

**EKSPLORASI CENDAWAN ENTOMOPATOGEN PADA LAHAN ORGANIK  
DAN ANORGANIK DI SAWAH DAN KEBUN HORTIKULTURA  
MENGUNAKAN *INSECT BAIT METHOD***

**TASYA HADEL PRITAMI**  
**G011181109**



**DEPARTEMEN HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN  
PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2022**

**EKSPLORASI CENDAWAN ENTOMOPATOGEN PADA LAHAN ORGANIK  
DAN ANORGANIK DI SAWAH DAN KEBUN HORTIKULTURA  
MENGUNAKAN *INSECT BAIT METHOD***

**TASYA HADEL PRITAMI  
G01181109**

Skripsi  
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana pertanian  
Pada  
Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan  
Fakultas Pertanian  
Universitas Hasanuddin  
Makassar

**DEPARTEMEN HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN  
PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2022**

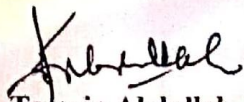
**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

Judul Skripsi : Eksplorasi Cendawan Entomopatogen Pada Lahan Organik dan Anorganik di Sawah dan Kebun Hortikultura Menggunakan *Insect Bait Method*  
Nama : Tasya Hadel Pritami  
NIM : G011181109

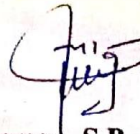
Disetujui oleh:

**Pembimbing Utama**

**Pembimbing Pendamping**



**Dr. Ir. Tamrin Abdullah, M.Si**  
NIP. 196408071990021001



**Asman, S.P., M.P**  
NIP. 198111142014041001

Diketahui oleh:

**Ketua Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan**



**Prof. Dr. Ir. Tutik Kuswinanti, M.Sc**  
NIP. 196503161989032002

Tanggal Lulus: 10 Agustus 2022

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**EKSPLORASI CENDAWAN ENTOMOPATOGEN PADA LAHAN ORGANIK  
DAN ANORGANIK DI SAWAH DAN KEBUN HORTIKULTURA  
MENGUNAKAN *INSECT BAIT METHOD***

**Disusun dan diajukan oleh:**

**Tasya Hadel Pritami**

**G011181109**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangkai Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin Pada Tanggal *..10 Agustus.. 2022* dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

**Pembimbing Utama**

**Dr. Ir. Tamrin Abdullah, M.Si**  
NIP. 196408071990021001

**Pembimbing Pendamping**

**Asman, S.P., M.P**  
NIP. 198111142014041001

Mengetahui,



**Ketua Program Studi Agroteknologi**

**Dr. Ir. Abd. Haris B., M.Si**  
NIP. 196708111994031003

## DEKLARASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul “Eksplorasi Cendawan Entomopatogen Pada Lahan Organik dan Anorganik di Sawah dan Kebun Hortikultura Menggunakan *Insect Bait Method*” benar adalah karya saya dengan arahan tim pembimbing, belum pernah diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Saya menyatakan bahwa, semua informasi yang digunakan telah disebutkan di dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

Makassar, 19 Agustus 2022



Tasya Hadel Pritami  
G011181109

## ABSTRAK

**TASYA HADEL PRITAMI (G011181109)**, Eksplorasi Cendawan Entomopatogen Pada Lahan Organik dan Anorganik di Sawah dan Kebun Hortikultura Menggunakan *Insect Bait Method*. Dibimbing oleh **TAMRIN ABDULLAH** dan **ASMAN**.

Cendawan umumnya hidup di tanah dan terdapat lebih dari 700 spesies dari 100 ordo cendawan yang berpotensi sebagai agen pengendali hayati, termasuk sebagai entomopatogen. Namun, tidak semua cendawan dari tanah berperan sebagai entomopatogen. Langkah yang dapat dilakukan untuk mengetahui keberadaan cendawan entomopatogen di tanah dapat dengan melakukan eksplorasi dengan menggunakan serangga umpan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui keberadaan dan keanekaragaman jenis cendawan entomopatogen pada lahan organik dan anorganik di lahan sawah dan hortikultura. Lahan pengambilan sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari sawah organik, sawah anorganik sedang, sawah anorganik tinggi, hortikultura organik, hortikultura anorganik sedang, dan hortikultura anorganik tinggi. Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan menggali tanah sedalam 15 cm dan mengambil tanah sebanyak 500 gram. Sampel tanah yang diperoleh dari keenam lahan dibawa ke laboratorium untuk dilakukan isolasi cendawan dari tanah menggunakan *Insect Bait Method* yang selanjutnya diidentifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa cendawan entomopatogen yang diisolasi dari tanah berasal dari genus *Aspergillus*, *Beauveria*, *Clonostachys*, *Fusarium*, *Metarhizium* dan *Rhizopus*. Cendawan pada sawah anorganik sedang paling beragam, yakni berasal dari genus *Aspergillus*, *Beauveria*, *Clonostachys*, *Fusarium*, dan *Metarhizium*.

**Kata kunci:** Cendawan entomopatogen, lahan hortikultura, sawah, tanah.

## ABSTRACT

**TASYA HADEL PRITAMI (G011181109)**, Exploration of Entomopathogenic Fungi on Organic and Inorganic Land in Paddy Fields and Horticultural Fields Using The Insect Bait Method. Supervised by **TAMRIN ABDULLAH** dan **ASMAN**.

Fungi mostly live in soil and there are more than 700 species and 100 orders of fungi that have potential as biological control agents, included as entomopathogens. However, not all fungi from the soil act as entomopathogens. Steps that can be taken to determine the presence of entomopathogenic fungi in the soil can be exploration using bait insects. The aim of this research is to determine the presence and diversity of entomopathogenic fungi in organic and inorganic fields in paddy fields and horticulture. Soil sampling area used in this study consisted of organic rice fields, medium inorganic rice fields, high inorganic rice fields, organic horticulture, medium inorganic horticulture, and high inorganic horticulture. Soil sampling was carried out by digging the soil as deep as 15 cm and taking 500 grams of soil. Soil samples obtained from the six fields were brought to the laboratory for isolation of the fungus from the soil using the Insect Bait Method which was then identified. The results showed that the entomopathogenic fungi isolated from the soil came from the genera *Aspergillus*, *Beauveria*, *Clonostachys*, *Fusarium*, *Metarhizium* and *Rhizopus*. The most diverse fungi in inorganic rice fields were from the genera *Aspergillus*, *Beauveria*, *Clonostachys*, *Fusarium*, and *Metarhizium*.

**Keywords:** Entomopathogenic fungi, horticultural fields, paddy fields, soil.

## PERSANTUNAN

*Bismillaahirrohmaanirrohiim*

*Assalamu'alaikum warohmatullahi wabarokaatuh*

Puji syukur kami panjatkan atas berkah, rahmat dan hidayah Allah subhanahu wa ta'ala yang telah memudahkan penulis untuk menyelesaikan tugas akhir penulis dalam rangka meraih gelar sarjana di jenjang S1. Tak luput penulis panjatkan sholawat serta salam atas junjungan penulis, manusia paling mulia yang pernah hidup di muka bumi, yakni Nabi Muhammad shallallahu 'alaihi wa sallam yang atas berkat beliau kita dapat keluar dari gelapnya zaman jahiliyah ke zaman yang terang benderang seperti sekarang ini. Serta kepada As-Salafus Shaleh yang berkat ilmu yang mereka tuliskan dalam kitab-kitab mereka penulis dapat mempelajari ilmu-ilmu yang in syaa Allah akan bermanfaat bagi penulis di dunia maupun di akhirat.

Skripsi tak pernah lepas dari suka dan duka, begitupun dengan penulisan skripsi penulis, begitu banyak suka dan duka yang penulis dapatkan selama menyelesaikan tugas akhir ini. Terlepas dari itu semua, penulis mendapatkan banyak sekali pembelajaran dan pengalaman baru selama menyelesaikan tugas ini. Selama empat tahun terakhir ini banyak sekali pihak-pihak yang senantiasa berjasa bagi penulis, yang oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. **Orang tua saya yang saya cintai. Mama**, yang telah melahirkan saya di muka bumi serta yang selalu menjadi tempat curhat penulis. **Bapak**, yang selalu *mensupport* apapun pilihan penulis dan selalu menyemangati dalam segala keadaan. **Opa (rahimahullah)**, yang telah memberikan kasih dan sayangnya selama beliau hidup kepada penulis, yang selalu siap sedia mengantar dan menjemput penulis dan menjadi orang yang paling penulis rindukan sekarang ini. Dan **Ibu**, yang telah memberikan kasih dan sayangnya kepada penulis hingga sekarang, yang selalu mendokan dan mengharapkan kebaikan bagi penulis atas semua jalan yang penulis ambil. Terima kasih atas semua dukungan kepada penulis, karena penulis tidak akan sampai ke tahan ini tanpa dukungan dari mereka.
2. **Toddopuli Squad. Mimi**, yang telah menjadi *bestie* selama ini dan telah banyak mendengar curhatan penulis. **Mimi Pepi**, yang senantiasa mengingatkan tentang hal-hal yang berkaitan dengan agama dan selalu *mensupport* setiap jalan yang penulis ambil untuk menjadi pribadi yang lebih dekat pada ketaatan kepada Allah. **Mimi Dhika**, yang selalu menampung penulis di kantornya, jadi teman makan, teman *sharing* tentang *skin care* dan lainnya. **Afa dan Tisha**, adik-adik tersayang yang kebersamaan penulis semenjak mereka lahir hingga sekarang yang telah membantu penulis jika penulis butuh bantuan mengerjakan tugas dan pekerjaan lain penulis. **Bilal, Saqeena, Yaka, Giby, dan baby Shafiyah** yang memberikan semangat penulis atas keberadaan mereka yang menggemaskan dan menghilangkan penat penulis jika bersama dengan mereka. Terima kasih atas keberadaan dan *support* dari mereka yang karenanya penulis dapat merasakan kebahagiaan tinggal bersama dengan keluarga besar ini.
3. **Palopo Squad**. Nenek dan Kakek (*rahimahullah*) yang walaupun penulis dan mereka jarang bertemu tetapi penulis tetap bersyukur dan berterimakasih atas kasih



dan sayang mereka terhadap penulis selama ini. Mama Ana dan keluarga, Kakak Ira dan keluarga, Kakak Ipul dan Tante Lisa, Kakak Ika dan keluarga, Om Ame dan keluarga, Om Olleng dan keluarga, dan Om Use, yang telah kebersamai penulis hingga sekarang walaupun jarang memisahkan tetapi *support* dan semangat tidak henti dicurahkan kepada penulis.

4. **Dosen Pembimbing.** Bapak **Dr. Ir. Tamrin Abdullah, M.Si** dan Bapak **Asman, S.P., M.P** yang telah membimbing penulis selama mengerjakan tugas akhir ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik. Terima kasih atas ilmu yang sangat bermanfaat yang telah diajarkan kepada penulis.
5. **Dosen Penguji.** Bapak **Ir. Fatahuddin, M.P**, Ibu **Dr. Sulaeha Thamrin, S.P., M.Sc**, dan Bapak **Muhammad Junaid, S.P., M.P., P.hD** yang telah memberikan saran dan masukan terhadap skripsi penulis sehingga dapat menjadi skripsi yang lebih baik.
6. **Staf HPT.** Bapak **Kamaruddin**, Bapak **Ahmad Yani, S.P., M.P**, Bapak **Ardan**, Ibu **Rahmatiah, S.H**, dan Kak **Nurul Jayanti, S.P**, yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian hingga pengurusan berkas.
7. **Bapak dan ibu petani.** Terima kasih atas kesempatan dan izin yang telah diberikan kepada penulis untuk mengambil sampel penelitian di lahan pertanian milik mereka sehingga penulis dapat melakukan penelitian penulis.
8. **Kerabat dekat penulis di kampus.** **Besse Fitri Amalia Syam, Ani Nurhidayat, Andri Yani, Nurhaliza Amir, Annisa Fadlilah A.M, Nurfidya Rahmadani**, dan **Tasya Saphira Trimulya** yang telah kebersamai penulis selama berkuliah hingga sekarang dan tidak henti memberikan dukungan kepada penulis.
9. **Teman-teman yang membantu dalam penelitian.** **Erwin Wijaya, Furnarah Satrio, Alam Syah**, dan **M. Fadel H.K** yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian penulis di lapangan sehingga penulis tidak kesusahan selama melaksanakan penelitian di lapangan.
10. **Teman-teman Agroteknologi 2018 dan Diagnosis 2018** yang telah kebersamai penulis dari maba hingga sekarang.
11. Serta semua pihak-pihak yang tidak bisa penulis sebutkan yang telah membantu penulis selama ini sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis berharap skripsi yang telah diselesaikan ini dapat menjadi manfaat bagi banyak orang yang walaupun tulisan ini masih jauh dari kata sempurna. Saran dan kritik akan sangat membantu penulis dalam menambah ilmu penulis ke depannya. Semoga apa yang telah dilakukan hingga ke tahap ini dapat bernilai pahala bagi penulis dan orang-orang yang terlibat.

Makassar, 7 Agustus 2022

Tasya Hadel Pritami

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	ii
DEKLARASI.....	iv
ABSTRAK.....	v
PERSANTUNAN .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
1. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan dan Kegunaan .....	2
1.3 Hipotesis.....	2
2. TINJAUAN PUSTAKA .....	3
2.1 Cendawan Entomopatogen.....	3
2.2 Cendawan Entomopatogen di Rhizosfer .....	3
2.2.1 <i>Aspergillus</i> .....	3
2.2.2 <i>Beauveria</i> .....	4
2.2.3 <i>Clonostachys</i> .....	6
2.2.4 <i>Fusarium</i> .....	7
2.2.5 <i>Metarhizium</i> .....	8
2.2.6 <i>Rhizopus</i> .....	9
2.3 <i>Mode of Action</i> Cendawan Entomopatogen.....	10
2.4 <i>Tenebrio molitor</i> .....	12
3. METODE PENELITIAN .....	13
3.1 Tempat dan Waktu .....	13
3.2 Alat dan Bahan.....	13
3.3 Metode Pelaksanaan.....	13
3.3.1 Pengambilan Sampel Tanah.....	13
3.3.2 Isolasi Cendawan Entomopatogen.....	14
3.3.3 Media Cendawan Entomopatogen .....	14
3.3.4 Identifikasi Cendawan .....	15
4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	16
4.1 Hasil .....	16
4.1.1 Isolasi Cendawan dari Tanah Sawah dan Kebun Hortikultura.....	16
4.1.2 Identifikasi Cendawan dari Tanah Sawah dan Kebun Hortikultura .....	16
4.1.3 Keanekaragaman Cendawan Entomopatogen dari Setiap Lahan .....	25
4.2 Pembahasan.....	25
5. PENUTUP .....	33
5.1 Kesimpulan .....	33
5.2 Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA .....	34
LAMPIRAN.....	43

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Lokasi pengambilan sampel tanah pada enam lahan berbeda dan teknik pengendalian OPT yang digunakan.....	14
Tabel 2. Jumlah isolat cendawan entomopatogen yang didapatkan dari enam lahan berbeda.....	16
Tabel 3. Keanekaragaman cendawan entomopatogen dari sampel tanah berdasarkan jenis lahan.....	25

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Morfologi <i>Aspergillus</i> sp., a-c. Koloni di PDA; d-h. Konidiofor; i. Konidiofor .....	4
Gambar 2. Morfologi <i>Beauveria</i> sp., a. Hifa dan konidia; b, f. Hifa bersepta dan denticulate rachis; c-e, g. Sel konidiogen; h. Konidia; i-j. Koloni di PDA.....	5
Gambar 3. Morfologi <i>Clonostachys</i> sp., a-b. Konidiofor primer; c, f. Konidiofor sekunder; d. Konidia dari konidiofor primer; e. Konidia dari konidiofor sekunder; g-j. Koloni di PDA.....	6
Gambar 4. Morfologi <i>Fusarium</i> sp., a-b; Koloni di PDA; c-d. Konidiofor pada permukaan daun; e-f. Sporodochia pada permukaan daun; g-k. Konidiofor dan fialid; l. false head; m-p. Sporodochia; q-r. Mikrokonidia dan makrokonidia.....	8
Gambar 5. Morfologi <i>Metarhizium</i> sp., a-b. Koloni di PDA; c-d. Pustul di PDA; e-f. Konidiofor, hifa, fialid dan konidia; g-j. Rantai konida .....	9
Gambar 6. Morfologi <i>Rhizopus</i> sp., a. Koloni di MEA; b. Zygospora; B1-B3. Azygospora; c,f. Columella; d. Sporangia; e. Rhizoid.....	10
Gambar 7. Proses infeksi cendawan entomopatogen ke serangga.....	12
Gambar 8. Isolat HO <sub>1(1)</sub> <i>Beauveria</i> sp a. Permukaan koloni di PDA; b. Bagian bawah koloni di PDA; c. Hifa; d. Sel konidiogen.....	17
Gambar 9. Isolat HO <sub>3</sub> <i>Beauveria</i> sp a. Permukaan koloni di PDA; b. Bagian bawah koloni di PDA; c. Hifa; d. Sel konidiogen.....	17
Gambar 10. Isolat HO <sub>5</sub> <i>Fusarium</i> sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bagian bawah koloni di PDA; c. Mikrokonidia; d. Makrokonidia; e. Hifa; f. Konidiofor.....	17
Gambar 11. Isolat HAS <sub>4(1)</sub> <i>Fusarium</i> sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Konidiofor; e. False head; f. Hifa; g. Klamidospora.....	18
Gambar 12. Isolat HAS <sub>6(1)</sub> <i>Fusarium</i> sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Hifa; e. Fialid; f. Klamidospora .....	18
Gambar 13. Isolat HAS <sub>6(2)</sub> <i>Fusarium</i> sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Makrokonidia; d. Mikrokonidia; e. Hifa.....	19
Gambar 14. Isolat HAS <sub>11</sub> <i>Fusarium</i> sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Klamidospora; d. Hifa.....	19
Gambar 15. Isolat HAS <sub>3(2)</sub> <i>Rhizopus</i> sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Hifa; e. Columella; f. Apophysis; g. Sporangiofor; h. Sporangium.....	20
Gambar 16. Isolat HAT <sub>2(1)</sub> <i>Fusarium</i> sp. a-b. Koloni di PDA; a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Mikrokonidia; d. Makrokonidia; e. Hifa .....	20
Gambar 17. Isolat HAT <sub>2(2)</sub> <i>Fusarium</i> sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Mikrokonidia; d. Klamidospora; e. Makrokonidia; f. Hifa; g. Fialid .....	21

Gambar 18. Isolat SAS <sub>1(1)</sub> <i>Aspergillus</i> sp. a-b. Koloni di PDA; a. Permukaan koloni di PDA; b. Bagian bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Hifa; e. Konidiofor .....	21
Gambar 19. Isolat SAS <sub>6</sub> <i>Clonostachys</i> sp. a-b. Koloni di PDA; a. Permukaan koloni di PDA; b. Bagian bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Hifa; e. Konidiofor .....	22
Gambar 20. Isolat SAS <sub>7</sub> <i>Clonostachys</i> sp. a-b. Koloni di PDA; a. Permukaan koloni di PDA; b. Bagian bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Hifa; e. Konidiofor .....	22
Gambar 21. Isolat SAS <sub>8</sub> <i>Clonostachys</i> sp. a-b. Koloni di PDA; a. Permukaan koloni di PDA; b. Bagian bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Klamidospora; e. Konidiofor; f. hifa .....	23
Gambar 22. Isolat SAS <sub>2(1)</sub> <i>Fusarium</i> sp a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Mikrokonidia; d. Makrokonidia; e. Hifa.....	23
Gambar 23. Isolat SAS <sub>4(1)</sub> <i>Fusarium</i> sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Klamidospora; e. Hifa; f. Sporodochia.....	24
Gambar 24. Isolat SAS <sub>1(2)</sub> <i>Metarhizium</i> sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Konidia.....	24
Gambar 25. Isolat SAS <sub>1(2)</sub> <i>Metarhizium</i> sp. a-b. Koloni di PDA; a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Hifa .....	24

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel data rata-rata kelembaban selama inkubasi selama 11 hari .....	43
Lampiran 2. Karakteristik morfologi makroskopis dan mikroskopis cendawan entomopatogen dari lahan berbeda .....	43
Lampiran 3. Pengambilan sampel tanah di lahan sawah dan hortikultura.....	44
Lampiran 4. Isolasi cendawan entomopatogen dari tanah dengan serangga umpan.....	46
Lampiran 5. <i>Tenebrio molitor</i> yang mati setelah diinkubasi di dalam tanah.....	46

# 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Hama tanaman merupakan salah satu faktor berkurangnya kualitas dan hasil panen. Pengendaliannya pun beragam, dari yang menggunakan pestisida sintetik, biopestisida, pestisida nabati, maupun yang menggunakan musuh alami dari hama yang menyerang. Dari berbagai macam pengendalian hama yang ada, diharapkan para petani di lapangan menerapkan Pengendalian Hama Terpadu (PHT) demi terjaganya kelestarian lingkungan. PHT adalah konsep pengendalian hama berkelanjutan berbasis sains yang mempertimbangkan dengan cermat teknik pengendalian dengan tetap memperhatikan unsur ekologi dan ekonomi pada areal pertanian dengan memadukan berbagai strategi dan teknologi untuk menurunkan populasi hama dan mencengah perkembangan populasi hama, yang mana konsep ini mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat dan mekanisme pengendalian hama alami (Deguine et al., 2021; Tarasco dan De Luca, 2021). Salah satu metode yang digunakan dalam PHT adalah pengendalian hayati.

Pengendalian hayati merupakan pemanfaatan organisme untuk menurunkan populasi dari organisme pengganggu tanaman, termasuk di dalamnya adalah hama (Bale et al., 2008). Organisme yang dimaksud dalam penerapan pengendalian hayati adalah pemanfaatan musuh alami. Musuh alami adalah komponen biotik yang berperan sebagai predator, parasitoid, entomopatogen, dan antagonis (pengendalian penyakit tanaman) yang berpotensi untuk meminimalkan serangan hama dengan mengatur populasinya pada agroekosistem sehingga kerusakan tanaman dapat diminimalkan (Cloyd, 2020; Ibrahim dan Mugiasih, 2020).

Penelitian terkait pemanfaatan mikroorganisme untuk pengendalian hayati hama di agroekosistem telah ada dalam literatur ilmiah sejak tahun 1970-an (Hernández-Rosas et al., 2020). Salah satu pemanfaatan mikroorganisme dalam pengendalian hayati adalah pemanfaatan musuh alami dari golongan cendawan entomopatogen yang merupakan teknik pengendalian yang saat ini dikembangkan untuk meminimalkan penggunaan pestisida sintetik yakni sebagai bahan aktif biopestisida yang bersifat *eco-friendly* (Nisfuriah dan Nunilawati, 2020; Flori et al., 2020). Tetapi dibutuhkan berbagai pendekatan sistematis dan studi terkait penentuan cendawan entomopatogen potensial yang tepat sehingga dapat digunakan sebagai biopestisida (Tarasco dan De Luca, 2021).

