

Efektivitas Gelombang Mikro dan Isolat Lokal *Trichoderma* sp. serta *Gliocladium* sp. dalam Menurunkan Infeksi *Aspergillus flavus* pada Biji Jagung

Effectiveness of microwave treatment and local isolates of *Trichoderma* sp. and *Gliocladium* sp. in reducing *Aspergillus flavus* infection on maize kernels

SALMA NURHALIZA¹⁾, SALAMIAH SALAMIAH¹⁾*

¹⁾Program Studi Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Jl. Jenderal Achmad Yani KM 35,5 - 36, Kota Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714, Indonesia.

*email : salamiah@ulm.ac.id

Manuscript received: May 05, 2026 Revision accepted: June 28, 2026

ABSTRACT

Contamination of corn kernels by *Aspergillus flavus* is a major concern due to its ability to produce aflatoxins, which pose significant risks to human health and reduce agricultural product quality. Environmentally friendly alternatives to chemical control are therefore needed. This study evaluated the effectiveness of microwave treatment with antagonistic fungi, namely *Trichoderma* sp. and *Gliocladium* sp., to suppress the growth of *A. flavus* on corn kernels. The experiment was arranged in a Completely Randomized Design (CRD) with five treatments and five replications. Parameters observed included inhibition rate, infection rate, and seed germination. The results demonstrated that microwave treatment reduced the infection rate to 4.40 compared to 7.40 in the control. Application of *Trichoderma* sp. resulted in growth inhibition percentage ranging from 23.54% to 26.30% and decreased infection to 4.20%. The best performance was observed with *Gliocladium* sp., which achieved the highest inhibition (31.30%) and the lowest infection rate (2.40), while also enhancing seed germination and shoot growth. Among the treatments evaluated, *Gliocladium* sp. showed the highest effectiveness in suppressing *A. flavus* infection on corn kernels. Microwave treatment and *Trichoderma* sp. also reduced infection and may serve as alternative control approaches. Further studies are needed to evaluate their effectiveness under field conditions and to investigate the potential benefits of combined applications.

Keyword: *Aspergillus flavus*, corn seeds, microwave, *Gliocladium* sp., *Trichoderma* sp.

ABSTRAK

Kontaminasi biji jagung oleh *Aspergillus flavus* merupakan masalah utama karena kemampuannya menghasilkan aflatoksin, yang menimbulkan risiko signifikan bagi kesehatan manusia dan menurunkan kualitas produk pertanian. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif pengendalian yang ramah lingkungan. Penelitian ini mengevaluasi efektivitas perlakuan gelombang mikro dengan jamur antagonis, yaitu *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp., untuk menekan pertumbuhan *A. flavus* pada biji jagung. Percobaan disusun dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan lima perlakuan dan lima ulangan. Parameter yang diamati meliputi tingkat penghambatan, tingkat infeksi, dan perkecambahan biji. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan gelombang mikro menurunkan tingkat infeksi menjadi 4,40 dibandingkan dengan 7,40 pada kontrol. Aplikasi *Trichoderma* sp. menghasilkan tingkat penghambatan berkisar antara 23,54% hingga 26,30% dan menurunkan infeksi menjadi 4,20%. Performa terbaik diamati pada *Gliocladium* sp., yang mencapai penghambatan tertinggi (31,30%) dan tingkat infeksi terendah (2,40%), serta mampu meningkatkan perkecambahan benih dan pertumbuhan tunas. Perlakuan gelombang mikro dan *Trichoderma* sp. juga mampu menurunkan tingkat infeksi dan berpotensi sebagai metode pengendalian alternatif. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi efektivitasnya pada kondisi lapangan serta mengkaji potensi manfaat dari aplikasi kombinasi.

Kata Kunci : *Aspergillus flavus*, biji jagung, gelombang mikro, *Gliocladium* sp., *Trichoderma* sp.

PENDAHULUAN

Jagung (*Zea mays* L.) merupakan salah satu komoditas pangan penting di Indonesia setelah padi, yang berperan sebagai sumber karbohidrat utama serta bahan baku industri dan pakan ternak. Tingginya kebutuhan jagung menyebabkan peningkatan produksi, namun kualitas hasil sering menurun akibat serangan patogen, khususnya cendawan. Salah satu cendawan yang sering menginfeksi biji jagung adalah *Aspergillus flavus*, yang dikenal sebagai penghasil aflatoksin berbahaya bagi kesehatan manusia dan hewan. Kontaminasi aflatoksin tidak hanya menurunkan mutu hasil pertanian, tetapi juga berdampak pada keamanan pangan dan nilai ekonomi produk (Kinyungu *et al.*, 2019)

Infeksi *A. flavus* pada jagung umumnya terjadi sejak di lapangan hingga tahap penyimpanan (Salamiah *et al.*, 2025), terutama pada kondisi lingkungan dengan kelembaban tinggi dan kadar air biji yang tinggi. Kondisi iklim tropis di Indonesia sangat mendukung pertumbuhan cendawan ini, sehingga risiko kontaminasi menjadi lebih besar. Selain itu, penanganan pascapanen yang kurang tepat, seperti pengeringan yang tidak optimal dan penyimpanan yang tidak memadai, dapat mempercepat perkembangan cendawan serta produksi aflatoksin (Zheng *et al.*, 2024). Oleh karena itu, diperlukan upaya pengendalian yang efektif untuk menekan pertumbuhan *A. flavus* pada biji jagung.

Pengendalian patogen pada tanaman hingga saat ini masih didominasi oleh penggunaan pestisida kimia. Akan tetapi, aplikasi pestisida secara intensif dan berkelanjutan dapat menimbulkan berbagai dampak negatif, seperti pencemaran lingkungan, gangguan terhadap kesehatan manusia, serta memicu munculnya resistensi pada patogen. Kondisi tersebut mendorong pengembangan metode pengendalian alternatif yang lebih aman, efektif, dan ramah lingkungan (Tudi *et al.*, 2021). Salah satu pendekatan yang mulai banyak dikembangkan adalah pemanfaatan gelombang mikro sebagai metode pengendalian secara fisik. Gelombang mikro bekerja melalui mekanisme pemanasan dielektrik (*dielectric heating*) yang menghasilkan pemanasan secara cepat, sehingga mampu merusak struktur sel mikroorganisme, menurunkan viabilitas patogen, serta tidak meninggalkan residu kimia pada bahan yang diberi perlakuan (Sarjani *et al.*, 2024).

