambat namun tidak berpengaruh terhadap berat kering miselium dan kerapatan konidium (Tabel 3).

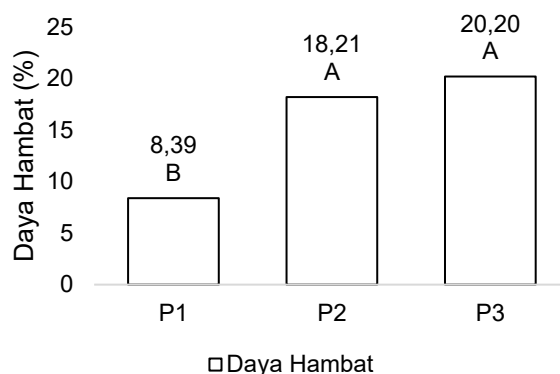
Tabel 3. Hasil sidik ragam & uji BNT pengaruh nanosuspensi P60 terhadap uji *in vitro* tanaman cabai merah keriting.

Perlakuan	Variabel Uji in Vitro			
	Daya Hambat (%)	Efektivitas Daya Hambat (%)	Berat Kering Miselium (g)	Kerapatan Konidium (konidia/mL)
P1	8,39 B	-	0,06	1,95 x 10 ⁷
P2	18,21 A	117,04	0,02	2,17 x 10 ⁷
P3	20,2 A	140,76	0,02	1,23 x 10 ⁷

Keterangan: Data berikut merupakan data yang telah ditransformasi; Angka-angka yang diikuti huruf yang berbeda pada variabel dan perlakuan yang sama menunjukkan berbeda nyata pada uji BNT 5%; P1= Propineb 70% (kontrol); P2= Bio P60; P3= Nanosuspensi BIO P60 dengan maltodekstrin.

Perlakuan P3 berpengaruh nyata terhadap daya hambat (Gambar 1). Nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin dapat meningkatkan daya hambat terhadap pertumbuhan *Fusarium* sebesar 140,76% dibandingkan kontrol. Berdasarkan hasil penelitian Agustina *et al.* (2024) bahwa penambahan *Pseudomonas fluorescens*

dapat meningkatkan daya hambat sebesar 20,5% dibandingkan perlakuan kontrol sebesar 0%. Hal tersebut disebabkan karena bakteri *P. fluorescens* dapat menghasilkan antibiotik penghambat sintesa protein sel, sehingga dapat merusak dinding sel dan menghambat pertumbuhan jamur (Diarta *et al.*, 2016).



Gambar 1. Pengaruh nanosuspensi Bio P60 terhadap daya hambat

Nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin (P3) tidak berpengaruh nyata terhadap berat kering miselium maupun terhadap kerapatan konidium jamur.

Berdasarkan nilai penghitungan dengan menggunakan haemocytometer menunjukkan perlakuan P3 memiliki nilai kerapatan yang terkecil dibandingkan dengan P2 (Bio P60) dan P1 (Propineb 70%), meskipun selisih nilai antara P2 dan P3 tidak berbeda jauh. Besaran nilai tersebut secara berurutan P3, P2, dan P1 adalah $21,5 \times 10^6$, $21,75 \times 10^6$, 39×10^6 . Menurut Maftuhah *et al.* (2019), Bakteri mempunyai kemampuan dalam menghasilkan antibiotik yang dapat mendegradasi kitin pada dinding sel jamur yang berpotensi menurunkan kerapatan konidium. Hasil yang tidak berpengaruh nyata dapat disebabkan karena jamur patogen yang diinokulasikan ke dalam media tanam belum berkembang dengan baik, hal ini disebabkan karena jamur patogen diproduksi di laboratorium dalam kondisi terkontrol, setelah diinokulasikan ke media tanam, jamur patogen perlu beradaptasi dengan lingkungan baru agar dapat tumbuh dan berkembang (Soesanto *et al.*, 2025). Selain itu juga dapat disebabkan oleh tingkat keparahan yang rendah sehingga pertumbuhan jamur rendah, dan adanya pengaruh penambahan input pestisida (Wulansari *et al.*, 2017).

Perlakuan P3 juga menunjukkan nilai terkecil dibandingkan dengan P2 dan P1 pada

penghitungan berat kering miselium, secara berurutan P3, P2, dan P1 yaitu 0,0086 g; 0,0213 g; 0,0313 g. Hal tersebut menunjukkan meskipun tidak berbeda nyata namun perlakuan P3 mampu mengurangi besaran nilai berat kering miselium. Hasil penelitian Saputri *et al.* (2020) juga menunjukkan hal yang sama yaitu bahwa pemberian bakteri dalam menangani penyakit busuk pelepah jagung dapat menurunkan bobot kering miselium hingga 0,0017 g dibandingkan kontrol sebesar 0,0956 g walaupun tidak berpengaruh nyata, bakteri mempunyai kemampuan dalam menghasilkan antibiotik yang dapat mendegradasi kitin pada dinding sel jamur yang berpotensi menurunkan bobot kering miselium.

Aplikasi nanosuspensi metabolit sekunder *Pseudomonas fluorescens* Bio P60 dengan maltodekstrin terhadap komponen patosistem tanaman cabai merah keriting secara *in planta*

Perlakuan nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin (F3) pada tanaman cabai merah keriting berpengaruh nyata terhadap semua komponen patosistem tanaman cabai merah keriting, yaitu masa inkubasi penyakit, intensitas penyakit dan kurva AUDPC (Tabel 4.)

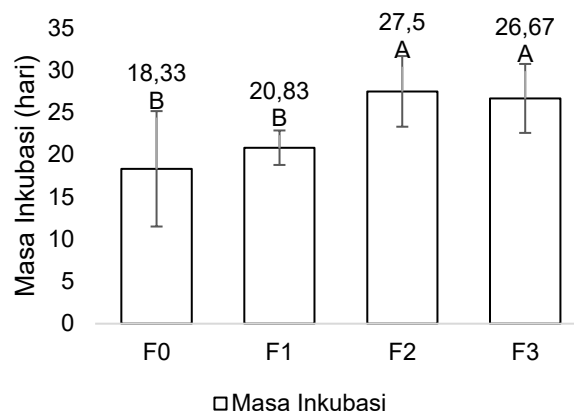
Perlakuan nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin (F3) terbukti dapat memperlambat masa inkubasi penyakit layu Fusarium sebesar 45,5% dibandingkan kontrol meskipun nilainya masih dibawah perlakuan Bio P60 murni (F2) Berdasarkan data diatas sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Agustina *et al.* (2022) bahwa penambahan *P. fluorescens* memiliki masa inkubasi layu Fusarium pada tanaman cabai rawit selama 38,81 Hari Setelah Inkubasi (HSI) dibandingkan kontrol saat 25,96 HSI. Hal tersebut dikarenakan *P. fluorescens* dapat menghasilkan senyawa antibiotik golongan peptida yang dapat meningkatkan daya hambat pertumbuhan patogen (Manan *et al.*, 2018). Senyawa-senyawa tersebut antara lain phenazine carboxylic acid (PCA), pyrrolnitrin, oomycin A, 2,4-diacetylphloroglucinol (Phl), dan pyoluteorin (Plt), senyawa antibiotik tersebut bekerja dengan cara menghambat pertumbuhan atau aktivitas patogen, mengurangi kemampuan patogen untuk