Cendawan entomopatogen merupakan musuh alami dari serangga hama yang bersifat heterotrof sehingga hidup sebagai parasit pada serangga hama yang mengakibatkan epizootik pada serangga (Arsi et al., 2020; Donga et al., 2021; Sharma et al., 2020). Cendawan entomopatogen juga sangat berperan penting dalam perombakan bahan organik dan menunjukkan patogenisitas spesifik pada serangga hama (Kovač et al., 2020; Santos et al., 2021). Mekanisme kerja dari cendawan entomopatogen ialah dengan melepaskan spora sehingga menginfeksi tubuh serangga inang, kemudian menyebar ke permukaan tubuh serangga inang dan selanjutnya berpenetrasi ke dalam tubuh inang dengan enzim yang dihasilkan oleh cendawan entomopatogen itu sendiri ke dalam cairan ekstraseluler serangga sehingga menyebabkan serangga inang terjangkit penyakit dan kematian serangga tidak dapat dihindari dalam kurun waktu 4-7 hari (Santos et al., 2021; Sharma dan Sharma, 2021). Patogenisitas cendawan entomopatogen sangat tergantung

dari kapabilitasnya dalam menghasilkan enzim yang efektif untuk mendegradasi integumen serangga serta komponen seluler lainnya yang mana enzim tersebut terdiri dari lipase, protease, fosfolipase, dan kitinase (Moharram et al., 2021).

Terdapat lebih dari 700 spesies dari 100 ordo cendawan yang berpotensi sebagai agen pengendali hayati (Kovač et al., 2020). Cendawan entomopatogen kebanyakan diisolasi dari tanah karena habitatnya berada di rizosfer tanaman (Sharma et al., 2020). Keberadaan cendawan entomopatogen dalam tanah sangat dipengaruhi oleh iklim, sifat tanah, jenis tanaman, dan lainnya, tetapi penggunaan pestisida di areal pertanian merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap keberadaan cendawan bermanfaat ini (Donga et al., 2021; Qayyum et al., 2021)

Melimpahnya keberadaan cendawan entomopatogen di alam, sehingga dibutuhkan tindakan eksplorasi cendawan bermanfaat ini di lapangan, seperti di lahan sawah dan kebun hortikultura. Eksplorasi merupakan salah satu teknik dalam pengendalian hayati guna untuk menemukan musuh alami seperti cendawan entomopatogen di lapangan. Eksplorasi dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya dengan cara mengisolasi cendawan entomopatogen dari tanah dengan serangga umpan (Arsi et al., 2020).

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dilakukan penelitian mengenai eksplorasi cendawan entomopatogen pada lahan organik (tanpa penggunaan pestisida) dan anorganik (penggunaan pestisida sedang dan tinggi) di lahan sawah dan hortikultura untuk mengetahui keberadaan dan keragaman cendawan entomopatogen dengan teknik *Insect Bait Method*.

## **1.2 Tujuan dan Kegunaan**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keberadaan dan keanekaragaman jenis cendawan entomopatogen pada lahan organik (tanpa penggunaan pestisida) dan anorganik (penggunaan pestisida sedang dan tinggi) di lahan sawah dan hortikultura. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi informasi mengenai kelimpahan cendawan entomopatogen di lahan pertanian yang kemudian dapat dimanfaatkan untuk mengembangkan biopestisida di pasaran.

## **1.3 Hipotesis**

Diduga keberadaan dan keragaman cendawan entomopatogen berbeda pada lahan organik (tanpa penggunaan pestisida sintetik) dan anorganik (penggunaan pestisida sedang dan tinggi) di sawah dan kebun hortikultura.



## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Cendawan Entomopatogen

Pengendalian hayati merupakan pemanfaatan organisme untuk menurunkan populasi dari organisme lain, termasuk di dalamnya adalah mengendalikan populasi hama yang mana terdiri dari parasitoid, mikroorganisme (antagonis dan entomopatogen), dan predator (Bale et al., 2008). Dari beberapa jenis agen pengendali hayati, salah satu yang saat ini terus dikembangkan adalah pemanfaatan mikroorganisme cendawan entomopatogen yang mana merupakan bagian komponen Pengendalian Hama Terpadu (Siahaan et al., 2021; Tarasco dan De Luca, 2021). Penggunaan cendawan entomopatogen sebagai agen pengendali hayati menjadi salah satu jalan keluar dari menghindari penggunaan pestisida sintetik yang memiliki dampak negatif bagi lingkungan (Permadi et al., 2018).

Cendawan entomopatogen merupakan musuh alami serangga hama yang bersifat saprofit, berfilamen, dan bersifat heterotrof sehingga hidup sebagai parasit pada serangga hama yang mengakibatkan epizootik pada serangga hama tanpa membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan (Arsi et al., 2020; Donga et al., 2021; Santos et al., 2021; Sharma et al., 2020). Mikroorganisme bermanfaat ini memiliki daya sporulasi yang tinggi dengan siklus hidup yang pendek, mudah diproduksi secara masif, dan tahan dengan kondisi lingkungan yang buruk sehingga dapat digunakan dalam pengendalian hayati hama (Arsi et al., 2020; Donga, et al., 2021; Ilmiyah dan Rahma 2020). Cendawan entomopatogen bersifat patogenik bagi berbagai serangga dengan cakupan inang luas yang dipengaruhi oleh karakter genetik dan fisiologi dari cendawan (Permadi et al., 2018)

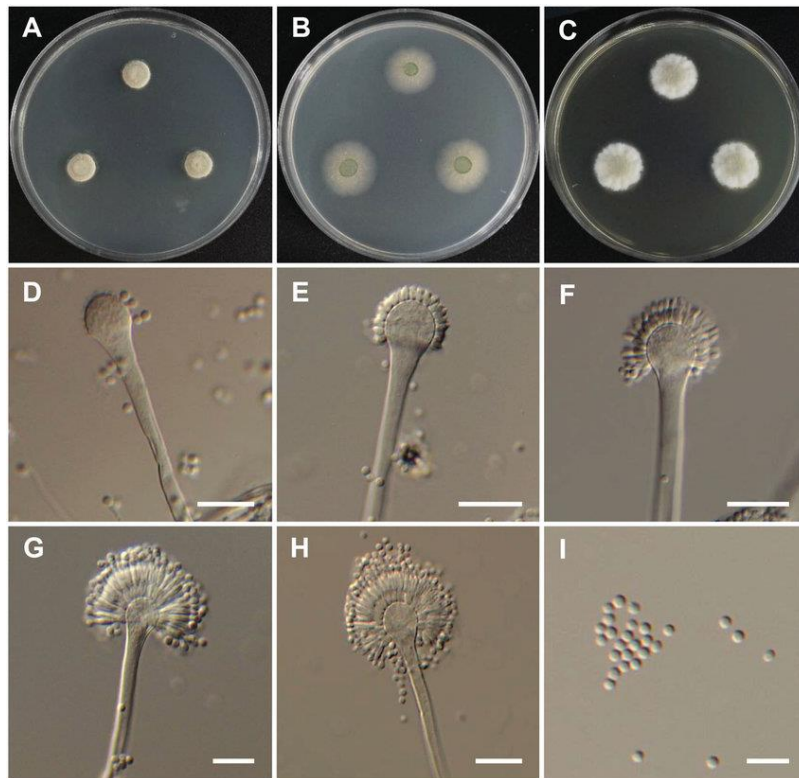
Cendawan entomopatogen dapat ditemukan pada daerah rizosfer, di dalam tanah yang beberapa jenis ada yang berperan sebagai saprofit, jaringan tanaman yang hidup sebagai endofit, dan serangga yang terinfeksi (Permadi et al., 2018; Sharma et al., 2020). Keberadaan dan keragaman cendawan entomopatogen di alam dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti iklim, sifat tanah, jenis tanaman, penggunaan lahan, dan teknik pengambilan sampel (Donga et al., 2021; Qayyum et al., 2021). Penggunaan pestisida kimiawi dapat mengurangi keberadaan populasi cendawan entomopatogen di tanah (Donga et al., 2021).

### 2.2 Cendawan Entomopatogen di Rhizosfer

#### 2.2.1 *Aspergillus*

Micheli (1729) mengklasifikasikan *Aspergillus* sp. dalam golongan Kingdom: Fungi, Divisi: Ascomycota, Kelas: Eurotiomycetes, Ordo: Eurotiales  
Famili: Trichocomaceae, Genus: *Aspergillus* dan Spesies: *Aspergillus* sp.

Secara morfologi, cendawan dari genus *Aspergillus* berwarna koloni putih kekuningan hingga kecoklatan, kuning kecoklatan, hijau muda, hitam, hijau keabu-abuan hingga kuning kehijauan dengan bentuk koloni bundar. Konidiofor tegak dan sederhana dengan tinggi 125-230  $\mu\text{m}$ , berwarna hialin hingga coklat pucat dengan ujung konidiofor bulat serta terdapat bantalan fialid. Konidia berbentuk bulat dan bersel satu dengan spora berwarna hialin hingga hitam dengan ukuran diameter 2,4-6,4  $\mu\text{m}$  (Barnett dan Hunter, 1972; Watanabe, 2002).



Gambar 1. Morfologi *Aspergillus* sp., a-c. Koloni di PDA; d-h. Konidiofor; i. Konidiofor (Nguyeng et al., 2020)

*Aspergillus* umumnya ditemukan di tanah, contohnya dapat ditemukan di tanah lahan pertanian padi (Naing et al., 2020; Paulussen et al., 2017). Cendawan ini dapat berperan sebagai cendawan entomopatogen dari beberapa jenis serangga seperti *Helopeltis* sp. (Supriyadi et al., 2017), *Spodoptera litura* (Fitriana et al., 2021), dan *Acythosiphon pisum* (Seye et al., 2014). Perannya sebagai entomopatogen ini dipengaruhi dari aktifitas senyawa metabolit sekunder yang disekresikan oleh cendawan.

Senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan oleh cendawan *Aspergillus* ini berupa mikotoksin jenis aflatoksin yang dapat merusak fungsi hati serangga (Lin et al., 2021). Cendawan ini juga menghasilkan gliotoksin yang berperan sebagai faktor virulensi dalam mikosis pada serangga dan okratoksin yang dapat menekan sistem kekebalan tubuh serangga, fungsi ginjal dan mengubah formasi sel pada serangga (Pfliegler et al., 2020). Enzim juga berperan penting dalam infeksi cendawan entomopatogen, yakni enzim kitinase sebagai agen degradasi kitin pada eskoskeleton serangga, serta enzim lipase dan esterase yang berperan dalam penyerapan lipid serangga (Fitriana et al., 2021; Lin et al., 2021).

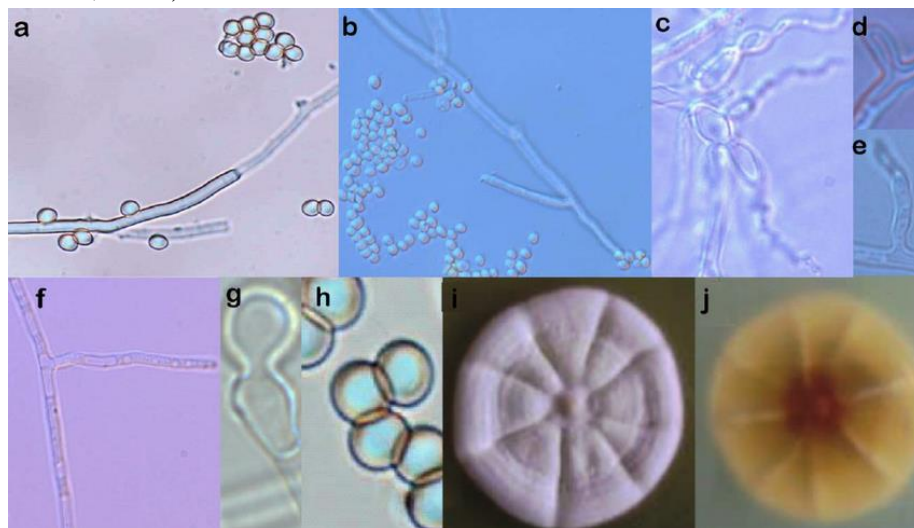
### 2.2.2 *Beauveria*

Barnett (1960) mengklasifikasikan *Beauveria* dalam golongan Kingdom: Fungi, Divisi: Ascomycota, Kelas: Deutromycetes, Ordo: Moniliales, Famili: Moniliaceae, Genus: *Beauveria* dan Spesies: *Beauveria* sp.

Secara makroskopis, *Beauveria* berkoloni putih hingga putih kekuningan tetapi semakin tua akan menjadi coklat kekuningan atau kuning pucat, bertekstur halus seperti tepung, miselium padat dan berpori selama sporulasi (Kovač et al., 2020; Norjmaa et al., 2019; Sari, 2020). Secara mikroskopis, hifa berseptata serta bercabang membentuk

konidiofor bercabang-cabang panjang dengan pola zig-zag bulat atau oval (Norjmaa et al., 2019; Sari et al., 2018; Sari, 2020). Konidiofor umumnya tunggal tetapi terkadang didapatkan berkelompok dengan konidia bulat dan cenderung lonjong sporulasi (Kovač et al., 2020; Norjmaa et al., 2019).

Pengendalian hama menggunakan *Beauveria* telah banyak dilakukan karena cendawan entomopatogen ini dikenal sangat efektif mengendalikan beberapa spesies serangga hama seperti rayap, kutu putih dan beberapa jenis kumbang (Siahaan et al., 2019). Bahkan dilaporkan bahwa *Beauveria* dapat menyerang lebih dari 700 spesies serangga (Kovač et al., 2020). *Beauveria bassiana* dilaporkan efektif mengendalikan *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae) (Siahaan et al., 2019), *Chilo sacchariphagus* (Lepidoptera: Crambidae) (Simanjuntak, 2017), wereng dan walang sangit (Sari, 2018), serta dapat menyebabkan mortalitas hingga 86,67% pada *Spodoptera frugiperda* (Herlinda et al., 2020).



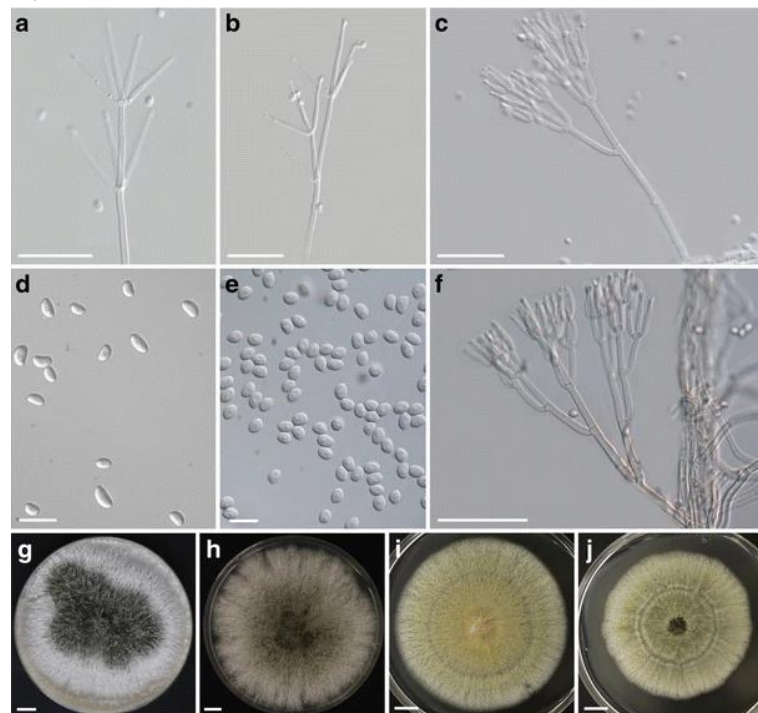
Gambar 2. Morfologi *Beauveria* sp., a. Hifa dan konidia; b, f. Hifa bersepta dan denticulate rachis; c-e, g. Sel konidiogen; h. Konidia; i-j. Koloni di PDA (Agrawal et al., 2014)

Cendawan dari genus *Beauveria* dikenal dengan virulensinya dan sifat insektisidanya yang tinggi terhadap serangga (Herlinda et al., 2020). Hal ini dikarenakan *Beauveria* mengsekresikan enzim, yaitu protease dan kitinase yang diketahui dapat mendegradasi kutikula serangga (Macuphe et al., 2021). Selain itu, dari spesies *B. bassiana* menghasilkan mikotoksin yang merupakan metabolit sekunder, yakni *beauvericin*, *bassianin*, *bassianolide*, *beauverolides*, *tenellin*, *oosporein*, *oxalic acid*, dan *calcium oxalate crystal* di mana toksin yang paling penting adalah *beauvericin*. *Beauvericin* sendiri memiliki sifat nematisida dan turunannya menunjukkan sitotoksitas dan sifat insektisida. Toksin lainnya yaitu *oosporein* memiliki sifat bakterisida dan fungisida. Tetapi mekanisme patogenitasnya beragam tergantung dari jenis mikotoksin serta inangnya, bahkan toksin yang sama akan memiliki mekanisme patogenitas dan skala toksisitas yang berbeda pada inang berbeda (Wang et al., 2021).

### 2.2.3 *Clonostachys*

Schroers et al (1999) mengklasifikasikan *Clonostachys* sp. dalam golongan Kingdom: Fungi, Divisi: Ascomycota, Kelas: Sordariomycetes, Ordo: Hypocreales, Famili: Bionectriaceae, Genus: *Clonostachys* dan Spesies: *Clonostachys* sp.

Secara morfologi, cendawan *Clonostachys* berwarna putih krem, oranye, kuning pucat, hingga hijau keabu-abuan pada media PDA dengan permukaan ada yang halus hingga kasar. Cendawan ini membentuk dua tipe spora yang berbeda selama masa hidupnya, yakni konidia dan klamidospora yang ukurannya lebih besar dari konidia. Konidia ada yang berbentuk ovoid, elips, oblong, bulat hingga oval. Konidiofor tegak serta bercabang berwarna hialin yang mana terdapat dua tipe pada genus ini, yakni konidiofor seperti *Penicillium* yang merupakan konidiofor sekunder dan seperti *Verticillium* yang lebih panjang dari tipe *Penicillium* yang merupakan konidiofor primer (Sun et al., 2020).



Gambar 3. Morfologi *Clonostachys* sp., a-b. Konidiofor primer; c, f. Konidiofor sekunder; d. Konidia dari konidiofor primer; e. Konidia dari konidiofor sekunder; g-j. Koloni di PDA (Moreira et al. 2016)

Cendawan ini umumnya didapatkan dari tanah karena termasuk mikroba saprofit, juga berperan sebagai endofit dan parasit (Anwar et al., 2018). *Clonostachys* awalnya terkenal dengan patogenesisnya terhadap patogen dan nematoda (Toledo et al., 2006), tetapi kini telah dilakukan penelitian mengenai virulensinya terhadap serangga hama. Dilaporkan bahwa cendawan ini dapat menyebabkan mortalitas pada *Bemisia tabaci* hingga 50,4% (Anwar et al., 2018), beberapa jenis kutu seperti *Aphis fabae* dan *Myzus persicae* (Mohammed et al., 2022) dan beberapa hama gudang seperti *Trogoderma granarium*, *Collosubruchus maculatus* dan *Tribolium castaneum* (Mohammed et al., 2021).

Mortalitas pada serangga ini dipengaruhi oleh produksi senyawa volatil yang bersifat racun terhadap serangga dan patogen (Anwar et al., 2018). Selain senyawa volatil, cendawan ini juga menghasilkan enzim yang berperan dalam proses infeksi ke serangga inang, yakni enzim pendegradasi dinding sel. Enzim yang berperan adalah kitinase dan protease yang akan menghancurkan dinding sel kutikula serangga yang kemudian mendegradasi protein yang akan digunakan sebagai nutrisi bagi cendawan (Moharram et al., 2021; Sun et al., 2020)

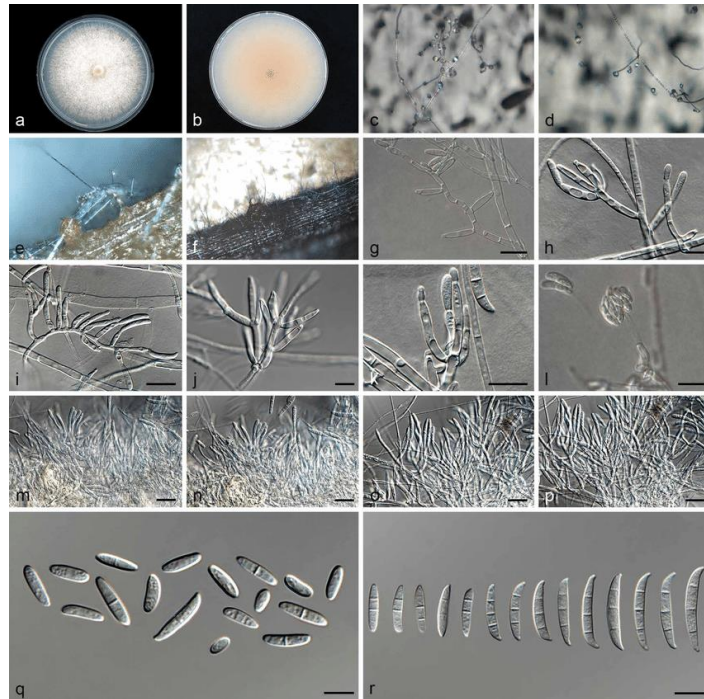
#### **2.2.4 *Fusarium***

Link (1809) mengklasifikasikan *Fusarium* sp. dalam golongan Kingdom: Fungi, Divisi: Ascomycota, Kelas: Sordariomycetes, Ordo: Hypocreales, Famili: Nectriaceae, Genus: *Fusarium* dan Spesies: *Fusarium* sp.

Secara morfologi, cendawan ini memiliki miselium yang menyebar luas dan seperi kapas di media, dengan semburat warna pink, ungu atau kuning di miselium atau media. Konidiofor beragam, mulai dari yang ramping dan sederhana, banyak, pendek, bercabang atau yang mempunyai fialid, tunggal atau berkelompok. Makrokonidia terdiri dari tiga sampai empat sel dengan sedikit melengkung atau bengkok pada kedua ujungnya, biasa disebut berbentuk kano. Mikrokonidia bersel satu, berbentuk oblong atau ovoid yang terbentuk dalam rantai kondia atau tunggal (Barnett dan Hunter, 1972).

*Fusarium* ditemukan di air, tanaman, udara, dan di bahan organik (Sharma dan Marques, 2018). Kendati demikian, cendawan genus *Fusarium* umumnya hidup di area rizosfer tanaman atau di tanah yang berperan sebagai mikroorganisme pengurai dan sebagai patogen bagi tanaman (Barnett dan Hunter, 1972; Abdel-Azeem et al., 2019). Beberapa tahun belakangan ini, terdapat banyak laporan mengenai potensi yang menjanjikan *Fusarium* sp. sebagai cendawan entomopatogen (Santos et al., 2020; Guo et al., 2018). Terdapat tujuh spesies yang telah diuji patogenesisnya terhadap serangga, yakni *Fusarium avenaceum*, *F. heterosporum*, *F. oxysporum*, *F. semitectum*, *F. solani*, dan *F. rodolens* (Sharma dan Marques, 2018). *Fusarium* dilaporkan menyebabkan kematian pada *Spodoptera litura* (Chang et al., 2021) dan *Bemisia tabaci* (Anwar et al., 2018).

Peran *Fusarium* sebagai entomopatogen disebabkan mikotoksin yang dihasilkannya yang secara keseluruhan toksisitasnya tinggi (Munkvold, 2017). *Trichothecenes*, *zearalenone*, *fusarins*, *moniliformin*, *enniaticins* dan *fumonisin* mempunyai toksisitas tinggi yang menyebabkan gangguan pada sel serangga, seperti mengganggu sintesis protein, penghentian siklus sel, disfungsi sel, dan stres oksidatif (Abdel-Azeem et al., 2019; Munkvold, 2017; Sharma dan Marques, 2018). *Trichothecenes* merupakan mikotoksin yang mempunyai sitotoksitas tinggi yang menyebabkan penurunan imunitas, gangguan pertumbuhan, dan gangguan reproduksi (Abdel-Azeem et al., 2019; Rocha et al., 2005).