Selain pendekatan fisik, pemanfaatan cendawan antagonis sebagai agen pengendali hayati juga menjadi salah satu strategi yang menjanjikan dalam menekan perkembangan patogen tanaman. *Trichoderma* sp. diketahui memiliki kemampuan menghambat pertumbuhan patogen melalui berbagai mekanisme, seperti kompetisi ruang dan nutrisi, antibiosis, serta mikroparasitisme (Poveda, 2021). Di sisi lain, *Gliocladium* sp. juga dilaporkan efektif dalam menekan berbagai patogen tanaman melalui produksi metabolit antimikroba yang berperan dalam menghambat pertumbuhan dan perkembangan patogen (Ilmi *et al.*, 2024). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kedua cendawan tersebut mampu mengendalikan patogen secara efektif serta meningkatkan pertumbuhan tanaman.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas gelombang mikro serta cendawan antagonis *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. dalam menekan pertumbuhan *Aspergillus flavus* pada biji jagung (*Zea mays* L.). Hipotesis penelitian ini adalah bahwa kombinasi gelombang mikro dan cendawan antagonis mampu menurunkan pertumbuhan *A. flavus* dan tingkat infeksi pada biji jagung secara lebih efektif dibandingkan perlakuan tunggal.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu

Pengambilan sampel jagung sehat dan jagung terinfeksi serta tanah rizosfer yang dilakukan di kota Marabahan, Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan (Lat -2.919996° dan Long 114.704003°) yang dilaksanakan pada bulan Oktober 2025. Isolasi, pemurnian, identifikasi dan uji antagonis dilakukan di Laboratorium Fitopatologi Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru pada bulan Oktober-Desember 2025.

Bahan Dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi jagung terinfeksi dan jagung sehat (*Zea mays* L.), isolat *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. yang diisolasi dari rizosfer tanaman bambu, jeruk dan jagung Barito Kuala, Kalimantan Selatan, media *Potato Dextrose Agar* (PDA), Media *Malt Extract Agar* (MEA), aquades steril, alkohol 70%, *aluminium foil*, *cling wrap*, kapas, tisu, kertas label, kertas bekas, spidol, dan spiritus. Adapun alat yang digunakan meliputi cawan petri, botol kaca, tabung reaksi, rak tabung reaksi, *laminar air flow*, *slide glass*, *cover glass*, vortex, shaker, pinset, segitiga perata, spatula, jarum ent, gelas ukur, suntikan, *autoklaf*, oven, bunsen,

mikroskop, jangka sorong, timbangan elektrik, pisau, panci, kompor, pengaduk, *microwave*, *sprayer*, cangkul, serta alat dokumentasi.

Metode Penelitian

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) sebagai metode penelitiannya. Faktor yang diujikan adalah pemberian *Aspergillus flavus* dan cendawan antagonis hasil isolasi pada media jagung serta paparan gelombang mikro pada biji jagung. Penelitian ini terdiri dari 5 perlakuan dengan 5 kali ulangan, dengan jumlah 25 unit satuan percobaan. Perlakuan yang diujikan adalah sebagai berikut:

t1 = tanpa perlakuan (kontrol negatif)

t2 = jagung + *Aspergillus flavus* (kontrol positif)

t3 = jagung + *Aspergillus flavus* + gelombang mikro

t4 = jagung + *Aspergillus flavus* + *Trichoderma* sp.

t5 = jagung + *Aspergillus flavus* + *Gliocladium* sp.

Prosedur Penelitian

Sterilisasi Alat

Alat berbahan kaca dicuci menggunakan air mengalir dan sabun, kemudian dikeringanginkan. Alat yang memiliki lubang seperti botol kaca dan tabung reaksi disumbat dengan kapas dan dibungkus kertas. Selanjutnya, dilakukan sterilisasi kering menggunakan oven pada suhu 170 °C selama 60 menit.

Pembuatan Media

Media PDA dibuat dari kentang 200 g, dextrose 20 g, agar 20 g dan aquades 1 L. Kentang direbus, disaring, kemudian ditambahkan dextrose dan agar sebelum disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 30 menit. Media MEA dibuat dengan melarutkan 25 g MEA dan 1,25 g kloramfenikol dalam 500 mL aquades, kemudian disterilisasi pada suhu 121°C selama 30 menit.

Pengambilan Sampel Jagung dan Sampel Mikroba Antagonis

Sampel jagung diambil dari lahan pertanian di Marabahan dengan cara memilih biji yang menunjukkan gejala infeksi *Aspergillus* sp. serta jagung sehat sebagai pembanding. Sampel cendawan antagonis diambil dari tanah rizosfer pada kedalaman 20 cm.

Isolasi dan Pemurnian Cendawan

Isolasi *A. flavus* dilakukan dari biji jagung terinfeksi dengan menumbuhkan isolat pada media MEA, kemudian dilakukan identifikasi awal dan dimurnikan pada media PDA serta diinkubasi selama 7 hari. Isolasi cendawan antagonis dilakukan dengan metode pengenceran bertingkat hingga 10^{-4} , kemudian ditumbuhkan pada media PDA dan dimurnikan (Widiyanti *et al.*, 2022)

Inokulasi Patogen

Biji jagung disterilisasi menggunakan etanol 70%, NaOCl, dan aquades steril. Suspensi spora *A. flavus* dibuat hingga konsentrasi 10^6 spora mL^{-1} , lalu diinokulasikan pada biji jagung dan diinkubasi pada suhu 28°C selama 7 hari.

Aplikasi Gelombang Mikro

Biji jagung diberi perlakuan gelombang mikro menggunakan alat Sharp *microwave* model R-728 selama 40 detik dengan panjang gelombang 12,2 cm, kemudian diinkubasi dalam kondisi steril.

