

## Perbandingan Efektivitas *Metarhizium* sp. dan Biopestisida Tandan Kosong Kelapa Sawit dalam Mengatasi Masalah Hama Uret di Desa Grati Lumajang

Anni Nuraisyah<sup>1\*</sup>, Yuni Nurfiana<sup>2</sup>, Dwi Ayu Anggraeni<sup>1</sup>, Irma Wardati<sup>1</sup>, Abdurrahman Salim<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Budidaya Tanaman Perkebunan, Politeknik Negeri Jember, Jember, Indonesia

<sup>2</sup> Fakultas Pertanian, Program Studi Agroekoteknologi, Universitas Trunojoyo Madura, Bangkalan, Indonesia

### INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 31 Desember 2024

Revisi Akhir: 03 Januari 2025

Diterbitkan Online: 08 Januari 2025

### KATA KUNCI

*Metarhizium* sp.

Biopestisida

Tandan Kelapa Sawit

Uret

### KORESPONDENSI (\*)

Phone: +62 812-5992-7424

E-mail: [anni.nuraisyah@polije.ac.id](mailto:anni.nuraisyah@polije.ac.id)

### A B S T R A K

Hama uret (*Lepidiotia stigma* F.) merupakan ancaman serius bagi tanaman tebu. Penggunaan pestisida kimia dalam pengendalian hama uret menimbulkan masalah jangka Panjang, diantaranya pencemaran lingkungan dan resistensi hama. Alternatif untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan penggunaan agen hayati seperti *Metarhizium* sp. dan biopestisida. Tujuan penelitian ini yaitu: untuk melihat efektivitas jamur *Metarhizium* sp. dan biopestisida alami dari tandan kosong kelapa sawit dalam mengendalikan hama uret di lahan tebu Desa Grati, Lumajang dengan melihat mortalitas dan populasi hama uret. Metode penelitian yang digunakan yaitu penelitian kuantitatif dengan desain penelitian Rancangan Acak Kelompok (RAK) Non-Faktorial. Terdapat tiga perlakuan yaitu aplikasi jamur *Metarhizium* sp, aplikasi biopestisida dan kontrol dengan masing-masing perlakuan menggunakan 10 kali ulangan. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan ANOVA dengan uji lanjut BNT taraf 5% jika terdapat pengaruh nyata. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jamur *Metarhizium* sp. lebih efektif dalam membunuh hama uret tebu (92,67%) dibandingkan biopestisida (78%).

### PENDAHULUAN

Tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) merupakan salah satu komoditas penting di Indonesia yang memiliki peran strategis dalam berbagai industri (Perwitasari et al., 2021), terutama produksi gula (Zumroh et al., 2023). Nira dari batang tebu dapat diolah menjadi gula kristal (Fikri, 2023), gula merah (Endrizal & Meilin, 2022; Ilahi et al., 2023), serta produk lain seperti bioetanol (Dias et al., 2009). Selain itu, ampas tebu atau bagasse juga berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan (Nasution et al., 2022). Namun, meskipun memiliki potensi besar, produksi tebu masih menghadapi berbagai tantangan, terutama serangan hama dan penyakit (Msomba et al., 2024; Verma et al., 2024). Salah satu hama paling merusak pada tanaman tebu adalah hama uret (*Lepidiotia stigma* F.) (Sarjan et al., 2021), yang dapat menurunkan produktivitas secara signifikan. Oleh karena itu, pengendalian intensif dan berkelanjutan terhadap hama ini menjadi kunci untuk menjaga produktivitas perkebunan tebu.

Uret merupakan fase larva dari kumbang tertentu, terutama dari suku *Scarabaeidae*. Fase larva dari kumbang tersebut adalah fase yang paling merusak tanaman karena menghabiskan sebagian besar hidupnya di dalam tanah dengan memakan akar tanaman (Malado & Nirmala, 2024) sehingga mengganggu penyerapan air dan nutrisi (Kuniata & Young, 1992). Akibatnya, tanaman menjadi layu, pertumbuhan terhambat, dan produksi tanaman menurun hingga menyebabkan kematian tanaman (Utami et al., 2021). Selain itu, lubang-lubang bekas gigitan uret dapat menjadi jalan masuk bagi berbagai patogen penyebab penyakit tanaman (Labandeira & Prevec, 2014). Siklus hidup uret bervariasi tergantung pada jenisnya dan kondisi lingkungan (Utami et al., 2021).

Serangan hama uret telah menimbulkan kerugian yang signifikan pada produksi tebu di beberapa wilayah di Indonesia (Godoi et al., 2021; Sarjan et al., 2021). Di Sleman, kerusakan yang ditimbulkan dari serangan uret mencapai sekitar 75% (Utami et al., 2021), sementara di Purworejo mencapai 80%. Kondisi serupa juga terjadi di Kabupaten Bondowoso, di mana produksi tebu menurun drastis hingga 40% (menjadi 400 kuintal/ha) dari potensi maksimal (1000 kuintal/ha) (Witjaksono, 2014). Masalah ini tidak hanya terjadi di Indonesia, tetapi juga menjadi ancaman serius bagi produksi tebu di negara-negara seperti India, Afrika, dan Tanzania (Conlong & Ganeshan, 2016; Nyamwasa et al., 2018);

Pengendalian hama secara kimiawi umumnya menggunakan insektisida kontak dan sistemik (Bezerra-Silva et al., 2012). Insektisida kontak bekerja dengan cara membunuh hama saat bersentuhan langsung dengan pestisida. Sementara itu, insektisida sistemik diserap oleh tanaman lalu membunuh hama yang memakannya. Penggunaan insektisida kontak pada pertanaman tebu biasanya dilakukan dengan cara disemprotkan pada bagian tanaman yang sering dihinggapi uret, sedangkan insektisida sistemik umumnya diberikan saat penanaman dengan cara dicampurkan pada pupuk atau diaplikasikan sebagai perlakuan benih (Shekhar et al., 2024).

Penggunaan pestisida kimia dalam pengendalian hama uret memang efektif dalam jangka pendek, namun memiliki dampak buruk jangka panjang bagi lingkungan. Residu pestisida dapat mencemari tanah, air, dan udara, mengancam ekosistem perairan dan membunuh organisme bermanfaat seperti serangga penyerbuk (Samanta et al., 2023). Selain itu, penggunaan pestisida secara berlebihan dapat mengganggu keseimbangan ekosistem dan menyebabkan munculnya hama baru yang lebih resisten (Siddiqui et al., 2023). Paparan pestisida kimia dapat menimbulkan berbagai masalah kesehatan pada manusia, baik bagi petani maupun konsumen. Petani yang sering kontak langsung dengan pestisida berisiko mengalami keracunan, gangguan pernapasan, masalah kulit, hingga penyakit kronis seperti kanker (Cavalier et al., 2023). Konsumen juga berpotensi terpapar residu pestisida melalui makanan yang dikonsumsi, yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan jangka panjang (Sanchez-Bayo et al., 2013). Sebagai alternatif yang lebih aman dan berkelanjutan, pengendalian hama uret saat ini mulai bergeser dari penggunaan insektisida kimia menuju pemanfaatan agen hayati biokontrol, dan biopestisida (Ghimire, 2021).

Cendawan seperti *Metarhizium* sp. merupakan agen hayati biokontrol yang sudah sering digunakan dalam pengendalian serangga hama pada tanaman (Mesquita et al., 2023). Keunggulan penggunaan agen hayati ini berupa selektivitas tinggi terhadap hama target, tidak meninggalkan residu berbahaya, serta mampu menjaga keseimbangan ekosistem (Zimmermann, 2007). Dengan efisiensi yang tinggi dan dampak minimal terhadap lingkungan, pemanfaatan *Metarhizium* sp. Dapat menjadi alternatif yang berkelanjutan dibandingkan dengan penggunaan pestisida kimia dalam melindungi tanaman dari serangan hama (Peng et al., 2022).

Pengendalian hama secara hayati tidak hanya terbatas pada penggunaan agen hayati seperti cendawan. Biopestisida nabati dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) juga dapat menjadi solusi ramah lingkungan untuk mengatasi masalah hama tanaman (Widihastuty et al., 2022). Biopestisida TKKS mengandung senyawa alami seperti asam asetat, fenol, dan senyawa aromatik lainnya yang dapat membunuh berbagai jenis hama tanaman, seperti wereng coklat, ulat grayak, dan kutu daun (Utami & Siregar, 2022). Penggunaan agen hayati biokontrol dan biopestisida TKKS untuk mengatasi serangan hama dapat mengurangi penggunaan pestisida kimia yang berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia (Dwi & Wardati, 2024).