berkembang dan menyebabkan penyakit, sehingga dapat menunda masa inkubasi (Raio, 2024; Saeed *et al.*, 2021). Meskipun demikian, perlakuan F2 menunjukkan nilai lebih besar dibandingkan perlakuan F3. Hal ini disebabkan karena pada perlakuan F3 membutuhkan waktu pelepasan kandungan senyawa bioaktif yang lebih lama dibandingkan dengan perlakuan F2 melalui mekanisme pelepasan secara bertahap berdasarkan difusi (*Burst initiated sustained*) maupun secara konstan (Hao *et al.*, 2026; Rahman *et al.*, 2025; Siddiqui *et al.*, 2023). Lama waktu mekanisme pelepasan secara bertahap (*Burst initiated sustained*) tersebut antara hitungan menit hingga jam pada pelepasan awal kemudian akan stabil hingga hitungan hari (Wen *et al.*, 2025). Mekanisme pelepasan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: ukuran partikel, distribusi senyawa bioaktif, kerapatan matriks maltodekstrin, dan kondisi media pelepasan (Siddiqui *et al.*, 2023)

Tabel 4. Hasil sidik ragam & uji BNT pengaruh nanosuspensi P60 terhadap patosistem tanaman cabai merah keriting

Perlakuan	Variabel Patosistem					
	MI (hari)	E MI (%)	IP 7 MST (%)	E IP 7 MST (%)	AUDPC 6-7 MST (%/minggu)	E AUDPC 6-7 MST (%)
F0	18,33 B	0	25,08 A	0	125 A	0
F1	20,83 B	13,64	21,43 AB	14,55	101,58 AB	18,74
F2	27,5 A	50,03	18,43 B	26,52	89,79 B	28,17
F3	26,67 A	45,5	17,32 B	30,94	86,58 B	30,74

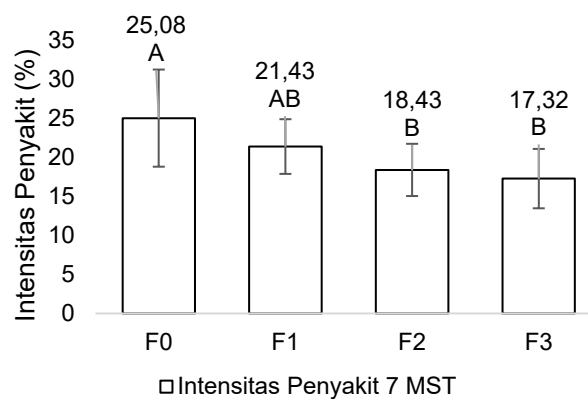
Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang berbeda pada variabel dan perlakuan yang sama menunjukkan berbeda nyata pada uji BNT 5%; F0= kontrol; F1=Propineb 70%; F2= BIO P60; F3= Nanosuspensi BIO P60 dengan maltodekstrin; MI= Masa Inkubasi; IP= Intensitas Penyakit; LI= Laju Infeksi; AUDPC= Area Under Disease Progress Curve; MST= Minggu Setelah Tanam; CV= Keragaman Koefisien



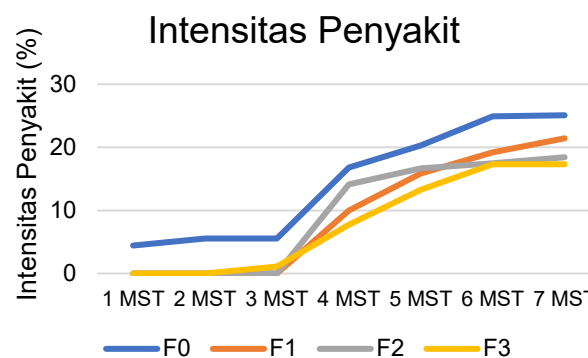
Gambar 2. Pengaruh nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin terhadap masa inkubasi

Nilai intensitas penyakit pada perlakuan F3 juga menunjukkan perbedaan yang nyata terhadap kontrol (F0) pada 7 MST (Gambar 3). Hal ini sejalan dengan masa inkubasi penyakit. Nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin mampu menurunkan intensitas penyakit layu *Fusarium* sebesar 30,94% pada 7 MST dibandingkan kontrol. Berdasarkan hasil pengamatan selama 1-7 MST intensitas penyakit pada perlakuan kontrol memiliki prosentase yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya (Gambar 3). Berdasarkan hasil penelitian Agustina *et al.* (2022) pada tanaman cabai rawit terhadap penyakit layu *Fusarium*, bahwa pemberian *P. fluorescens*

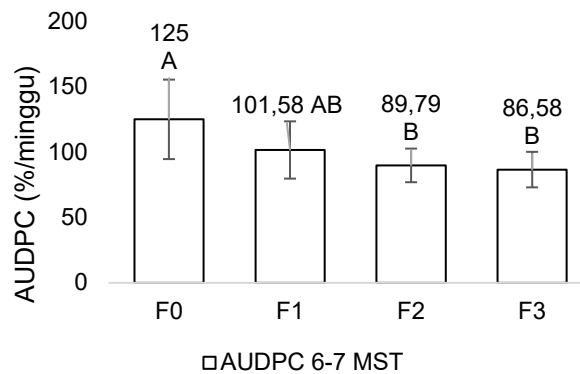
memiliki nilai intensitas penyakit yang rendah yaitu sebesar 79,17% dibandingkan dengan kontrol sebesar 100%. Hal ini disebabkan karena adanya kolonisasi oleh mikroorganisme antagonis di sekitar perakaran sehingga patogen sulit menembus system perakaran dan juga adanya kompetisi yang terjadi mikroorganisme antagonis dan patogen dalam memperebutkan ruang kolonisasi pada permukaan akar dan jaringan tanaman (Hamarawati *et al.*, 2017), selain itu *P. fluorescens* juga mampu menghasilkan enzim protease yang dapat mengganggu perkembangan patogen (Manan *et al.*, 2018)



Gambar 3. Pengaruh nanosuspensi Bio P60 terhadap intensitas penyakit pada 7 MST



Gambar 4. Intensitas penyakit layu *Fusarium* pada tanaman cabai merah keriting saat 1-7 MST.