Aplikasi Cendawan Antagonis

Suspensi spora *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. dibuat hingga konsentrasi 10^7 spora mL^{-1} . Biji jagung direndam dalam suspensi selama 30 menit, kemudian ditiriskan secara aseptis. Efektivitas aplikasi diamati berdasarkan pertumbuhan cendawan.

Deteksi Infeksi Cendawan

Deteksi *A. flavus* dilakukan menggunakan metode *blotter test* dan metode agar. Benih diinkubasi pada kondisi terang dan gelap secara bergantian selama 6 hari.

Uji Antagonis

Uji antagonis dilakukan dengan metode *dual culture* pada media PDA, dengan menumbuhkan cendawan antagonis dan *A. flavus* secara berhadapan (Gambar 1). Pengamatan dilakukan selama 7 hari untuk melihat zona hambat yang terbentuk (Mathur dan Kongsdal, 2003)

Variabel Pengamatan

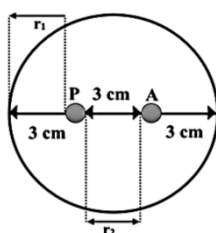
Variabel yang diamati meliputi pengamatan secara makroskopis serta mikroskopis terhadap cendawan antagonis, persentase daya hambat antagonis terhadap patogen, identifikasi cendawan, persentase perkecambahan benih jagung, dan jumlah infeksi *A. flavus* pada benih jagung.

Pengamatan Makroskopis dan Mikroskopis terhadap Cendawan Antagonis dan Patogen *A. flavus*

Pengamatan karakteristik cendawan dilakukan secara makroskopis dan mikroskopis. Secara makroskopis, pengamatan dilakukan secara visual terhadap isolat untuk melihat bentuk koloni, warna, permukaan dan pinggiran koloni, kemudian dibandingkan antara kontrol dan perlakuan (Paramita, 2021). Sementara itu, pengamatan mikroskopis dilakukan dengan menggunakan media kubus, kemudian diamati di bawah mikroskop untuk mengidentifikasi ciri-ciri konidia, fialid, dan konidiofor. Identifikasi dilakukan pada cendawan hasil uji antagonis yang menunjukkan kemampuan penghambatan terbaik.

Persentase Daya Hambat

Pengamatan dilakukan terhadap kemampuan penghambatan cendawan antagonis terhadap *Aspergillus flavus*. Kemampuan penghambatan diukur sampai koloni kedua cendawan bertemu (Sharma dan Gothwal, 2021).



Gambar 1. Uji daya hambat dengan metode *dual culture* (Ningsih *et al.*, 2016)

Adapun rumus menghitung persentase daya hambat adalah sebagai berikut:

$$P (\%) = \frac{R1-R2}{R1} \times 100\%$$

Keterangan:

P = Persentase penghambatan

R1 = Jari-jari koloni *Aspergillus flavus* yang tumbuh berlawanan dengan cendawan antagonis

R2 = Jari-jari koloni *Aspergillus flavus* yang tumbuh kearah cendawan antagonis

Menurut Oktaviani (2015), kriteria daya hambat (%) dibagi menjadi tiga kategori yaitu < 29 % = tidak Efektif, 30 % - 59 % = Cukup Efektif, 60 % - 89 % = Efektif dan 90 % - 100 % = Sangat Efektif

Persentase Perkecambahan Benih Jagung

Persentase perkecambahan diamati pada setiap perlakuan mulai 1 HST hingga berkecambah. Dengan cara menghitung jumlah biji yang berkecambah pada setiap perlakuan. Persentase perkecambahan (%) dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$(\%) \text{ Perkecambahan} = \frac{\text{Jumlah benih yang berkecambah}}{\text{jumlah benih yang ditanam}} \times 100\%$$

Jumlah Infeksi *A. flavus* pada Benih Jagung

Pengamatan dilakukan terhadap jumlah infeksi serangan cendawan dan daya berkecambah, dengan menggunakan rumus untuk menghitung tingkat infeksi cendawan.

$$TI (\%) = \frac{\text{Jumlah benih yang terinfeksi}}{\text{jumlah benih yang ditanam}} \times 100\%$$

Analisis Data

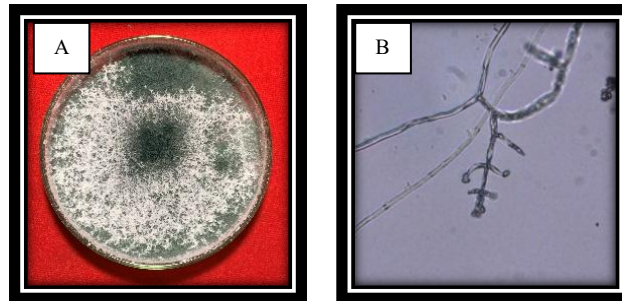
Data yang diperoleh dari hasil pengamatan akan dianalisis kehomogenannya dengan metode Baret. Hasilnya kemudian akan dianalisis lagi menggunakan Annova (analisis ragam). Jika hasil pengamatan antar perlakuan terdapat perbedaan maka akan dilanjutkan dengan uji DMRT pada taraf kepercayaan 5%.

HASIL DAN DISKUSI

Pengamatan Makroskopis dan Mikroskopis Cendawan Antagonis serta patogen *A. flavus*

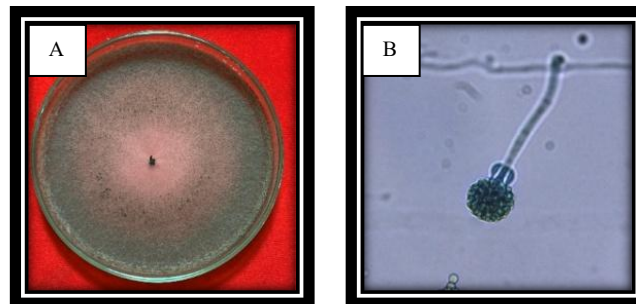
Hasil isolasi menunjukkan karakter morfologi koloni yang diperoleh mengarah pada identitas *Trichoderma* sp., *Gliocladium* sp., dan *Aspergillus flavus* baik secara makroskopis maupun mikroskopis (Gambar 2, 3, dan 4). Secara umum, ketiga isolat mampu tumbuh dan berkembang dengan baik pada media kultur, yang mengindikasikan kemampuan adaptasi yang tinggi.