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas dua jenis agen pengendali hama tanaman, yaitu *Metarhizium* sp. dan biopestisida dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Hasil perbandingan aplikasi kedua agen hayati ini, diharapkan memberikan informasi agen hayati mana yang lebih efektif dalam menekan populasi hama serta memberikan kontribusi dalam pengembangan jangka panjang strategi pengendalian hama yang lebih ramah lingkungan terutama untuk tanaman tebu.

## TINJAUAN PUSTAKA

### *Hama uret*

Uret (*Lepidiota stigma* F.) merupakan larva dari kumbang suku *Scarabaeidae*. Uret memiliki tubuh yang gemuk, berwarna putih kekuningan berbebtuk menyerupai huruf C, dan tengkorak serta taring berwarna coklat (Billeisen & Brandenburg, 2014). Pada bagian dada terdapat tiga pasang kaki yang kokoh dan berwarna coklat tua. Setiap kaki

dilengkapi cakar kecil yang berfungsi untuk mencengkeram tanah, sehingga uret dapat bergerak dengan mudah di dalam tanah. Meskipun memiliki kaki yang lebih pendek, uret cukup kuat untuk menggali tanah dan mencari akar tanaman sebagai sumber makanannya. Akibat serangan uret, tanaman menjadi layu, pertumbuhan terhambat, bahkan bisa menyebabkan kematian tanaman (Knowledge, 2022).

Hama uret merupakan hama polifag, artinya ia dapat menyerang berbagai jenis tanaman (Lagrava-Sánchez, 2016). Namun, beberapa jenis tanaman lebih sering menjadi inang bagi uret karena kondisi pertumbuhannya yang disukai oleh hama ini seperti padi, jagung, tebu dan kelapa sawit. Tanaman yang terserang uret biasanya menunjukkan gejala layu, daun menguning, dan pertumbuhan terhambat. Jika diamati lebih dekat, seringkali terdapat luka pada batang bagian bawah atau pangkal tanaman. Selain itu, tanaman yang terserang uret cenderung mudah dicabut karena akarnya telah rusak parah akibat digerek oleh larva uret. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat serangan hama uret adalah curah hujan, suhu, kelembapan, rendemen dan rotasi tanaman (Utami et al., 2021).

Uret tebu dan uret pada tanaman lain, meskipun sama-sama termasuk dalam ordo Coleoptera, memiliki perbedaan morfologi yang cukup signifikan. Uret tebu dewasa berukuran sekitar 5 cm dengan warna putih kekuningan. Telurnya awalnya kecil, berukuran 3 mm, namun membesar hingga 5 mm dan memiliki cangkang yang keras sebelum menetas. Uret tebu memiliki warna cokelat di bagian atas tubuhnya dan cokelat kemerahan di bagian bawah. Permukaan tubuhnya dilapisi skala mikro berwarna putih kekuningan, sementara bagian belakang kepala, pangkal antena, sternum presternal, mesosternal, dan posterior tertutup oleh rambut halus berwarna cokelat kekuningan. Telur-telur uret biasanya diletakkan tersebar di dalam tanah pada kedalaman sekitar 17-35 cm, namun dalam beberapa kasus dapat mencapai 40-50 cm (Sreedevi et al., 2015). Larva uret yang telah matang cenderung berada di lapisan tanah yang lebih dalam. Kumbang yang baru menetas dari kepompong tidak langsung keluar dari tanah, melainkan tetap berada di dalamnya untuk beberapa waktu sebelum muncul ke permukaan (Wagiyana et al., 2021).

### ***Metarhizium sp***

*Metarhizium sp.* merupakan sekelompok jamur yang bersifat parasit pada serangga, atau yang disebut sebagai jamur entomopatogen (Deka et al., 2021). *Metarhizium sp.* termasuk dalam kingdom Fungi (Wasuwan et al., 2021). Ciri khas morfologi *Metarhizium sp.* adalah hifa yang bersekat dan bercabang, serta pembentukan konidia yang tumbuh pada hifa secara berkelompok atau soliter. Konidia *Metarhizium sp.* umumnya berbentuk oval atau bulat, berdinding tebal, dan memiliki satu atau lebih sel. Warna konidia bervariasi, mulai dari hijau muda hingga hijau tua, atau bahkan kehitaman coklat (Goodman et al., 2018).

*Metarhizium sp.* memiliki kemampuan untuk hidup di berbagai habitat, namun paling sering ditemukan di dalam tanah (Nishi & Sato, 2019). Di tanah, *Metarhizium sp.* hidup sebagai saprofit dengan mengurai bahan organik seperti sisa-sisa serangga mati, akar tanaman yang membusuk, dan bahan organik lainnya (Riguetti Zanardo Botelho et al., 2019). Dalam kondisi lingkungan yang sesuai, seperti kelembapan tinggi dan suhu yang hangat, konidia *Metarhizium sp.* akan berkecambah dan menginfeksi serangga yang hidup di sekitar tanah tersebut. Setelah menginfeksi serangga, *Metarhizium sp.* akan tumbuh secara cepat di dalam tubuh serangga, menghasilkan toksin, dan akhirnya menyebabkan kematian serangga inang (Pertiwi & Nanang Tri Haryadi, 2022).

Dalam pengendalian hama tanaman, *Metarhizium sp.* berperan sebagai agen hayati biokontrol yang efektif. Mekanisme infeksi *Metarhizium sp.* diawali dengan kontak konidia jamur dengan kutikula serangga. Konidia yang telah menempel akan berkecambah dan menghasilkan tabung kecambah yang menembus kutikula. Hifa jamur kemudian tumbuh di dalam tubuh serangga, menyebar melalui hemolimfa dan jaringan lainnya (Aw & Hue, 2017a). Selama pertumbuhannya, *Metarhizium sp.* menghasilkan berbagai macam toksin, seperti destruxin, yang merusak membran sel serangga, mengganggu sistem saraf, dan menghambat metabolisme (Vivekanandhan et al., 2020). Mekanisme infeksi *Metarhizium sp.* melibatkan toksin dan reaksi enzimatik. Enzim yang terlibat dalam mekanisme infeksi adalah enzim kitinase. Kitinase merupakan salah satu enzim yang berperan penting dalam entomopatogenesis (Ullah et al., 2023). *Metarhizium sp.* mampu menginfeksi hama yang memiliki tipe mulut menusuk, mengisap, menggigit seperti *Lepidoptera stigma*. Serangga yang terinfeksi akan menunjukkan gejala seperti kehilangan nafsu makan, gerakan lambat, dan akhirnya mati. Respon imun serangga terhadap infeksi *Metarhizium sp.* umumnya tidak efektif dalam menghambat pertumbuhan jamur (de Miranda et al., 2024).

### ***Biopestisida Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)***

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah yang belum di daur ulang dengan baik. Dari total produksi sawit Indonesia sebesar 31.070.000 ton per tahun, 25-26% merupakan TKKS, sejauh ini baru 10% dari TKKS yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler atau kompos dan sisanya masih menjadi limbah (Hartari et al., 2023). Limbah TKKS merupakan limbah padat yang jumlahnya sangat tinggi, sekitar 6 juta ton, tetapi pemanfaatannya masih terbatas, sementara limbahnya dibakar dan sebagian disebar sebagai mulsa di lahan pertanian (Dino, 2018). Analisis GC-MS pada asap cair hasil pirolisis tandan kosong kelapa sawit mengidentifikasi sekitar 20 senyawa (Yulia et al., 2018). Senyawa dominan meliputi etilen glikol, asam asetat, fenol, dan turunan benzena. Fenol, komponen utama, telah terbukti memiliki sifat antijamur dan berpotensi sebagai pengawet alami (Saputri et al., 2021). Selain senyawa fenol senyawa asam asetat yang dihasilkan melalui degradasi senyawa selulosa dan hemiselulosa juga berperan sebagai antibakteri (Sumampow et al., 2022). Asam asetat yang terkandung dalam asap cair juga dapat berperan sebagai racun kontak yang bisa merusak permeabilitas kutikula serangga hingga menyebabkan mortalitas (Yulia et al., 2018).