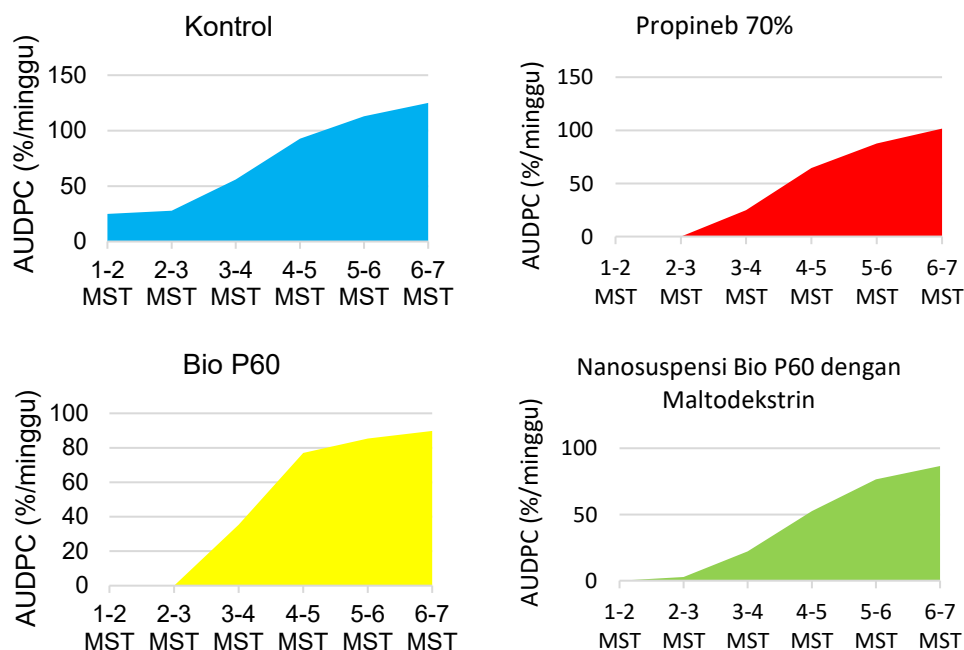


Gambar 5. Pengaruh nanosuspensi Bio P60 terhadap AUDPC pada 6-7 MST

Nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin (F3) berpengaruh terhadap AUDPC pada 6-7 MST (Tabel 4). Perlakuan F3 dapat menurunkan AUDPC layu Fusarium sebesar 30,74% pada 6-7 MST dibandingkan kontrol. Berdasarkan hasil pengamatan selama 1-7 MST, AUDPC pada perlakuan kontrol memiliki prosentase yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya (Gambar 5). Hal ini disebabkan oleh metabolit sekunder dalam Bio P60 menghasilkan antibiotik yang bersifat racun bagi jamur patogen sehingga mampu menurunkan AUDPC (Indrawan *et al.*, 2023). Rendahnya nilai AUDPC pada tanaman yang diberi perlakuan tersebut berkaitan dengan peran metabolit sekunder, selain mampu menekan perkembangan patogen *F. oxysporum* tetapi juga mampu

meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan penyakit (Anjali *et al.*, 2023).

Perlakuan kontrol menunjukkan nilai AUDPC yang tinggi. Hal tersebut dipengaruhi oleh cepatnya periode inkubasi dan tingginya intensitas penyakit (Soesanto *et al.*, 2025). Patogen parasit mudah menginfeksi dan merusak tanaman dalam kondisi yang terkendali, karena tidak adanya faktor-faktor yang menghambat perkembangan patogen, serta adanya patogen yang bersifat agresif (Jian *et al.*, 2024). Gejala penyakit muncul dengan cepat pada tanaman inang menunjukkan adanya kesesuaian antara tanaman inang dan patogen, sehingga menyebabkan tingkat penyakit dan nilai AUDPC menjadi tinggi (Bock *et al.*, 2022).



Gambar 6. AUDPC layu Fusarium pada tanaman cabai merah keriting saat 1-7 MST.

Aplikasi nanosuspensi metabolit sekunder *Pseudomonas fluorescens* Bio P60 dengan maltodekstrin terhadap komponen pertumbuhan tanaman cabai merah keriting secara *in planta*.

Nanosuspensi Bio P60 berpengaruh terhadap semua komponen pertumbuhan tanaman cabai keriting berupa tinggi tanaman, jumlah daun, dan waktu berbunga (Tabel 5.)

Tabel 5. Hasil sidik ragam & uji BNT pengaruh nanosuspensi Bio P60 terhadap pertumbuhan tanaman cabai merah keriting

Perlakuan	Variabel Pertumbuhan					
	TT 7 MST (cm)	E TT 7 MST (%)	JD 7 MST	E JD 7 MST (%)	WB (hari)	E WB (%)
F0	18,27 B	0	22,33 B	0	60,83 A	0
F1	18,43 B	0,88	26,67 B	19,44	58,33 A	4,11
F2	27,15 A	48,6	57,67 A	158,26	24,5 AB	59,72
F3	27,22 A	48,99	76,33 A	241,83	12,33 B	79,73

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang berbeda pada variabel dan perlakuan yang sama menunjukkan berbeda nyata pada uji BNT 5%; F0= kontrol; F1= Propineb 70%; F2= Bio P60; F3= Nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin; TT= Tinggi Tanaman; JD= Jumlah Daun; WB= Waktu Berbunga; MST= Minggu Setelah Tanam; CV= Keragaman Koefisien

Hasil sidik ragam & uji BNT (Tabel 5) menunjukkan bahwa variabel tinggi tanaman tanaman baik yang diberi perlakuan Nanosuspensi Bio P60 (F3) maupun Bio P60 murni (F2) berpengaruh nyata pada 7 MST dibandingkan kontrol (F0) (Gambar 8). Nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin dapat meningkatkan tinggi tanaman cabai merah keriting sebesar 52,26% pada 6 MST dan 48,99% pada 7 MST dibandingkan kontrol.