Isolat *Trichoderma* sp. menunjukkan pertumbuhan koloni yang cepat dengan warna hijau serta konidiofor bercabang yang mendukung pembentukan konidia (Gambar 2A dan 1B). Karakteristik tersebut merupakan ciri khas *Trichoderma* yang berperan dalam meningkatkan kemampuan kolonisasi dan kompetisi terhadap patogen, sebagaimana telah dilaporkan pada berbagai isolat asal rizosfer tanaman di Indonesia Widiyanti *et al.*, (2022).



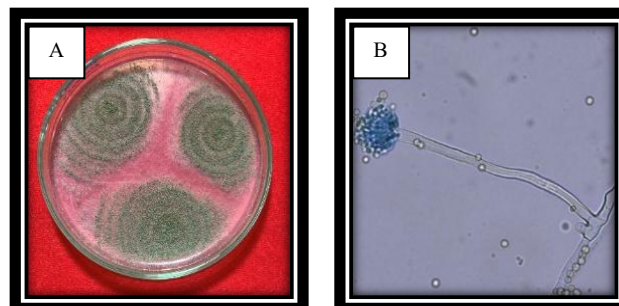
Gambar 2. Isolat *Trichoderma* sp., (A) makroskopis (B) mikroskopis

Isolat *Gliocladium* sp. memperlihatkan pertumbuhan koloni menyebar dengan tekstur khas dan struktur konidiofor berbentuk sikat (Gambar 3A dan 2B). Karakter ini menunjukkan efisiensi dalam pembentukan konidia, sedangkan sifat konidia yang mukoid meningkatkan daya lekat pada substrat sehingga berpotensi memperkuat daya saing terhadap mikroorganisme lain. Ciri tersebut sejalan dengan laporan sebelumnya, meskipun terdapat variasi warna dan kerapatan koloni (Wedingtyas, 2018)



Gambar 3. Isolat *Gliocladium* sp., (A) makroskopis (B) mikroskopis

Sementara itu, isolat *Aspergillus flavus* menunjukkan koloni berwarna hijau dengan tekstur granular serta struktur mikroskopis berupa vesikel, fialid, dan konidia bulat (Gambar 4A dan 3B). Karakter ini mencerminkan kapasitas reproduksi yang tinggi dan berkaitan dengan potensinya sebagai kontaminan pangan. Meskipun sesuai dengan laporan sebelumnya, isolat diperoleh dari jagung yang tampak sehat, menunjukkan bahwa kontaminasi dapat terjadi tanpa gejala visual (Hidayatullah, 2018).



Gambar 4. Isolat *Aspergillus flavus*, (A) makroskopis (B) mikroskopis

Mekanisme pengendalian cendawan antagonis yang didapat terhadap *Aspergillus flavus*

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa seluruh isolat berpotensi mengendalikan patogen uji melalui mekanisme antibiosis, hiperparasitisme, serta *overgrowth* (Tabel 1). Temuan ini menunjukkan bahwa *Trichoderma* sp. memiliki mekanisme pengendalian yang lebih beragam dibandingkan *Gliocladium* sp., yang cenderung hanya melalui antibiosis.

Tabel 1. Mekanisme pengendalian cendawan antagonis

No.	Perlakuan	Mekanisme pengendalian		
		Antibiosis	Hiperparasit	<i>Overgrowth</i>
1.	Kontrol (<i>Aspergillus flavus</i>)	-	-	-
2.	<i>Trichoderma</i> sp. vs <i>Aspergillus flavus</i> (m)	+	+	+
3.	<i>Trichoderma</i> sp. vs <i>Aspergillus flavus</i> (x)	+	+	+
4.	<i>Gliocladium</i> sp. vs <i>Aspergillus flavus</i> (m)	+	-	-
5.	<i>Gliocladium</i> sp. vs <i>Aspergillus flavus</i> (x)	+	-	-

Keterangan : Tanda (+) berarti mempunyai (-) tidak mempunyai

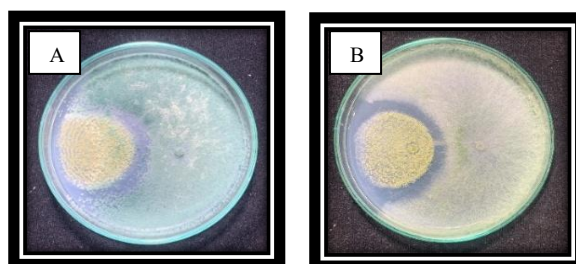
m : *Aspergillus flavus* dengan paparan gelombang mikro

x : *Aspergillus flavus* tanpa paparan gelombang mikro

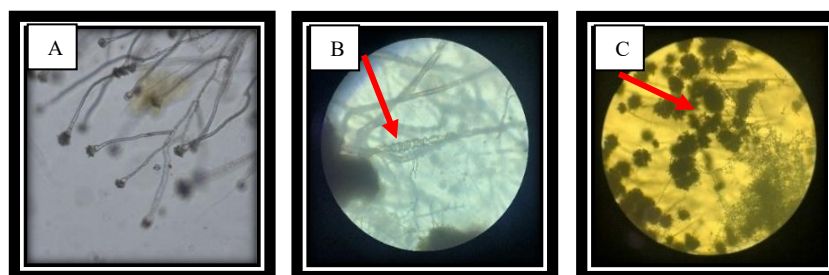
Keberadaan zona bening (Gambar 5) menunjukkan adanya aktivitas penghambatan yang diduga berasal dari senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan cendawan antagonis. Hal ini terlihat dari perbedaan daya hambat antar isolat, di mana *Trichoderma* sp. vs *Aspergillus flavus* (x) menunjukkan zona bening terbesar, sedangkan *Gliocladium* sp. vs *Aspergillus flavus* (m) terkecil (Tabel 2). Selain itu, kemampuan hiperparasitisme dan *overgrowth* pada *Trichoderma* sp. (Gambar 6) menunjukkan adanya interaksi langsung yang menyebabkan kerusakan hifa patogen, sementara mekanisme tersebut tidak ditemukan pada *Gliocladium* sp.