### **METODOLOGI**

Penelitian dilaksanakan pada bulan April hingga Juni 2023 bertempat di lahan tebu Desa Grati, Kecamatan Sukorambi, Kabupaten Lumajang, Provinsi Jawa Timur. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif dengan desain penelitian Rancangan Acak Kelompok (RAK) Non-Faktorial. Terdapat tiga perlakuan yaitu aplikasi jamur *Metarhizium* sp (P1), aplikasi biopestisida (P2) dan kontrol (P0) dengan masing-masing perlakuan menggunakan 10 kali ulangan. Dengan demikian, terdapat 30 unit percobaan. Setiap unit percobaan terdiri dari 3 sampel tanaman tebu, sehingga total sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 90 rumpun tanaman tebu. Adapun model statistik Rancangan Acak Kelompok (RAK) Non-Faktorial yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij} \quad (1)$$

Persiapan dan pembiakan jamur *Metarhizium* sp., dilakukan dengan memberishkan dan mengukus beras jagung setengah matang kemudian setelah dingin beras jagung dimasukkan kedalam kantong plastik dengan memasang penutup menggunakan ring baklok dan kapas lalu disterilkan menggunakan autoclave selama 30 menit, (20 menit sterilisasi 10 menit pendiaman) dengan suhu 121°C. Penyimpanan media beras jagung diletakkan pada ruang inokulasi dengan suhu ruang 25°C - 27°C untuk dilakukan proses inokulasi cendawan *Metarhizium* sp di dalaml aminar air flow (LAFC). Setelah pertumbuhan jamur memenuhi media, barulah media ini siap digunakan sebagai biopestisida.

Proses pembuatan biopestisida tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dalam bentuk asap cair diawali dengan pengeringan dan pencacahan TKKS dengan ukuran sekitar 10 sampai 20 cm. Bahan baku yang sudah disiapkan kemudian dimasukkan ke dalam tabung pirolisis dan dibakar pada suhu 300°C selama 90-150 menit. Asap hasil pembakaran dialirkan melalui sistem pendinginan untuk kemudian dikondensasi menjadi cairan kemudian siap untuk diaplikasikan.

Aplikasi dilakukan pada saat tanaman berumur 7 bulan. Pengamatan 1 dilakukan setelah aplikasi ke-1. Demikian juga pada pengamatan ke-2, 3, dan 4 dilakukan setelah aplikasi. Inokulasi cendawan *Metarhizium* sp yang telah tumbuh menyeluruh pada media beras jagung akan diaplikasikan pada sekitar tanaman tebu melalui daerah perakaran tebu yang kemudian di tutupi kembali dengan tanah. Setiap ulangan ditaburi sebanyak 1 kantong. Dalam 1 kantong *Metarhizium* sp memiliki berat sekitar 500 gram. Pengamatan dilakukan 7 hari setelah aplikasi. Aplikasi ke 2, 3, dan 4 dilakukan dalam selang waktu 2 minggu dari aplikasi sebelumnya. Pengaplikasikan biopestisida TKKS dengan cara diacampur dengan media air dan dedak sebanyak 2 Kg. Kemudian ditaburkan di sekitar tanaman tebu yang terserang uret lalu di tutupi kembali dengan tanah dengan konsentrasi sebesar 2.5% atau dengan doseis 37,5 ml/100 m<sup>2</sup> atau 1,25/Ha.

Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah Mortalitas (tingkat kematian serangga uji yang disebabkan oleh perlakuan aplikasi *Metarhizium* sp dan biopestisida TKKS), populasi hama uret tebu, dan Perubahan Fisik Hama Uret Tebu. Pengamatan dilakukan 1 hari setelah aplikasi hingga 14 hari setelah aplikasi (HSA). Pengamatan ini dilakukan dengan mencari uret tebu yang masih hidup ataupun yang sudah mati untuk melihat tingkat kematian sebelum dan setelah aplikasi Persentase mortalitas dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{mortalitas (\%)} = \frac{\text{populasi awal} - \text{populasi akhir}}{\text{populasi awal}} \times 100 \quad (2)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter pengamatan populasi, dan mortalitas uret tebu dianalisis dengan uji statistik ANOVA (*Analysis Of Variance*) jika data yang didapat memperlihatkan sangat berbeda nyata maka akan dilakukan uji lanjut dengan menggunakan uji lanjut BNT 5%. Sedangkan parameter perubahan fisik hama uret tebu didapatkan melalui perbandingan gambar penampakan uret tebu sebelum dan setelah aplikasi.

### Populasi Hama Uret Tebu

Perhitungan jumlah populasi hama uret tebu dimulai dari pengamatan pertama hingga pengamatan ke-4. Hasil rekapitulasi uji statistik ANOVA (*Analysis Of Variance*) populasi hama uret tebu dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil rekapitulasi anova populasi hama uret tebu

No	Parameter	Hasil	F tabel		KK (%)
	Pengamatan	Anova			
	Populasi	Faktor Hit	0,05	0,01	
1	Pengamatan 1	1,45 <sup>NS</sup>	3,55	3,60	9
2	Pengamatan 2	2,12 <sup>NS</sup>	3,55	3,60	8
3	Pengamatan 3	21,86 <sup>**</sup>	3,55	3,60	6
4	Pengamatan 4	110,67 <sup>**</sup>	3,55	3,60	9

NS : Tidak signifikan    \*\* : Berbeda sangat nyata    KK : Koefisien keragaman

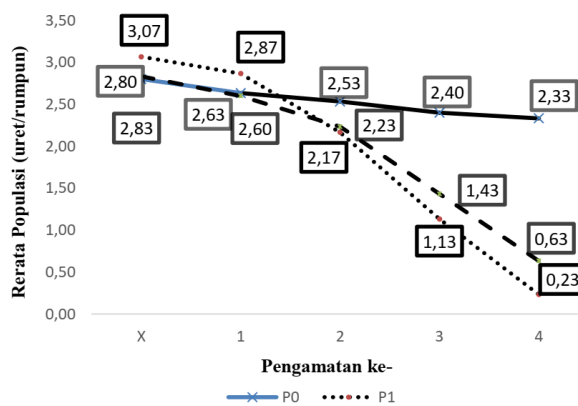
Hasil rekapitulasi anova pada populasi hama uret dapat dilihat bahwa perlakuan *Metarhizium* sp (P1) dan biopestisida TKKS (P2) tidak berpengaruh pada populasi hama uret pada aplikasi ke-1 dan ke-2. Sedangkan pada aplikasi ke-3 dan ke-4 berpengaruh sangat nyata sehingga diteruskan pada uji lanjut. Hasil uji lanjut BNT 5% dapat dilihat pada tabel 2

Tabel 2. Hasil uji BNT pada populasi hama uret

Perlakuan	Rerata Populasi Hama Uret			
	Pengamatan ke-3 BNT 5% (0,42)		Pengamatan ke-4 BNT 5% (0,52)	
P1	1,3	a	0,63	a
P2	1,43	b	0,23	b
P0	2,40	b	2,33	c

Angka yang diikuti oleh huruf menunjukkan hasil dari uji BNT 5% yang berarti berbeda nyata atau tidak berbeda nyata

Berdasarkan analisis uji BNT 5% populasi hama uret tanaman tebu pada pengaplikasian 2 rata-rata tertinggi populasi yaitu pada P0, dimana P0 tidak berbeda nyata dengan P1 dan P2. Pada pengaplikasian 3 rata-rata tertinggi populasi yaitu pada P0, dimana P0 berbeda nyata dengan P1 dan P2 serta P1 berbeda nyata dengan P0 dan P2. Sedangkan pada pengaplikasian 4 rata-rata tertinggi populasi yaitu pada P0, dimana P0 berbeda nyata dengan P1 dan P2 serta P1 berbeda nyata dengan P0 dan P2. Gambar rerata populasi hama uret tebu setelah aplikasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Populasi hama uret tebu setelah aplikasi

Gambar 1 mengindikasikan bahwa pada perlakuan P1, dan P2 terjadi penurunan populasi hama uret setelah diaplikasikan *Metarhizium* sp dan biopestisida TKKS. Pada kontrol (P0) terjadi penurunan meskipun hanya beberapa ekor dengan rata-rata 0,1 sampai 0,17 uret/rumpun. Penurunan populasi terjadi dari pengamatan sebelum aplikasi hingga aplikasi ke 1. Pada pengaplikasian biopestisida TKKS (P2) yang awalnya sebanyak 2,83 uret/rumpun menjadi 2,60 uret/rumpun menunjukkan penurunan lebih besar dibandingkan menggunakan *Metarhizium* sp (P1) yang awalnya sebanyak 3,06 uret/rumpun menjadi 2,86 uret/rumpun. Pada aplikasi ke 2 hingga ke 4 terjadi penurunan populasi terbesar pada aplikasi *Metarhizium* sp (P1) dibandingkan dengan aplikasi biopestisida TKKS (P2). Gambar diatas menunjukkan bahwa keduanya (perlakuan P1 dan P2) dapat menurunkan populasi hama uret, namun penurunan populasi hama uret tertinggi pada P1.