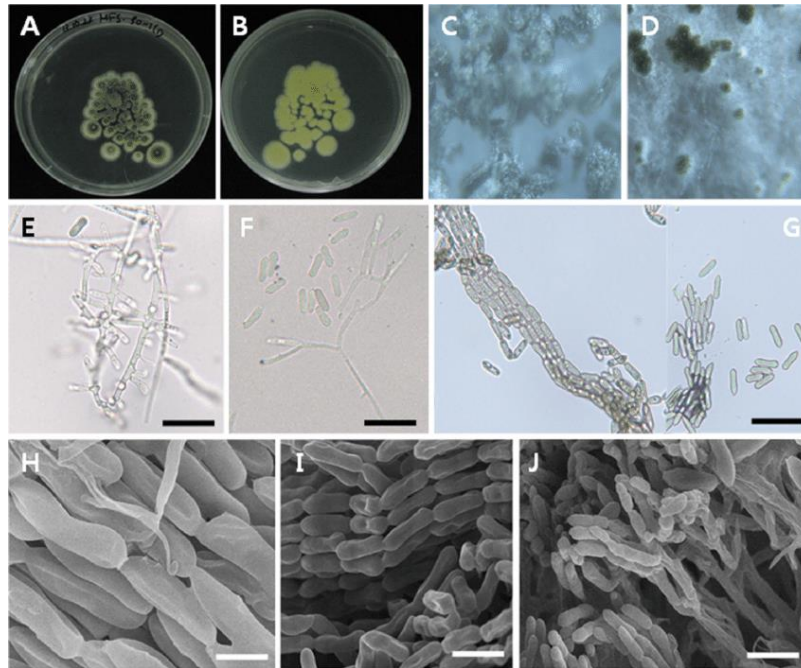
Gambar 4. Morfologi *Fusarium* sp., a-b; Koloni di PDA; c-d. Konidiofor pada permukaan daun; e-f. Sporodochia pada permukaan daun; g-k. Konidiofor dan fialid; l. false head; m-p. Sporodochia; q-r. Mikrokonidia dan makrokonidia (Lombard et al., 2019)

### 2.2.5 *Metarhizium*

Alexopoulos et al. (1996) mengklasifikasikan *Metarhizium* dalam golongan Kingdom: Fungi, Divisi: Ascomycota, Kelas: Deutromycetes, Ordo: Moniliales, Famili: Moniliaceae, Genus: *Metarhizium* dan Spesies: *Metarhizium* sp.

Secara makroskopis, cendawan *Metarhizium* berkoloni putih kekuningan, kemudian tumbuh dan menyebar merata pada media. Semakin tua, warna konidia akan berwarna hijau tua (Herlinda, et al., 2020). Secara mikroskopis, *Metarhizium* berseptata dengan diameter 1,98 – 2,97  $\mu\text{m}$ , konidiofor tersusun tegak, berlapis serta bercabang dan dipenuhi dengan konidia, konidia bersel satu dengan warna hialin. (Ilmiyah dan Rahma, 2021). Sel konidiogen berbentuk silinder dan mengerucut pada ujungnya, konidia berbentuk silindris dengan panjang rata-rata 4,5 – 5,1  $\mu\text{m}$  dengan lebar 2,1 – 2,6  $\mu\text{m}$  (Bich et al., 2021).

*Metarhizium* merupakan salah satu cendawan entomopatogen bagi beberapa jenis serangga dan juga bersifat saprofit (Ilmiyah dan Rahma, 2021) yang mana telah populer dimanfaatkan sebagai biopestisida dengan berbagai nama dagang (Sharma et al., 2021). Cendawan *Metarhizium* sp. memiliki cakupan inang yang spesifik, yakni dari ordo Lepidoptera, Hemiptera, Diptera dan Coleoptera. Dari ordo Coleoptera sendiri hanya cendawan jenis *Metarhizium* yang dilaporkan paling efektif dalam menginfeksi kelompok dari famili Scarabaeidae (Arsi et al., 2020). Dari ordo Lepidoptera sendiri dilaporkan efektif dalam membunuh larva *Spodoptera frugiperda* dan menekan perkembangan serangga menjadi dewasa hingga mencapai 81.2% (Herlinda et al., 2020). *Metarhizium* dari spesies *M. anisopliae* juga efektif dalam membunuh imago dari *Musa domestica* (Diptera) yaitu sebesar 95% (Flori et al., 2020).



Gambar 5. Morfologi *Metarhizium* sp., a-b. Koloni di PDA; c-d. Pustul di PDA; e-f. Konidiofor, hifa, fialid dan konidia; g-j. Rantai konida (Lee et al., 2015)

Larva serangga yang mulai terinfeksi oleh cendawan *Metarhizium* sp. akan mengalami hilangnya selera makan dan mengurangi berat badan serangga. Lalu, pupa yang terpapar oleh cendawan ini akan menjadi tidak sehat, abnormal, cacat dan tidak dapat berkembang. Sedangkan serangga yang dapat tumbuh menjadi dewasa akan tumbuh tidak normal, contohnya dengan sayap yang terlipat dan tubuh yang lebih kecil dibandingkan dengan serangga yang sehat (Herlinda et al., 2020). Apabila serangga yang akibat dari infeksi *Metarhizium* sp., maka serangga akan mengering, keras, dan kaku (Arsi et al., 2020; Ilmiyah dan Rahma, 2021).

Diketahui bahwa tingkat patogenitas dan virulensi dari cendawan entomopatogen sangat bergantung pada produksi enzim dan mikotoksin saat proses infeksi. Salah satu mikotoksin yang diproduksi oleh salah satu spesies *Metarhizium* adalah *destruxin*, yang dihasilkan oleh *Metarhizium anisopliae*, terutama *destruxin* A dan E yang mana merupakan toksin yang terbukti efektif menghambat kekebalan pada serangga sehingga akan menyebabkan kematian pada serangga inang (Aw dan Hue, 2017; Yin et al., 2021). Beberapa cendawan *Metarhizium* juga memproduksi mikotoksin *cytochalasins* yang akan menargetkan komponen seluler seperti sitoskeleton yang berperan dalam transportasi intraseluler vesikel (Khorramnejad et al., 2021; Wang dan St. Leger, 2019).

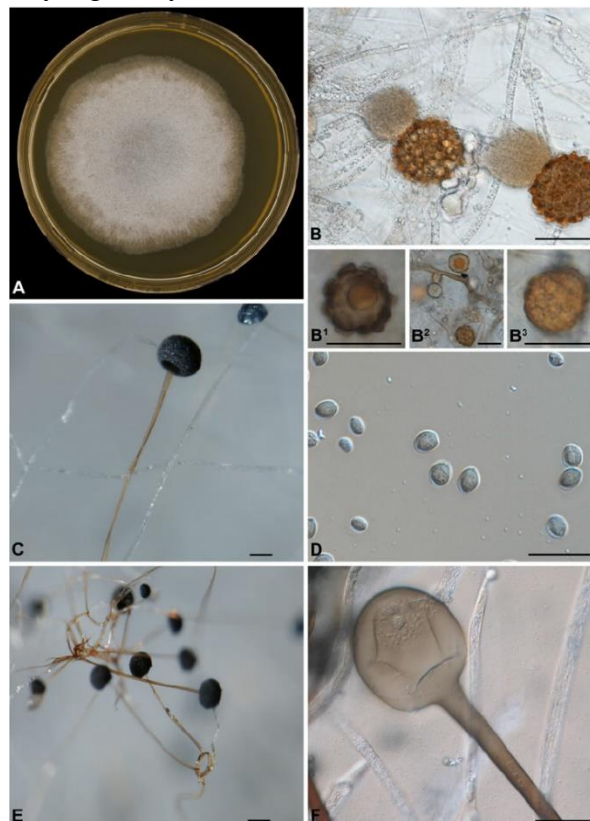
### 2.2.6 *Rhizopus*

Ehrenb (1821) mengklasifikasikan *Rhizopus* sp. dalam golongan Kingdom: Fungi, Divisi: Zygomycota, Kelas: Mucoromycotina, Ordo: Mucorales, Famili: Mucoraceae Genus: *Rhizopus* dan Spesies: *Rhizopus* sp.

Secara morfologi, cendawan ini memiliki sporangiofor yang tegak dengan panjang 1,5-2,5  $\mu\text{m}$  berwarna kekuningan hingga coklat gelap, terdapat rizoid yang terhubung langsung dengan sporangiofor yang membawa sporangium di ujungnya. Sporangium bulat dan berwarna coklat gelap hingga hitam. Spora berbentuk *subglobose* yang

berwarna coklat pucat. Pada media PDA akan terbentuk koloni miselium yang berwarna putih hingga hitam dengan tekstur halus (Gusmiaty et al., 2020; Watanabe, 2002).

*Rhizopus* sudah tidak asing dibidang pertanian karena manfaatnya sebagai mikroba dalam pembuatan makanan fermentasi (Dolatabadi et al., 2013). Tak jarang cendawan ini ditemukan di tanah sebagai agen pembusukan bahan organik, seperti sisa tanaman yang mati dan membusuk. Cendawan genus ini dapat ditemui di tanah pertanaman padi hingga hutan (Abdullah et al., 2020; Payangan et al., 2019). Selain sebagai mikroba fermentasi dan pengurai, cendawan dari genus *Rhizopus* ini juga telah dilaporkan dapat menginfeksi serangga dari beberapa ordo serangga hama, yaitu Lepidoptera, Diptera, Coleoptera dan Orthoptera (Qayyum et al., 2021). Infeksi cendawan ini ke serangga inang ini dibantu oleh metabolit sekunder yang bersifat toksin bagi serangga, yaitu *rhizoxins*, *eugenol* dan *methyil eugenol* yang dapat meningkatkan kadar radikal bebas dan gangguan sistem pertahanan antioksidan yang menyebabkan kematian (Peeran et al., 2018).



Gambar 6. Morfologi *Rhizopus* sp., a. Koloni di MEA; b. Zygospora; B1-B3. Azygospora; c,f. Columella; d. Sporangia; e. Rhizoid (Dolatabadi et al., 2013)

### 2.3 *Mode of Action* Cendawan Entomopatogen

*Mode of action* dari cendawan entomopatogen adalah dengan memanfaatkan enzim yang ditransmisi dalam cairan ekstraseluler selama proses infeksi dan perkembangannya di dalam tubuh serangga. Enzim yang dihasilkan ini akan mempengaruhi kemampuan cendawan entomopatogen untuk menyerap nutrisi, patogenisitas dan virulensi terhadap inangnya. Patogenisitas dan virulensi cendawan entomopatogen berkaitan langsung dengan kapabilitasnya dalam menembus dan menginfeksi tubuh serangga, dengan karakteristik tersebut berhubungan dengan pelepasan mikotoksi dan produksi enzim dalam cairan ekstraseluler. Sehingga, potensi cendawan entomopatogen yang berbeda

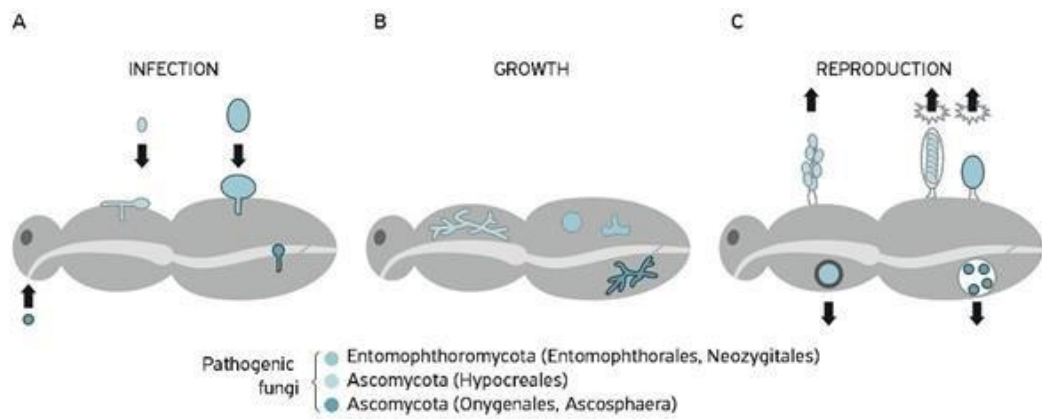


pada serangga terjadi karena perbedaan genetik, metabolik, dan adaptasi cendawan entomopatogen terhadap lingkungan aslinya (Santos et al., 2021).

Cendawan entomopatogen akan melepaskan spora sehingga menginfeksi tubuh serangga yang kemudian menyebar di bagian luar tubuh serangga inang dan masuk ke dalam tubuh serangga melalui integumen (Flori et al., 2020; Sharma dan Sharma, 2021). Tetapi dalam menginfeksi spora pada tubuh serangga membutuhkan jumlah spora yang besar dan permukaan spora yang lengket untuk memudahkan melekat pada tubuh serangga (Sharma dan Sharma, 2021). Dalam proses penetrasi tersebut, serangga inang akan menampilkan reaksi imun humoral dan seluler untuk melawan dari penetrasi cendawan. Di samping itu, cendawan entomopatogen juga menghasilkan berbagai enzim dan mikotoksin untuk mendegradasi kutikula serangga inang (Elkhateeb et al., 2021).

Enzim yang dihasilkan oleh cendawan entomopatogen adalah lipase, protase, fosfolipase dan kitinase yang mana keempat enzim ini saling berkaitan satu sama lain. Lipase merupakan enzim yang paling pertama disekresi oleh cendawan entomopatogen sebelum ketiga enzim lainnya, enzim ini berperan dalam menghidrolisis lemak dan lilin pada integumen serangga sehingga memudahkan untuk penetrasi melalui kutikula. Protase diproduksi dalam jumlah besar setelah eksoskeleton serangga rusak yang berperan dalam degradasi protein di epikutikula yang kemudian digunakan sebagai nutrisi oleh cendawan entomopatogen. Protase bekerja secara sinergis dengan kitinase dalam mendegradasi kutikula serangga. Dan fosfolipase bertanggung jawab dalam mendegradasi fosfolipid kutikula serangga. Dari fungsinya masing-masing dapat dilihat bahwa kadar enzim sangat berpengaruh terhadap tingkat patogenitas dari cendawan entomopatogen karena dengan keberadaan enzim inilah membuat cendawan entomopatogen mudah berpenetrasi ke dalam tubuh serangga (Mohararram et al., 2021).

Setelah berhasil berpenetrasi ke dalam tubuh serangga dan membentuk hifa di dalam jaringan epikutikula, epidermis dan hemocoel serta jaringan lainnya, maka semua jaringan tubuh serangga akan dipenuhi dengan miselium (Flori et al., 2020). Jika serangga berhasil terinfeksi, maka akan menunjukkan gejala penurunan aktivitas makan akibat sistem saraf serangga terganggu dan serangga akan mengalami kematian antara 4 – 10 hari, tergantung dari jenis cendawan dan banyaknya spora yang dilepaskan (Alramadan dan Mamay, 2019; Flori et al., 2020). Gejala serangga yang mati adalah tubuh serangga akan keras dan kaku, setelah beberapa hari tidak akan terjadi perubahan pada warna tubuh serangga, lalu setelah 2–3 hari permukaan tubuh serangga akan menunjukkan miselium dengan warna sesuai jenis cendawan yang menginfeksi (Arsi et al., 2020).



Gambar 7. Proses infeksi cendawan entomopatogen ke serangga (Alramadan dan Mamay, 2019)

## 2.4 *Tenebrio molitor*

Frost (1959) mengklasifikasikan *Tenebrio molitor* L. dalam golongan Kingdom: Animalia, Filum: Arthropoda, Kelas: Insekta, Ordo: Coleoptera, Famili: Tenebrionidae, Genus: *Tenebrio* dan Spesies: *Tenebrio molitor* L.

*Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) merupakan serangga hama yang menyerang gudang seperti biji-bijian dan tepung. Serangga ini memiliki metamorfosis sempurna, yakni telur, larva, pupa dan imago. Imago betina bertelur sekitar 500 telur yang menetas 3–9 hari yang selanjutnya tahap larva berlangsung 1 – 8 bulan dengan warna kuning hingga coklat muda. Tahap pupa berlangsung 5 hingga 28 hari dan tahap imago berlangsung 2 – 3 bulan. Untuk ukuran larva, sekitar 2 – 3,5 cm atau lebih, dan ukuran dewasa sekitar 1 cm yang mana serangga dewasanya merupakan salah satu kumbang terbesar (Hong et al., 2020).

*T. molitor* merupakan salah satu serangga yang paling sering digunakan dalam *Insect Bait Method*. Hal ini dikarenakan serangga ini mudah didapatkan, pemeliharaannya murah dan penanganannya yang mudah (de Souza et al., 2015; Kim et al., 2018; Santos et al., 2021). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa isolasi cendawan entomopatogen dari tanah akan lebih efisien dengan menggunakan larva *Tenebrio molitor* sebagai serangga umpan (Chang et al., 2021).

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Salassae Kabupaten Bulukumba, Desa Pataro Kabupaten Bulukumba, Desa Paccellekang Kabupaten Gowa, Desa Pattapang Kabupaten Gowa dan Laboratorium Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, Makassar, Sulawesi Selatan. Mulai dari bulan November 2021–Maret 2022.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah penggaris, *sprayer*, cawan petri, pinset, wadah ukuran 20×15×5 cm, kertas, kantong kertas, higrometer, mikroskop, *Laminar Air Flow* (LAF), bunsen, kaca preparat, *deg glass*, oven, erlenmeyer, dan *hot plate*.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel tanah dari enam titik yang telah ditentukan (tiga sampel tanah lahan sawah dan tiga sampel tanah dari lahan hortikultura), larva *T. Molitor* instar ketiga, kain kasa, kertas saring, tissue, aluminium foil, plastik *wrap*, *aquadest*, dan bahan pembuatan media *Potato Dextrose Agar* (PDA), yaitu kentang, gula, bubuk agar, dan *chloramphenicol*.

#### 3.3 Metode Pelaksanaan

##### 3.3.1 Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah diambil secara sengaja dari agroekosistem lahan organik dan anorganik berbeda, yaitu dari sawah dan kebun hortikultura. Sampel tanah sawah organik diambil di Desa Salassae Kabupaten Bulukumba dan sawah anorganik diambil di Desa Pataro. Sedangkan sampel tanah dari kebun hortikultura anorganik diambil di Desa Pattapang Kabupaten Gowa dan sampel kebun hortikultura organik diambil di Desa Paccellekang Kabupaten Gowa.

Tanah diambil dari lahan dengan menggali tanah sedalam 10 – 15 cm menggunakan sekop. Sampel tanah telah diambil dimasukkan kedalam kantong kertas (25 × 25) sebanyak 0,5 kg dan ditutup dengan rapat. Kemudian dibawa ke laboratorium.

Tabel 1. Lokasi pengambilan sampel tanah pada enam lahan berbeda dan teknik pengendalian OPT yang digunakan

Lokasi	Jenis Lahan	Pengendalian OPT
Desa Paccelllekang, Kecamatan Pattallassang, Kabupaten Gowa	Hortikultura Organik (HO)	Pestisida nabati; frekuensi tidak menentu
	Anorganik Sedang (HAS)	Pestisida sintetik (satu jenis); satu kali aplikasi
Desa Pattapang, Kecamatan Tinggi Moncong, Kabupaten Gowa	Anorganik Tinggi (HAT)	Pestisida sintetik (dua jenis); 12 kali/bulan aplikasi
	Sawah Organik (SO)	Tidak menggunakan pestisida
Desa Salassae, Kecamatan Bulumpa, Kabupaten Bulukumba	Anorganik Sedang (SAS)	Pestisida sintetik (dua jenis); tiga kali aplikasi
	Anorganik Tinggi (SAT)	Pestisida sintetik (tiga jenis); frekuensi tidak menentu

### 3.3.2 Isolasi Cendawan Entomopatogen

Isolasi cendawan entomopatogen dilakukan dengan *Insect Bait Method*. Sampel tanah yang telah diperoleh dimasukkan ke dalam wadah plastik yang kemudian dilembabkan. Umpan yang digunakan adalah ulat hongkong, *Tenebrio molitor* (Tenebrionidae: Coleoptera) instar ketiga. Setelah itu, serangga umpan sebanyak 10 larva dimasukkan ke dalam wadah sampel tanah yang telah dilembabkan. Selanjutnya, wadah ditutup dengan menggunakan kain kasa, lalu diinkubasi dalam keadaan gelap selama 5 – 14 hari agar serangga umpan dapat bergerak aktif sehingga mudah kontak dengan cendawan entomopatogen yang berada di dalam sampel tanah. Selama proses inkubasi, wadah yang berisi larva dilembabkan dengan menyemprotkan air setiap pagi (pukul 09.00) dan sore (pukul 17.00) yang disimpan pada suhu ruang dalam keadaan gelap, serta dicatat kelembabannya selama masa inkubasi dengan higrometer.

Setelah 5 – 14 hari pengamatan, *T. molitor* yang diduga terinfeksi cendawan entomopatogen akan menunjukkan adanya miselium pada permukaan tubuhnya yang kemudian dikumpulkan dan diletakkan di dalam tabung kecil. Larva yang terinfeksi disterilisasi permukaan dengan alkohol 70% selama 3 – 5 detik dan disterilisasi dengan akuades selama 5 – 10 detik. Lalu, larva dikeringkan dengan kertas saring steril dan dimasukkan ke dalam cawan yang berisi *tissue* lembab.

### 3.3.3 Media Cendawan Entomopatogen

Media yang digunakan untuk isolasi cendawan entomopatogen adalah media PDA. Media PDA dibuat dengan menggunakan 200 gram kentang yang dikupas dan dicuci, kemudian dipotong kecil-kecil dan direbus di dalam 1 liter akuades sampai lunak.

Kemudian disaring untuk memisahkan air dengan kentang, lalu air hasil saringan diukur hingga 1 liter dalam erlenmeyer dan ditambahkan 15 gram agar, 20 gram gula, dan 2 kapsul *chloramphenicol*. Lrutan dalam erlenmeyer disterilisasi menggunakan *autoclave* selama 2 jam.

#### **3.3.4 Identifikasi Cendawan**

Cendawan yang tumbuh pada media PDA diidentifikasi secara makroskopis (warna, bentuk, dan pertumbuhan koloni) dan mikroskopis (konidia). Karakterisasi masing-masing cendawan dilakukan dengan mengamati morfologi dari cendawan tersebut berdasarkan Barnett dan Hunter (1972), Watanabe (2002) dan literatur terkait.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

#### 4.1.1 Isolasi Cendawan dari Tanah Sawah dan Kebun Hortikultura

Hasil isolasi cendawan entomopatogen dari tanah lahan sawah dan hortikultura menggunakan serangga umpan maka didapatkan total 29 isolat cendawan. Isolat yang diperoleh ini didapatkan dari enam lahan berbeda yang masing-masing jumlah isolat tiap lahan tercantum pada tabel 2.