Mekanisme antagonisme yang diamati pada penelitian ini didasarkan pada karakteristik interaksi yang terlihat selama uji kultur ganda. Mekanisme antibiosis diidentifikasi berdasarkan terbentuknya zona bening di antara koloni cendawan antagonis dan *A. flavus*, yang menunjukkan adanya produksi metabolit antijamur yang menghambat pertumbuhan patogen. Mekanisme hiperparasitisme ditandai dengan adanya pelilitan hifa *Trichoderma* sp. pada hifa patogen yang diikuti kerusakan dan pematangan hifa. Sementara itu, mekanisme *overgrowth* ditunjukkan oleh kemampuan koloni *Trichoderma* sp. menutupi permukaan koloni *A. flavus*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *Trichoderma* sp. memiliki lebih dari satu mekanisme antagonisme sehingga efektivitas penghambatannya lebih tinggi dibandingkan mekanisme tunggal (Poveda, 2021).

Selain itu, kedua cendawan antagonis diketahui mampu menghasilkan enzim dan senyawa bioaktif yang merusak dinding sel patogen, sehingga menghambat pertumbuhan bahkan menyebabkan kematian sel. Proses ini dapat terjadi melalui mekanisme lisis yang dipengaruhi oleh aktivitas metabolit dan enzim ekstraseluler yang dihasilkan selama interaksi antagonistik (Tasik *et al.*, 2015).



Gambar 5. Mekanisme pengendalian cendawan antagonis. (A) Mekanisme antibiosis (zona bening), *overgrowth* dari cendawan *Trichoderma* sp. dan hiperparasit (hifa patogen tidak dapat tumbuh diatas cendawan antagonis) (B) Mekanisme antibiosis (zona bening) dari cendawan *Gliocladium* sp.



Gambar 6. Mekanisme pengendalian hiperparasit dan *overgrowth*, (A) Hifa *A. flavus* tumbuh normal (kontrol). (B) Hifa *A. flavus* yang berinteraksi dengan *Trichoderma* sp. mengalami pelilitan hifa yang berujung pada kerusakan dan pematangan. (C) Hifa *A. flavus* bertemu dengan cendawan *Trichoderma* sp. hifa patogen menjadi patah.

Tabel 2. Hasil isolat yang memiliki daya antibiosis

No.	Perlakuan	Lebar zona bening (mm)
1.	Kontrol (<i>Aspergillus flavus</i>)	0
2.	<i>Trichoderma</i> sp. vs <i>Aspergillus flavus</i> (m)	4,72
3.	<i>Trichoderma</i> sp. vs <i>Aspergillus flavus</i> (x)	4,92
4.	<i>Gliocladium</i> sp. vs <i>Aspergillus flavus</i> (m)	1,42
5.	<i>Gliocladium</i> sp. vs <i>Aspergillus flavus</i> (x)	5,26

Pengamatan perkembangan koloni menunjukkan perbedaan mekanisme penghambatan antar perlakuan (Tabel 3). Pada *Trichoderma* sp. dengan gelombang mikro, antibiosis muncul hari ke-3 dan *overgrowth* hari ke-4, lebih cepat dibandingkan tanpa perlakuan (hari ke-4 dan ke-5). Pada *Gliocladium* sp., tidak ditemukan *overgrowth* dan penghambatan terjadi melalui antibiosis, dengan kemunculan lebih awal pada perlakuan gelombang mikro (hari ke-3) dibandingkan tanpa perlakuan (hari ke-4). Hal ini menunjukkan variasi mekanisme penghambatan dan kecepatan respons isolat terhadap patogen.

Meskipun zona bening pada *Gliocladium* sp. dengan paparan gelombang mikro relatif lebih kecil, perlakuan *Gliocladium* sp. tetap menunjukkan efektivitas tertinggi dalam menekan infeksi *A. flavus* pada biji jagung. Hal ini mengindikasikan bahwa lebar zona bening tidak selalu mencerminkan efektivitas pengendalian pada benih. Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh kemampuan kolonisasi, kompetisi ruang dan nutrisi, serta produksi metabolit antijamur, selain adanya perbedaan kondisi pengujian antara kultur in vitro dan benih yang dapat memengaruhi respons antagonisme (Poveda, 2021).

Tabel 3. Perkembangan rata-rata koloni patogen (*Aspergillus flavus*) pada saat uji daya hambat selama 5 hari

No.	Perlakuan	Perkembangan rata-rata diameter patogen (mm)				
		Hari				
		1	2	3	4	5
1.	Kontrol (<i>Aspergillus flavus</i>)	8,26	17,58	23,86	30,66	37,38
2.	<i>Trichoderma</i> sp. vs <i>Aspergillus flavus</i> (m)	16,6	25,8	31,08	31,64	37,72
3.	<i>Trichoderma</i> sp. vs <i>Aspergillus flavus</i> (x)	7,8	16,3	22,54	27,42	30,62
4.	<i>Gliocladium</i> sp. vs <i>Aspergillus flavus</i> (m)	7,4	16,8	21,76	25,86	30,88
5.	<i>Gliocladium</i> sp. vs <i>Aspergillus flavus</i> (x)	16,8	24,62	31,78	32	37,38

Diameter koloni pada perlakuan paparan gelombang mikro lebih besar dibandingkan kontrol pada hari pertama pengamatan. Hasil ini menunjukkan bahwa paparan gelombang mikro dengan durasi yang digunakan tidak menurunkan viabilitas cendawan antagonis, bahkan diduga memicu respons fisiologis awal yang mendukung pertumbuhan koloni. Fenomena tersebut dapat terjadi karena paparan gelombang mikro pada intensitas yang tidak bersifat letal hanya memberikan stres ringan (*sublethal stress*), sehingga aktivitas metabolisme dan pertumbuhan awal mikroorganisme tetap berlangsung (Sarjani *et al.*, 2024). Namun demikian, pengamatan ini merupakan uji pendahuluan untuk mengevaluasi viabilitas cendawan antagonis setelah paparan gelombang mikro dan tidak digunakan sebagai dasar dalam menilai efektivitas pengendalian *Aspergillus flavus* pada pengujian utama.