Penurunan populasi uret tebu terbanyak terjadi pada aplikasi ke 4 perlakuan P1. *Metarhizium* sp merupakan cendawan entomopatogen yang memiliki sifat parasit pada serangga sehingga menyebabkan penyakit "*green muscardine*" pada inang yang diserangnya (Dhanapal et al., 2020) dan salah satu habitatnya didalam tanah seperti hama uret *Lepidiotia stigma*, hama kepinding tanah, hama *Spodoptera litura* (Rosmiati et al., 2018). Lebih dari 700 spesies jamur entomopatogen yang dapat menginfeksi serangga hama (Athifa et al., 2018). Mekanisme infeksi *Metarhizium* sp melibatkan toksin yang dihasilkan dari reaksi enzimatis. Enzim yang terlibat dalam mekanisme infeksi adalah enzim kitinase (Kang et al., 1999). Kitinase merupakan salah satu enzim yang berperan penting dalam entomopatogenesis (Elawati et al., 2018).

Penurunan populasi uret tebu juga terjadi pada perlakuan P2 (Biopestisida TKKS). Biopestisida memiliki kandungan senyawa fenolik yang bersifat racun dan mampu mengendalikan perkembangan hama, jamur dan bakteri pada tanaman (Rodríguez et al., 2022) Fenol merupakan zat aktif yang memberikan efek insektisida dan antimikroba (Joaquín-Ramos et al., 2020). Efek toksik biasanya tercapai ketika stimulus mencapai jumlah tertentu sehingga muncul mekanisme biologis (Mückter, 2003)

**Mortalitas Hama Uret Tebu**

Perhitungan jumlah mortalitas hama uret tebu dimulai dari pengamatan pertama hingga pengamatan ke-4. Hasil rekapitulasi uji statistik ANOVA (*Analysis of Variance*) populasi hama uret tebu dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 3. Hasil rekapitulasi anova mortalitas hama uret tebu

No	Parameter Pengamatan	Hasil Anova	F tabel		KK (%)
	Populasi	Faktor Hit	0,05	0,01	
1	Pengamatan 1	0,83 <sup>NS</sup>	3,55	3,60	67
2	Pengamatan 2	10,84 <sup>**</sup>	3,55	3,60	30
3	Pengamatan 3	32,43 <sup>**</sup>	3,55	3,60	22
4	Pengamatan 4	254 <sup>**</sup>	3,55	3,60	8

NS: Tidak signifikan    \*\* : Berbeda sangat nyata    KK : Koefisien keragaman

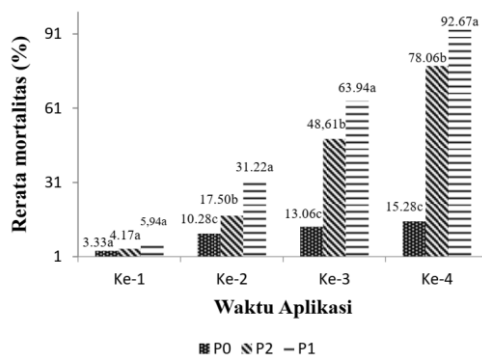
Hasil rekapitulasi anova pada mortalitas hama uret dapat dilihat bahwa perlakuan *Metarhizium* sp (P1) dan biopestisida TKKS (P2) tidak berpengaruh pada populasi hama uret pada aplikasi ke-1. Sedangkan pada aplikasi ke-2, ke-3 dan ke-4 berpengaruh sangat nyata sehingga diteruskan pada uji lanjut. Hasil uji lanjut BNT 5% dapat dilihat pada tabel 2

Tabel 4. Hasil uji BNT pada populasi hama uret

Perlakuan	Rerata Populasi Hama Uret		
	Pengamatan ke-2 BNT 5% (1,20)	Pengamatan ke-3 BNT 5% (1,28)	Pengamatan ke-4 BNT 5% (0,59)
P1	10,28	a 13,06	a
P2	17,50	b 48,61	b
P0	31,22	b 63,94	c

Angka yang diikuti oleh huruf menunjukkan hasil dari uji BNT 5% yang berarti berbeda nyata atau tidak berbeda nyata

Berdasarkan analisis uji BNT 5% uji BNT 5% mortalitas hama uret tebu pada aplikasi ke-2, ke-3, dan ke-4 di antara perlakuan P0, P2 dan P1 berbeda nyata. Pada aplikasi 2 mortalitas perlakuan P1 (31,22%) lebih besar dibandingkan dengan mortalitas P2 (17,5%) begitu pula P2 lebih besar dibandingkan P0 (10,28%). Pada aplikasi ke-3 mortalitas perlakuan P1 (63,94%) lebih besar dibandingkan dengan mortalitas P2 (48,61%) begitu pula P2 lebih besar dibandingkan P0 (13,06%). Pada aplikasi ke-4 mortalitas perlakuan P1 (92,67%) lebih besar dibandingkan dengan mortalitas P2 (78,06%) begitu pula P2 lebih besar dibandingkan P0 (15,28%). Daya infeksi pada setiap perlakuan memberikan pengaruh berbeda terhadap tingkat kematian serangga uji. Gambar data mortalitas hama uret tebu dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Mortalitas hama uret tebu setelah aplikasi

Gambar 2. Menunjukkan mortalitas hama uret tertinggi terjadi pada perlakuan P1 (perlakuan *Metarhizium* sp). Mekanisme infeksi *Metarhizium* sp terjadi melalui kontak hifa dengan kutikula (Zayed et al., 2013). Infeksi tersebut terjadi setelah terdapat kontak antara konidia dengan bagian kutikula yang sensitif. *Metarhizium* sp dapat menginfeksi serangga melalui kulit luar (integument) di antara ruas tubuh (Dimbi et al., 2013), melalui mulut, alat pernafasan (trakea) dan bagian tubuh yang terluka (Aw & Hue, 2017b). *Metarhizium* sp dapat mematikan wereng coklat (Ibrahim et al., 2021), dan larva *Oryctes rhinoceros* (Latch & Falloon, 1976)

Terdapat dua cara *Metarhizium* sp. membunuh inangnya, yakni dengan strategi pertumbuhan dan strategi toksin (Mukherjee & Vilcinskas, 2018) Strategi pertama yaitu secara pertumbuhan, kematian inang yang disebabkan perkembangan hifa *Metarhizium* sp di hemolimf dan mengganggu homeostatis serta menyebabkan kelaparan (Bitencourt et al., 2023). Kedua, Strategi toksin yaitu *Metarhizium* sp memproduksi Destruksin yang dapat melumpuhkan atau melemahkan inang dengan perlahan membunuh inangnya (Golo et al., 2014). Umumnya *Metarhizium* sp membunuh inang dengan dua kombinasi strategi tersebut, namun terdapat beberapa varian yang tidak dapat memproduksi Destruksin (Barelli et al., 2022).

Destruksin atau destruxins adalah metabolit sekunder yang diproduksi oleh *Metarhizium* sp. Destruksin merupakan toksin siklik peptida yang bersifat insektisida, memiliki efek paralysis & anorexic terhadap tubuh serangga. Senyawa ini akan terus dihasilkan oleh *Metarhizium* sp selama proses perkembangannya didalam tubuh serangga inang (Kershaw et al., 1999). Lebih dari 35 jenis destruksin telah teridentifikasi diantaranya dari lima asam amino yaitu prolin, isoleusin, methyl-valin, methyl-alanin, dan beta-alanin (Pedras et al., 2002). Toksin destruxin mengakibatkan gangguan fungsi hemolifa, terganggunya system pencernaan, gangguan inti sel uret inang, dan hilang kesadaran serta kerusakan jaringan dalam tubuh serangga (Vey et al., 2002).