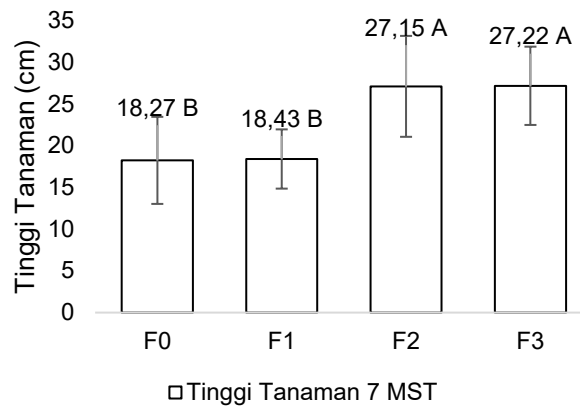
Berdasarkan hasil pengamatan selama 1-7 MST tinggi tanaman pada perlakuan nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin memiliki hasil yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya (Gambar 9). Perlakuan dengan pemberian Bio P60 (F2) maupun nanosuspensi Bio P60 (F3) berpengaruh nyata terhadap peningkatan pertumbuhan tanaman, hal tersebut dikaitkan dengan metabolit sekunder *Pseudomonas fluorescens* P60, yang mampu menghasilkan senyawa antibiotik untuk menekan penyakit layu Fusarium serta memproduksi hormon pertumbuhan tanaman. *P. fluorescens* termasuk dalam kelompok plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) (Saeed *et al.*,

2021) yaitu kemampuan untuk menghasilkan fitohormon berupa indole-3-acetic acid (IAA), yang terkandung dalam metabolit sekundernya dan berperan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman (Soesanto *et al.*, 2024). Hormon IAA tersebut adalah auksin-endogen, etilen dan asam absisat giberelin dan sitokinin yang berfungsi dalam pembesaran sel, penghambatan pertumbuhan pucuk lateral, stimulasi absisi, pembentukan jaringan xilem dan floem, serta pengaturan perkembangan dan pemanjangan akar. Keseluruhan proses tersebut berkontribusi terhadap peningkatan pertumbuhan tanaman (Taruna *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2022). Hal tersebut diatas sesuai dengan hasil penelitian Agustina *et al.* (2022) bahwa penambahan *Pseudomonas fluorescens* mampu meningkatkan tinggi tanaman cabai rawit pada umur 8 MST sebesar 22 cm dibandingkan kontrol sebesar 0 cm.

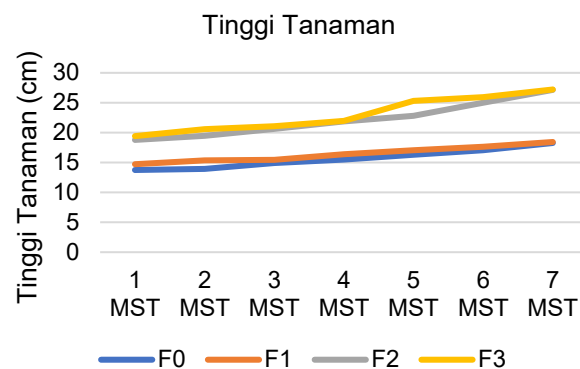
Aktivitas fitohormon tersebut mulai berkurang di fase vegetatif akhir (Deveshwar *et al.*, 2020). Hal tersebut menyebabkan pada 22 MST tidak berpengaruh nyata, karena tanaman sudah memasuki fase vegetatif akhir

Pertumbuhan tinggi tanaman akan berhenti dikarenakan meristem apikal beralih fungsi menjadi meristem reproduktif dan fotosintat

yang digunakan untuk pembentukan bunga (Fan et al., 2015).



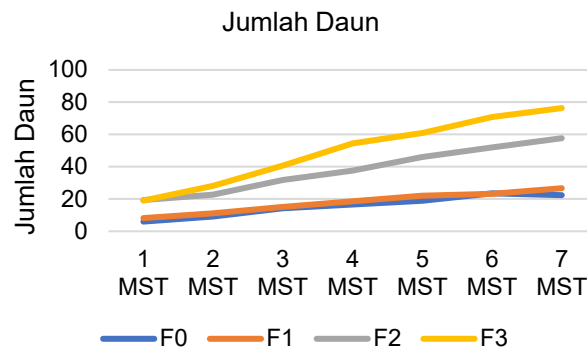
Gambar 7. Pengaruh nanosuspensi Bio P60 terhadap tinggi tanaman pada 7 MST



Gambar 8. Tinggi tanaman cabai merah keriting saat 1-7 MST

Perlakuan F3 (nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin) berpengaruh nyata terhadap jumlah daun pada pengamatan 7MST (Tabel 5). Nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin dapat meningkatkan jumlah daun cabai merah keriting sebesar 241,83% pada 7 MST dibandingkan kontrol. Berdasarkan hasil pengamatan selama 1-7 MST jumlah daun pada perlakuan nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin memiliki hasil yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya (Gambar 9). Berdasarkan

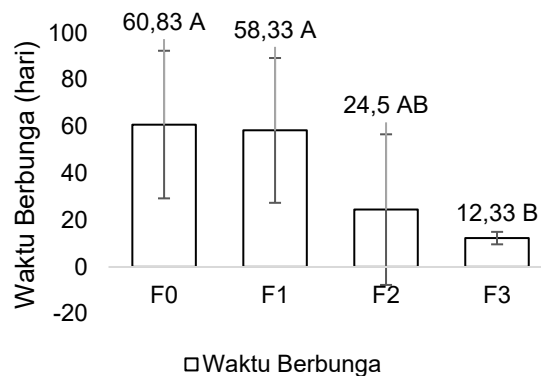
hasil penelitian Agustina *et al.* (2022) bahwa pemberian *P. fluorescens* pada tanaman cabai rawit yang berumur 8 MST mampu menambah jumlah helai daun sebanyak 8,67 helai daun dibandingkan kontrol sebanyak 0 helai daun. Hal tersebut masih terkait dengan peran metabolit sekunder dari *P. fluorescens* yang dapat menghasilkan fitohormon berupa auksin dan sitokinin yang berkemampuan merangsang pembentukan daun (Taruna *et al.*, 2024).



Gambar 9. Pengaruh nanosuspensi Bio P60 terhadap jumlah daun pada 7 MST

Nanosuspensi Bio P60 juga berpengaruh nyata terhadap waktu berbunga (Gambar 10). Nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin dapat mempercepat waktu berbunga cabai merah keriting sebesar 79,73% dibandingkan kontrol, yaitu sebesar 12,33 Hari, sedangkan kontrol memiliki waktu berbunga sebesar 60,83 Hari. Berdasarkan hasil penelitian Mursiana *et al.* (2021) bahwa penambahan *P. fluorescens* mampu

mempercepat waktu berbunga cabai besar sebesar 42,13 Hari Setelah Tanam (HST) dibandingkan kontrol yang membutuhkan waktu lebih lama yaitu 55,25 HST. *Pseudomonas fluorescens* kaitannya dengan metabolit sekunder memiliki aktivitas sebagai pelarut fosfat yang dapat menyediakan unsur hara P untuk diserap tanaman sehingga memacu pembungaan (Taruna *et al.*, 2024).