Tabel 2. Jumlah isolat cendawan entomopatogen yang didapatkan dari enam lahan berbeda

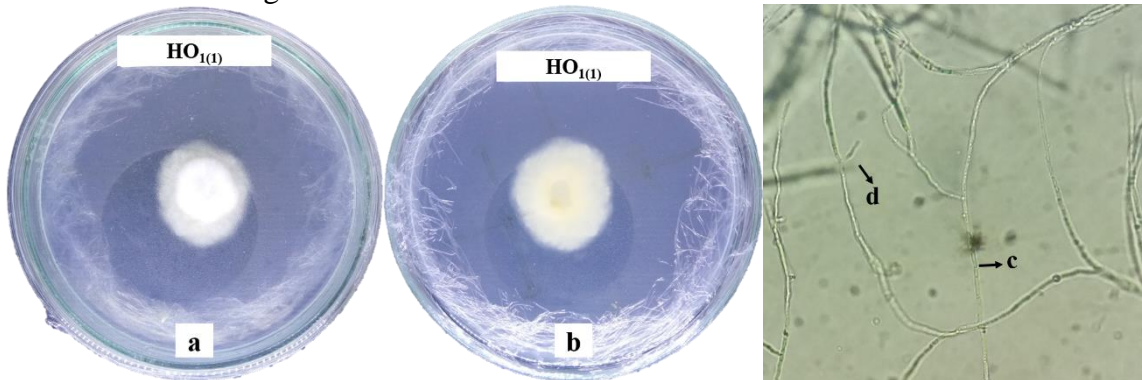
Lokasi	Jenis Lahan		Jumlah Isolat
Desa Paccellekang, Kecamatan Pattallassang, Kabupaten Gowa	Hortikultura	Organik (HO)	7 isolat
		Anorganik Sedang (HAS)	8 isolat
Desa Pattapang, Kecamatan Tinggi Moncong, Kabupaten Gowa	Hortikultura	Anorganik Tinggi (HAT)	2 isolat
		Organik (SO)	Tidak didapatkan isolat
Desa Salassae, Kecamatan Bulumpa, Kabupaten Bulukumba	Sawah	Anorganik Sedang (SAS)	11 isolat
		Anorganik Tinggi (SAT)	1 isolat
<b>Total</b>			<b>29 isolat</b>

#### 4.1.2 Identifikasi Cendawan dari Tanah Sawah dan Kebun Hortikultura

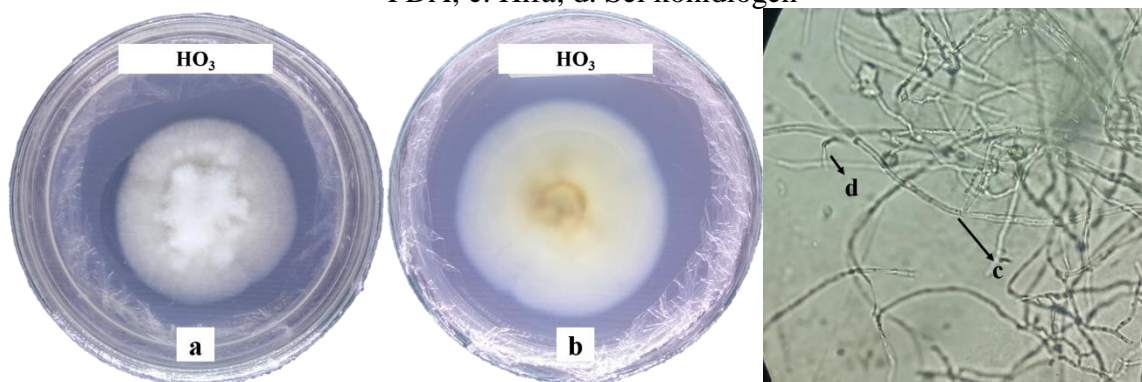
Isolat yang didapatkan kemudian diidentifikasi dengan menggunakan buku identifikasi Barnet dan Hunter (1972), Watanabe (2002), serta literatur terkait, sehingga didapatkan 6 genus, yaitu *Aspergillus*, *Beauveria*, *Clanostachys*, *Fusarium*, *Metarhizium* serta *Rhizopus*, dan yang menunjukkan perbedaan secara makroskopis dan mikroskopis (Tabel Lampiran 2; Gambar 8 - 25).

Berdasarkan hasil isolasi cendawan, karakteristik morfologi cendawan entomopatogen (makroskopis dan mikroskopis) dapat dilihat pada gambar-gambar berikut:

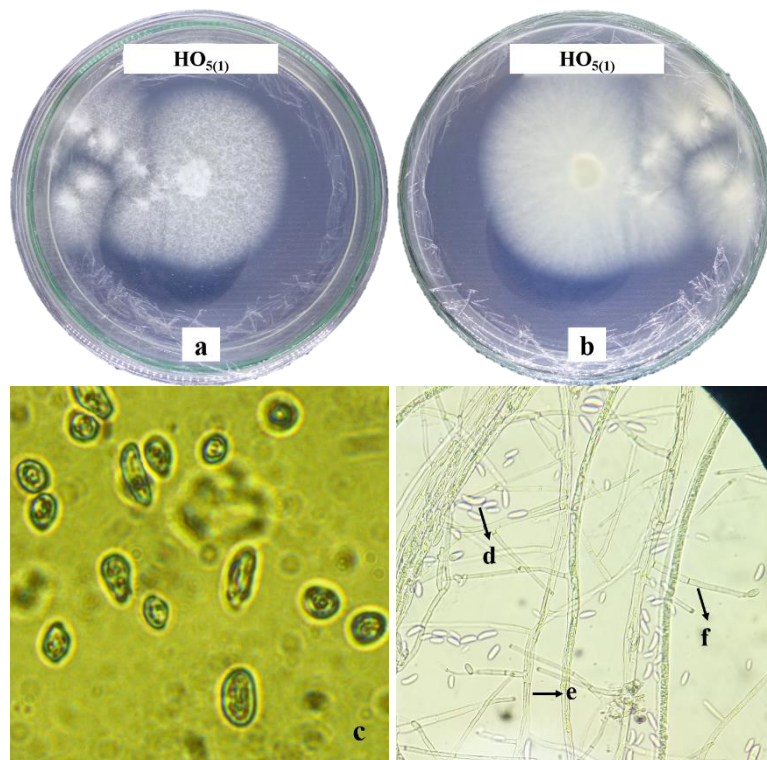
1. Hortikultura Organik



Gambar 8. Isolat HO<sub>1(1)</sub> *Beauveria* sp a. Permukaan koloni di PDA; b. Bagian bawah koloni di PDA; c. Hifa; d. Sel konidiogen

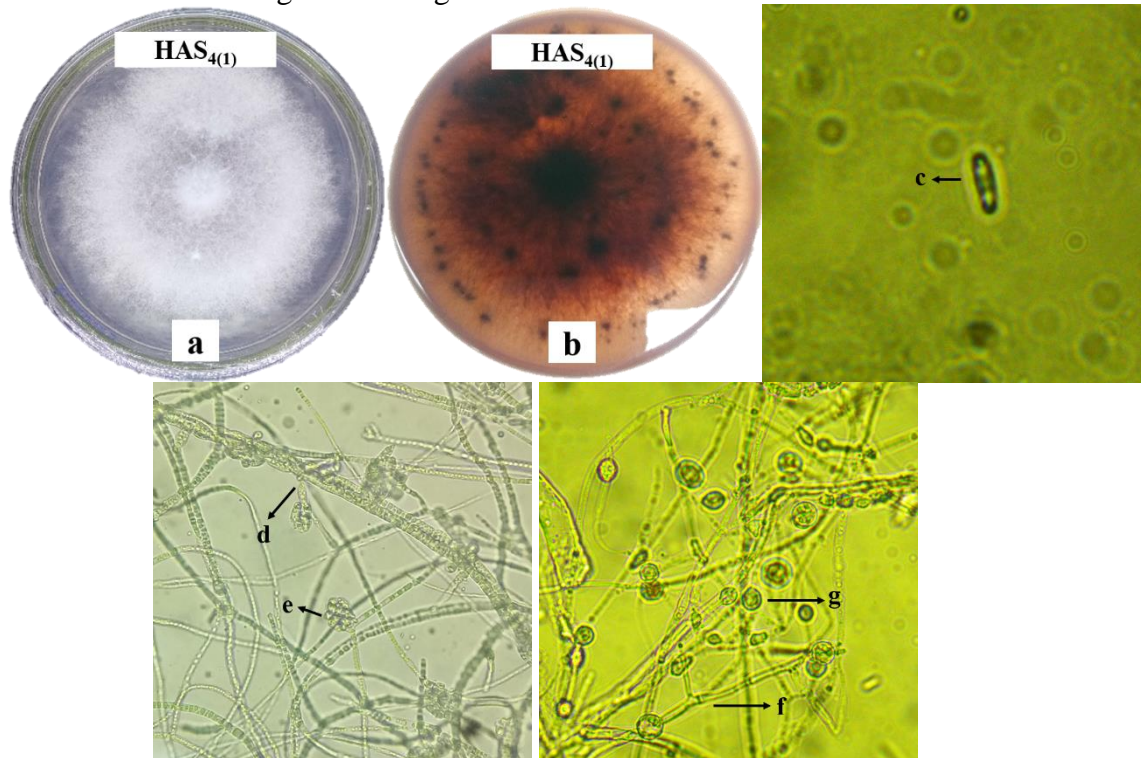


Gambar 9. Isolat HO<sub>3</sub> *Beauveria* sp a. Permukaan koloni di PDA; b. Bagian bawah koloni di PDA; c. Hifa; d. Sel konidiogen

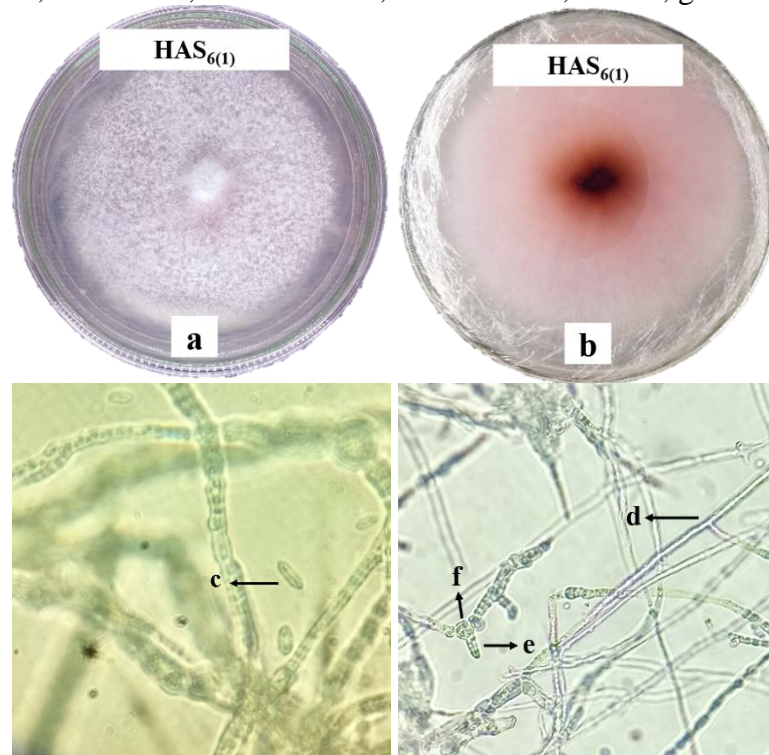


Gambar 10. Isolat HO<sub>5</sub> *Fusarium* sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bagian bawah koloni di PDA; c. Mikrokonidia; d. Makrokonidia; e. Hifa; f. Konidiofor

2. Hortikultura Anorganik Sedang

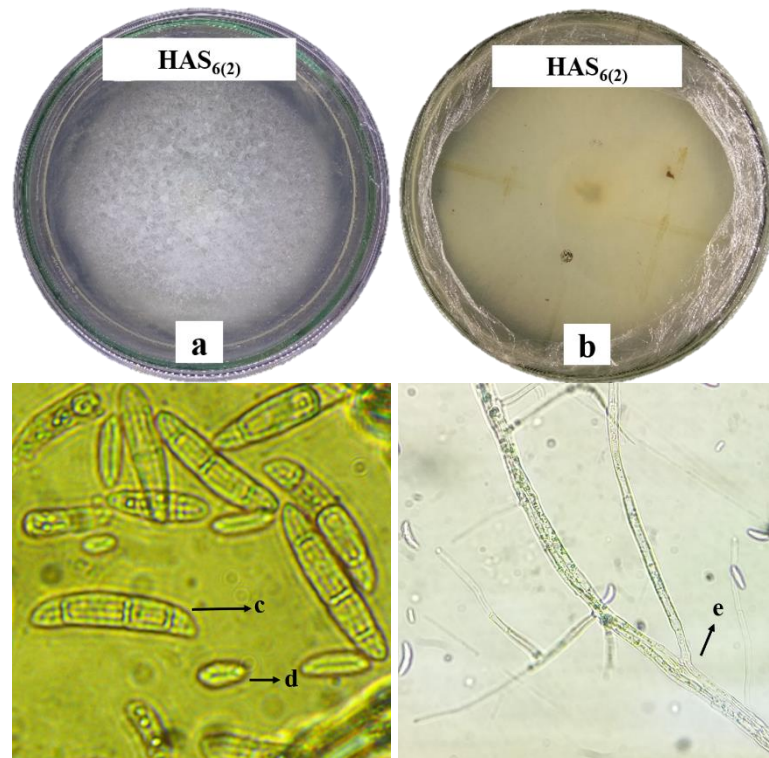


Gambar 11. Isolat HAS<sub>4(1)</sub> *Fusarium* sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Konidiofor; e. False head; f. Hifa; g. Klamidospora

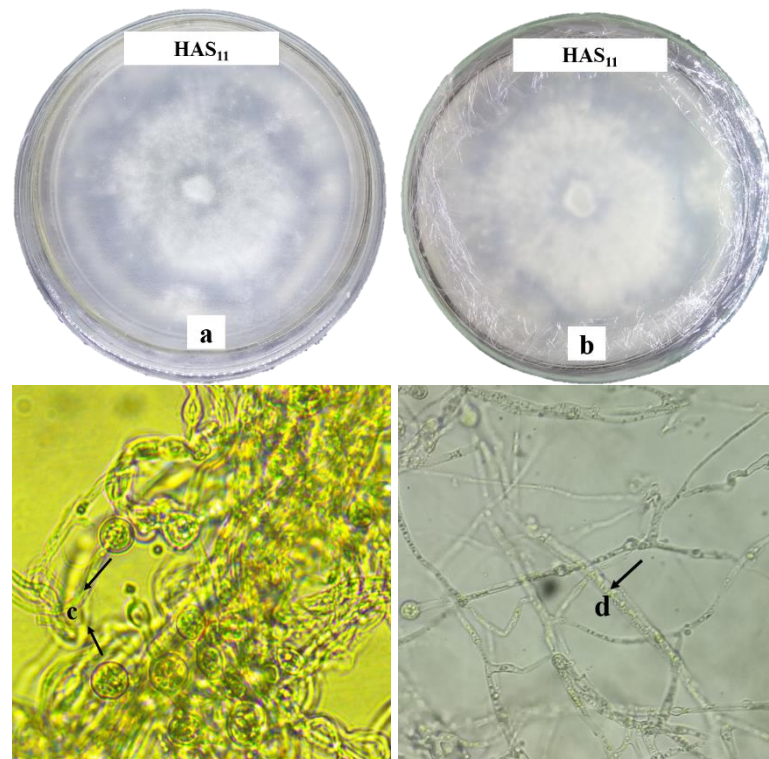


Gambar 12. Isolat HAS<sub>6(1)</sub> *Fusarium* sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Hifa; e. Fialid; f. Klamidospora

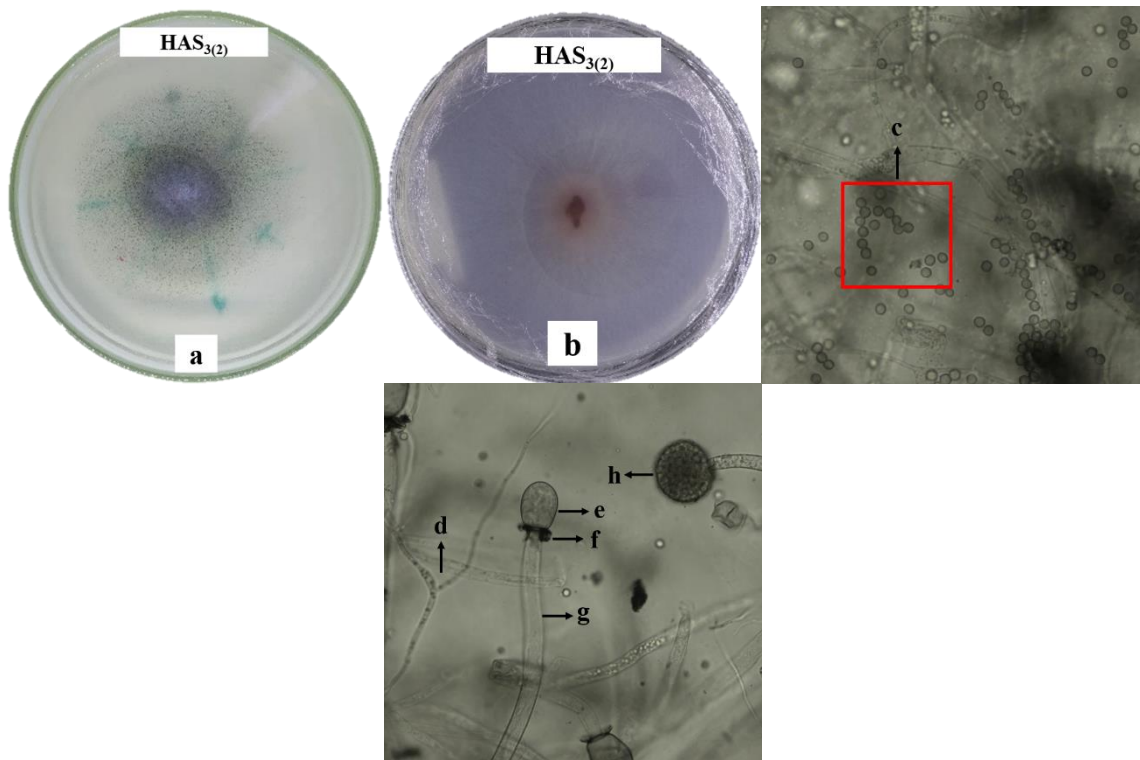




Gambar 13. Isolat HAS<sub>6(2)</sub> *Fusarium* sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Makrokonidia; d. Mikrokonidia; e. Hifa

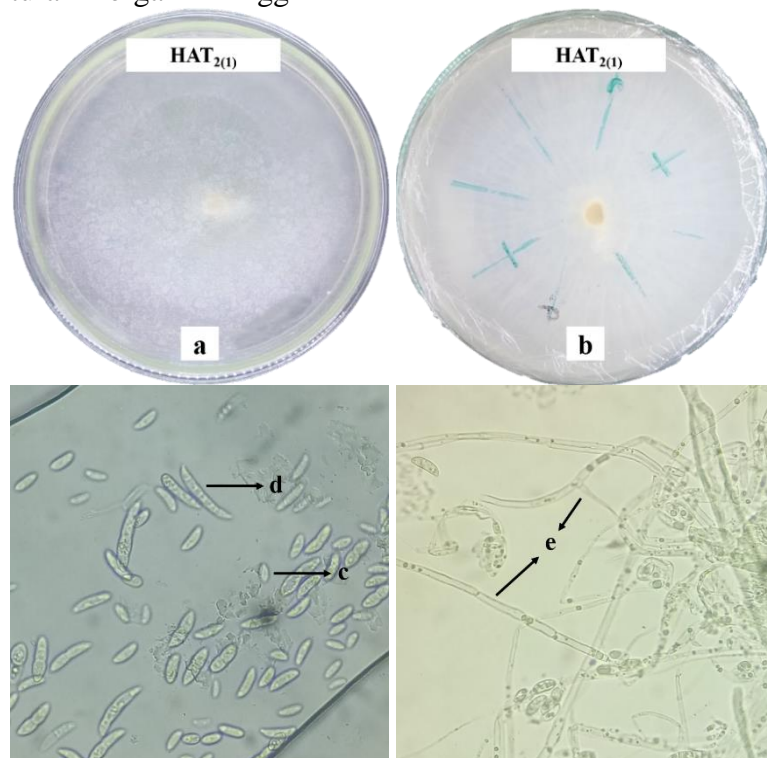


Gambar 14. Isolat HAS<sub>11</sub> *Fusarium* sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Klamidospora; d. Hifa

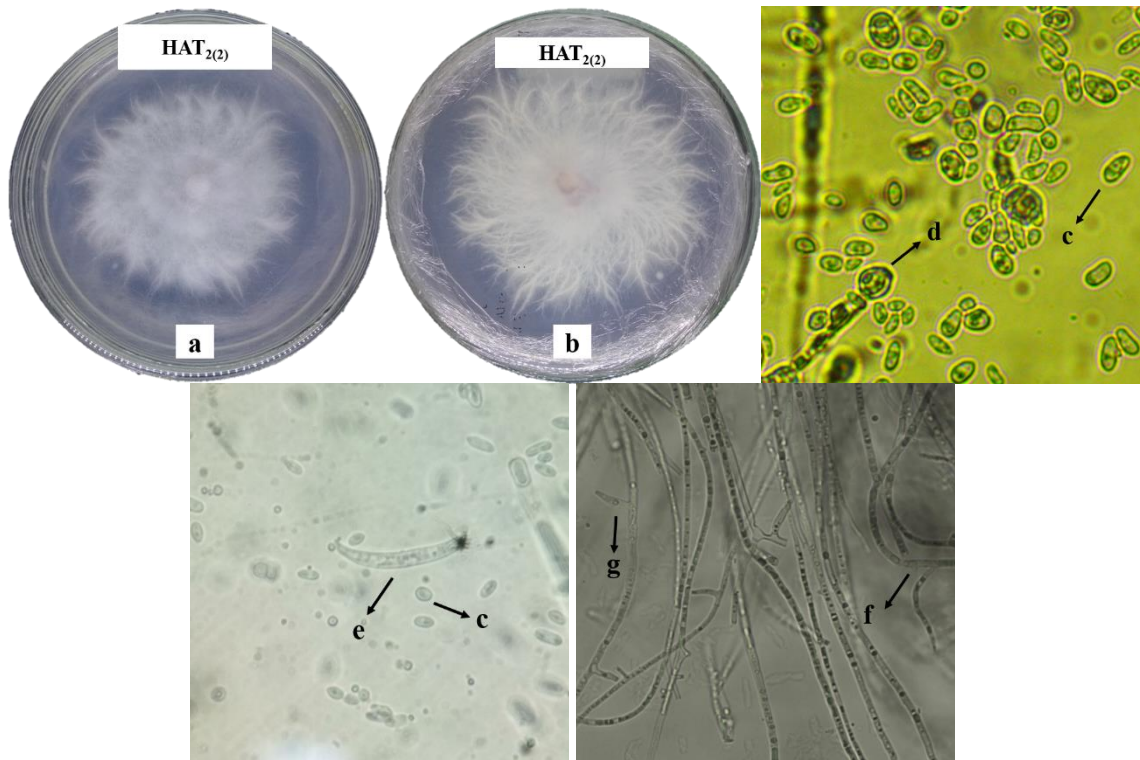


Gambar 15. Isolat HAS<sub>3(2)</sub> *Rhizopus* sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Hifa; e. Columella; f. Apophysis; g. Sporangiofor; h. Sporangium