Kandungan biopestisida TKKS yang mampu mematikan hama salah satunya yaitu fenol. Fenol menyebabkan kerusakan pada sel, denaturasi protein, menginaktivkan enzim, dan menyebabkan kebocoran sel (Lukáčová et al., 2023). Hal tersebut yang berakibat pada terganggunya perkembangan serangga hingga dapat menyebabkan kematian pada serangga. Beberapa senyawa yang terkandung dalam asap cair seperti asam asetat dan asam benzoate (Faisal et al., 2018) memiliki sifat mudah larut dalam air sehingga bahan aktif tersebut cepat masuk kedalam tubuh serangga yang dapat menyebabkan homolisis sel darah, kerusakan fungsi sel, dan dapat mengakibatkan kematian (Mostafiz et al., 2022). Kandungan kimia terbanyak dari Asap cair TKKS adalah Ethylene glycol, Acetic Acid (asam asetat), Phenol/Benzenol dan Benzensulfonic acid/Carbamic acid, Acetone (aseton) dan Butyrolactone dengan masing-masing konsentrasi berturut-turut yakni 52,06 %, 22,67%, 7,76 %, 4,46% serta 2,77% (Sari, 2018). Asap cair tempurung kelapa dengan konsentrasi 7% memiliki persentase mortalitas ulat grayak sebesar 88,89% (Isa et al., 2019). Pemberian asap cair serbuk gergaji kayu jati dengan konsentrasi 30% efektif dalam mempengaruhi mortalitas *A. Gossypii* (Farida & Ratnasari, 2019)

### **Perubahan Fisik Hama Uret Tebu Pada *Metarhizium sp***

Perubahan fisik diamati secara visual melihat perubahan yang terjadi pada hama uret tebu, antara lain perubahan warna, tekstur tubuh, ukuran tubuh akibat aplikasi *Metarhizium sp*. Pengamatan dilakukan dengan melihat perubahan pada uret yang telah mati. Selanjutnya dilakukan perbandingan dengan uret tebu yang belum di aplikasikan. Perubahan fisik hama uret tebu pada *Metarhizium sp*. Dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 3. Perubahan uret tebu terinfeksi *Metarhizium sp*, A). larva Sehat, B) larva yang terinfeksi jamur *Metarhizium sp* 6 hari setelah aplikasi

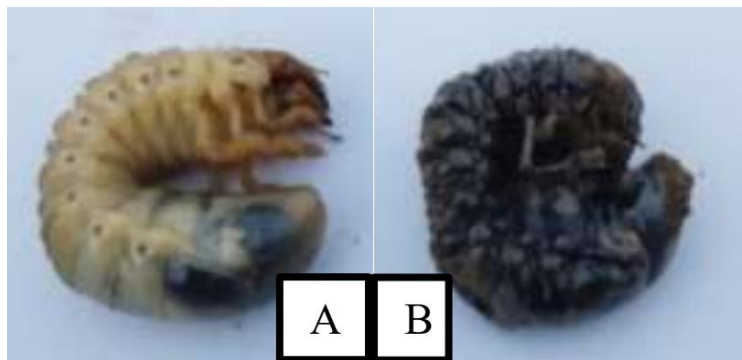
Gambar 3. Menunjukkan terjadinya perubahan warna pada tubuh uret tebu setelah perlakuan P1 (aplikasi *Metarhizium sp*). Hama uret memiliki warna awal putih kekuningan yang kemudian berubah menjadi hijau gelap. Perubahan warna ini disebabkan terinfeksi hama uret oleh *Metarhizium sp*. yang terjadi pada hari ke-7. Aplikasi jamur *Metarhizium sp*. menyebabkan gejala pertumbuhan miselium yang awalnya berwarna putih dan kemudian berubah menjadi hijau gelap pada hari ke-5 setelah aplikasi (Han et al., 2014). Awal pertumbuhan, koloni jamur *Metarhizium sp* berwarna putih, kemudian berubah menjadi hijau gelap dengan bertambahnya umur kolon I (Geremew et al., 2024) .

Selain mengalami perubahan warna tubuh, uret tebu juga mengalami perubahan secara fisik maupun perilaku setelah aplikasi *Metarhizium sp*. Sebelum aplikasi terlihat bahwa hama uret memiliki pergerakan aktif namun ketika laju infeksi meningkat, pergerakan larva mulai melambat hingga tidak ada pergerakan, dan tubuh uret mengeras. *Metarhizium anisopliae* dapat menyebabkan tubuh uret mengeras dan mengering (Aw & Hue, 2017a). Selain mengeras tubuh larva juga berubah menjadi hitam (Ma et al., 2024). Perubahan warna hitam yang terjadi pada tubuh larva disebabkan oleh melanisasi yang merupakan suatu bentuk pertahanan tubuh serangga untuk melawan patogen (Włóka et al., 2022).

Keberhasilan jamur entomopatogen dalam menginfeksi serangga hama dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya lingkungan dan viabilitas spora. Jamur entomopatogen untuk dapat berkecambah memerlukan keadaan yang lembab (Athanasios et al., 2017). Infeksi menyebabkan serangga mengalami mumifikasi dengan tubuh mengeras dan ada inisiasi pertumbuhan jamur *Metarhizium sp*. (Indriyanti et al., 2021)

### **Perubahan Fisik Hama Uret Tebu Pada Biopestisida TKKS**

Perubahan fisik yang diamati pada hama uret setelah perlakuan Biopestisida TKKS, antara lain perubahan warna, tekstur tubuh, dan ukuran tubuh. Pengamatan dilakukan dengan membandingkan uret tebu sebelum aplikasi dan setelah aplikasi. Perubahan fisik hama uret tebu pada biopestisida TKKS dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Perubahan uret tebu terinfeksi biopestisida TKKS, A). larva Sehat, B) larva yang terinfeksi biopestisida TKKS 10 hari setelah aplikasi

Gambar 4. Memperlihatkan perbandingan uret tebu sebelum dan sesudah aplikasi biopestisida TKKS. Perubahan warna menjadi lebih pekat (hitam) sedangkan perubahan tubuh uret tebu yang mati tampak seperti menggulung dan mengalami penyusutan hingga mengerut dan juga mengering. Setelah aplikasi tekstur tubuh uret menjadi lunak dan mengeluarkan bau menyengat. Bau tersebut muncul dikarenakan asap cair memiliki aroma yang kuat. Bau yang tidak disenangi dari asap cair merupakan repellent bagi tanaman dan antieedant (Mustikawati et al., 2016) yang berfungsi untuk meracuni serangga hama sehingga hama tidak ingin mendekat kemudian mampu mengusir serangga hama dan apabila termakan dapat mengganggu fungsi pencernaan dari serangga (Andy et al., 2022). Sebelum mengaplikasikan biopestisida tandan kosong kelapa sawit ke lahan, biopestisida tandan kosong kelapa sawit tersebut dicampur dengan air dan dedak untuk memudahkan dalam pengaplikasian dan melarutkan kandungan yang ada pada biopestisida. beberapa senyawa yang terdapat dalam biopestisida limbah kelapa sawit seperti asam asetat dan asam (Adhikari et al., 2012) mudah larut dalam air sehingga bahan aktif lebih cepat masuk ke dalam tubuh serangga, menghemolisis sel darah, merusak fungsi hati dan dapat menyebabkan kematian larva (Sqamaniago et al., 2019) Menghitamnya seluruh tubuh ulat dan keluarnya bau menyengat juga tidak sedap merupakan ciri-ciri tahap akhir pembusukan yang terdapat pada larva yang telah mengalami kematian.

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Aplikasi *Metarhizium* sp lebih mampu menurunkan populasi hama uret pada tanaman tebu dengan nilai mortalitas tertinggi sebesar 92,67% sedangkan pada aplikasi biopestisida TKKS sebesar 78,06%. Aplikasi biopestisida tandan kosong kelapa sawit berpengaruh sangat nyata namun kurang efektif dalam menurunkan populasi hama uret tebu.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Adhikari, U., Ghosh, P., & Chandra, G. (2012). Biocontrol efficacy of an organic acid against larval form of *Culex quinquefasciatus*, *Culex vishuni* group and *Anopheles stephensi*. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 2(6), 485–487. [https://doi.org/10.1016/S2222-1808\(12\)60106-6](https://doi.org/10.1016/S2222-1808(12)60106-6)
- Andy, A., Malaka, R., Purwanti, S., M Ali, H., Lusya Aulyani, T., & Nur Adli, D. (2022). Effects of the Encapsulation of Liquid Smoke on Growth Performance, Intestinal Profile, and Microbial Profile of Broiler Chickens. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 10(12). <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2022/10.12.2538.2545>
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Rumbos, C. I., & Kontodimas, D. C. (2017). Influence of Temperature and Relative Humidity on the Insecticidal Efficacy of *Metarhizium anisopliae* against Larvae of *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) on Wheat. *Journal of Insect Science*, 17(1). <https://doi.org/10.1093/jisesa/iw107>
- Athifa, S., Anwar, S., & Kristanto, B. A. (2018). Pengaruh keragaman jamur *Metarhizium anisopliae* terhadap mortalitas larva hama *Oryctes rhinoceros* dan *Lepidopta stigma*. *Journal of Agro Complex*, 2(2), 120. <https://doi.org/10.14710/joac.2.2.120-127>
- Aw, K. M. S., & Hue, S. M. (2017a). Mode of infection of *metarhizium* spp. Fungus and their potential as biological control agents. *Journal of Fungi*, 3(2). <https://doi.org/10.3390/jof3020030>