Gambar 10. Pengaruh nanosuspensi P60 terhadap waktu berbunga

Pemberian metabolit sekunder *P. fluorescens* dalam bentuk Bio P60 formula nanosuspensi menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap kontrol dan memiliki nilai yang paling tinggi dari semua perlakuan terhadap komponen pertumbuhan (tinggi tanaman, jumlah daun, dan waktu berbunga). Penambahan maltodekstrin sebagai *nanocarrier* dalam formulasi nanosuspensi Bio P60 mampu bersinergi dengan metabolit sekunder *P. fluorescens* yang terkandung dalam Bio P60 terhadap peningkatan pertumbuhan tanaman, karena maltodekstrin berasal dari hidrolisis pati yang merupakan bentuk dari karbohidrat

yang bersifat hidrofobik sehingga mudah larut dan tersebar (Olechno *et al.*, 2021), selain itu maltodekstrin juga mampu berperan sebagai agen *anti-caking* yang bersifat stabil (Alibekov *et al.*, 2025) sehingga aman dalam system penghantaran protein (Barthold *et al.*, 2019) serta mampu melindungi bahan aktif yang terkandung di dalamnya (Parvez *et al.*, 2022). Penerapan teknologi nano dengan maltodekstrin sebagai carrier menyebabkan jenis material pada skala ini menunjukkan sifat yang berbeda dari bentuk massanya karena pengaruh permukaan dan pembatasan kuantum yang berbeda pula.

Pengaruh ini berkaitan dengan peningkatan rasio antara area permukaan dan volume material yang dapat meningkatkan sifat tekstur seperti luas permukaan spesifik dan porositas material tersebut (Bruckmann *et al.*, 2022) memungkinkan terbentuknya nanopartikel polimerik yang berukuran kecil dan homogen, sehingga menunjukkan distribusi ukuran yang seragam (Horoiwa *et al.*, 2017) Hal tersebut menyebabkan formula nanosuspensi Bio P60 mudah terserap dalam jaringan tanaman dan terbawa dalam system pembuluh, sehingga mampu mendorong pertumbuhan tanaman cabai merah keriting secara optimal.

Uji Kandungan Fitokimia

Berdasarkan uji kandungan fitokimia secara kualitatif (Tabel 6) dan kuantitatif dengan alat

spektrofotometri (Tabel 7), menunjukkan adanya keberadaan senyawa-senyawa fenol berupa Saponin, Tanin, Glikosida, dan Hidroquinon dalam jaringan tanaman cabai merah keriting yang diambil dari ekstraksi daun bagian tengah tanaman. Perlakuan nanosuspensi BioP60 menunjukkan kadar Saponin dan Tanin yang paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Keberadaan senyawa fenol dalam jaringan tanaman mampu menguatkan dinding sel sebagai mekanisme pertahanan terhadap stress (biotik/abiotik), menstabilkan Reactive Oxygen Species (ROS) dan menghambat pertumbuhan patogen (Devarajan *et al.*, 2021; Saini *et al.*, 2024). Mulyani *et al.* (2022) menambahkan, adanya aktivitas fenol tersebut akan mengganggu dinding sel (peptidoglikan), merusak membran sel patogen, sehingga mengganggu permeabilitas sel yang menyebabkan kebocoran enzim protein, dan akhirnya patogen mengalami lisis.

Tabel 6. Uji kualitatif fitokimia pada tanaman cabai merah keriting

Perlakuan	Saponin	Tanin	Glikosida	Hidroquinon
F0	+	++	++	+
F1	+	+	+	+
F2	++	++	++	+
F3	+++	+++	+++	++

Keterangan: + = terdapat senyawa tersebut pada tanaman cabai merah keriting; F0= kontrol; F1= Antracol; F2= Bio P60; F3= Nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin

Tabel 7. Uji kualitatif fitokimia pada tanaman cabai merah keriting

Perlakuan	Saponin	Tanin	Glikosida	Hidroquinon
F0	0,206	1,116	1,567	1,378
F1	0,216	0,716	1,315	0,912
F2	0,316	1,246	1,433	0,206
F3	0,348	1,568	1,802	0,520

Keterangan: F0= kontrol; F1= Antracol; F2= Bio P60; F3= Nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin

SIMPULAN

Uji PSA nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin menunjukkan ukuran 396.33 nm dengan nilai indeks polidispersitas 0.5119. Nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin meningkatkan daya hambat sebesar 140,76% terhadap pertumbuhan patogen *Fusarium*.

Nanosuspensi Bio P60 dengan maltodekstrin memperlambat masa inkubasi layu *Fusarium* sebesar 45,5% dibandingkan kontrol dan mampu menurunkan intensitas penyakit layu *Fusarium* sebesar 30,94% pada 7 MST dibandingkan kontrol. Nanosuspensi