### 3. Hortikultura Anorganik Tinggi

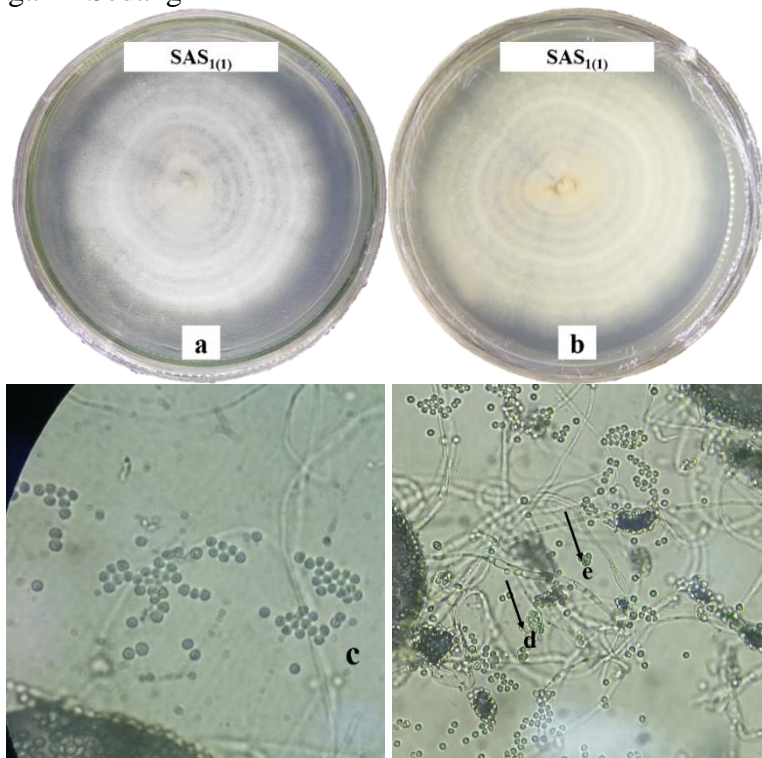


Gambar 16. Isolat HAT<sub>2(1)</sub> *Fusarium* sp. a-b. Koloni di PDA; a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Mikrokonidia; d. Makrokonidia; e. Hifa

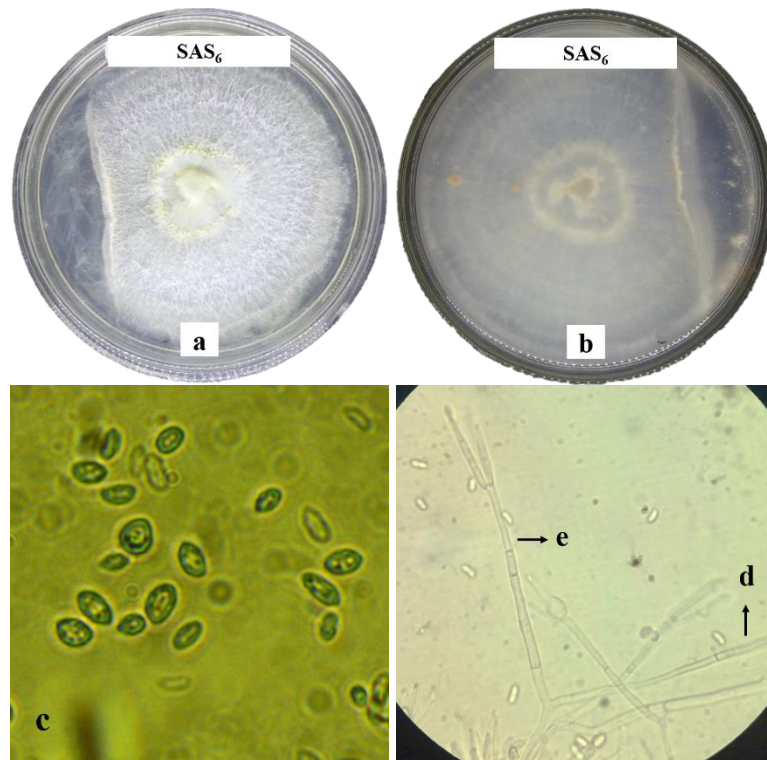


Gambar 17. Isolat HAT<sub>2(2)</sub> *Fusarium* sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Mikrokonidia; d. Klamidospora; e. Makrokonidia; f. Hifa; g. Fialid

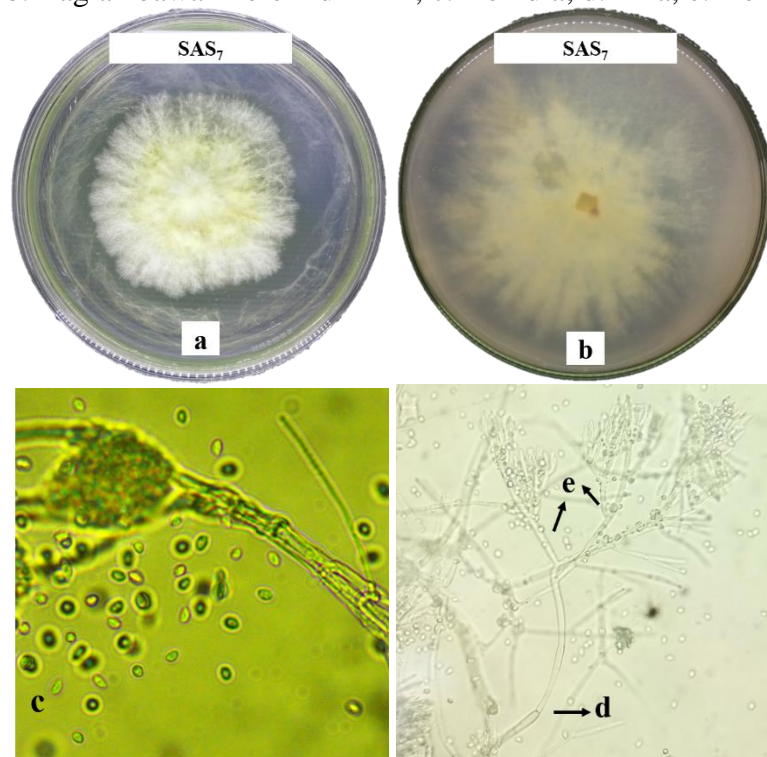
#### 4. Sawah Anorganik Sedang



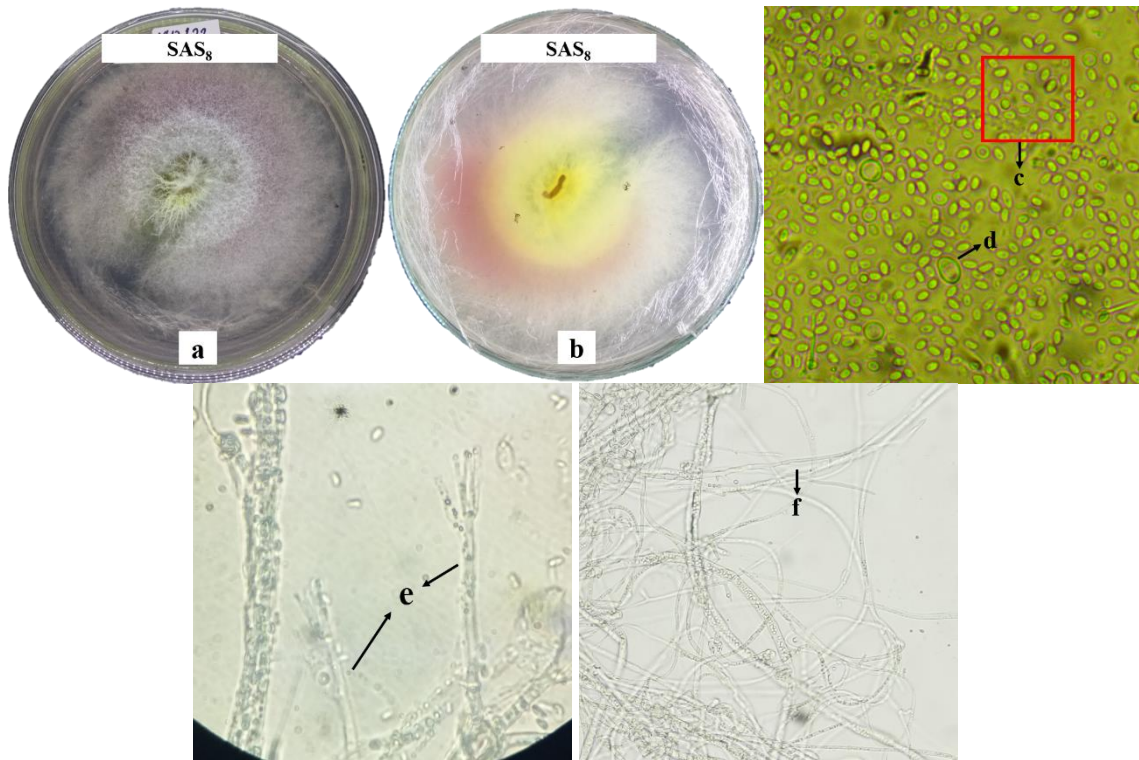
Gambar 18. Isolat SAS<sub>1(1)</sub> *Aspergillus* sp. a-b. Koloni di PDA; a. Permukaan koloni di PDA; b. Bagian bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Hifa; e. Konidiofor



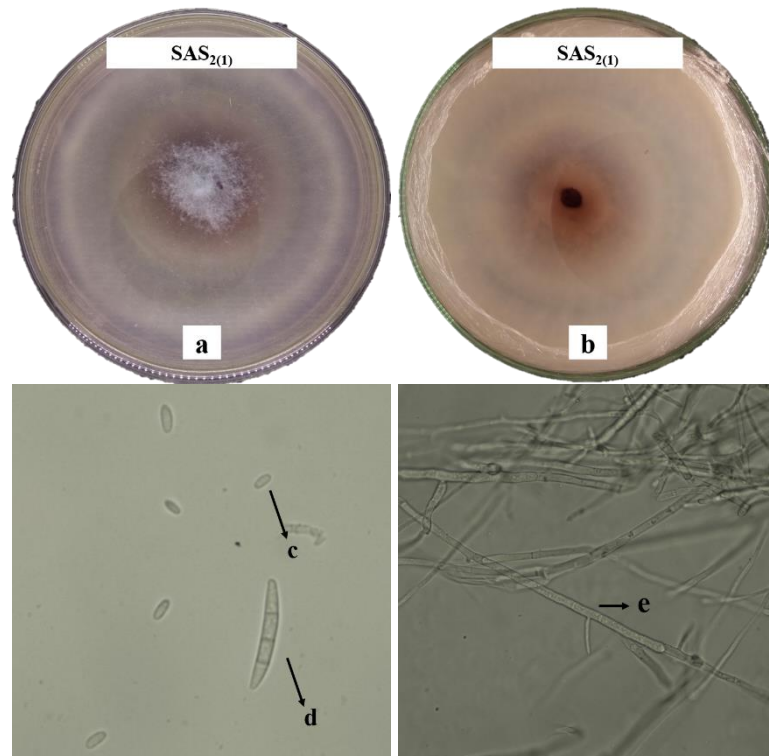
Gambar 19. Isolat SAS<sub>6</sub> *Clonostachys* sp. a-b. Koloni di PDA; a. Permukaan koloni di PDA; b. Bagian bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Hifa; e. Konidiofor



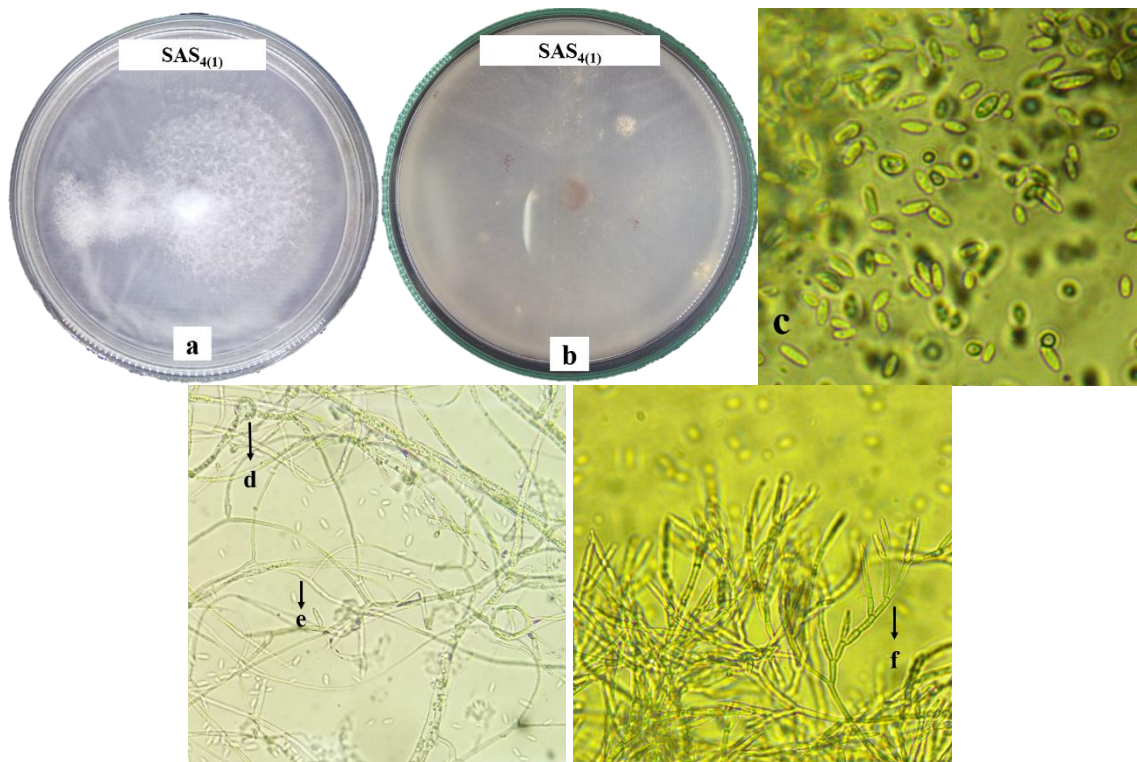
Gambar 20. Isolat SAS<sub>7</sub> *Clonostachys* sp. a-b. Koloni di PDA; a. Permukaan koloni di PDA; b. Bagian bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Hifa; e. Konidiofor



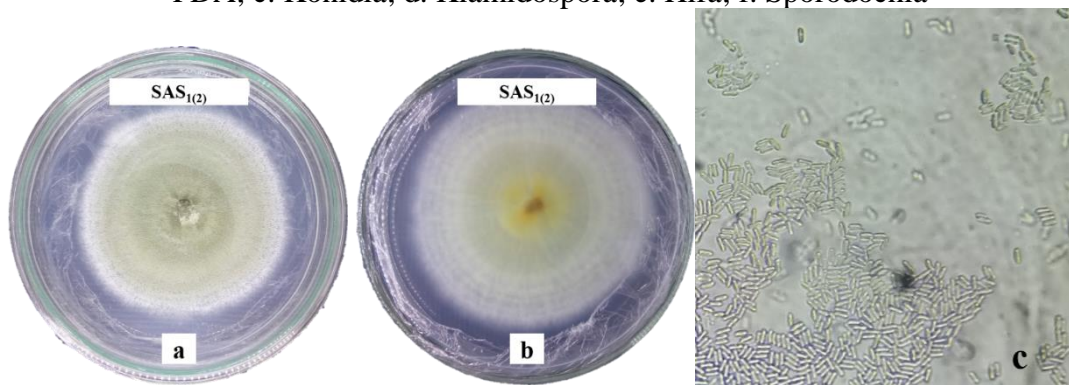
Gambar 21. Isolat SAS<sub>8</sub> *Clonostachys* sp. a-b. Koloni di PDA; a. Permukaan koloni di PDA; b. Bagian bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Klamidospora; e. Konidiofor; f. hifa



Gambar 22. Isolat SAS<sub>2(1)</sub> *Fusarium* sp a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Mikrokonidia; d. Makrokonidia; e. Hifa

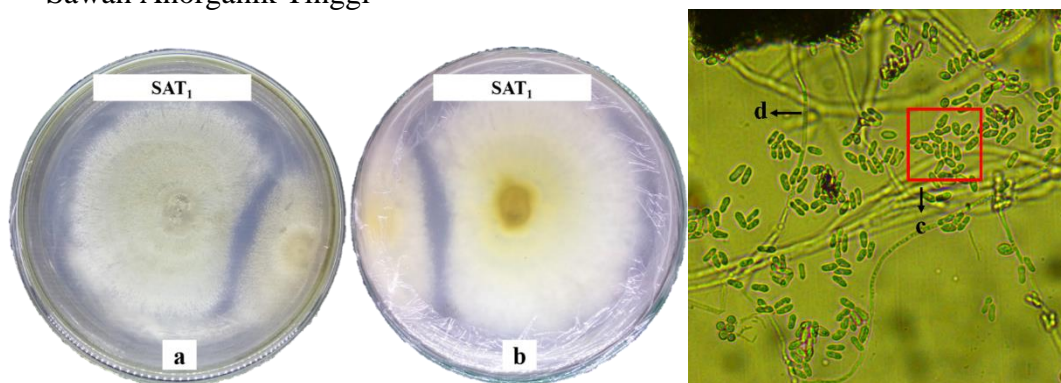


Gambar 23. Isolat SAS<sub>4(1)</sub> *Fusarium* sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Klamidospora; e. Hifa; f. Sporodochia



Gambar 24. Isolat SAS<sub>1(2)</sub> *Metarhizium* sp. a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Konidia

5. Sawah Anorganik Tinggi



Gambar 25. Isolat SAS<sub>1(2)</sub> *Metarhizium* sp. a-b. Koloni di PDA; a. Permukaan koloni di PDA; b. Bawah koloni di PDA; c. Konidia; d. Hifa

#### 4.1.3 Keanekaragaman Cendawan Entomopatogen dari Setiap Lahan

Keenam genus cendawan entomopatogen yang telah teridentifikasi ini ada yang diperoleh dari jenis tanah yang berbeda dan ada pula yang hanya didapatkan pada salah satu jenis tanah saja (Tabel 3).

Tabel 3. Keanekaragaman cendawan entomopatogen dari sampel tanah berdasarkan jenis lahan

Jenis Tanah	Genus	Jumlah Isolat
Hortikultura Organik	<i>Beauveria</i>	2
	<i>Fusarium</i>	1
	<i>Metarhizium</i>	4
Hortikultura Anorganik Sedang	<i>Fusarium</i>	4
	<i>Metarhizium</i>	3
	<i>Rhizopus</i>	1
Hortikultura Anorganik Tinggi	<i>Fusarium</i>	2
	<i>Aspergillus</i>	1
Sawah Anorganik Sedang	<i>Beauveria</i>	1
	<i>Clonostachys</i>	3
	<i>Fusarium</i>	2
	<i>Metarhizium</i>	4
Sawah Anorganik Tinggi	<i>Metarhizium</i>	1

#### 4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil isolasi cendawan entomopatogen dari tanah sawah dan hortikultura menggunakan serangga umpan, didapatkan 29 isolat cendawan yang diperoleh dari enam lahan berbeda (Tabel 2). Banyaknya isolat cendawan yang didapatkan menunjukkan bahwa banyak cendawan entomopatogen yang berhabitat di tanah atau rhizosfer tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat Donga, et al. (2021) bahwa cendawan yang menginfeksi serta membunuh artropoda berhabitat di tanah dan dapat juga berperan sebagai cendawan endofit. Spesies cendawan entomopatogen pada umumnya hidup di dalam tanah yang dapat berperan sebagai saprofit dan juga memungkinkan cendawan ini mudah menginfeksi serangga hama yang hidup di tanah (Kovac et al., 2021; Sharma dan Sharma, 2021). Keberadaan cendawan entomopatogen di dalam tanah dinilai mampu melestarikan keberadaan mereka karena kondisi di dalam tanah cukup stabil dari pengaruh abiotik yang berbahaya (Kovac et al., 2021) serta keberadaan mereka dalam tanah memberikan banyak efek positif terhadap hasil panen dan pelestarian organisme bermanfaat (Sharma dan Sharma, 2021).

Tabel 2 menunjukkan bahwa tanah dari lahan sawah organik tidak ditemukan isolat cendawan entomopatogen. Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, serangga umpan yang digunakan, *Tenebrio molitor*, tidak menunjukkan ciri-ciri kematian akibat dari serangan cendawan entomopatogen yakni tubuh serangga akan keras dan kaku yang beberapa hari kemudian permukaan tubuh serangga akan ditumbuhi oleh miselium cendawan, melainkan menunjukkan ciri-ciri tubuh menjadi berwarna hitam, mengerut, lembek, berlendir, dan mengeluarkan aroma yang tidak sedap. Gejala ini mirip dengan yang disebutkan oleh Arsi et al. (2019) dan Pujiastuti et al. (2020), yakni tubuh serangga berubah menjadi hitam, mengeluarkan bau busuk, terdapat cairan putih, dan tubuh larva

mengecil dan menipis. Diduga keberadaan bakteri entomopatogen mendominasi dalam tanah lahan sawah organik sehingga serangga umpan yang digunakan mati akibat dari serangan bakteri entomopatogen. Tanah dengan bahan organik atau nutrisi yang tinggi kebanyakan didominasi oleh bakteri (Jaronski, 2007) sebagaimana yang diketahui bahwa lahan sawah organik tempat pengambilan sampel tidak menggunakan pupuk sintetis maupun pestisida sintetis tetapi memanfaatkan bahan sisa hasil panen sebagai pupuk organik.

Setelah cendawan entomopatogen telah tumbuh di media PDA, dilakukan identifikasi secara makroskopis dan mikroskopis menggunakan buku identifikasi Barnett dan Hunter (1972), Watanabe (2002), serta literatur terkait. Tabel Lampiran 2 menunjukkan karakteristik morfologi makroskopis dan mikroskopis dari isolat yang didapatkan, sebagaimana yang dapat dilihat bahwa terdapat 6 genus cendawan dan 18 karakteristik morfologi dari 29 isolat yang telah diperoleh. Keenam genus cendawan tersebut adalah *Aspergillus*, *Beauveria*, *Clonostachys*, *Fusarium*, *Metarhizium*, dan *Rhizopus* yang diperoleh merupakan cendawan entomopatogen yang umumnya hidup di dalam tanah. Habitat cendawan entomopatogen sebagian besar di dalam tanah berdasarkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang mengisolasi cendawan entomopatogen dari tanah seperti *Aspergillus* (Fitriana et al., 2021), *Beauveria* (Doolotkeldieva et al., 2019), *Clonostachys* (Sharma et al., 2020), *Fusarium* (Sharma dan Marques, 2018), *Metarhizium* (Kovac et al., 2021), dan *Rhizopus* (Abdullah et al., 2020).

Genus *Aspergillus* yang didapatkan dapat dilihat pada gambar 18 yang menunjukkan karakteristik morfologi makroskopis dan mikroskopis dari isolat SAS<sub>1(1)</sub>. Secara makroskopis, cendawan ini memiliki bentuk koloni bulat, berwarna putih kecoklatan, permukaan halus seperti tepung (Gambar 18a dan 18b). Dan secara mikroskopis, memiliki konidia berbentuk bulat atau *globose* dan bersel satu (Gambar 8c), hifa bercabang dan bersepta (Gambar 18d), serta terdapat konidiofor dengan ujung konidiofor menampung banyak rantai konidia (Gambar 18e). Hal ini sesuai dengan pendapat Barnett dan Hunter (1972) serta Watanabe (2001) bahwa, cendawan dari genus *Aspergillus* memiliki koloni dengan warna beragam, ada yang kuning kecoklatan, hijau keabu-abuan, hijau muda, hitam, hingga kuning kehijauan; konidiofor tegak dan sederhana dengan ujung konidiofor bulat, terdapat bantalan fialid; konidia berbentuk *globose* bersel satu dengan massa spora berwarna hitam.