- Aw, K. M. S., & Hue, S. M. (2017b). Mode of Infection of *Metarhizium* spp. Fungus and Their Potential as Biological Control Agents. *Journal of Fungi*, 3(2), 30. <https://doi.org/10.3390/jof3020030>
- Barelli, L., Behie, S. W., Hu, S., & Bidochka, M. J. (2022). Profiling Destruxin Synthesis by Specialist and Generalist *Metarhizium* Insect Pathogens during Coculture with Plants. *Applied and Environmental Microbiology*, 88(12). <https://doi.org/10.1128/aem.02474-21>
- Bezerra-Silva, G. C. D., Silva, M. A., Miranda, M. P. De, & Lopes, J. R. S. (2012). Effect of Contact and Systemic Insecticides on the Sharpshooter *Bucephalagonia xanthophis* (Hemiptera: Cicadellidae), a Vector of *Xylella fastidiosa* in Citrus. *Florida Entomologist*, 95(4), 854–861. <https://doi.org/10.1653/024.095.0406>
- Billeisen, T. L., & Brandenburg, R. L. (2014). Biology and management of the sugarcane beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) in turfgrass. *Journal of Integrated Pest Management*, 5(4), 1–5. <https://doi.org/10.1603/IPM14008>
- Bitencourt, R. de O. B., Santos-Mallet, J. R. dos, Lowenberger, C., Ventura, A., Gôlo, P. S., Bittencourt, V. R. E. P., & Angelo, I. da C. (2023). A Novel Model of Pathogenesis of *Metarhizium anisopliae* Propagules through the Midguts of *Aedes aegypti* Larvae. *Insects*, 14(4), 328. <https://doi.org/10.3390/insects14040328>
- Cavalier, H., Trasande, L., & Porta, M. (2023). Exposures to pesticides and risk of cancer: Evaluation of recent epidemiological evidence in humans and paths forward. *International Journal of Cancer*, 152(5), 879–912. <https://doi.org/10.1002/ijc.34300>
- Conlong, D. E., & Ganeshan, S. (2016). *SUGARCANE WHITE GRUBS (COLEOPTERA: SCARABAEIDAE) IN AFRICA AND INDIAN OCEAN ISLANDS: THEIR PEST STATUS AND THE POTENTIAL FOR FUNGAL ENTOMOPATHOGENIC CONTROL* *Eldana cold tolerance View project Eldana saccharina Sterile Insect Technique in South Africa View. September*. <https://www.researchgate.net/publication/308610570>
- de Miranda, R. P. R., Soares, T. K. dos A., Castro, D. P., & Genta, F. A. (2024). General aspects, host interaction, and application of *Metarhizium* sp. in arthropod pest and vector control. *Frontiers in Fungal Biology*, 5. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2024.1456964>
- Deka, B., Babu, A., Peter, A. J., Kumhar, K. C., Sarkar, S., Rajbongshi, H., Dey, P., Amalraj, E. L. D., & Talluri, V. R. (2021). Potential of the entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae* s.l. in controlling live-wood eating termite, *Microtermes obesi* (Holmgren) (Blattodea: Termitidae) infesting tea crop. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(1), 132. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00477-4>
- Dhanapal, R., Kumar, D. V. S. R., Lakshmi pathy, R., Rani, C. S., & Kumar, V. M. (2020). Exploration of indigenous strains of the green muscardine fungus from soils and their pathogenicity against the tobacco caterpillar, *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00239-8>
- Dias, M. O. S., Ensinas, A. V., Nebra, S. A., Maciel Filho, R., Rossell, C. E. V., & Maciel, M. R. W. (2009). Production of bioethanol and other bio-based materials from sugarcane bagasse: Integration to conventional bioethanol production process. *Chemical Engineering Research and Design*, 87(9), 1206–1216. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2009.06.020>
- Dimbi, S., Maniania, N., & Ekesi, S. (2013). Horizontal Transmission of *Metarhizium anisopliae* in Fruit Flies and Effect of Fungal Infection on Egg Laying and Fertility. *Insects*, 4(2), 206–216. <https://doi.org/10.3390/insects4020206>
- Dino, E. (2018). Kajian Ekonomis Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar PLTU Biomassa. *Seminar Nasional Royal (SENAR)*, 1(3), 417–422.
- Dwi, E., & Wardati, I. (2024). *Uji Efikasi Biopestisida Tandan Kosong Kelapa Sawit ( Elaeis guineensis Jacq .) dengan Konsentrasi dan Metode Aplikasi Berbeda terhadap Mortalitas Hama Uret Tebu ( Lepidiotia stigma F .) Biopesticide Efficacy Test of Empty Oil Palm Bunches ( Elaeis guineen. 91–103.*
- Elawati, N. E., Pujiyanto, S., & Kusdiyantini, E. (2018). Production of extracellular chitinase *Beauveria bassiana* under submerged fermentation conditions. *Journal of Physics: Conference Series*, 1025, 012074. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1025/1/012074>
- Endrizal, & Meilin, A. (2022). Prospek Dan Pengelolaan Tanaman Tebu “PoJ 2878 Agribun Kerinci” Sebagai Penghasil Gula Merah Di Kabupaten Kerinci, Provinsi Jambi. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*, 6(2), 212–228. <https://doi.org/10.22437/jiituj.v6i2.22959>
- Faisal, M., Yelvia, S., & Desvita, H. (2018). Characteristics of liquid smoke from the pyrolysis of durian peel waste at moderate temperatures. *Rasayan Journal of Chemistry*, 11(2), 871–876. <https://doi.org/10.7324/RJC.2018.1123035>
- Farida, L., & Ratnasari, E. (2019). Pengaruh Asap Cair Serbuk Gergaji Kayu Jati (*Tectona grandis*) terhadap Mortalitas Kutu Daun (*Aphis gossypii*). *Lentera Bio*, 8(1), 44–49. <http://ejournal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio>
- Fikri, R. (2023). *KAJIAN PENGEMBANGAN INDUSTRI GULA KRISTAL PUTIH INDONESIA Study of Development of Indonesian White Crystal Sugar Industries*. 8, 27–38.
- Geremew, D., Shiberu, T., & Leta, A. (2024). Isolation, morphological characterization, and screening virulence of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium robertsii* fungal isolates on *Galleria mellonella*. *F1000Research*, 12, 827. <https://doi.org/10.12688/f1000research.134020.5>
- Ghimire, P. (2021). an Overview on Biological Control of Insect Pests: Review Article. *I TECH MAG*, 3(February), 19–26. <https://doi.org/10.26480/itechmag.03.2021.19.26>
- Godoi, F. C., Prakash, S., & Bhandari, B. R. (2021). Final report Integrated pest management of stem borers and insect vectors of viral diseases of sugarcane in Indonesia. In *Review of 3D printing and potential red meat applications* (Issue 23 February 2021). <http://libdcms.nida.ac.th/thesis6/2010/b166706.pdf>
- Golo, P. S., Gardner, D. R., Grilley, M. M., Takemoto, J. Y., Krasnoff, S. B., Pires, M. S., Fernandes, É. K. K., Bittencourt,