Bio P60 dengan maltodekstrin dapat meningkatkan tinggi tanaman sebesar 48,99% pada 7 MST dibandingkan kontrol, jumlah daun sebesar 241,83% pada 7 MS dibandingkan kontrol, dan mampu mempercepat waktu berbunga cabai merah keriting sebesar 79,73% dibandingkan kontrol. Jaringan tanaman cabai merah keriting terbukti mengandung senyawa-senyawa Fenol seperti Saponin, Tanin, Glikosida, dan Hidroquinon yang berperan dalam mekanisme pertahanan terhadap patogen penyebab penyakit layu *Fusarium* dan terhadap pertumbuhan tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Abada, K. A., Mohamed, A., Attia, F., & El-fiki, I. A. (2018). Bacterial Bioagents and Compost as Two Tools for Management of Eggplant Fusarium Wilt. *Frontiers in Environmental Microbiology*, 4(1), 1–10. <https://doi.org/10.11648/j.fem.20180401.11>
- Abobatta, W. F. (2018). Nanotechnology Application in Agriculture. *Acta Scientific Agriculture*, 2(6), 99–102. <https://badanpangan.go.id/wiki/badan-pangan-nasional>
- Agustina, N., Purnawati, A., & Prasetyawati, E. T. (2022). Potensi Konsorsium *Bacillus* spp. dan *Pseudomonas fluorescens* untuk Mengendalikan Penyakit Layu Fusarium pada Tanaman Cabai Rawit. *Plumula*, 10(1), 1–8.
- Agustina, N., Purnawati, A., Prasetyawati, E. T., & Lestari, S. R. (2024). Efikasi Konsorsium *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas fluorescens* terhadap Layu Fusarium pada Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Jurnal Agrotek Tropika*, 12(3), 578–583.
- Alibekov, R. S., Aitbayeva, A. Z., Khamitova, B. M., Azimov, A. M., Sulaiman, A., Mustapa, K. S. M., & Taip, F. S. (2025). Effects of Maltodextrin in Freeze Drying on The Physical and Functional Properties of Different Type of Milk Powder. *Cogent Food & Agriculture*, 11(1), 1–10.
- Alwan, Z. S., & Rajab, N. A. (2024). Preparation and Characterization of Febuxostat as Nanosuspension. *Iraqi Journal of Pharmaceutical Sciences*, 33(4), 261–270.
- Anjali, Kumar, S., Korra, T., Thakur, R., Arutselvan, R., & Keswani, C. (2023). Plant Stress Role of plant secondary metabolites in defence and transcriptional regulation in response to biotic stress ☆. *Plant Stress*, 8(March), 100154. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100154>
- Badan Pangan Nasional. (2025). *Badan Pangan Nasional Upayakan Penstabilan Harga Cabai dengan GPM dan FDP*. <https://badanpangan.go.id/wiki/badan-pangan-nasional>
- Bai, A. T., Ruth, C., Gopal, K., Arunodhayam, K., Priya, B. T., & Ramakrishna, M. (2018). Survey and Identification of Fusarium Wilt Disease in Chilli (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(06), 1073–1078. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.706.127>
- Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibensouda, S. K. (2016). Methods for in Vitro Evaluating Antimicrobial Activity: A Review. *J. Pharm. Anal.*, 6, 71–79.
- Barthold, S., Hittinger, M., Primavessy, D., Zapp, A., Grob, H., & Schneider, M. (2019). Preparation of Maltodextrin Nanoparticles and Encapsulation of Bovine Serum Albumin-influence of Formulation Parameters. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 142, 405–410.
- Bruckmann, F., Schnorr, C. E., da Rosa Salles, T., Nunes, F. B., Baumann, L., Müller, E. I., & Bohn Rhoden, C. R. (2022). Highly Efficient Adsorption of Tetracycline Using Chitosan-Based Magnetic Adsorbent. *Polymers*, 12(44), 4854.
- Cameron, R. R., Febrianni, A., & Yusticia, S. R. (2024). Insidensi dan Keparahan Penyakit Bercak Daun Disebabkan oleh *Curvularia* sp. pada Pembibitan Kelapa Sawit di Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan. *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, 12(1), 1–10.
- Curl, C. L., Spivak, M., Phinney, R., & Montrose, L. (2020). Synthetic Pesticides and Health in Vulnerable Populations: Agricultural Workers. *Current Environmental Health Reports*, 7, 13–29.
- Devarajan, Y., Nalla, B. T., Babu, M. D., Subbiah, G., Mishra, R., & Vellaiyan, S. (2021). Analysis on Improving The Conversion Rate and Waste Reduction on Bioconversion of *Citrullus lanatus* Seed Oil and Its Characterization. *Sustainable Chemicty and Pharmacy*, 22, 100497.

- Deveshwar, P., Prusty, A., Sharma, S., & Tyagi, A. K. (2020). *Phytohormone-Mediated Molecular Mechanisms Involving Multiple Genes and QTL Govern Grain Number in Rice*. 11(November).
<https://doi.org/10.3389/fgene.2020.586462>
- Diarta, I. M., Javandira, C., & Widnyana, I. K. (2016). Antagonistik Bakteri *Pseudomonas* spp. dan *Bacillus* spp. terhadap Jamur *Fusarium oxysporum* Penyebab Penyakit Layu Tanaman Tomat. *Jurnal Bakti Saraswati*, 5(1), 70–76.
- Droby, S., Wisniewski, M., Teixidó, N., Spadaro, D., & Jijakli, M. H. (2016). The Science, Development, and Commercialization of Postharvest Biocontrol Products. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 22–29.
- Fan, T., Li, X., Yang, W., Xia, K., Ouyang, J., & Zhang, M. (2015). *Rice osa-miR171c Mediates Phase Change from Vegetative to Reproductive Development and Shoot Apical Meristem Maintenance by Repressing Four OsHAM Transcription Factors*. 1–24.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125833>
- Fasquelle, F., Scuotto, A., Howsam, M., & Betbeder, D. (2024). Maltodextrin-Nanoparticles as a Delivery System for Nasal Vaccines: a Review Article. *Pharmaceutics*, 16(2), 1–16.
- Gabrekiristos, E., Demiyo, T., Teshome, D., & Ayana, G. (2020). Hot Pepper *Fusarium Wilt* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *capsici*): Epidemics, Characteristic Features and Management Options. *Journal of Agricultural Science*, 12(10), 347.
- Gita, M. P., Dewi, R. S., & Sari, A. A. (2020). Optimasi Waktu Inkubasi dan pH *Ganoderma* sp. dari Kebun Raya Baturraden untuk Dekolorisasi RBBR. *BioEksakta: Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed*, 2(1), 131–137.
- Hamarawati, E., Mugiastuti, E., Manan, A., Loekito, S., & Soesanto, L. (2017). Applications of *Pseudomonas fluorescens* P60 in Controlling Basal Stem Rot (*Sclerotium rolfsii* Sacc.) on Dragon Fruit Seedlings. *Asian Journal of Plant Pathology*, 12(1), 1–6.
<https://doi.org/10.3923/ajppaj.2018.1.6>
- Hao, M., Tan, X., Liu, K., & Xin, N. (2026). *Nanoencapsulation of nutraceuticals: enhancing stability and bioavailability in functional foods*. January, 1–30.
<https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1746176>
- Hapsari, E., Soesanto, L., & Mugiastuti, E. (2021). Viabilitas dan Virulensi Tujuh Belas Tahun Penyimpanan *Fusarium oxysporum* Schlecht. f. sp. *zingiberi* Trujillo dalam Tanah Steril. *Media Pertanian*, 6(2), 72–84.
- Horoiiwa, T. A., Oliveira, A. M., & Cerize, N. P. N. (2017). Development of Polymeric Colloidal Nanocarrier Based on Maltodextrin. *Revista IPT: Tecnologia e Inovação*, 1(4), 74–83.
- Indrawan, T., Sudantha, I. M., & Astiko, W. (2023). Pengaruh Dosis Biofungisida Legundi (*Vitex trifolia*) Fermentasi *Trichoderma* terhadap Insiden Penyakit Layu *Fusarium* pada Beberapa Varietas Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agrokomplek*, 2(1), 26–36.
- Jiang, X., Yang, F., Jia, W., Jiang, Y., Wu, X., Song, S., ..., & Shen, J. (2024). Nanomaterials and nanotechnology in agricultural pesticide delivery: a review. *Langmuir*, 40(36), 18806–18820.
- Julan, M., Leswana, N. F., & Linden, S. (2023). Identification of Hydroquinone Content in Whitening Cream Circulated in Segiri Market Samarinda City Using Uv-Visible Spectrophotometry Method. *Pharmacon*, 12(2), 244–250.
- Kahli, H., Béven, L., Grauby-Heywang, C., Debez, N., Gammoudi, I., Moroté, F., & Cohen-Bouhacina, T. (2022). Impact of Growth Conditions on *Pseudomonas fluorescens* Morphology Characterized by Atomic Force Microscopy. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(17), 9579.
- Kastilong, E. B., Lengkong, M., & Engka, R. (2022). Uji Patogenisitas Jamur Entomopatogen *Beauveria bassiana* Bals. terhadap Walang Sangit *Leptocorisa acuta* Thunb. pada