Secara ilmiah, mekanisme penghambatan ini berkaitan dengan kemampuan cendawan dalam menghasilkan senyawa antifungi serta enzim perusak dinding sel, yang menyebabkan gangguan pertumbuhan hingga kerusakan hifa patogen. Kemampuan *Trichoderma* sp. dalam melakukan hiperparasitisme melalui pelilitan dan penetrasi hifa memperkuat efektivitas pengendalian dibandingkan *Gliocladium* sp. Hasil ini sejalan dengan penelitian terbaru yang melaporkan mekanisme antibiosis, kompetisi, dan mikoparasitisme pada cendawan antagonis (Woo *et al.*, 2020). Namun, penelitian ini menunjukkan perbedaan yaitu adanya percepatan mekanisme penghambatan akibat kombinasi dengan gelombang mikro, yang menunjukkan peningkatan efektivitas dibandingkan metode tunggal.

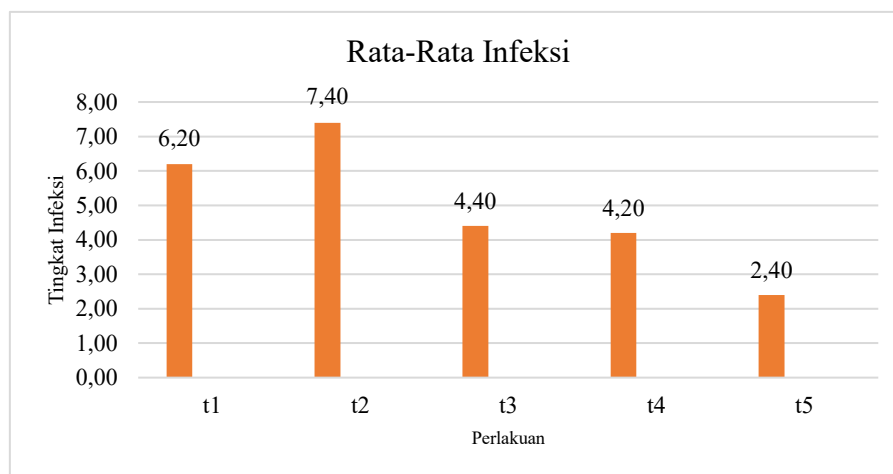
Jumlah Infeksi Serangan

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa seluruh perlakuan memberikan respons yang berbeda nyata terhadap tingkat infeksi *Aspergillus flavus* pada biji jagung (Tabel 4; Gambar 7). Secara umum, perlakuan dengan cendawan antagonis dan gelombang mikro mampu menurunkan tingkat infeksi dibandingkan kontrol, dengan efektivitas tertinggi ditunjukkan oleh *Gliocladium* sp., diikuti oleh *Trichoderma* sp. dan perlakuan gelombang mikro.

Tabel 4. Jumlah infeksi *Aspergillus flavus* pada biji jagung

Perlakuan	Infeksi
Kontrol Negatif (T1)	6,20 ^{bc}
Biji jagung + <i>Aspergillus flavus</i> (T2)	7,40 ^c
Biji jagung + <i>Aspergillus flavus</i> + Gelombang mikro (T3)	4,40 ^{abc}
Biji jagung + <i>Aspergillus flavus</i> + <i>Trichoderma</i> sp. (T4)	4,20 ^{ab}
Biji jagung + <i>Aspergillus flavus</i> + <i>Gliocladium</i> sp. (T5)	2,40 ^a

Keterangan: Perlakuan berpengaruh sangat nyata ($P < 0,01$). Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf 5%.

**Gambar 7.** Rata-rata infeksi *Aspergillus flavus* pada biji jagung

Tingginya tingkat infeksi pada perlakuan inokulasi menunjukkan bahwa *A. flavus* memiliki kemampuan kolonisasi yang kuat, bahkan pada biji yang tampak sehat. Infeksi yang masih terjadi pada kontrol mengindikasikan bahwa kontaminasi telah berlangsung sejak di lapangan dan tidak dapat dihilangkan hanya dengan sterilisasi permukaan, sehingga sumber infeksi dapat berasal dari tahap pra hingga pascapanen (Sutjiati dan Saenong, 2002).

Penurunan tingkat infeksi pada perlakuan gelombang mikro menunjukkan bahwa metode fisik ini berpotensi menghambat viabilitas patogen. Paparan gelombang mikro diduga mengganggu struktur sel atau aktivitas fisiologis jamur, sehingga menurunkan kemampuan tumbuh dan infeksi, meskipun efektivitasnya masih bergantung pada intensitas dan durasi perlakuan (Sarjani *et al.*, 2024).

Perlakuan *Trichoderma* sp. menunjukkan kemampuan dalam menekan infeksi melalui mekanisme kompetisi ruang dan nutrisi serta aktivitas antagonistik lainnya, sehingga menghambat kolonisasi patogen secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa *Trichoderma* sp. berpotensi sebagai agen pengendali hayati yang efektif dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan patogen (Adam *et al.*, 2023).

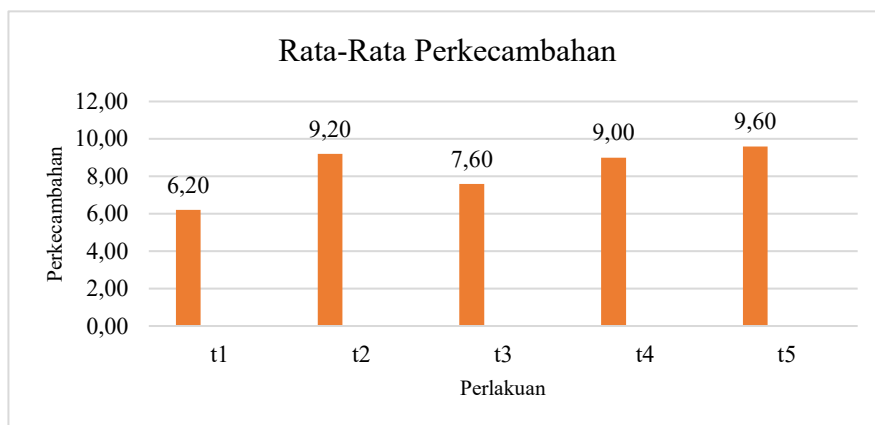
Persentase Perkecambahan

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap tingkat perkecambahan biji jagung (Tabel 5; Gambar 8). Secara umum, perlakuan dengan cendawan antagonis menunjukkan nilai perkecambahan yang lebih tinggi dibandingkan kontrol dan perlakuan gelombang mikro, dengan hasil terbaik diperoleh pada perlakuan *Gliocladium* sp., sedangkan perlakuan gelombang mikro cenderung menurunkan daya kecambah.