- V. R. E. P., & Roberts, D. W. (2014). Production of Destruxins from *Metarhizium* spp. Fungi in Artificial Medium and in Endophytically Colonized Cowpea Plants. *PLoS ONE*, 9(8), e104946. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104946>
- Goodman, A. L., Lockhart, S. R., Lysen, C. B., Westblade, L. F., Burnham, C.-A. D., & Burd, E. M. (2018). Two cases of fungal keratitis caused by *Metarhizium anisopliae*. *Medical Mycology Case Reports*, 21, 8–11. <https://doi.org/10.1016/j.mmcr.2018.03.003>
- Han, J. H., Jin, B. R., Kim, J. J., & Lee, S. Y. (2014). Virulence of Entomopathogenic Fungi *Metarhizium anisopliae* and *Paecilomyces fumosoroseus* for the Microbial Control of *Spodoptera exigua*. *Mycobiology*, 42(4), 385–390. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2014.42.4.385>
- Hartari, W. R., Delvitasari, F., Maryanti, M., Undadrajaja, B., Hasbullah, F., & Deksono, G. A. (2023). Pengujian Lignoselulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Waktu Delignifikasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Menggunakan Uap Bertekanan. *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, 151–158. <https://doi.org/10.25181/jaip.v11i13.3007>
- Ibrahim, E., Firmansyah, F., & Panikkai, S. (2021). The effectiveness of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* in controlling the green leaf hopper (*Nephotettix virescens*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 911(1), 012061. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/911/1/012061>
- Ilahi, A. R., Julita, C., Rahmayanti, L., Fatimah, Banurea, S. I., & Basuki, M. (2023). Pengolahan Tanaman Tebu Sebagai Pembuatan Gula Merah Di Desa Buter Balik, Kecamatan Kute Panang, Kabupaten Aceh Tengah. *Karunia: Jurnal Hasil Pengabdian Masyarakat Indonesia*, 2(3), 160–166. <https://doi.org/10.58192/karunia.v2i3.1165>
- Indriyanti, D. R., Bintari, S. H., Setiati, N., & Alfian, J. M. Z. (2021). The Density and Viability of *Metarhizium anisopliae* Conidia on Several Growth Media. *Biosaintifika*, 13(2), 237–242. <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v13i2.31408>
- Isa, I., Musa, W. A., & Rahman, S. W. (2019). Pemanfaatan Asap Cair Tempurung Kelapa Sebagai Pestisida Organik. *Jambura: Journal of Chemistry*, 1(1), 15–20.
- Joaquín-Ramos, A. de J., López-Palestina, C. U., Pinedo-Espinoza, J. M., Altamirano-Romo, S. E., Santiago-Saenz, Y. O., Aguirre-Mancilla, C. L., & Gutiérrez-Tlahque, J. (2020). Phenolic compounds, antioxidant properties and antifungal activity of jarilla (*Barkleyanthus salicifolius*). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 80(3), 352–360. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000300352>
- Kang, S. C., Park, S., & Lee, D. G. (1999). Purification and Characterization of a Novel Chitinase from the Entomopathogenic Fungus, *Metarhizium anisopliae*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 73(3), 276–281. <https://doi.org/10.1006/jipa.1999.4843>
- Kershaw, M. J., Moorhouse, E. R., Bateman, R., Reynolds, S. E., & Charnley, A. K. (1999). The Role of Destruxins in the Pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* for Three Species of Insect. *Journal of Invertebrate Pathology*, 74(3), 213–223. <https://doi.org/10.1006/jipa.1999.4884>
- Knowledge, P. (2022). *Lepidiota stigma* (sugarcane white grub). *Plantwise Plus Knowledge Bank, Species Pa*. <https://doi.org/10.1079/pwkb.species.31422>
- Kuniata, L. S., & Young, G. R. (1992). THE BIOLOGY OF LEPIDIOTA REULEAUXI BRENSKE (COLEOPTERA: SCARABAEIDAE), A PEST OF SUGARCANE IN PAPUA NEW GUINEA. *Australian Journal of Entomology*, 31(4), 339–343. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.1992.tb00521.x>
- Labandeira, C. C., & Prevec, R. (2014). Plant paleopathology and the roles of pathogens and insects. *International Journal of Paleopathology*, 4, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2013.10.002>
- Lagrava-Sánchez, J. J. (2016). Sugarcane white grub. *PlantwisePlus Knowledge Bank, July*, 33368804. <http://dx.doi.org/10.1079/pwkb.20137804414>
- Latch, G. C. M., & Falloon, R. E. (1976). Studies on the use of *Metarhizium anisopliae* to control *Oryctes rhinoceros*. *Entomophaga*, 21(1), 39–48. <https://doi.org/10.1007/BF02372014>
- Lukáčová, A., Lihanová, D., Beck, T., Albery, R., Vešelényiová, D., Krajčovič, J., & Vesteg, M. (2023). The Influence of Phenol on the Growth, Morphology and Cell Division of *Euglena gracilis*. *Life*, 13(8), 1734. <https://doi.org/10.3390/life13081734>
- Ma, M., Luo, J., Li, C., Eleftherianos, I., Zhang, W., & Xu, L. (2024). A life-and-death struggle: interaction of insects with entomopathogenic fungi across various infection stages. *Frontiers in Immunology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1329843>
- Malado, M., & Nirmala, F. firdhausi. (2024). *Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman Pertanian*. CV. Gita Lentera.
- Mesquita, E., Hu, S., Lima, T., Golo, P. S., & Bidochka, M. (2023). Utilization of *Metarhizium* as an insect biocontrol agent and a plant bioinoculant with special reference to Brazil. *Frontiers in Fungal Biology*, 4(December), 1–10. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2023.1276287>
- Mostafiz, M. M., Hassan, E., & Lee, K.-Y. (2022). Methyl Benzoate as a Promising, Environmentally Safe Insecticide: Current Status and Future Perspectives. *Agriculture*, 12(3), 378. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030378>
- Msomba, B. H., Ndaki, P. M., & Joseph, C. O. (2024). Sugarcane sustainability in a changing climate: a systematic review on pests, diseases, and adaptive strategies. *Frontiers in Agronomy*, 6(August), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1423233>
- Mückter, H. (2003). What is toxicology and how does toxicity occur? *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, 17(1), 5–27. <https://doi.org/10.1053/bean.2003.0270>
- Mukherjee, K., & Vilcinskis, A. (2018). The entomopathogenic fungus *Metarhizium robertsii* communicates with the insect host *Galleria mellonella* during infection. *Virulence*, 9(1), 402–413. <https://doi.org/10.56211/tabela.v3i1.711>

