

**PERBANDINGAN PROFIL METABOLIT JAMUR *Xylaria* sp. PENYEBAB  
BUSUK AKAR DAN PANGKAL BATANG TEBU YANG SENSITIF DAN  
RESISTEN TERHADAP FUNGISIDA CARBENDAZIM  
MENGUNAKAN GC-MS**

**SKRIPSI**

**Oleh**

**Ni Made Ria Prateka  
2214191030**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2026**

## ABSTRAK

### PERBANDINGAN PROFIL METABOLIT JAMUR *Xylaria* sp. PENYEBAB BUSUK AKAR DAN PANGKAL BATANG TEBU YANG SENSITIF DAN RESISTEN TERHADAP FUNGISIDA CARBENDAZIM MENGGUNAKAN GC-MS

Oleh

NI MADE RIA PRATEKA

Penyakit busuk akar dan pangkal batang (BAPB) yang disebabkan oleh jamur *Xylaria* sp. merupakan salah satu penyakit utama pada tanaman tebu di Lampung. Tingkat serangan 25–26% dapat menyebabkan penurunan produktivitas tebu hingga 12,3%. Penggunaan fungisida sebagai salah satu alternatif pengendalian berpotensi memicu resistensi pada patogen. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan membandingkan profil metabolit *Xylaria* sp. yang resisten dan sensitif terhadap fungisida carbendazim menggunakan *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS). Penelitian dilaksanakan dari Agustus 2025 sampai Februari 2026 di Laboratorium Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Analisis GC-MS dilakukan di Laboratorium Sentral, Universitas Padjadjaran. Mutan tahan carbendazim diperoleh melalui pemaparan bertingkat pada media PSA mengandung carbendazim dengan konsentrasi 1,0–4,0 µg/mL. Sensitivitas isolat ditentukan berdasarkan nilai  $EC_{50}$ , dan profil metabolit dianalisis menggunakan GC-MS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai  $EC_{50}$  isolat *wild type* sebesar 0,711 µg/mL dan mutan sebesar 1,007 µg/mL, yang mengkonfirmasi keberhasilan pembentukan mutan resisten. Analisis GC-MS didapatkan 25 senyawa, dengan 12 senyawa ditemukan pada kedua isolat, 9 senyawa spesifik pada *wild type*, dan 4 senyawa spesifik pada mutan. Isolat mutan menunjukkan kandungan lebih tinggi pada furfural (15,16%) dan acetic acid (3,51%) dibandingkan *wild type* (8,80% dan 2,22%), sementara L-lactic acid lebih tinggi pada *wild type* (14,12%) dibandingkan mutan (10,25%). Perbedaan profil metabolit secara kuantitatif dan kualitatif mengindikasikan adanya reorganisasi metabolisme sebagai bentuk adaptasi fisiologis *Xylaria* sp. terhadap tekanan fungisida carbendazim.

**Kata kunci:** busuk akar dan pangkal batang, carbendazim, GC-MS, metabolomik, *Xylaria* sp.

## ABSTRACT

### **COMPARISON OF METABOLITE PROFILES OF *Xylaria* sp. CAUSING ROOT AND BASAL STEM ROT IN SUGARCANE BETWEEN CARBENDAZIM-SENSITIVE AND CARBENDAZIM-RESISTANT ISOLATES USING GC-MS**