Tabel 5. Pengaruh perlakuan terhadap perkecambahan biji jagung

Perlakuan	Perkecambahan
Kontrol Negatif (T1)	6,20 ^a
Biji jagung + <i>Aspergillus flavus</i> (T2)	9,20 ^b
Biji jagung + <i>Aspergillus flavus</i> + Gelombang mikro (T3)	7,60 ^{ab}
Biji jagung + <i>Aspergillus flavus</i> + <i>Trichoderma</i> sp. (T4)	9,00 ^b
Biji jagung + <i>Aspergillus flavus</i> + <i>Gliocladium</i> sp. (T5)	9,60 ^b

Keterangan: Perlakuan berpengaruh sangat nyata ($P < 0,01$). Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf 5%.



Gambar 8. Rata-rata perkecambahan *Aspergillus flavus* pada biji jagung

Tingginya nilai perkecambahan pada perlakuan yang diinokulasi *Aspergillus flavus* menunjukkan bahwa keberadaan patogen tidak secara langsung menghambat proses awal perkecambahan. Hal ini mengindikasikan bahwa *A. flavus* lebih berperan pada fase pascapanen atau penyimpanan dibandingkan fase awal pertumbuhan, sehingga embrio biji masih mampu berkembang secara normal pada tahap perkecambahan (Fitria & Setiawati, 2020). Perlakuan dengan *Gliocladium* sp. menunjukkan hasil perkecambahan tertinggi, yang mengindikasikan bahwa selain berperan sebagai agen pengendali hayati, cendawan ini juga berkontribusi dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Hal ini berkaitan dengan kemampuannya dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara serta menghasilkan metabolit yang mendukung pertumbuhan awal tanaman (Harman, 2021).

Perlakuan *Trichoderma* sp. menunjukkan nilai perkecambahan yang relatif setara dengan *Gliocladium* sp., yang menunjukkan bahwa cendawan ini juga berperan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui produksi metabolit sekunder dan mekanisme pengendalian patogen (Sharma *et al.*, 2021).

Sebaliknya, perlakuan gelombang mikro menunjukkan kecenderungan menurunkan perkecambahan, yang mengindikasikan adanya pengaruh terhadap kondisi fisiologis benih. Penurunan ini diduga berkaitan dengan perubahan kadar air dan keseimbangan fisiologis benih yang berperan penting dalam proses perkecambahan dan viabilitas benih (Ling *et al.*, 2020).

Persentase Panjang Tunas

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan memberikan pengaruh berbeda terhadap panjang tunas jagung (Tabel 6). Secara umum, perlakuan dengan cendawan antagonis meningkatkan pertumbuhan tunas dibandingkan kontrol, dengan hasil tertinggi diperoleh pada perlakuan *Gliocladium* sp., sedangkan kontrol menunjukkan pertumbuhan terendah.

Peningkatan panjang tunas pada perlakuan *Gliocladium* sp. menunjukkan bahwa cendawan ini tidak hanya berperan sebagai agen pengendali hayati, tetapi juga sebagai biostimulan yang mendukung pertumbuhan tanaman. Hal ini diduga berkaitan dengan kemampuannya menghasilkan fitohormon seperti auksin (IAA) dan giberelin yang berperan dalam pemanjangan sel dan elongasi tunas, sehingga menghasilkan pertumbuhan yang lebih optimal (Harman, 2021).

Tabel 6. Pengaruh panjang tunas jagung pada berbagai perlakuan

Perlakuan	Panjang Tunas
Kontrol Negatif (Biji Jagung)	7,92 ^a
Biji jagung + <i>Aspergillus flavus</i>	17,41 ^b
Biji jagung + <i>Aspergillus flavus</i> + Gelombang mikro	20,44 ^b
Biji jagung + <i>Aspergillus flavus</i> + <i>Trichoderma</i> sp.	21,84 ^b
Biji jagung + <i>Aspergillus flavus</i> + <i>Gliocladium</i> sp.	31,21 ^c

Keterangan: Perlakuan berpengaruh sangat nyata ($P < 0,01$). Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf 5%.

Perlakuan *Trichoderma* sp. menunjukkan peningkatan panjang tunas dibandingkan kontrol, namun masih lebih rendah dibandingkan *Gliocladium* sp. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun *Trichoderma* sp. berpotensi sebagai agen hayati sekaligus pemacu pertumbuhan, efek stimulasi terhadap elongasi tunas tidak sekuat *Gliocladium* sp., yang diduga dipengaruhi oleh perbedaan metabolit yang dihasilkan (Sharma *et al.*, 2021).

Sementara itu, perlakuan gelombang mikro menghasilkan pertumbuhan tunas yang lebih rendah dibandingkan cendawan antagonis, tetapi masih lebih tinggi daripada kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan fisik tersebut tidak secara langsung merangsang pertumbuhan vegetatif, melainkan lebih berperan dalam menekan tekanan patogen tanpa memberikan stimulasi pertumbuhan yang signifikan. Gelombang mikro merupakan gelombang elektromagnetik berfrekuensi tinggi (300 MHz–300 GHz) yang dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi seperti radar, komunikasi nirkabel, serta pemanasan berbasis interaksi dengan molekul air (Ling *et al.*, 2020).