<https://doi.org/10.1080/21505594.2017.1405190>

- Mustikawati, R., Mulyanti, N., & Arief, R. (2016). Study Effectiveness of Liquid Smoke as a Natural Insecticide for Main Pest Control of Soybean Crops. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR) International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 30(1), 237–245. <http://gssrr.org/index.php?journal=JournalOfBasicAndApplied>
- Nasution, M. H., Lelinasari, S., & Kelana, M. G. S. (2022). A review of sugarcane bagasse pretreatment for bioethanol production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 963(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/963/1/012014>
- Nishi, O., & Sato, H. (2019). Isolation of *Metarhizium* spp. from rhizosphere soils of wild plants reflects fungal diversity in soil but not plant specificity. *Mycology*, 10(1), 22–31. <https://doi.org/10.1080/21501203.2018.1524799>
- Nyamwasa, I., Li, K., Rutikanga, A., Rukazambuga, D. N. T., Zhang, S., Yin, J., Ya-zhong, C., Zhang, X. X., & Sun, X. (2018). Soil insect crop pests and their integrated management in East Africa: A review. *Crop Protection*, 106, 163–176. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.11.017>
- Pedras, M. S. C., Irina Zaharia, L., & Ward, D. E. (2002). The destruxins: synthesis, biosynthesis, biotransformation, and biological activity. *Phytochemistry*, 59(6), 579–596. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00016-X](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00016-X)
- Peng, Z.-Y., Huang, S.-T., Chen, J.-T., Li, N., Wei, Y., Nawaz, A., & Deng, S.-Q. (2022). An update of a green pesticide: *Metarhizium anisopliae*. *All Life*, 15(1), 1141–1159. <https://doi.org/10.1080/26895293.2022.2147224>
- Pertiwi, S. A., & Nanang Tri Haryadi. (2022). Uji Toksisitas Jamur *Metarhizium anisopliae* terhadap Hama Ulat Krop Kubis *Crociodolomia binotalis* Zell. *JURNAL AGRI-TEK: Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Eksakta*, 23(2), 15–20. <https://doi.org/10.33319/agtek.v23i2.116>
- Perwitasari, H., Mulyo, J. H., Sugiyarto, S., Widada, A. W., Siregar, A. P., & Fadhliani, Z. (2021). Economic Impact of Sugarcane in Inonesia: An Input-Output Approach. *Agro Ekonomi*, 32(1). <https://doi.org/10.22146/ae.61051>
- Riguetti Zanardo Botelho, A. B., Alves-Pereira, A., Colonhez Prado, R., Zucchi, M. I., & Delalibera Júnior, I. (2019). *Metarhizium* species in soil from Brazilian biomes: a study of diversity, distribution, and association with natural and agricultural environments. *Fungal Ecology*, 41, 289–300. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2019.07.004>
- Rodríguez, A., Beato, M., Usseglio, V. L., Camina, J., Zygadlo, J. A., Dambolena, J. S., & Zunino, M. P. (2022). Phenolic compounds as controllers of *Sitophilus zeamais*: A look at the structure-activity relationship. *Journal of Stored Products Research*, 99, 102038. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.102038>
- Rosmiati, A., Hidayat, C., Firmansyah, E., & Setiati, Y. (2018). Potensi *Beauveria bassiana* sebagai Agens Hayati *Spodoptera litura* Fabr. pada Tanaman Kedelai. *Agrikultura*, 29(1), 43. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v29i1.16925>
- Samanta, S., Maji, A., Sutradhar, B., Banerjee, S., Shelar, V. B., Khaire, P. B., Yadav, S. V., & Bansode, G. D. (2023). Impact of Pesticides on Beneficial Insects in Various Agroecosystem: A Review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(8), 1928–1936. <https://doi.org/10.9734/ijec/2023/v13i82149>
- Sanchez-Bayo, F., A., H., & Gok, K. (2013). Impact of Systemic Insecticides on Organisms and Ecosystems. *Insecticides - Development of Safer and More Effective Technologies*. <https://doi.org/10.5772/52831>
- Saputri, E. nur, Dhayan, R., Harsanti, B. R., Putri, D. M., & Fadly, D. (2021). Total Fenol dan Aktivitas Anti-Inflamasi Jamur Sawit (*Volvariella* sp) Total Phenol and Anti-Inflammatory Activities of Palm Mushroom (*Volvariella* sp). *Jurnal Ilmu Kesehatan*, 15(3), 295–300.
- Sari, E. R. (2018). Identifikasi Mutu Asap CAir Hasil Pirolisis Limbah Tandan Kosong Sawit. *Jurnal Agroqua*, 16(1), 1–9.
- Sarjan, M., Muchlis, M., & Muthahanas, I. (2021). The Diversity of Major Insect Pests at Sugarcane Development Center In Dompu Distrcit, West Nusa Tenggara. *Journal of Science and Science Education*, 2(1), 38–46. <https://doi.org/10.29303/jossed.v2i1.712>
- Shekhar, C., Khosya, R., Thakur, K., Mahajan, D., Kumar, R., Kumar, S., & Sharma, A. K. (2024). A systematic review of pesticide exposure, associated risks, and long-term human health impacts. *Toxicology Reports*, 13(October), 101840. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101840>
- Siddiqui, J. A., Fan, R., Naz, H., Bamisile, B. S., Hafeez, M., Ghani, M. I., Wei, Y., Xu, Y., & Chen, X. (2023). Insights into insecticide-resistance mechanisms in invasive species: Challenges and control strategies. *Frontiers in Physiology*, 13(January), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1112278>
- Sqamaniego, J. A., Pedroza-Sandoval, A., Bravo, A., Sánchez, J. F., Peña-Chora, G., Mendoza-Flores, D., Chew Madinaveitia, Y., & Gaytán Mascorro, A. (2019). Fumigación con ácido acético y antimicrobianos para disminuir mortandad de *Chrysoperla carnea* por infección indeterminada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 973–986. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1648>
- Sreedevi, K., Tyagi, S., & Ramamurthy, V. V. (2015). Egg morphology of twelve species of melolonthinae and rutelinae (Coleoptera: Scarabaeidae). *Coleopterists Bulletin*, 69(3), 426–434. <https://doi.org/10.1649/0010-065X-69.3.426>
- Sumampow, M. F., Suryanto, E., & Momuat, L. I. (2022). Potensi Antioksidan Dan Antibakteri Asap Cair Dari Limbah Sagu Baruk Dengan Daun Cengkeh. *Chemistry Progress*, 15(1). <https://doi.org/10.35799/cp.15.1.2022.44492>
- Ullah, M. I., Qadeer, M., Arshad, M., Khalid, S., Saleem, U., Riaz, M. A., Mumtaz, A., Rizwan, M., Sayed, S. M., Alhelaify, S. S., Alharthy, O. M., & Mushtaq, M. (2023). Insights into sublethal effects of *Metarhizium anisopliae* on the biotic potentials of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on maize. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33(1), 96. <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00741-9>
- Utami, D. I., Muningsih, R., & Ciptadi, G. (2021). IDENTIFIKASI TINGKAT SERANGAN HAMA URET (Lepidoptera)

- stigma. F) PADA TANAMAN TEBU (*Saccharum officinarum* L) DI KABUPATEN SLEMAN. *Jurnal Pengelolaan Perkebunan (JPP)*, 2(1), 22–29. <https://doi.org/10.54387/jpp.v1i1.23>
- Verma, K. K., Song, X.-P., Singh, M., Prado, R. de M., Wu, J.-M., & Li, Y.-R. (2024). *Sugarcane Cultivation and Management*. Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9781003504122>
- Vey, A., Matha, V., & Dumas, C. (2002). Effects of the peptide mycotoxin destruxin E on insect haemocytes and on dynamics and efficiency of the multicellular immune reaction. *Journal of Invertebrate Pathology*, 80(3), 177–187. [https://doi.org/10.1016/S0022-2011\(02\)00104-0](https://doi.org/10.1016/S0022-2011(02)00104-0)
- Vivekanandhan, P., Swathy, K., Kalaimurugan, D., Ramachandran, M., Yuvaraj, A., Kumar, A. N., Manikandan, A. T., Poovarasam, N., Shivakumar, M. S., & Kweka, E. J. (2020). Larvicidal toxicity of *Metarhizium anisopliae* metabolites against three mosquito species and non-targeting organisms. *PLOS ONE*, 15(5), e0232172. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232172>
- Wagiyana, Habriantono, B., & Alfarisy, F. K. (2021). Biological control of white grubs (*Lepidiota stigma* L; Coleoptera; Scarabaeidae) with entomopathogenic nematodes and fungus *Metarhizium anisopliae* (Metsch). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 759(1), 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/759/1/012023>
- Wasuwan, R., Phosrithong, N., Promdonkoy, B., Sangsrakru, D., Sonthirod, C., Tangphatsornruang, S., Likhitrattanapisal, S., Ingsriswang, S., Srisuksam, C., Klamchao, K., Suksangpanomrung, M., Hlepongpanich, T., Reungpatthanaphong, S., Tanticharoen, M., & Amnuaykanjanasin, A. (2021). The Fungus *Metarhizium* sp. BCC 4849 Is an Effective and Safe Mycoinsecticide for the Management of Spider Mites and Other Insect Pests. *Insects*, 13(1), 42. <https://doi.org/10.3390/insects13010042>
- Widihastuty, W., Utami, S., & Siregar, S. (2022). Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Pestisida Nabati Dengan Metode Pirolisis. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 6(6), 4968. <https://doi.org/10.31764/jmm.v6i6.11403>
- Witjaksono, A. E. M. dan. (2014). Penentuan Ale Dan Ae Larva *Lepidiota Stigma* F Pada Tanaman Tebu. *Jurnal Teknosains*, 3(2), 81–90. <https://doi.org/10.22146/teknosains.6020>
- Włóka, E., Boguś, M. I., Wrońska, A. K., Drozdowski, M., Kaczmarek, A., Sobich, J., & Gołębiowski, M. (2022). Insect cuticular compounds affect *Conidiobolus coronatus* (Entomophthorales) sporulation and the activity of enzymes involved in fungal infection. *Scientific Reports*, 12(1), 13641. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17960-z>
- Yulia, S., Samharinto, & Bambang, L. (2018). PENGGUNAAN ASAP CAIR TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) SEBAGAI PESTISIDA NABATI UNTUK MENGENDALIKAN HAMA PERUSAK DAUN TANAMAN SAWI (*Brassica juncea* L.). *EnviroScientiae*, 14(3), 272. <https://doi.org/10.20527/es.v14i3.5699>
- Zayed, A., Soliman, M. M., & El-Shazly, M. M. (2013). Infectivity of *Metarhizium anisopliae* (Hypocreales: Clavicipitaceae) to *Phlebotomus papatasi* (Diptera: Psychodidae) Under Laboratory Conditions. *Journal of Medical Entomology*, 50(4), 796–803. <https://doi.org/10.1603/ME12244>
- Zimmermann, G. (2007). Review on safety of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Biocontrol Science and Technology*, 17(9), 879–920. <https://doi.org/10.1080/09583150701593963>
- Zumroh, A., Budi, S., & Lailiyah, W. N. (2023). Genetic diversity, heritability, and productivity of new sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) clones on paddy fields for enhanced sugar production in Indonesia. *Jurnal Ilmiah Pertanian*, 20(2), 189–199. <https://doi.org/10.31849/jip.v20i2.12533>