By

**NI MADE RIA PRATEKA**

*Root and basal stem rot disease (RBSR) caused by Xylaria sp. is one of the major diseases affecting sugarcane in Lampung. Disease incidence of 25–26% can result in a reduction in sugarcane productivity of up to 12.3%. The use of fungicides as one of the control alternatives has the potential to induce resistance in the pathogen. This study aimed to identify and compare the metabolite profiles of carbendazim-resistant and carbendazim-sensitive isolates of Xylaria sp. using Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS). The research was conducted from August 2025 to February 2026 at the Plant Disease Laboratory, Faculty of Agriculture, University of Lampung. GC-MS analysis was performed at the Central Laboratory, Universitas Padjadjaran. Carbendazim-resistant mutants were generated through stepwise exposure on PSA medium containing carbendazim at concentrations of 1.0–4.0 µg/mL. Isolate sensitivity was determined based on EC<sub>50</sub> values, and metabolite profiles were analyzed using GC-MS. The results showed that the EC<sub>50</sub> value of the wild-type isolate was 0.711 µg/mL and that of the mutant was 1.007 µg/mL, confirming the successful development of resistant mutants. GC-MS analysis detected a total of 25 compounds, of which 12 were present in both isolates, 9 were specific to the wild type, and 4 were specific to the mutant. The mutant isolate exhibited higher levels of furfural (15.16%) and acetic acid (3.51%) compared to the wild type (8.80% and 2.22%, respectively), whereas L-lactic acid was more abundant in the wild type (14.12%) than in the mutant (10.25%). Quantitative and qualitative differences in metabolite profiles indicate a reorganization of metabolism as a form of physiological adaptation of Xylaria sp. to carbendazim fungicide pressure.*

**Keywords:** carbendazim, GC-MS, metabolomics, root and stalk base rot, *Xylaria* sp.

**PERBANDINGAN PROFIL METABOLIT JAMUR *Xylaria* sp. PENYEBAB  
BUSUK AKAR DAN PANGKAL BATANG TEBU YANG SENSITIF DAN  
RESISTEN TERHADAP FUNGISIDA CARBENDAZIM  
MENGUNAKAN GC-MS**

**Oleh**

**Ni Made Ria Prateka**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA PERTANIAN**

**pada**

**Jurusan Proteksi Tanaman  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2026**

**Judul Skripsi : PERBANDINGAN PROFIL  
METABOLIT JAMUR *Xylaria* sp.  
PENYEBAB BUSUK AKAR DAN  
PANGKAL BATANG TEBU YANG  
SENSITIF DAN RESISTEN TERHADAP  
FUNGISIDA CARBENDAZIM  
MENGGUNAKAN GC-MS**

**Nama Mahasiswa : Ni Made Ria Prateka**

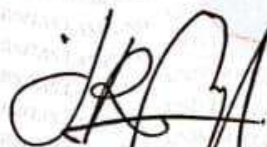
**Nomor Pokok Mahasiswa : 2214191030**

**Jurusan : Proteksi Tanaman**


**Fakultas : Pertanian**



**MENYETUJUI  
1. Komisi Pembimbing**




**Dr. Tri Maryono, S.P. M.Si.  
NIP. 198002082005011002**



**Dr. Ir. Suskandini Ratih D., M.P.  
NIP. 196105021987072001**

**2. Ketua Jurusan Proteksi Tanaman**



**Dr. Tri Maryono, S.P. M.Si.  
NIP. 198002082005011002**

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

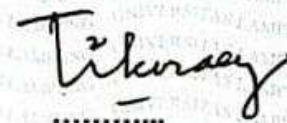
**Ketua : Dr. Tri Maryono, S.P. M.Si.**



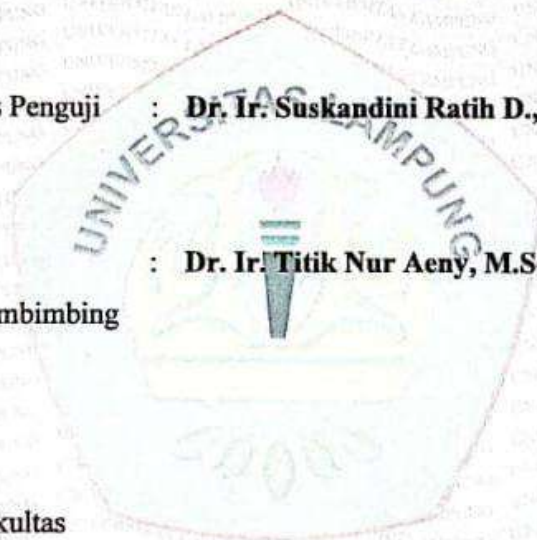
**Sekretaris Penguji : Dr. Ir. Suskandini Ratih D., M.P.**