*Aspergillus* tersebar luas di lingkungan, contohnya dapat ditemukan di tanah (Paulussen et al., 2017) dan pada penelitian ini ditemukan pada tanah sawah anorganik sedang. Berdasarkan penelitian Naing et al. (2020) menyatakan bahwa 73% isolat dari sawah yang mereka dapatkan berasal dari genus *Aspergillus*. Pada penelitian Tafinta et al. (2018) juga menyatakan bahwa lahan dataran rendah mengandung banyak cendawan dan *Aspergillus* dominan di dalamnya.

*Aspergillus* berperan sebagai cendawan entomopatogen bagi serangga *Spodoptera litura* (Fitriana et al., 2021), *Helopeltis* sp. (Supriyadi et al. 2017), dan *Acythosiphon pisum* (Seye et al., 2014) karena cendawan ini mengekskresikan senyawa metabolit. Senyawa metabolit ini berupa mikotoksin seperti aflatoksin yang merusak fungsi hati serangga (Lin et al., 2021), gliotoksin sebagai faktor virulensi dalam mikosis pada serangga, okratoksin dapat menekan sistem kekebalan tubuh, fungsi ginjal, dan



mengubah formasi sel pada serangga (Pfliegler et al., 2020). Serta menghasilkan enzim kitinase yang dapat menghancurkan kitin pada eksoskeleton serangga hama sehingga memudahkan proses invasi cendawan (Fitriana et al., 2021), esterase dan lipase berperan dalam penyerapan lipid dari serangga untuk digunakan cendawan (Lin et al., 2021).

Genus *Beauveria* yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9 yang menunjukkan karakteristik morfologi makroskopis dan mikroskopis dari isolat HO<sub>1(1)</sub> (mewakili isolat SAS<sub>3</sub>) dan HO<sub>3</sub>. Secara makroskopis, isolat-isolat ini memiliki persamaan dari warna koloni yang berwarna putih dengan bagian bawah berwarna putih kekuningan, permukaan seperti kapas, bentuk koloni bulat dan elevasi menonjol, sedangkan perbedaannya terletak dari bentuk margin yang bergelombang untuk isolat HO<sub>1(1)</sub> dan beraturan untuk isolat HO<sub>3</sub> (Gambar 8a dan 8b; Gambar 9a dan 9b). Dan secara mikroskopis, isolat-isolat ini memiliki karakteristik yang sama yakni hifa bercabang serta berseptata (Gambar 8c; Gambar 9c), dan terdapat sel konidiogen pada hifa (Gambar 8d; Gambar 9d). Hal ini sesuai dengan pendapat Barnet dan Hunter (1972) serta penelitian Kovac et al. (2020), Norjmaa et al. (2019) dan Sari (2020) bahwa, *Beauveria* dari tanah berwarna putih hingga putih kekuningan, bertekstur halus hingga seperti tepung, konidia berbentuk bulat hingga ovoid, hifa berseptata, bercabang, dan dengan sel konidiogen memanjang.

Cendawan entomopatogen dari genus *Beauveria* memiliki cakupan inang yang luas, yakni dari ordo Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera, Hemiptera dan Diptera (Sari, 2020). *Beuaveria* juga merupakan musuh alami dari beberapa hama-hama penting seperti, *Spodoptera litura* (Fitriana et al., 2021; Herlinda et al., 2020), *Ostrinia furnacalis* (Sharma et al., 2020), *Hypothenemus hampei* (Hollingsworth et al., 2020; Solichah et al., 2020), *Spodoptera frugiperda* (Kuzhuppillymyal-Prabhakarankutty et al., 2021; Saldi 2020), *Chilo sacchariphagus* (Simanjuntak, 2017), dan *Nezara viridula* (Siahaan et al., 2019). Salah satu spesies dari genus ini, *Beauveria bassiana*, menyebabkan mortalitas hingga 86,67% pada *S. frugiperda*.

*Beauveria* memiliki sifat insektisida dan virulensi yang tinggi terhadap serangga karena cendawan ini mengeluarkan mikotoksin dan enzim (Herlinda et al., 2020; Macuphe et al., 2021). Mikotoksin yang merupakan metabolit sekunder tersebut adalah *beauvericin*, *bassianin*, *beauverolides*, *tenellin*, *oosporein*, *oxalic acid* dan *calcium oxalate crystal* (Solichah et al., 2020; Wang et al., 2021). *Beauvericin* merupakan toksin paling penting yang menunjukkan sifat sitotoksisitas dan insektisida (Wang et al., 2021). Enzim yang disekresikan oleh cendawan ini adalah protase dan kitinase yang berperan dalam mendegradasi kutikula pada serangga (Macuphe et al., 2021).

*Beauveria* berhabitat di tanah dan dapat hidup di beragam ekosistem (Gürlek et al., 2018), sehingga cendawan ini dapat ditemukan pada tanah sawah dan hortikultura. Saat ini, penelitian terkait habitat *Beauveria* secara spesifik, khususnya di lahan pertanian, masih terbatas. Jika dilihat dari kemampuan beradaptasi, *Beauveria* lebih mudah beradaptasi pada ekosistem hutan dibandingkan dengan lahan pertanian, sehingga *Beauveria* lebih sering ditemui pada ekosistem hutan dibandingkan lahan pertanian.

Genus *Clonostachys* yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 19 – Gambar 21 menunjukkan karakteristik morfologi makroskopis dan mikroskopis dari isolat SAS<sub>6</sub>, SAS<sub>7</sub>, dan SAS<sub>6</sub>. Secara makroskopis, ketiga isolat ini memiliki perbedaan dari warna

pada bagian bawah media, dimana ketiga isolat berwarna putih krem dengan halo kuning di tengah tetapi pada bagian bawah media SAS<sub>6</sub> berwarna putih, SAS<sub>7</sub> berwarna kuning, dan SAS<sub>8</sub> berwarna kuning dan ungu. Ketiga isolat ini memiliki permukaan yang kasar, dengan bentuk berserat, margin filiform, dan elevasi menonjol (Gambar 19a dan 19b; Gambar 20a dan 20b; Gambar 21a dan 21b). Secara mikroskopis, hifa bercabang dan bersepta (Gambar 19; Gambar 20d; Gambar 21d), konidia ovoid dengan ujung agak lancip (Gambar 19c; Gambar 20c; Gambar 21c), terdapat konidiofor tegak, bersepta, SAS<sub>6</sub> dan SAS<sub>8</sub> memiliki tipe konidiofor *verticillate* (Gambar 19e; Gambar 21e) sedangkan SAS<sub>7</sub> memiliki tipe konidiofor *penicillately* (Gambar 20e).

Hal ini sesuai dengan Alwindia dan Hirooka (2011) bahwa, cendawan genus *Clonostachys* memiliki warna yang beragam, ada yang berwarna putih krem, kuning pucat, oranye, dan hijau keabu-abuan, dengan permukaan ada yang kuning pucat, hijau keabu-abuan dan kuning terang, begitu juga dengan permukaan yang beragam, dari bertepung, seperti kapas, halus hingga kasar. Konidia *Clonostachys* juga beragam, ada yang berbentuk bulat, elips, ovoid atau silinder, subglobose hingga oval, dan oblong, terdapat konidiofor hialin yang tegak dan bercabang (Anwar et al. 2018; Ivanová et al., 2017). Terdapat dua jenis konidiofor pada *Clonostachys*, yaitu cabang seperti *Penicillium* dan cabang seperti *Verticillium* yang lebih panjang cabangnya (Anwar et al., 2018; Sun et al., 2020) .

Cendawan dari genus *Clonostachys* telah diketahui sejak lama sebagai saprofit di tanah dan menjadi antagonis bagi beberapa jenis cendawan patogen dan nematoda (Toledo et al., 2006). Kini, penelitian mengenai cendawan bermanfaat ini terus dilakukan untuk mengetahui virulensi cendawan ini terhadap serangga, khususnya serangga hama. Pada beberapa penelitian, *Clonostachys* menunjukkan pengaruh yang baik terhadap beberapa hama seperti menyebabkan kematian pada *Bemisia tabaci* sebesar 50,4% (Anwar et al., 2018), beberapa hama gudang seperti *Trogoderma granarium*, *Tribolium castaneum* dan *Callosobruchus maculatus* lebih dari 70% (Mohammed et al., 2021), dan beberapa jenis kutu seperti *Aphis fabae* dan *Myzus persicae* (Mohammed et al., 2022).

Cendawan ini hidup di dalam tanah sebagai saprofit, serta menjadi endofit, parasit nematoda, cendawan patogen, serta serangga (Anwar et al., 2018). Perannya sebagai agens pengendali hayati dikarenakan *Clonostachys* menghasilkan senyawa volatil yang beracun terhadap serangga dan patogen (Anwar et al., 2018), tetapi masih belum diketahui secara spesifik jenis senyawa volatil apa yang menjadi toksin terhadap serangga yang disekresikan oleh *Clonostachys*. Selain itu, enzim pendegradasi dinding sel juga diproduksi oleh cendawan ini, yakni kitinase menghancurkan dinding sel dari kutikula serangga dan protase bekerja sama dengan kitinase dalam degradasi kutikula serangga yang kemudian mendegradasi protein pada serangga yang akan digunakan sebagai nutrisi bagi cendawan (Moharram et al., 2021; Sun et al., 2020).

*Clonostachys* tersebar luas di seluruh dunia dengan frekuensi paling banyak dari tanah yang didapatkan dari berbagai jenis lahan (Sharma et al., 2020; Sun et al., 2020). Cendawan ini pernah didapatkan dari lahan barley, bawang, stroberi, mawar, dan kakao, yang diisolasi dari bagian daun, perakaran/tanah, dan bunga dengan jumlah isolat terbanyak didapatkan dari tanah (Sun et al., 2020). Saat ini, penelitian mengenai isolasi

cendawan *Clonostachys* dari lahan sawah masih terbatas sehingga belum didapatkan literatur pendukung terkait habitat genus *Clonostachys* di lahan persawahan.

Genus *Fusarium* yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 10 – Gambar 14, Gambar 16, Gambar 17, Gambar 22 dan Gambar 23 yang menunjukkan karakteristik morfologi makroskopis dan mikroskopis dari isolat HO<sub>5</sub>, HAS<sub>4(1)</sub>, HAS<sub>6(1)</sub>, HAS<sub>6(2)</sub>, HAS<sub>11</sub>, HAT<sub>2(1)</sub>, HAT<sub>2(2)</sub>, SAS<sub>2(1)</sub>, dan SAS<sub>4(1)</sub>. Secara makroskopis, kesembilan isolat ini memiliki warna dan permukaan yang bervariasi, yakni putih dengan bagian bawah media juga berwarna putih dengan permukaan halus yang mencirikan isolat HO<sub>5</sub> (Gambar 10a dan 10b), HAS<sub>11</sub> (Gambar 14a dan 14b), HAT<sub>2(1)</sub> (Gambar 16a dan 16b), dan SAS<sub>4(1)</sub> (Gambar 23a dan 23b), putih dengan bagian bawah media berwarna merah muda-kecoklatan dengan permukaan kasar yang mencirikan isolat HAS<sub>4(1)</sub> (Gambar 11a dan 11b), putih dengan bagian bawah berwarna merah muda dengan permukaan kasar yang mencirikan isolat HAS<sub>6(1)</sub> (Gambar 12a dan 12b), putih dengan bagian bawah media berwarna putih-kekuningan dengan permukaan halus yang mencirikan isolat HAS<sub>6(2)</sub> (Gambar 13a dan 13b), putih keunguan dengan bagian bawah media berwarna yang sama dengan permukaan halus yang mencirikan isolat HAT<sub>2(2)</sub> (Gambar 17a dan 17b), dan putih dengan bagian bawah media berwarna merah muda-kecoklatan dengan permukaan halus yang mencirikan isolat SAS<sub>2(1)</sub> (Gambar 22a dan 22b). Bentuk koloni, margin dan elevasi dari kesembilan isolat ini adalah berbentuk bulat dengan margin filiform dan elevasi menonjol, kecuali HO<sub>5</sub> memiliki elevasi datar.

Secara mikroskopis, semua isolat memiliki hifa yang bercabang serta berseptata, sedangkan untuk karakteristik mikroskopis lainnya ada beberapa karakteristik yang berbeda tiap isolatnya. Isolat HO<sub>5</sub> memiliki mikrokonidia yang berbentuk bulat, oblong, dan oval (Gambar 10c), makrokonidia berbentuk lunata/bulan sabit (Gambar 10d), dan terdapat konidiofor dengan ujungnya terdapat mikrokonidia (Gambar 10f). Isolat HAS<sub>4(1)</sub> memiliki konidia berbentuk oblong (Gambar 11c), konidiofor pada hifa (Gambar 11d) dengan ujungnya terdapat *false head* (Gambar 11e) yang merupakan tempat terbentuknya mikrokonidia, dan terdapat kladospora (Gambar 11g). Isolat HAS<sub>6(1)</sub> memiliki konidia berbentuk oblong dan ovoid (Gambar 12c), terdapat fialid terminal pada hifa (Gambar 12e) dan terdapat kladospora interkalar (Gambar 12f). Isolat HAS<sub>6(2)</sub> memiliki mikrokonidia berbentuk oblong dan ovoid (Gambar 13d), sedangkan makrokonidia berbentuk lunata/bulan sabit (Gambar 13c). Isolat HAS<sub>11</sub> tidak menunjukkan konidia, baik mikrokonidia maupun makrokonidia tetapi hanya terdapat hifa dan kladospora (Gambar 14c). Isolat HAT<sub>2(1)</sub> memiliki mikrokonidia berbentuk oval (Gambar 16c) dan makrokonidia berbentuk lunata/bulan sabit (Gambar 16d). Isolat HAT<sub>2(2)</sub> memiliki mikrokonidia berbentuk ovoid dan oblong (Gambar 17c), makrokonidia berbentuk lunata (Gambar 17e), terdapat kladospora (Gambar 17d) dan fialid (Gambar 17g). Isolat SAS<sub>2(1)</sub> memiliki mikrokonidia berbentuk oblong (Gambar 22c) dengan makrokonidia berbentuk lunata (Gambar 22d). Dan isolat SAS<sub>4(1)</sub> memiliki konidia yang berbentuk oblong (Gambar 23c), kladospora (Gambar 23d), dan *sporodochia* (Gambar 23f).

Hal ini sesuai dengan pendapat Barnett dan Hunter (1972), Lombard et al (2019) dan Watanabe (2002) bahwa, cendawan dari genus *Fusarium* memiliki koloni yang halus hingga kasar; warna koloni putih, pink, ungu, atau kuning; bagian bawah media juga beragam, mulai dari tanpa warna, kuning, oranye, ungu, ; bentuk margin beragam, ada

filiform, bergelombang, bergerigi, dan tidak beraturan; konidiofor beragam, ramping dan sederhana, banyak, pendek, bercabang tidak beraturan atau yang menampung lingkaran fialid; fialid beragam, ada monofialid, polifialid, dan fialid sporodochial; mikrokonidia bersel satu, berbentuk ovoid atau oblong, dan terbentuk dalam rantai atau tunggal; makrokonidia terdiri dari beberapa sel, berbentuk melengkung atau bengkok pada ujung konidia (lunata); hifa bersepta dan bercabang; terbentuk kladospora pada beberapa spesies dengan bentuk bulat.

*Fusarium* merupakan cendawan yang dapat menyebabkan kematian pada serangga dari ordo Lepidoptera, Coleoptera, Homoptera, Hemiptera, dan Hymenoptera (Anwar et al., 2017; Sharma dan Marques, 2018). Cendawan ini mematikan pada beberapa jenis serangga, seperti *Bemisia tabaci* (Anwar, et al., 2018) dengan mortalitas hingga 100%, *Spodoptera litura* (Chang et al., 2021), dan *Tenebrio molitor* (Guo et al., 2018). Patogenisitas dari *Fusarium* ini dipengaruhi oleh mikotoksin yang disekresikan oleh cendawan selama masa infeksi ke serangga inang, yakni *trichothecenes*, *beauvericin*, *fumonisin*, *zeralenone*, *fusaproliferin*, *furasin*, dan *moniliformin* (Chtioui et al., 2022; Guo et al., 2018; Munkvold, 2017) yang toksisitasnya dapat menyebabkan disfungsi membran sel hingga stres oksidatif yang berakibat turunnya sistem kekebalan tubuh serangga dan berakhir pada kematian (Munkvold, 2017)

Cendawan ini umumnya terdapat pada bagian tanaman dan tanah, tetapi umumnya hidup di tanah sebagai mikroba pembusuk bahan organik, patogen bagi tanaman dan berpotensi sebagai cendawan entomopatogen (Barnett dan Hunter, 1972; Abdel-Azeem et al., 2019; Sharma dan Marques, 2018). *Fusarium* melimpah pada tanah pertanian yang subur (Abdel-Azeem et al., 2019), hal ini sesuai dengan penelitian Gaddeyya et al. (2012) yang mengisolasi *Fusarium* dari lahan sawah, jagung, kapas, dan tebu, serta Wiyono et al. (2017) yang mendapatkan isolat *Fusarium* dari lahan pisang dan Arie (2019) dari lahan hortikultura seperti bayam, kubis, melon, tomat, terong, mentimun, bawang bombay, dan bawang daun. Pendapat ini selaras hasil penelitian yang menunjukkan bahwa, isolat genus *Fusarium* didapatkan dari lahan sawah dan hortikultura (pertanaman bawang daun).

Genus *Metarhizium* yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 24 dan Gambar 25 yang menunjukkan karakteristik morfologi makroskopis dan mikroskopis dari isolat SAS<sub>1(2)</sub> (mewakili isolat HO<sub>1(2)</sub>, HO<sub>2</sub>, HO<sub>6</sub>, HO<sub>5(2)</sub>, HAS<sub>3(1)</sub>, HAS<sub>4(2)</sub>, HAS<sub>6(3)</sub>, SAS<sub>4(2)</sub>, SAS<sub>2(2)</sub>, dan SAS<sub>9</sub>) dan SAT<sub>1</sub>. Secara makroskopis, isolat-isolat ini berwarna hijau dengan halo putih pada pinggir koloni dengan bagian bawah media berwarna putih dengan halo kuning di tengah dengan permukaan seperti tepung, bentuk koloni bulat, margin filiform, dan elevasi rata (Gambar 24a dan 24b; Gambar 25a dan 25b). Secara mikroskopis, pada isolat SAS<sub>1(2)</sub> tidak terdapat hifa, sedangkan pada isolat SAT<sub>1</sub> terdapat hifa yang bercabang dan bersepta (Gambar 25d). Serta terdapat konidia yang berbentuk elips (Gambar 24c; Gambar 25c). Hal ini sesuai dengan pendapat Barnett dan Hunter (1972), Bich et al (2021), Herlinda et al. (2020) serta Imiyah dan Rahma (2021) bahwa, cendawan dari genus *Metarhizium* memiliki koloni putih kekuningan yang semakin tua akan berwarna hijau zaitun dengan pertumbuhan menyebar rata pada media, konidia berbentuk ovoid panjang hingga silinder dan bersel satu, hifa bercabang serta bersepta dengan warna hialin.

Cendawan ini memiliki kemampuan dalam menginfeksi banyak jenis serangga tetapi sebagian besar juga hidup sebagai saprofit dan endofit (St. Leger dan Wang, 2020). Genus *Metarhizium* memiliki cakupan inang cukup luas, yakni dari ordo Lepidoptera, Hemiptera, Orthoptera, Diptera, dan Coleoptera. Telah dilaporkan bahwa cendawan ini menyebabkan kematian pada *Spodoptera frugiperda* (Herlinda et al., 2020), *Spodoptera litura* (Aryo et al., 2017), *Locusta migratoria* (Jiang et al., 2020), *Callosobruchus maculatus* (Ozdemir et al., 2020), dan *Nephotettix virescens* (Ibrahim et al., 2021).

Virulensi dari cendawan ini dipengaruhi dari produksi mikotoksin dan enzim. Selama proses infeksi cendawan *Metarhizium* ke inang, maka akan diproduksi mikotoksin *destruxin* dan *cytochalasins* (Yin et al., 2021; Wang dan St. Leger, 2019). *Destruxin* efektif dalam membunuh serangga dengan menyerang saraf serangga inang melalui penghambatan kekebalan yang termasuk di dalamnya menekan produksi antimikroba dan merusak hemosit serangga (Yin et al., 2021). Sedangkan *cytochalasins* menargetkan sitoskeleton dengan menghambat pembentukan sitoskeleton dan mikrotubulus (Mukherjee dan Vilcinskas, 2018; Wang dan St. Leger, 2019). Kedua metabolit sekunder ini akan mempengaruhi susunan sitoskeleton dalam sel sistem imun serangga sehingga akan menyebabkan penurunan imun (Mukherjee dan Vilcinskas, 2018).

*Metarhizium* hidup di tanah yang dapat berinteraksi dengan tanaman sebagai endofit serta dapat hidup sebagai saprofit yang dapat ditemui di mana saja dari tempat tropis hingga artik (Aw dan Hue, 2017; Donga et al., 2021). Cendawan ini ditemui di lahan pertanian seperti tanaman terong (Arsi, et al., 2020), padi, cabai, labu, jagung, dan mentimun (Herlinda et al., 2020), serta kubis (Vishwanath et al., 2021). Pendapat ini sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa cendawan *Metarhizium* dapat diisolasi dari lahan sawah dan kebun sayur.

Genus *Rhizopus* yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 15 yang menunjukkan karakteristik morfologi makroskopis dan mikroskopis dari isolat HAS<sub>3(2)</sub>. Secara makroskopis, isolat ini mempunyai miselium berwarna putih dengan spora berwarna hitam pada permukaan koloni dan bagian bawah berwarna hitam, bentuk berfilamen/*filamentous*, margin filiform, dan elevasi menonjol (Gambar 15a dan 15b). Secara mikroskopis, hifa bercabang dan tidak bersepta (Gambar 15d), spora berbentuk bulat (Gambar 15c), terdapat sporangiofor (Gambar 15h), *apophysis* (Gambar 15f), *columella* (Gambar 15e), dan sporangium (Gambar 15h). Hal ini sesuai dengan pendapat Watanabe (2002) bahwa, cendawan dari genus *Rhizopus* memiliki sporangiofor tegak, sederhana atau bercabang; spora berbentuk *globose*/bulat; sporangium berbentuk bulat dengan warna hitam atau coklat tua; dan terdapat *columellae* berbentuk bulat. Begitu juga dengan karakteristik makroskopis yang sesuai dengan penelitian Gusmiaty et al. (2020) dan Moensaku et al. (2021) yang mendapatkan isolat *Rhizopus* dengan koloni berwarna putih, abu-abu, dan hitam, dengan tekstur halus seperti kapas.