Pada perlakuan inokulasi *Aspergillus flavus* tanpa pengendalian, tidak terlihat adanya hambatan yang signifikan terhadap pertumbuhan awal tunas. Hal ini menunjukkan bahwa dampak patogen lebih dominan pada fase penyimpanan atau tahap perkembangan lanjut, sehingga pada fase awal pertumbuhan, tunas masih dapat tumbuh relatif normal (Widiyanti *et al.*, 2022)

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. efektif menekan *Aspergillus flavus*, dengan *Gliocladium* sp. memberikan hasil terbaik melalui penurunan infeksi hingga 2,40, serta peningkatan perkecambahan (9,60) dan panjang tunas (31,21 cm). Efektivitas ini didukung oleh mekanisme antibiosis dan kompetisi, serta tambahan hiperparasitisme dan *overgrowth* pada *Trichoderma* sp. Gelombang mikro juga mampu menurunkan infeksi, namun kurang optimal dalam meningkatkan pertumbuhan. Temuan ini menegaskan potensi pengendalian biologis dan fisik dalam manajemen pascapanen. Penelitian lanjutan diperlukan untuk optimasi aplikasi dan validasi di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam A. N., Iswati R., Solihin A. P., Pulogu S. I. 2023. Efektivitas waktu aplikasi isolat *Trichoderma* sp. yang berbeda untuk mengendalikan penyakit hawar pelepah (*Rhizoctonia solani*) pada tanaman jagung (*Zea mays* L.) varietas Lamuru. *Jurnal Agroteknotropika*. 12(2): 44–50.
- Chandrasekaran S., Ramanathan S., & Basak T. (2016). Microwave food processing—A review. *Food Research International*, 74: 193–207.
- Fitria N, Setiawati F. 2020. Modifikasi media jagung (*Zea mays*) sebagai media pertumbuhan *Aspergillus flavus*. *Jurnal Reka Lingkungan*. 8(1).
- Hidayatullah T. 2018. Identifikasi jamur *Rhizopus* sp dan *Aspergillus* sp. pada roti bakar sebelum dan sesudah dibakar yang di jual di alun-alun Jombang. 1: 430–439.
- Ilmi N, Sogandi S, Hikmahwati H. 2024. Filtrat kultur cendawan antagonis terhadap patogen jagung. *Cropsaver: Journal of Plant Protection*.
- Kumar R., Mishra A., & Singh C. (2019). Seed-borne *Aspergillus flavus* and its effect on crop performance. *Journal of Stored Products Research*. 82: 1–9.
- Ling B., Tang J., Kong F., Mitcham, E. J., & Wang, S. (2020). Microwave treatment in postharvest and seed technology: mechanisms and applications. *Postharvest Biology and Technology*, 161: 111078.
- Mukherjee P. K., Horwitz B. A., Singh U. S., Mukherjee M., & Schmoll M. (2019). *Trichoderma*: biology and applications in plant biotechnology. *Frontiers in Microbiology*. 10: 1–12.
- Ningsih H, Utami SH, Dwi L. 2016. Kajian antagonis *Trichoderma* spp. terhadap *Fusarium solani* penyebab penyakit layu pada daun cabai rawit (*Capsicum frutescens*) secara in vitro. *Proceeding Biology Education Conference*. 13(1): 814–817.
- Paramita NPR. 2021. Identifikasi jamur pada beberapa bumbu dapur secara makroskopis dan mikroskopis. *Jurnal Bioshell*. 10(1): 25–31. <https://doi.org/https://doi.org/10.36835/bio.v10i1.993>
- Poveda J. (2021). *Trichoderma* as Biocontrol Agent, Plant Growth Promoter, and Abiotic Stress Tolerance Inducer in Plants: A Review. *Microorganisms*. 9(7): 1477. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9071477>
- Sarjani AS., Hairani PM, Endrawati T. 2024. Penggunaan metode gelombang mikro dalam pengendalian patogen terbawa benih jagung manis (*Zea mays saccharata*). *Jurnal Ilmiah Respati*. 15(2): 165–171. <https://doi.org/10.52643/jir.v15i2.4412>
- Sarjani A. S., Hairani P. M., & Endrawati T. (2024). Penggunaan metode gelombang mikro dalam pengendalian patogen terbawa benih jagung manis (*Zea mays saccharata*). *Jurnal Ilmiah Respati*, 15(2): 165–171. <https://doi.org/10.52643/jir.v15i2.4412>
- Sharma P, Gothwal R. 2021. Antagonistic activity of *Trichoderma* spp. against plant pathogenic fungi using dual culture assay. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*. 9(5): 55–60. <https://doi.org/https://doi.org/10.7324/JABB.2021.9507>

- Sharma, P., Singh, D., & Singh, K. (2021). Plant growth promotion and biocontrol potential of *Trichoderma* spp.: a review. *Microbiological Research*. 247: 126725.
- Sosa-Morales, M. E., Tiwari, B. K., Wang, S. (2017). Microwave heating applications in food and biological materials. *Food Research International*. 100: 1–12.
- Tasik S, Muslimah WS, Harjono. 2015. Mekanisme parasitisme *Trichoderma harzianum* terhadap *Fusarium oxysporum* pada semai *Acacia mangium*. *HPT Tropika*. 15(1): 72–80.
- Tudi M., Ruan H. D., Wang L. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 18(3): 1112. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>
- Widiyanti A, Patty J, Tuhumury GN. 2022. Exploration and identification of antagonistic fungi on the rhizosphere of clove plants (*Syzygium aromaticum* L.) in Ambon Island. *Agrologia*. <https://doi.org/https://doi.org/10.30598/ajibt.v11i2.1564>
- Woo S. L., & Pepe O. (2018). Microbial consortia: promising probiotics as plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 9: 1801.
- Wedingtyas P. 2018. Keanekaragaman jamur entomopatogen di lahan perkebunan kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) PT Astra Agro Lestari, Tbk pada berbagai jarak dari habitat alami.
- Zheng Y., Wu W., Sun C., Liu H., & Dou J. (2024). Occurrence and fate analysis of mycotoxins in maize during the post-harvest period. *Toxins*. 16(11): 459.