**Penguji : Dr. Ir. Titik Nur Aeny, M.Sc.**



**Bukan Pembimbing**



**2 Dekan Fakultas**



**Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.**

**NIP. 196411181989021002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 15 April 2026**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "**Perbandingan Profil Metabolit Jamur *Xylaria* sp. Penyebab Busuk Akar dan Pangkal Batang Tebu yang Sensitif dan Resisten terhadap Fungisida Carbendazim menggunakan GC-MS**" merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 27 April 2026

Pembuat Pernyataan



**Ni Made Ria Prateka**

NPM. 2214191030

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis lahir di Desa Wirata Agung, Kecamatan Seputih Mataram pada 9 Januari 2004 dan merupakan anak kedua dari orang tua penulis. Penulis telah menyelesaikan Pendidikan dari TK Saraswati di Desa Wirata Agung pada tahun 2010, Sekolah Dasar (SD) di SDN 1 Wirata Agung pada tahun 2016, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 1 Seputih Mataram pada tahun 2019, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Seputih Mataram pada tahun 2022. Pada tahun 2022 penulis masuk Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, melalui jalur SNMPTN.

Selama kuliah penulis aktif berorganisasi di tingkat universitas maupun fakultas. Penulis mengikuti organisasi UKM Hindu sebagai anggota bidang Kerohanian dan HIMAPROTEKTA (Himpunan Mahasiswa Proteksi Tanaman) sebagai anggota bidang pengembangan minat dan bakat. Penulis juga aktif mengikuti program penelitian bersama dosen dan menjadi asisten praktikum pada mata kuliah Entomologi Pertanian PTN A (2024), Aplikasi IT PTN A (2025), Dasar-Dasar Perlindungan Tanaman PPN B (2025), dan Pengendalian Hayati PTN A (2025). Penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Palas Aji, Kecamatan Palas, Kabupaten Lampung Selatan dan melaksanakan Praktik Umum (PU) di Balai Perakitan dan Pengujian Tanaman Rempah, Obat, dan Aromatik (BRMP TROA) Bogor.

## PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Tuhan YME yang telah memberikan kesehatan dan kesempatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Perbandingan Profil Metabolit Jamur *Xylaria* sp. Penyebab Busuk Akar dan Pangkal Batang Tebu yang Sensitif dan Resisten terhadap Fungisida Carbendazim menggunakan GC-MS”**.

Dengan penuh rasa syukur ini penulis persembahkan sebagai ungkapan terima kasih untuk:

1. Kedua orang tua serta kakak penulis yang selalu membantu dan memberikan dukungan doa dan material kepada penulis hingga saat ini,
2. Teman-teman Jurusan Proteksi Tanaman 2022 yang memberi banyak dukungan terutama rekan sepenelitian penulis yaitu Arina Mawadah, Sifa Permatasari, Richo Achmad Hidayat, dan Anita Maharani serta dukungan dari kakak tingkat 2019-2021 dan adik tingkat 2023-2024 yang memberikan semangat kepada penulis disaat menulis skripsi ini, dan
3. Almamater Universitas Lampung tempat penulis menyelesaikan pendidikan.

## MOTTO

“Someone is sitting in the shade today because someone planted a tree a long time ago.”

(Warrent Buffett)

“The best way to predict the future is to create it.”

(Peter Drucker)

“Progress matters more than perfection.”

(Ria)

“Work hard, but remember to care for yourself.”

(Ria)

“Tidak harus sempurna, yang penting tetap berusaha”

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi rahmat, hidayat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Perbandingan Profil Metabolit Jamur *Xylaria* sp. Penyebab Busuk Akar dan Pangkal Batang Tebu yang Sensitif dan Resisten terhadap Fungisida Carbendazim menggunakan GC-MS**”. Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Pertanian di Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa skripsi yang telah disusun ini jauh dari kata sempurna. Proses penelitian dan penulisan skripsi ini mungkin tidak akan selesai tanpa bantuan dan arahan dari dosen pembimbing, rekan-rekan, dan juga semua pihak yang terlibat. Maka dari itu, perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung yang telah memberikan fasilitas kuliah dan fasilitas penelitian,
2. Bapak Dr. Tri Maryono, S.P., M.Si. selaku Ketua Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung sekaligus Dosen Pembimbing Pertama skripsi yang selalu sabar memberi arahan, nasihat, motivasi, dan masukan hingga penulisan skripsi ini selesai,
3. Ibu Dr. Suskandini Ratih D., M.P. selaku Dosen Pembimbing Kedua yang selalu memberikan motivasi, perhatian, serta saran dalam penulisan skripsi,
4. Ibu Dr. Ir. Titik Nur Aeny, M.Sc. selaku Dosen Penguji/Pembahas yang telah memberikan motivasi, kritik, dan saran dalam penulisan maupun isi skripsi,
5. Ibu Ni Kadek Emi Sintha Dewi, S.P., M.P. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu membimbing dan memberi masukan kepada penulis,