Cendawan ini ditemukan dapat menginfeksi beberapa serangga dari beberapa ordo, yakni Lepidoptera, Diptera, Coleoptera dan Orthoptera (Qayyum et al., 2021) dan menginfeksi *Helicoverpa armigera* pada tanaman jagung (Tenrirawe dan Pabbage 2013). Kematian akibat infeksi *Rhizopus* pada serangga disebabkan oleh metabolit sekunder, yakni *rhizoxins*, *eugenol* dan *methyil eugenol* yang dapat meningkatkan kadar radikal

bebas dan gangguan sistem pertahanan antioksidan yang kemudian menyebabkan kematian (Peeran et al., 2018). Tetapi masih dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai efektifitas cendawan ini dalam pemanfaatannya sebagai agens pengendali hayati serangga hama.

*Rhizopus* umumnya digunakan sebagai mikroba yang berperan sebagai agen fermentasi serta kontaminan terhadap makanan dan produk pertanian tetapi keberadaannya juga dapat ditemukan di dalam tanah sebagai pengurai (Abdullah et al., 2020; Dolatabadi et al., 2013). Hasil penelitian menunjukkan bahwa cendawan genus *Rhizopus* diisolasi dari tanah lahan hortikultura. Berdasarkan beberapa penelitian, cendawan ini ditemukan pada lahan yang beragam dari sawah (Abdullah et al., 2020; Afandhi, et al., 2020), hutan (Payangan et al., 2019), dan hingga lahan hortikultura seperti lahan bunga matahari (Markell et al., 2015).

Tabel 3 menunjukkan bahwa, terdapat genus cendawan yang hanya terdapat pada lahan tertentu saja, yakni *Aspergillus* hanya ditemukan pada lahan sawah anorganik sedang, *Rhizopus* yang hanya ditemukan di lahan hortikultura anorganik sedang dan *Clonostachys* yang hanya ditemukan di sawah anorganik sedang. Lalu, genus *Beauveria* hanya ditemukan di dua lahan, yakni di lahan hortikultura organik dan sawah anorganik sedang, *Fusarium* ditemukan di semua lahan kecuali lahan sawah organik dan sawah anorganik tinggi, dan *Metarhizium* ditemukan di seluruh lahan tempat pengambilan sampel, kecuali sawah organik dan hortikultura anorganik tinggi. Jumlah isolat terbanyak yang didapatkan adalah dari genus *Metarhizium* (11 isolat), diikuti oleh *Fusarium* (9 isolat), *Beauveria* (3 isolat), *Clonostachys* (3 isolat), *Aspergillus* (1 isolat) dan *Rhizopus* (1 isolat).

Hal ini menunjukkan bahwa keanekaragaman dan kelimpahan cendawan entomopatogen pada lahan bergantung pada jenis tanaman yang dibudidayakan (Afandhi et al., 2020; Donga et al., 2021) dan teknik pengendalian OPT yang digunakan (Afandhi et al., 2020). Karakteristik tanah juga mengambil peran penting dalam keberadaan cendawan entomopatogen dalam tanah, yakni sifat fisik tanah, sifat kimia tanah, bahan organik dalam tanah dan temperatur (Sharma et al., 2021; Qayyum et al., 2021). Faktor mikroklimatik seperti kelembaban juga sangat mempengaruhi pertumbuhan dari cendawan entomopatogen (Kovac et al., 2021).

Kelimpahan dan keberadaan cendawan entomopatogen di tanah sangat dipengaruhi oleh penggunaan lahan iklim, sifat tanah, jenis tanaman, praktik pertanian, pengambilan sampel dan penggunaan pestisida kimia (Donga et al., 2021). Penggunaan dari pestisida kimia tidak hanya berbahaya bagi lingkungan dan organisme non-target, tapi juga mempengaruhi jumlah populasi cendawan entomopatogen di dalam tanah akibat dari residu penggunaan pestisida kimia di lahan pertanian (Arsi et al., 2020; Donga et al., 2021; Kovac et al., 2021).

## 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa keberadaan cendawan entomopatogen dapat ditemukan pada tanah dari lahan sawah anorganik sedang sebanyak 11 isolat dengan jenis cendawan *Aspergillus*, *Beauveria*, *Clonostachys*, *Fusarium*, dan *Metarhizium*, sawah anorganik tinggi sebanyak 1 isolat dengan jenis cendawan *Metarhizium*, hortikultura organik sebanyak 7 isolat dengan jenis cendawan *Beauveria*, *Fusarium*, dan *Metarhizium*, hortikultura anorganik sedang sebanyak 8 isolat dengan jenis cendawan *Fusarium*, *Metarhizium*, dan *Rhizopus*, serta hortikultura anorganik tinggi sebanyak 2 isolat dengan jenis cendawan *Fusarium*. Sedangkan untuk tanah dari lahan sawah organik tidak ditemukan isolat cendawan entomopatogen, melainkan serangga umpan mati diakibatkan oleh bakteri entomopatogen. Keberadaan dan keanekaragaman cendawan entomopatogen di tanah dipengaruhi oleh jenis tanaman, penggunaan pestisida sintetik, iklim, kelembaban, sifat fisik dan kimia tanah, temperatur, dan bahan organik dalam tanah.

### 5.2 Saran

Diharapkan penelitian terkait entomopatogen, baik itu cendawan, bakteri maupun nematoda, dapat dikaji lebih dalam khususnya penelitian mengenai cendawan-cendawan yang berpotensi dapat menjadi cendawan entomopatogen karena saat ini kurangnya literatur mengenai beberapa cendawan yang sangat berpotensi besar menjadi cendawan entomopatogen.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Azeem, A. M., Abdel-Azeem, M. A., Darwishm A.G., Nafady, N. A. dan Ibrahim, N. A. 2019. *Recent Advancement in White Biotechnology Through Fungi*: Chapter 6 – *Fusarium*: Biodiversity, Ecological, Significances, and Industrial Application. *Fungal Biology*, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-10480-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-10480-1_6).
- Abdullah, T., Irwan, I., Kuswinanti, T., Daud, I. D., Asman, A., Nasruddin, A. dan Agus, N. 2020. Entomopathogenic fungus isolated from agro-ecosystem soil in South Sulawesi, Indonesia. *Asian J Agric & Biol*, Vol. 8 No. 1, DOI: 10.35495/ajab.2019.05.197.
- Afandhi, A., Pertiwi, E. P., Purba, D. P., Widjayanti, T. dan Leksono, A. S. 2020. The diversity of entomopathogenic fungi collected from leaves and rhizospheres of rice implementing integrated pest management. *BIODIVERSITAS*, Vol. 21 No. 6, DOI: 10.13057/biodiv/d210642.
- Agrawal, Y., Mual, P. dan Shenoy, B. D. 2014. Multi-gene Genealogies Reveal Cryptic Species *Beauveria rudraprayagi* sp. nov. From India. *Mycosphere*, Vol. 5 No. 6, DOI: 10.5943/mycosphere/5/6/3.
- Alexopoulos, C. J., Mims, C. W., dan Blackwell, M. 1996. *Introductory Mycology 4th Ed.* John Wiley & Sons, Inc, USA.
- Alramadan, Y. dan Mamay, M. 2019. The Importance of Entomopathogenic Fungi in The Control of Agricultural Pests and Promising Fungal Entomopathogens in The Field Application. *International Gobeklitepe Agriculture Congress 2019*.
- Alvindia, D. G. dan Hirooka, Y. 2011. Identification of *Clonostachys* and *Trichoderma* spp. from banana fruit surface by cultural, morphological and molecular methods. *Mycobiology*, Vol. 2 No. 2, DOI: 10.1080/21501203.2011.554904.
- Anwar, W., Haider, M. S., Shahid, A. A., Mushtaq, H., Hameed, U., Rehman, M. Z. U. Dan Iqbal, M. J. 2017. Genetic diversity of *Fusarium* Isolated from Members of *Sternorrhyncha* (Hemiptera): Entomopathogens against *Bemisia tabaci*. *Pakistan J. Zool*, Vol. 49 No. 2, DOI: <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/2017.49.2.639.645>
- Anwar, W., Ali, S., Nawaz, K., Iftikhar, S., Javed, M. A., Hashem, A., Alqarawi, A. A., Abd.Allah, E. F. dan Akhter, A. 2018. Entomopathogenic fungus *Clonostachys rosea* as a biocontrol agent against whitefly (*Bemisia tabaci*). *Biocontrol Science and Technology*, Vol. 28 No. 8, DOI: 10.1080/09583157.2018.1487030.
- Arie, T. 2019. *Fusarium* disease of cultivated plants, control, diagnosis, and molecular and genetics studies. *J. Pestic. Sci.*, Vol. 44 No. 4, DOI: 10.1584/jpestics.J19-03.
- Aryo, P., Wibowo, L. dan Aeny, T. N. 2017. Virulensi Beberapa Isolat *Metarhizium anisopliae* Terhadap Ulat Grayak (*Spodoptera litura* F.) di Laboratorium. *J. Agrotek Tropika*, Vol. 5 No. 2, ISSN 2337-4993.
- Arsi, A., Pujiastuti, Y., Kusuma, S. S. H. Gunawan, B. 2020. Eksplorasi, Isolasi dan Identifikasi Jamur Entomopatogen yang Menginfeksi Serangga Hama. *Jurnal Proteksi*, Vol. 1 No. 2, <https://doi.org/10.19184/jppt.v1i2.18554> .



- Aw, K. M. S. dan Hue, S. M. 2017. Mode of Infection of *Metarhizium* spp. Fungus and Their Potential as Biological Control Agents. *Journal of Fungi*, 2017 Vol. 3 No. 30, <https://doi.org/10.3390/jof3020030> .
- Bale, J. S., van Lenteren, J. C. dan Bigler, F. 2008. Biological Control and Sustainable Food Production. *Phil. Trans. R. Soc. B* 363, 761-776 <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2182> .
- Barnett, H.L. 1960. *Illustrated General of Imperfect Fungi 2nd Ed.* Burgess Publishing Co. Minneapolis.
- Barnett, H. L., dan Hunter, B. B. 1972. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi 3rd Edition.* Burgess Publishing Co. Mineapolis.
- Bich, G. A., Castrillo, M. L., Kramer, F. L., Villalba, L. L. Zapata, P. D. 2021. Morphological and Molecular Identification of Entomopathogenic Fungi from Agricultural and Forestry Crops. *Floresta e Ambiente*, Vol. 28 No. 2, <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2018-0086> .
- Chang, J. C., Wu, S. S., Liu, Y. C. Yang, Y. H., Tsai, Y. F., Li, Y. H., Tseng, C. T., Tang, L. C., dan Nai, Y. S. 2021. Construction and Selection of an Entomopathogenic Fungal Library From Soil Samples for Controlling *Spodoptera litura*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, Vol. 5 No. 596316, doi:10.3389/fsufs.2021.596316
- Chtioui, W., Balmas, V., Delogu, G., Migheli, Q. dan Qufensou, S. 2022. Bioprospecting Phenols as Inhibitors of Trichothecene-Producing *Fusarium*: Sustainable Approaches to the Management of Wheat Pathogens. *Toxins*, Vol. 14 No. 72, <https://doi.org/10.3390/toxins14020072>.
- Cloyd, R. A. 2020 Hoe Effective is Conservation Biological Control in Regulating Insect Pest Population in Organic Crop Production System. *Insects*, Vol. 11 No. 744, doi:10.3390/insects11110744
- Deguine, J. P., Aubertot, J. N., Flor, R. J., Lescourret, F., Wyvkhuis, K. A. G. dan Ratnadass. 2021. Integrated Pest Management: Good Intentions, Hard Realities. A Review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41:38.
- de Souza, P. C., Morey, A. T., Castanheira, G. M., Bocate, K. P., Panagio, L. A., Ito, F. A., Furlaneto, M. C., Yamada-Ogatta, S. F., Costa, I, N., MoraMontes, H. M., dan Almeida, R. S. 2015. *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) as an alternative host to study fungal infections. *Journal of Microbiological Methods* Vol. 118, 182-186, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mimet.2015.10.004>.
- Dolatabadi, S., Walther, G., Gerrits wn den Ende, A. H. G. dan de Hoog, G. S. 2013. Diversity and delimitation of *Rhizopus microsporus*. *Fungal Diversity*, DOI 10.1007/s13225-013-1229-6.
- Donga, K. T., Meadow, R., Meyling, N. V. dan Klingen, I. 2021. Natural Occurrence of Entomopathogenic Fungi as Endophytes of Sugarcane (*Saccharum officinarum*) and in Soil of Sugarcane Fields. *Insects*, Vol. 12 No. 160, <https://doi.org/10.3390/insects12020160> .
- Doolotkeldieva, T., Bobushevam S., Kulmanbetova, A., Zholdoshbekova, S. dan Kyzy, A. A. 2019. Characterization of *Beauveria bassiana* isolates from Kyrgyzstan.

- Ehrenb, E. 1821. *Nova Acta Physico-Media Academiae Caesareae Leopoldini-Carolinae Naturae Curiosum*, 10 (1): 198. Academia Caesarea Leopoldino-Carolina Naturae Curiosorum.
- Elkhateeb, W. A., Mousa, K. M., Elnahas, M. O. dan Daba, G. M. 2021. Fungi Against Insects and Contrariwise as Biological Control Models. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, Vol, 31 No. 13, <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00360-8>.
- Fitriana, Y., Suharjo, R., Swibawa, G., Semenguk, B., Pasaribu, L. T., Hartaman, M., Rwadini, R. A., Indriyati, I., Purnomo, P. dan Solikhin, S. 2021. *Aspergillus oryzae* and *Beauveria bassiana* as Entomopathogenic Fungi of *Spodoptera litura* Fabricus (Lepidoptera: Noctuidae) Infesting Corn in Lampung, Indonesia. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, Vol. 31 No. 127, <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00473-8>.
- Flori, F., Yunizar, N., Linawati, L dan Kustiati, K. 2020. Efektivitas Cemdawan Entomopatogen *Metarhizium anisopliae* dalam Membunuh Imago *Musa domestica* L. (Diptera: Muscidae). *Bioeksperimen*, Vol 6 No. 2, I ISSN 2460-1365.
- Frost, W. S., 1959. *Insect Life and Insect Natural History*. Dover, New York.
- Gaddeyya, G., Niharika, P. S., Bharathi, P. dan Kumar, P. K. R. 2012. Isolation and identification of soil mycoflora in different crop fields at Salur Mandal. *Advances in Applied Science Research*, Vol. 3 No. 4, ISSN: 0976-8610.
- Guo, Z., Pfohl, K., Karlovsky, P., Dehne, H. W. Dan Altincicek, B. 2018. Dissemination of *Fusarium proliferatum* by mealworm beetle *Tenebrio molitor*. *Plos ONE*, Vol. 13 No. 9, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204602>.
- Gürlek, S., Sevim, A., Sezgin, F. M. dan Sevim, E. 2018. Isolation and characterization of *Beauveria* and *Metarhizium* spp. from walnut fields and their pathogenicity against the codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, <https://doi.org/10.1186/s41938-018-0055-y>.
- Gusmiaty, G., Larekeng, S. H., Restu, M., dan Amal, F. 2020. The Ability of Rhizosphere Fungi Isolate of Mahogany [*Swietenia mahagoni* (L.) Jacq] in Dissolving Phosphate. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, Vol. 21 No. 21&22,.
- Herlinda, S., Octariati, N., Suwandi, S. dan Hasbi. 2020. Exploring Entomopathogenic Fungi from South Sumatra (Indonesia) Soil and Their Pathogenicity Against a New Invasive Maize Pest, *Spodoptera frugiperda*. *BIODIVERSITAS*, Vol. 21 No. 7, DOI: 10.13057/biodiv/d210711.
- Herlinda, S., Efendi, R. A., Suharjo, R., Hasbi, H., Setiawan, A., Elfita, E. dan Verawaty, M. 2020. New Emerging Entomopathogenic Fungi Isolated from Soil in South Sumatra (Indonesia) and Their Filtrate and Conidial Insecticidal Activity Against *Spodoptera litura*. *BIODIVERSITAS*, Vol. 21 No. 11, DOI: 10.13057/biodiv/d211115
- Hernández-Rosas, F., Figueroa-Rodríguez, K. A., García-Pacheco, L. A., Velasco-Velasco, J. dan Sangerman-Jarquín. 2020. Microorganisms and Biological Pest

- Control: An Analysis Based on a Bibliometric Review. *Agronomy*, Vol. 10 No. 1808, doi.org/10.3390/agronomy10111808 .
- Hong, J., Han, T. Dan Kim, Y. Y. 2020 Mealworm (*Tenebrio molitor* Larvae) as an Alternative Protein Source for Monogastric Animal: A Review. *Animails*, Vol. 10 NO. 2068, doi:10.3390/ani10112068.
- Hollingsworth, R.G., Aristizabal, L.F., Shriner, S., Mascarin, G.M., Moral, R.A. Arthurs, S. P. 2020. Incorporating *Beauveria bassiana* Into an Integrated Pest Management Plan for Coffee Berry Borer in Hawaii. *Front. Sustain. Food Syst*, Vol. 4 No. 22, doi: 10.3389/fsufs.2020.00022.
- Ibrahim, E. dan Mugiasih, A. 2020. Diversity of Pest and Natural Enemies in Rice Field Agroecosystem with Ecological Engineering and Without Ecological Engineering. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 484, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/484/1/012108> .
- Ibrahim, E., Firmansyah, F. dan Panikkai, S. 2021. The effectiveness of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* in controlling the green leaf hopper. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 911, doi:10.1088/1755-1315/911/1/012061.
- Ilmiyah, N. dan Rahma, Y. A. 2021. Eksplorasi dan Identifikasi Cendawan Entomopatogen *Metarhizium* sp. dengan Metode *Baiting Insect*. *Jurnal Matematika & Sains*, Vol. 1 No. 2.
- Ivanova, H., Hamarova, L. dan Pristas, P. 2017. *Clonostachys rosea* associated with penderosa and Coulter pine needles in Slovakia. *Biologia*, Vol. 72 No. 11, DOI: 10.1515/biolog-2017-0145.
- Jaronski, S. T. 2007. Soil ecology of the entomopathogenic Ascomycetes: A critical examination of what we (think) we know. *Use of Entomopathogenic Fungi in Biological Pest Management*.
- Jiang, W., Peng, Y., Ye, J., Wen, Y., Liu, G. dan Xie, J. 2019. Effects of the Entomopathogenic Fungus *Metarhizium anisopliae* on the Mortality and Immune Response of *Locusta migratoria*. *Insects*, Vol. 11 No. 36, doi:10.3390/insects11010036.
- Khorrarnnejad, A., Perdomo, H. D., Palatini, U., Bonizzoni, M. dan Gasmí, L. 2021. Cross Talk between Viruses and Insect Cells Cytoskeleton. *Viruses*, Vol. 13 No. 1658, <https://doi.org/10.3390/v13081658> .
- Kim, J. C., Lee, M. R., Kim, S., Lee, S. J., Park, S. E., Nai, Y. S., Lee, G. S., Shin, T. Y. dan Kim, J. S. 2018. *Tenebrio molitor*-mediated Entomopathogenic Fungal Library Construction for Pest Management. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, Vol. 21, 196-204, <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2017.11.018>.
- Kovač, M., Gorczak, M., Wrzoeck, M., Tkaczuk, C. dan Pernek, M. 2020. Identification of Entomopathogenic Fungi as Naturally Occurring Enemies of the Invasive Oak Lace Bug, *Corythucha arcuata* (Say) (Hemiptera: Tingidae). *Insects*, Vol. 11 No. 679, doi.org/10.3390/insects11100679.
- Kuzhuppillymyal-Prabhakaran Kutty, L., Ferrera-Rivero, F.H., Tamez-Guerra, P., Gomez-Flores, R., Rodriguez-Padilla, M.C. dan Ek-Ramos, M.J. 2021. Effect of

- Beauveria bassiana*-Seed Treatment on *Zea mays* L. Response against *Spodoptera frugiperda*. *Appl. Sci*, Vol. 11 No. 2887, <https://doi.org/10.3390/app11072887>
- Lee, H. W., Nguyen, T. T. T., Mun, H. Y., Lee, H., Kim, C. dan Lee, H. B. 2015. Confirmation of Two Undescribed Fungal Species from Dokdo of Korea Based on Current Classification System Using Multi Loci. *Mycobiology*, Vol. 43 No. 4, <http://dx.doi.org/10.5941/MYCO.2015.43.4.392>.
- Lin, W. J., Chiu, M. C., Lin, C. C., Chung, Y. K. dan Chou, J. Y. 2021. Efficacy of Entomopathogenic Fungus *Aspergillus nomius* Against *Dolichoderus thoracicus*. *BioControl*, Vol. 66, 463-473, <https://doi.org/10.1007/s10526-021-10086-7>.
- Link, H. F. 1809. *Mag. Gesell. Naturf Freunde, Berlin* 3(1-2):16.
- Lombard, L., Sandoval-Denis, M., Lamprecht, S. C. dan Crous, P. W. 2019. Epityfication of *Fusarium oxysporum* – clearing the taxonomic chaos. *Persoonia*, Vol. 43, <https://doi.org/10.3767/persoonia.2019.43.01>.
- Macuphe, N., Oguntibeju, O.O. dan Nchu, F. 2021. *Evaluating the Endophytic Activities of Beauveria bassiana on the Physiology, Growth, and Antioxidant Activities of Extracts of Lettuce (Lactuca sativa L.)*. *Plants*, Vol. 10 No. 1178, <https://doi.org/10.3390/plants10061178>.
- Markell, S. G., Harveson, R. M., Block, C. C. dan Gulya, T. J. *Sunflower: Chemistry, Production, Processing and Utilization: Chapter 4 – Sunflower disease*. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-94-3.50010-6>.
- Micheli, P. A. 1729. *Nova Plantarum Genera, Florentiae*.
- Moensaku, E, Sine, Y. dan Pardosi, L. 2021. Isolasi dan identifikasi kapang *Rhizopus* pada tempe kacang merah (*Phaeulus vulgaris* L). *Jurnal Pendidikan Biologi Undiksha*, Vol. 8 No. 2, e-ISSN : 2599-1485.
- Mohammed, A. A., Younus, A. S. dan Ali, A. N. 2021. Efficacy of *Clonostachys rosea*, as a promising entomopathogenic fungus, against coleopteran stored product insect pests under laboratory conditions. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, Vol. 31 No. 55, <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00405-6>.
- Mohammed, A. A., Ahmed, F. A., Younus, A. S., Kareem, A. A. dan Salman, A. M. 2022. Molecular identification of two entomopathogenic fungus *Clonostachys rosea* strains and their efficacy against two aphid species in Iraq. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, Vol. 20 No. 67, <https://doi.org/10.1186/s43141-022-00347-y>.
- Moharram, A. M., Abdel-Galil, F. A. dan Hafez, W. M. M. 2021. On the Enzymes' Actions of Entomopathogenic Fungi Against Certain Indigenous and Invasive Insect Pests. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31-51.
- Moreira, G. M., Abreu, L. M. Carvalho, V. G., Schroers, H. J. dan Pfenning, L. H. 2016. Multilocus Phylogeny of *Clonostachys* subgenus *Bionectria* from Brazil and Description of *Chlonostachys chloroleuca* sp. nov. *Mycological Progress*, Vol. 15, 1031-1039.
- Mukherjee, K. dan Vilcinskis, A. 2018. The entomopathogenic fungus *Metarhizium robertsii* communicates with the insect host *Galleria mellonella* during infection. *Virulence*, Vol. 9 No. 1, DOI: 10.1080/21505594.2017.1405190.