- Tanaman Padi. *Cocos*, 14, 3.
- Kurniawan, D. W., Booiijink, R., Pater, L., Wols, I., Vrynas, A., Storm, G., Prakash, J., & Bansal, R. (2020). ibroblast Growth Factor 2 Conjugated Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles (FGF2-SPIONs) Ameliorate Hepatic Stellate Cells Activation in Vitro and Acute Liver Injury in Vivo. *Journal of Controlled Release*, 328, 640–652.
- Kurniawan, D. W., Jajoriyac, A. K., Dhawanc, G., Mishrac, D., Argemid, J., Batallerd, R., Storma, G., Mishrac, E., Prasad, D., Prakasha, Bansal, J., & Ruchi. (2018). Therapeutic Inhibition of Spleen Tyrosine Kinase in Inflammatory Macrophages Using PLGA Nanoparticles for The Treatment of Non-alcoholic Steatohepatitis. *Journal of Controlled Release*, 288, 227–238. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2018.09.004>
- Maftuhah, A. N., Susanti, A., & Febrianti, R. (2019). Uji Efektivitas Sifat Aantagonisme Lima Isolat Lokal *Trichoderma* spp. terhadap *Fusarium* sp. *Agrosaintifika*, 1(1), 1–5.
- Manan, A., Mugiastuti, E., & Soesanto, L. (2018). Kemampuan Campuran *Bacillus* sp., *Pseudomonas fluorescens*, dan *Trichoderma* sp. untuk Mengendalikan Penyakit Layu Bakteri pada Tanaman Tomat. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 14(2), 63–68.
- Menge, Y., Patil, D. P., Gadhave, A., Giri, V., & Phondekar, U. (2020). Integrated Disease Management for Chilli Wilt Caused by *Fusarium oxysporum* F. Sp. capsici, in Wilt Sick Pots. *International Journal of Chemical Studies*, 8(4), 2114–2117. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i4w.9939>
- Mulyani, E., Herlina, Winni Fauziah, D., & Fatkhil Haque, A. (2022). Perbandingan Kadar Kafein pada Jenis Kopi Hasil Perkebunan Bengkulu dengan Metode Spektrofotometri Ultraviolet. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Education*, 2(2), 86–93.
- Mursiana, Aidawati, N., & Adriani, D. E. (2021). Kemampuan *Pseudomonas* Kelompok *fluorescens* dalam Meningkatkan Ketahanan Terhadap Infeksi Virus Keriting Kuning serta Memacu Pertumbuhan Tanaman Cabai Besar. *EnviroSciencieae*, 17(3), 47–60.
- Nurosid, I. S., Nurdiana, D., & Tauhid, A. (2018). Pengaruh Berbagai Konsentrasi Larutan Agen Hayati terhadap Serangan Penyakit Bercak Ungu (*Alternaria porri*), Pertumbuhan dan Hasil Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) Varietas Tuk-Tuk. *Jagros: Jurnal Agroteknologi Dan Sains (Journal of Agrotechnology Science)*, 3(1), 39–50. doi: <https://doi.org/10.52434/jagros.v3i1.452>
- Olechno, K., Basa, A., & Winnicka, K. (2021). “Success Depends on Your Backbone”—About the Use of Polymers as Essential Materials Forming Orodispersible Films. *Materials*, 14, 1–27.
- Parvez, S., Wani, Ahmed, Idrees, & F.A., M. (2022). Nanoencapsulation of green tea extract using maltodextrin and its characterisation. *Food Chemistry*, 384, 132579.
- Peter, H., Waqas, P., Malik, A., Bischoff, R., El, A., Christian, H., Erik, J., Roland, S., Georg, G., & Ralf, P. (2024). Efficacy assessment in crop protection : a tutorial on the use of Abbott ' s formula. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 131(6), 2139–2160. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00968-0>
- Rahman, M., Teimouri, S., Roy, P. R., Raposo, A., Alturki, H. A., & Kasapis, S. (2025). *Strategies for Regulating the Release Kinetics of Bioactive Compounds from Biopolymeric Hydrogels*. 1–38.
- Raio, A. (2024). Diverse Roles Played by “*Pseudomonas fluorescens* Complex” Volatile Compounds in Their Interaction with Phytopathogenic Microorganisms, Pests and Plants. *World J Microbiol Biotechnol*, 40, 80. doi: <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03873-0>
- Ramadhani, D. E., & Lesmanawati, W. (2021). Evaluasi Coating Mateials untuk Melindungi Bakteri Probiotik