6. Ibu Widyaningrum Alita Sari, S.P. (Bu Uum) yang telah memberikan arahan, nasihat, motivasi dan doa selama kegiatan penelitian berlangsung di Laboratorium,
7. Kedua orang tua penulis serta kakak yang telah memberikan doa, kasih sayang, dukungan, dan masukan selama ini,
8. Teman-teman penelitian, Arina, Sifa, Richo, dan Anita yang banyak membantu selama masa penelitian dan penyusunan skripsi ini,
9. Amel, Abel, Nadiyah, Ulman, Enda, dan seluruh teman-teman Proteksi Tanaman angkatan 2022 yang telah memberikan dukungan dan saran selama ini, dan
10. Kakak dan adik tingkat jurusan Proteksi Tanaman FP Unila yang selalu memberikan semangat dan tawa disaat jenuh.

Dengan segenap ketulusan hati, penulis hanya mampu mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak di atas dan semoga diberikan balasan agar mereka senantiasa mendapat imbalan yang berlipat ganda dari Sang Pencipta di kemudian hari. Kiranya karya tulis ini dapat menjadi sumber inspirasi dan membawa kebaikan bagi siapa pun yang membacanya.

Bandar Lampung,  
Penulis

2026

Ni Made Ria Prateka  
2214191030

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Kerangka Pemikiran .....	3
1.4 Hipotesis.....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Penyakit Busuk Akar dan Pangkal Batang Tebu (BAPB) .....	5
2.2 Fungisida Carbendazim .....	7
2.3 Analisis Metabolit .....	9
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	11
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	11
3.2 Alat dan Bahan .....	11
3.3 Pelaksanaan Penelitian .....	12
3.3.1 Pembuatan Media <i>Potato Sucrose Agar</i> (PSA).....	12
3.3.2 Isolasi Jamur <i>Xylaria</i> sp. ....	12
3.3.3 Generasi Mutan Jamur <i>Xylaria</i> sp. Tahan Fungisida Carbendazim	12
3.3.4 Sensitivitas <i>Xylaria</i> sp. terhadap Carbendazim .....	13
3.3.5 Analisis Profil Metabolit .....	14
3.3.6 Analisis Data .....	17

<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>18</b>
4.1 Hasil.....	18
4.1.1 Isolasi Jamur <i>Xylaria</i> sp. ....	18
4.1.2 Generasi Mutan Jamur <i>Xylaria</i> sp. Tahan Fungisida Carbendazim	19
4.1.3 Sensitivitas <i>Xylaria</i> sp. terhadap Carbendazim .....	20
4.1.4 Profil Metabolit <i>Xylaria</i> sp. ....	23
4.2 Pembahasan .....	29
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>33</b>
5.1 Simpulan.....	33
5.2 Saran .....	33
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>34</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>39</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. Pertumbuhan koloni jamur <i>Xylaria</i> sp. diamati pada media yang mengandung fungisida carbendazim dengan berbagai konsentrasi.....	21
2. Transformasi $\log_{10}$ konsentrasi fungisida uji dan nilai penghambatan pertumbuhan diameter koloni jamur <i>Xylaria</i> sp. pada <i>wild type</i> dan mutan .....	21
3. Hasil identifikasi metabolit jamur <i>Xylaria</i> sp. <i>wild type</i> menggunakan GC-MS .....	25
4. Hasil identifikasi metabolit jamur <i>Xylaria</i> sp. mutan menggunakan GC-MS .....	26
5. Persentase area dan nilai <i>fold change</i> (FC) metabolit jamur <i>Xylaria</i> sp. <i>wild type</i> dan mutan resisten carbendazim .....	28
6. Senyawa yang teridentifikasi dari isolat <i>wild type</i> pada analisis GC-MS	40
7. Senyawa yang teridentifikasi dari isolat mutan pada analisis GC-MS ...	41