- Munkvold, G. P. 2017. *Mycotoxigenic Fungi: Methods and Protocols* : Chapter 4 – *Fusarium* Species and Their Associated Mycotoxins. *Methods in Molecular Biology*, Vol. 1542, DOI 10.1007/978-1-4939-6707-0\_4.
- Naing, T. H., Naing, T. T., Min, Y. Y. dan Yoshimura, A. 2020. Identification of Fungal Isolates from Soils of Rice and Napier Grass. *Journal of Experimental Agriculture International*, Vol. 42 No. 9, DOI: 10.9734/JEAI/2020/v42i930601.
- Nguyen, T. T. T., Pangging, M., Bangash, N. K. dan Lee, H. B. 2020. Five New Records of the Family Aspergillaceae in Korea, *Aspergillus europaeus*, *A. pragensis*, *A. tennesseensis*, *Penicillium fluviserpens*, and *P. scabrosum*. *Mycobiology*, DOI: 10.1080/12298093.2020.1726563.
- Norjmaa, U., Nasandulam, D., Enkhjargal, B. dan Banzragch D. 2019. Morphological and Molecular Identification of *Beauveria bassiana* from Agricultural Soils. *Mong. J. Agric. Sci.*, Vol. 27 No. 2, DOI: <https://doi.org/10.5564/mjas.v27i02.1280>.
- Nisfuriyah, L. dan Nunilahwati, H. 2020. Uji Pertumbuhan Koloni Jamur Entomopatogen dari Pertanaman Kacang Panjang (*Vigna sinensis* L.) pada Serangga Umpan. *Journal of Global Sustainable Agriculture* Vol. 1.
- Ozdemir, I. O., Tuncer, C., Erper, I. dan Kushiye, R. 2020. Efficacy of the entomopathogenic fungi; *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against the cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae), *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, Vol. 30 No. 24, <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00219-y>.
- Paulussen, C., Hallsworth, J. E., Alvarez-Perez, S., Nierman, W. C., Hamill, P. G., Blain, D., Rediers, H. dan Lievens, B. 2017. Ecology of Aspergillosis: Insight into the Pathogenic Potency of *Aspergillus fumigatus* and Some Other *Aspergillus* species. *Microbial Biotechnology* Vol. 10 No. 2, doi: 10.1111/1751-7915.12367.
- Payangan, R. Y., Gusmiaty, G. dan Restu, M. 2019. Eksprolari Cendawan Rhizosfer pada Tegakan Hutan Rakyat Suren untuk Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman. *BIOMA: Jurnal Biologi Makassar*, Vol. 4 No. 2.
- Peeran, M. F., Prasad, L. dan Kamil, D. 2018. Characterization of Secondary Metabolites from *Rhizopus oryzae* and Its Effect on Plant Pathogens. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, Vol. 7 No. 3, <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.703.082>.
- Permadi, M. A., Lubis, R. A. dan Sari, D. 2018. Eksplorasi Cendawan Entomopatogen dari Berbagai Rizosfer Tanaman Hortikultura di Beberapa Wilayah Kabupaten Mandailing Natal Provinsi Sumatera Utara. *AGRITECH*, Vol. 20 No. 1, e-ISSN: 2580-5002.
- Pfliegler, W. P., Pócsi, I., Gyori, Z. dan Pusztahelyi, T. 2020. The *Aspergilli* and Their Mycotoxins: Metabolic Interactions With Plants and the Soil Biota. *Frontiers in Microbiology*, Vol. 10 No. 2921, doi: 10.3389/fmicb.2019.02921.
- Pujiastuti, Y., Arsi, A. Sandi, S. 2020. Characteristics of *Bacillus thuringiensis* isolates indigenous soil of South Sumatra (Indonesia) and their pathogenicity against oil palm pests *Oryctes rhinoceros* (Coleoptera: Scarabaeidae). *BIODIVERSITAS*, Vol. 21 No. 4, DOI: 10.13057/biodiv/d210403.

- Qayyum, M. A., Saeed, S., Wakil, W., Nawaz, A., Iqbal, N., Yasin, M., Chaurdhry. M. A., Bashir, M. A., Ahmed, N., Riaz, H., Bilal, H. dan Alamri, S. 2021. Diversity and Correlation of Entomopathogenic and Associated Fungi with Soil Factors. *Journal of King Saud University – Science*, Vol. 33, <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101520>.
- Rocha, O., Ansari, K. dan Doohan, F. M. 2005. Effect of trichothecene mycotoxins on eukaryotic cells: a review. *Food Addit Contam*, Vol. 22 No. 4, <https://doi.org/10.1080/02652030500058403>.
- Saldi, A. A. 2020. Toksisitas *Beauveria bassiana* (Bals.) vuilin. Berbabagi Konsentrasi terhadap Larva *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) di Laboratorium. *Skripsi*. Universitas Hasanuddin.
- Santos, D.S., Diniz, A. G., Tiago, P. V. Dan de Oliveira, N, T. 2020. Entomopathogenic *Fusarium* species: a review of their potential for the biological control of insects, implications an prospects. *Fungal Biology Reviews*, Vol. 34 No. 1, <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2019.12.002>.
- Santos, T. S., dos Passos, E. M., Seabra, M. G. d. J., Souto, E. B., Severino, P., dan Mendonça, M. d. C. 2021. Entomopathogenic Fungi Biomass Production and Extracellular Biosynthesis of Silver Nanoparticles. *Appl. Sci.*, Vol. 11 No. 2465, <https://doi.org/10.3390/app11062465> .
- Sari, W. 2020. Identifikasi Morfologi Cendawan Entomopatogen *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopliae* Asal Tanaman Padi Cianjur. *Jurnal Pro-Stek* Vol. 2 No. 1, e-ISSN: 2720-9679.
- Sari, E., Sari, Z. I., Flatian, A. N. dan Sulaeman, E. 2018. Isolasi dan Karakterisasi *Beauveria bassiana* Sebagai Fungsi Anti Hama. *Ekotonia: Jurnal Penelitian Biologi, Botani, Zoologi dan Mikrobiologi* Vol. 2 No.1, ISSN: 2443-2393.
- Schroers, H. J., Samuels, G. J., Seifert, K. A. dan Gams, W. 1999. Classification of the mycoparasite *Gliocladium roseum* in *Clonostachys* as *C. rosea*, its relationship to *Bionectria ochroleuca*, and notes on other *Gliocladium*-like fungi. *Mycologia* 91, 365–385.
- Seye, F., Bawin, T., Boukraam, S., Zimmer, J. J., Ndiaye, M., Delvigne, F. dan Francis, F. 2014. Effect of Entomopathogenic *Aspergillus* strains Against the Pea Aphid, *Acyrtosiphon pisum* (Hemiptera: Aphididae). *Appl Entomol Zool*, Vol. 49, 453-458, DOI 10.1007/s13355-014-0273-z.
- Sharma, L. dan Marques, G. 2018. *Fusarium*, an Entomopathogen-A Myth or Reality?. *Pathogens*, Vol. 7 No. 93, doi:10.3390/pathogens7040093
- Sharma, L. Bohra, N. Rajput, V. D., Quiroz-Figueroa, R., Singh, R. K. Dan Marques, G. 2020. Advances in Entomopathogenic Isolation: A Case of Bacteria and Fungi. *Microorganisms*, Vol. 9 No. 16, <https://dx.doi.org/10.3390/microorganisms9010016> .
- Sharma, R. dan Sharma, P. 2021. Fungal Entomopathogens: A Systematic Review. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31-57, <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00404-7>.

- Siahaan, P., Wongkar, J., Wowiling, S. dan Mangais, R. 2019. Patogenisitas *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. yang Diisolasi dari Beberapa Jenis Inang Terhadap Kepik Hijau, *Nezara viridula* L. (Hemiptera: Pentatomidae). *Jurnal Ilmiah Sains*, Vol. 21 No. 1, 26-33, DOI: <https://doi.org/10.35799/jis.21.1.2021.31172>.
- Simanjuntak, N. R. 2017. Patogenisitas *Beauveria bassiana* (Bals.) Terhadap Larva *Chlio sacchariphagus* Boj. (Lepidoptera: Crambidae) di Laboratorium. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara.
- Solichah, C., Brotodjojo, R. R. R., Wicaksono, D. dan Waluya, W. Perbanyakkan Jamur *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuill. Pada Berbagai Media dan Pengaruhnya Terhadap Penggerek Buah Kopi (*Hypotenemus hampei* Ferr.). *AGRIVET*, Vol. 26 No. 2.
- St. Leger, R. J. dan Wang, J. B. 2020. *Metarhizium*: jack of all trades, master of many. *Open Biology*, Vol. 10 No. 200307, <https://doi.org/10.1098/rsob.200307>.
- Sun, Z. B., Li, S. D., Ren, Q., Xu, J. L. Lu, X. dan Sun, M. H. 2020. Biology and Applications of *Clonostachys rosea*. *Journal of Applied Microbiology*, doi:10.1111/jam.14625.
- Supriyadi, D., Pasaru, F. dan Lakani, I. 2017. Efikasi Cendawan *Aspergillus* sp. Terhadap Hama Penghisap Buah Kakao *Helopeltis* sp. (Hemiptera : Miridae) pada Tanaan Kakao. *e-J. Agrotekbis*, Vol. 5 No. 3, ISSN : 2338-3011.
- Tafinta, I. Y., Shehu, K., Maishanu, H.M., Noma, S.S., Yusif, S.A., Umar, M. dan Abubakar, N. 2018. Upland and Lowland Soils of Usmanu Danfodiyo University, Sokoto, Sokoto State. *SAJRM*, Vol.1 No. 1, DOI: 10.9734/SAJRM/2018/v1i2747.
- Tarasco, E. dan De Luca, F. 2021. Biological Control and Insect Pathology. *Insects*, Vol. 12 No. 291, <https://doi.org/10.3390/insects12040291> .
- Tenrirawe, A. dan Pabbage, M.S. 2013. Isolasi dan Identifikasi Jamur Entomopatogen yang Menginfeksi Hama Penggerek Tongkol Jagung (*Helicoverpa armigera*). *Seminar Nasional Serealia*.
- Toledo, A. V., Virla, E., Humber, R. A., Paradell, S. L. dan Lastra, S. S. L. 2006. First record of *Clonostachys rosea* (Ascomycota: Hypocreales) as an entomopathogenic fungus of *Oncometopia tucumana* and *Sonesimia grossa* (Hemiptera: Cicadellidae) in Argentina. *Journal of Invertebrate Pathology*, Vol. 92, doi:10.1016/j.jip.2005.10.005.
- Vishwanath, P. P., Ahire, R. S., Patil, S. R. dan Pawar, S. B. 2021. Isolation, Identification and Evaluation of Media for *Metarhizium anisopliae* Growth and Sporulation. *IJM CER*, Vol. 3 No. 4, ISSN: 2581-7027.
- Wang, J., Lovett, B. dan St. Leger. 2019. The Secretome and Chemistry of *Metarhizium* a Genus of Entomopathogenic Fungi. *Fungal Ecology*, Vol. 38, 7-11.
- Wang, H., Peng, H., Li, W., Cheng, P. dan Gong, M. 2021. The Toxins of *Beauveria bassiana* and the Strategies to Improve Their Virulence to Insects. *Frontiers in Microbiology*, Vol. 12 No. 705343, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.705343> .
- Watanabe, T. 2002. *Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species*. CRC Press LLC. USA.

Yin, F. Xiao, M., Berestetskiy, A. dan Hu, Q. 2021. The *Metarhizium anisopliae* Toxin, Destruxin A, Interacts with the SEC23A and TEME214 Proteins of *Bombyx mori*. *Journal of Fungi* 2021, Vol 7, No. 460, <https://doi.org/10.3390/jof7060460> .



## LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel data rata-rata kelembaban selama inkubasi selama 11 hari

No.	Tanggal	RH
1.	7 Februari 2022	71%
2.	8 Februari 2022	80%
3.	9 Februari 2022	74%
4.	10 Februari 2022	79%
5.	11 Februari 2022	72%
6.	12 Februari 2022	77%
7.	13 Februari 2022	77%
8.	14 Februari 2022	77%
9.	15 Februari 2022	79%
10.	16 Februari 2022	80%
11.	17 Februari 2022	76%
	Rerata	76,5%

Lampiran 2. Karakteristik morfologi makroskopis dan mikroskopis cendawan entomopatogen dari lahan berbeda

Isolat	Makroskopis				Mikroskopis		Genus
	Warna dan permukaan	Bentuk	Margin	Elevasi	Hifa	Konidia / spora	
SAS <sub>1(1)</sub>	Putih kecoklatan dan warna yang sama pada bagian bawah media; seperti tepung	Bulat	Beraturan	Datar	Bercabang; bersepta	Bulat	<i>Aspergillus</i>
HO <sub>1(1)</sub> SAS <sub>3</sub>	Putih dengan bagian bawah media berwarna putih-kekuningan; seperti kapas	Bulat	Bergelombang	Menonjol	Bercabang; bersepta	Tidak ada	<i>Beauveria</i>
HO <sub>3</sub>	Putih, bagian bawah media berwarna putih-kekuningan; seperti kapas	Bulat	Beraturan	Menonjol	Bercabang; bersepta	Tidak ada	<i>Beauveria</i>
SAS <sub>6</sub>	Putih krem, halo kuning di tengah dan pada bawah media berwarna putih; kasar	Berfilamen	Filiform	Menonjol	Bercabang; bersepta	Ada; ovoid ujung agak lancip	<i>Clonostachys</i>
SAS <sub>7</sub>	Putih krem, halo kuning di tengah dan bawah media berwarna kuning; kasar	Berfilamen	Filiform	Menonjol	Bercabang; bersepta	Ada; ovoid ujung agak lancip	<i>Clonostachys</i>
SAS <sub>8</sub>	Putih krem, halo kuning di tengah dan berwarna kuning dan ungu di bawah media; kasar	Berfilamen	Filiform	Menonjol	Bercabang; bersepta	Ada; ovoid ujung agak lancip	<i>Clonostachys</i>
HO <sub>5</sub>	Putih dengan warna yang sama pada bagian bawah media; halus	Berfilamen	Filiform	Datar	Bercabang; bersepta	Ada; lunata	<i>Fusarium</i>
HAS <sub>4(1)</sub>	Putih dengan bagian bawah media berwarna merah muda-kecoklatan; kasar	Berfilamen	Filiform	Menonjol	Bercabang; bersepta	Ada; oblong dan terdapat klamidospora	<i>Fusarium</i>
HAS <sub>6(1)</sub>	Putih dengan bagian bawah media berwarna	Berfilamen	Filiform	Menonjol	Bercabang; bersepta	Ada; oblong	<i>Fusarium</i>

	merah muda tua; kasar						
HAS <sub>6(2)</sub>	Putih dengan bawah media berwarna putih-kekuningan; halus	Berfilamen	Filiform	Menonjol	Bercabang; berseptata	Ada; lunata/bulan sabit	<i>Fusarium</i>
HAS <sub>11</sub>	Putih dengan bagian bawah media berwarna yang sama; halus	Berfilamen	Filiform	Menonjol	Bercabang; berseptata	Hanya ada klamidospora	<i>Fusarium</i>
HAT <sub>2(1)</sub>	Putih dengan bagian bawah media berwarna yang sama; halus	Berfilamen	Filiform	Menonjol	Bercabang; berseptata	Ada; lunata/bulan sabit	<i>Fusarium</i>
HAT <sub>2(2)</sub>	Putih keunguan, bawah media berwarna yang sama; halus	Berfilamen	Filiform	Menonjol	Bercabang; berseptata	Ada; lunata/bulan sabit; terdapat klamidospora	<i>Fusarium</i>
SAS <sub>2(1)</sub>	Putih, bagian bawah berwarna merah muda-kecoklatan; halus	Berfilamen	Filiform	Menonjol	Bercabang; berseptata	Ada; lunata/bulan sabit	<i>Fusarium</i>
SAS <sub>4(1)</sub>	Putih dengan bagian bawah berwarna yang sama; halus	Berfilamen	Filiform	Menonjol	Bercabang; berseptata	Ada; oblong	<i>Fusarium</i>
HO <sub>1(2)</sub> HO <sub>2</sub> HO <sub>6</sub> HO <sub>5(2)</sub> HAS <sub>3(1)</sub> HAS <sub>4(2)</sub> HAS <sub>6(3)</sub> SAS <sub>1(2)</sub> SAS <sub>4(2)</sub> SAS <sub>2(2)</sub> SAS <sub>9</sub>	Hijau, halo putih di pinggir koloni dengan bagian bawah berwarna putih dengan halo kuning di tengah; bertepung	Bulat	Filiform	Rata	Tidak terdapat hifa	Ada; elips	<i>Metarhizium</i>
SAT <sub>1</sub>	Hijau, halo putih di pinggir koloni, bagian bawah berwarna putih, halo kuning di tengah; bertepung	Bulat	Filiform	Rata	Bercabang; berseptata	Ada; elips	<i>Metarhizium</i>
HAS <sub>(23)</sub>	Putih dengan spora hitam dan bawah media berwarna sama; halus	Berfilamen	Filiform	Menonjol	Bercabang; tidak berseptata	Ada; bulat; terdapat sporangium	<i>Rhizopus</i>

### Lampiran 3. Pengambilan sampel tanah di lahan sawah dan hortikultura



a. Hortikultura Organik



b. Hortikultura Anorganik Sedang



c. Hortikultura Anorganik Tinggi



d. Sawah Organik



e. Sawah Anorganik Sedang



f. Sawah Anorganik Tinggi

Lampiran 4. Isolasi cendawan entomopatogen dari tanah dengan serangga umpan



a. Hortikultura Organik



b. Hortikultura Anorganik Sedang



c. Hortikultura Anorganik Tinggi



d. Sawah Organik



e. Sawah Anorganik Sedang

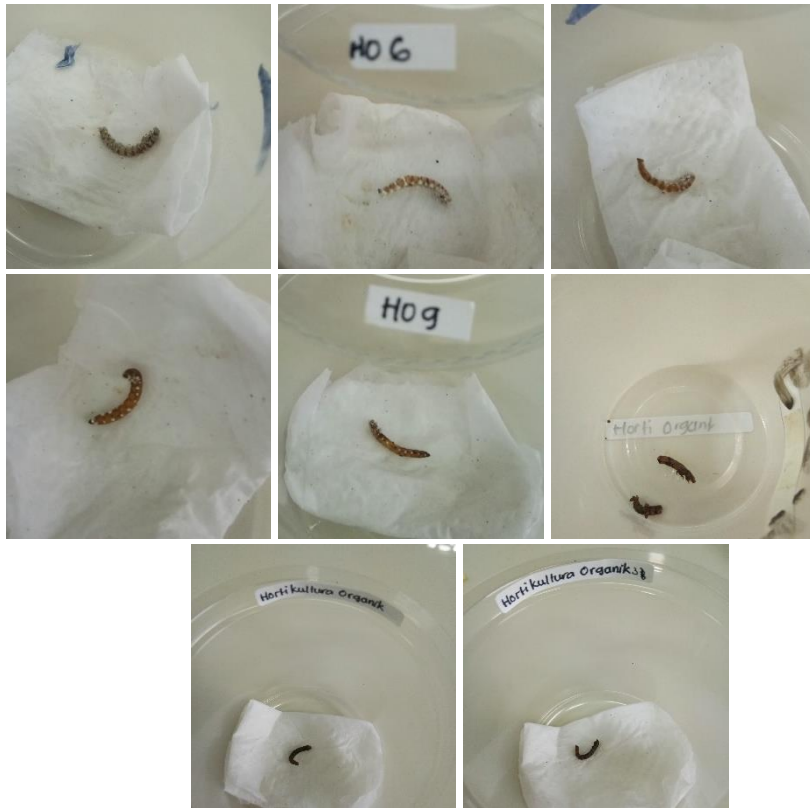


f. Sawah Anorganik Tinggi

Lampiran 5. *Tenebrio molitor* yang mati setelah diinkubasi di dalam tanah

a. Tanah Hortikultura Organik





b. Tanah Hortikultura Anorganik Sedang







c. Tanah Hortikultura Anorganik Tinggi





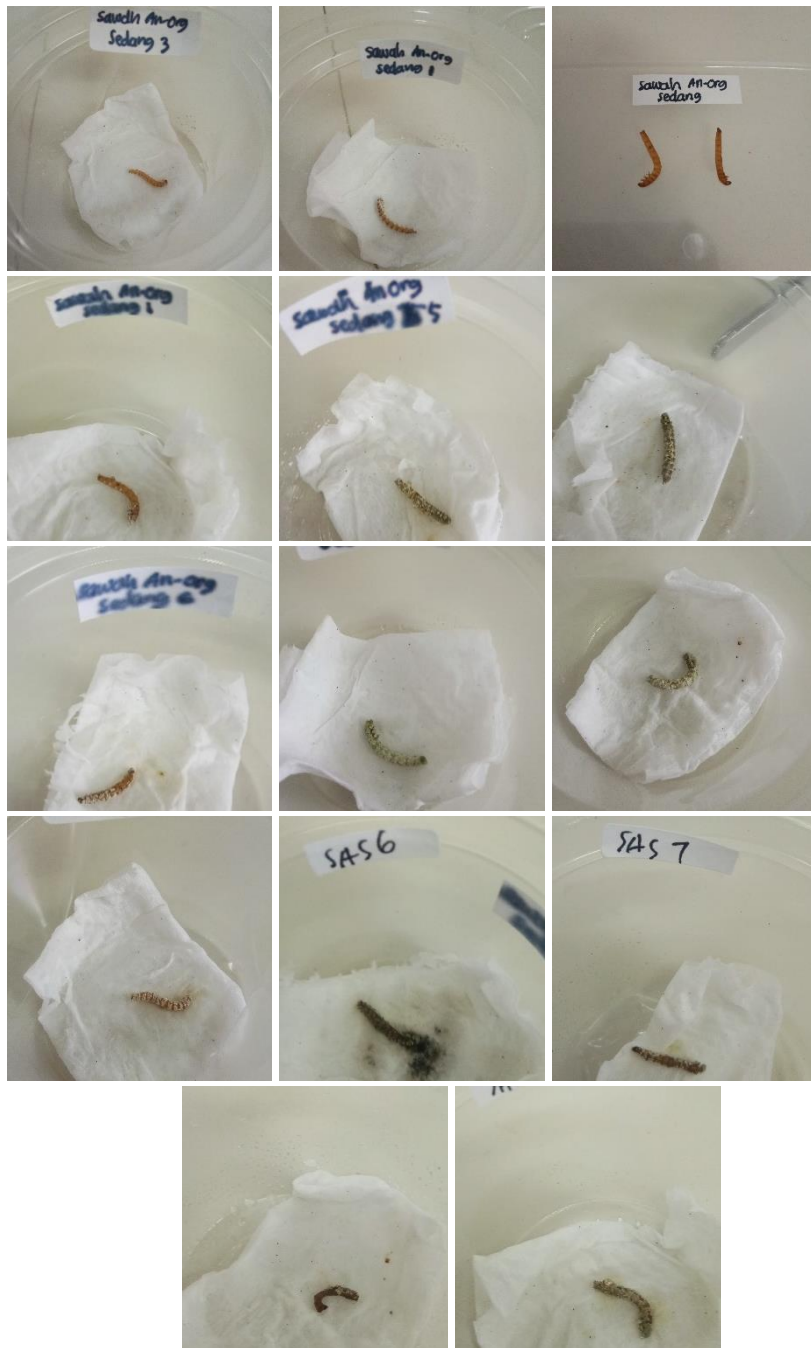
d. Tanah Sawah Organik



e. Tanah Sawah Anorganik Sedang







f. Tanah Sawah Anorganik Tinggi