- Pseudoalteromonas piscicida* Selama Proses Mikroenkapsulasi dan Penyimpanan. *Jurnal Mina Sains*, 7(2), 52–61.
- Saeed, Q., Xiukang, W., Haider, F. U., Kučerik, J., Mumtaz, M. Z., Holatko, J., Naseem, M., Kintl, A., Ejaz, M., Naveed, M., Brtnicky, M., & Mustafa, A. (2021). Rhizosphere Bacteria in Plant Growth Promotion, Biocontrol, and Bioremediation of Contaminated Sites: A Comprehensive Review of Effects and Mechanisms. *Int J Mol Sci*, 22(91), 10529. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms221910529>.
- Safrida, Wulandari, N. A. R., & Supriatno. (2020). Pemberian Insektisida Alami dari Ekstrak Nanoemulsi Daun Ketumpang (*Tridax procumbens* L.) untuk Pengendalian Perilaku dan Kematian Ulat Krop (*Crociodolomia pavonana* F.) pada Tanaman Sawi. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(2), 199–204.
- Saini, N., Anmol, Kumar, S., Wani, A. W., Bakshi, M., & Dhiman, Z. (2024). Exploring Phenolic Compounds as Stress Alleviators in Plants: A Comprehensive Review. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 133, 102383.
- Saputri, A., Soesanto, L., Umayah, A., & Sarjito, A. (2020). Eksplorasi dan Uji Virulensi Bakteri *Bacillus* sp. Endofit Jagung terhadap Penyakit Busuk Pelelah Jagung. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 22(2), 70–78.
- Setiadi. (2015). *Bertanam Cabai di Lahan dan Pot* (2nd ed.). Penebar Swadaya Grup. https://books.google.co.id/books/about/Bertanam_Cabai_di_Lahan_dan_Pot.html?id=BFx6CgAAQBAJ&redir_esc=y
- Sholihah, S. M., Banu, L. S., Nuraini, A., & Piguno, P. A. (2020). Kajian Perbandingan Analisa Usaha Tani serta Produktivitas Tanaman Cabai Rawit di dalam Polibag dan di Lahan Pekarangan. *Urnal Ilmiah Respati*, 11(1), 13–23. doi: <https://doi.org/10.52643/jir.v11i1.844>
- Siddiqui, S. A., Singh, S., Bahmid, N. A., Mehany, T., Shyu, D. J. H., Assadpour, E., Malekjani, N., & Castro-muñoz, R. (2023). *Release of Encapsulated Bioactive Compounds from Active Packaging / Coating Materials and Its Modeling : A Systematic Review*.
- Soesanto, L., Dwijayanto, H., Mugiastuti, E., & Manan, A. (2022). Application of Secondary Metabolites of Two *Pseudomonas fluorescens* Isolates to Control Bacterial Wilt of Potato. *KnE Life Sciences*, 2022, 278–293. <https://doi.org/10.18502/kls.v7i3.111130>
- Soesanto, L., Nuraini, I. V., Sastyawan, M. W. R., Mugiastuti, E., Leana, N. W. A., & Rahayuniati, R. F. (2024). Application of Bio P60 and Bio T10 alone or in combination to control *Fusarium* wilt of Hydroponic Melon. *Journal of Tropical Plant Pests and Diseases*, 24(2), 203–215. <https://doi.org/10.23960/jhptt.224203-215>
- Soesanto, L., Saputra, D. A., Sastyawan, M. W. R., Mugiastuti, E., Suprpto, A., & Rahayuniati, R. F. (2023). Secondary Metabolites of The Granular form of *Pseudomonas fluorescens* P60 and its Applications to Control Tomato Bacterial Wilt. *Biodiversitas*, 24(4), 2475–2482. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240463>
- Soesanto, L., Yusup, A. M., Sastyawan, M. W. R., Mugiastuti, E., & Suharti, W. S. (2025). Effects of Biocontrol Product Bio P60 and Liquid Organic Fertilizer on The Development of *Fusarium* Wilt and Yield of Shallot. *PLANTA TROPIKA*, 13(1), 65–80.
- Stracquadanio, C., Quiles, J. M., Meca, G., & Cacciola, S. O. (2020). Antifungal Activity of Bioactive Metabolites Produced by *Trichoderma asperellum* and *Trichoderma atroviride* in Liquid Medium. *J. Fungi*, 6, 263.
- Sumarni, E., Soesanto, L., Herliana, O., Leana, N. W. A., Zulkifli, L., Priswanto, & Purnomo, W. H. (2024). Bimbingan Teknis Pembuatan Pestisida Organik untuk Mengendalikan Penyakit Tanaman Sayur Dataran Tinggi Ramah Lingkungan. *Journal Terapan Abdimas*, 21(7), 2934–2945.
- Suprianto, Purwanto, Poromarto, S. H., & Supyani. (2020). Evaluation of in Vitro Antagonistic Activity of Fungi from Peatlands Against *Ganoderma* Species

- under Acidic Condition. *Biodiversitas*, 21(7), 2935-2945.
- Taba, P., Parmitha, N. Y., & Kasim, S. (2019). Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Salam (*Syzygium polyanthum*) sebagai Bioreduktor dan Uji Aktivitasnya sebagai Antioksidan. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 7(1), 51–60. doi: <https://doi.org/10.30598/ijcr.2019.7-ptb>
- Taruna, A., Aini, L. Q., & Syib'li, M. A. (2024). Potensi Bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas fluorescens* dalam Menginduksi Ketahanan Tanaman Tomat terhadap Penyakit Layu *Fusarium*. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan*, 12(2), 111–123.
- Usman, M., Farooq, M., Wakeel, A., Nawaz, A., Cheema, S. A., Ur Rehman, H., & Sanaullah, M. (2020). Nanotechnology in Agriculture: Current Status, Challenges and Future Opportunities. *Science of the Total Environment*, 721, 137778.
- Wang, D., Saleh, N. B., Byro, A., Zepp, R., Sahle-Demessie, E., Luxton, T. P., ..., & Su, C. (2022). Nano-enabled pesticides for sustainable agriculture and global food security. *Nature Nanotechnology*, 17(4), 347–360.
- Watson, T. T., Forge, T. A., & Nelson, L. M. (2018). *Pseudomonads* Contribute to Regulation of *Pratylenchus penetrans* (Nematoda) Populations on Apple. *Canadian Journal of Microbiology*, 64(11), 775–785.
- Wen, C., Tang, J., Cao, L., Fan, M., Lin, X., Liu, G., Liang, L., Liu, X., Zhang, J., Li, Y., & Xu, X. (2025). *Strategic Approaches for Co-Encapsulation of Bioactive Compounds: Technological Advances and Mechanistic Insight*. 1–45.
- Wijiningrum, R. (2017). Aplikasi Metabolit Sekunder Dua Isolat *Pseudomonas fluorescens* terhadap Penyakit Pembuluh Kayu pada Tanaman Kakao. *Skripsi, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto*.
- Wu, B., He, T., Wang, Z., Qiao, S., Wang, Y., Xu, F., & Xu, H. (2020). Insight into The Mechanisms of Plant Growth Promoting Strain SNB6 on Enhancing The Phytoextraction in Cadmium Contaminated Soil. *Journal of Hazardous Materials*, 385, 121587.
- Wulansari, N. K., Prihatiningsih, N., & Djatmiko, H. A. (2017). Mekanisme Antagonis Lima Isolat *Bacillus subtilis* terhadap *Colletotrichum capsici* dan *C. gloeosporioides* in Vitro. *Agrin*, 21(2), 127–139.
- Yulia, E. Y., Istifadah, N., Widiyanti, F., & Utami, H. S. (2017). Antagonisme *Trichoderma* spp. terhadap Jamur *Rigidoporus lignosus* (Klotzsch) Imazeki dan Penekanan Penyakit Jamur Akar Putih pada Tanaman Karet. *Agrikultura*, 28(1), 47–55.
- Zhang, Q., Gong, M., Xu, X., Li, H., & Deng, W. (2022). Roles of Auxin in the Growth, Development, and Stress Tolerance of Horticultural Plants. *MDPI, Basel, Switzerland*, 11, 2761. <https://doi.org/10.3390/cells11172761>