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Stroma <i>Xylaria</i> sp. pada tanaman tebu: (a) stroma pada pangkal tanaman tebu sakit, (b) stroma yang keluar dari tanah di sekitar tanaman sakit, dan (c) stroma yang tumbuh dari sisa-sisa tanaman sakit (Maryono, 2017).	6
2. Struktur kimia fungisida carbendazim, fungisida dari kelompok methyl benzimidazole carbamate (MBC) yang menargetkan $\beta$ -tubulin pada sel jamur (FRAC, 2024).....	8
3. Alur proses analisis GC-MS. ....	16
4. Gejala dan tanda penyakit busuk akar dan pangkal batang tebu: (a) batang tebu bergejala tampak coklat kehitaman dan (b) tanda penyakit berupa stroma pada pangkal batang tanaman tebu sakit. ....	18
5. Variasi morfologi koloni jamur <i>Xylaria</i> sp. hasil isolasi (19 hsi).....	19
6. Diameter koloni jamur <i>Xylaria</i> sp. hari ke-19 pada media PSA yang mengandung fungisida carbendazim pada berbagai konsentrasi: (a) 1 $\mu\text{g/mL}$ , (b) 2 $\mu\text{g/mL}$ , (c) 4 $\mu\text{g/mL}$ , dan (d) 8 $\mu\text{g/mL}$ .....	19
7. Diameter koloni jamur <i>Xylaria</i> sp. <i>wild type</i> (F1) dan <i>Xylaria</i> sp. mutan (F2) hari ke-19 pada media PSA yang mengandung fungisida carbendazim dengan berbagai konsentrasi: (a) 0 kontrol, (b) 0,50 $\mu\text{g/mL}$ , (c) 0,75 $\mu\text{g/mL}$ , (d) 1,0 $\mu\text{g/mL}$ , (e) 1,5 $\mu\text{g/mL}$ , dan (f) 2,0 $\mu\text{g/mL}$ .....	20
8. Regresi linier antara $\log_{10}$ konsentrasi fungisida carbendazim 50% dengan persentase penghambatan pertumbuhan diameter koloni <i>Xylaria</i> sp. <i>wild type</i> .....	22
9. Regresi linier antara $\log_{10}$ konsentrasi fungisida carbendazim 50% dengan persentase penghambatan pertumbuhan diameter koloni <i>Xylaria</i> sp. mutan.	22
10. Kromatogram GC-MS <i>Xylaria</i> sp. <i>wild type</i> . ....	23
11. Kromatogram GC-MS <i>Xylaria</i> sp. mutan. ....	24
12. Diagram Venn distribusi metabolit sekunder pada jamur <i>Xylaria</i> sp.: (a) <i>wild type</i> dan (b) mutan. ....	27
13. Laporan analisis kualitatif hasil GC-MS <i>Xylaria</i> sp. <i>wild type</i> .....	65
14. Laporan analisis kualitatif hasil GC-MS <i>Xylaria</i> sp. mutan. ....	88

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) merupakan salah satu komoditas perkebunan utama di Indonesia. Tebu memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan berperan penting terhadap perekonomian nasional (Heryanto dkk., 2024). Gula termasuk salah satu dari sembilan bahan pokok yang memiliki peran penting bagi masyarakat. Gula berfungsi sebagai pemanis alami, energi alternatif, serta pengawet yang aman dikonsumsi (Asmawati dkk., 2019).

Produksi gula kristal putih (GKP) nasional pada 2024 mencapai 2,46 juta ton (Kementerian Pertanian, 2024), meningkat 190 ribu ton atau sekitar 10% dibandingkan tahun 2023 yang hanya 2,27 juta ton. Provinsi Lampung menempati posisi kedua sebagai daerah penghasil gula terbesar di Indonesia dengan produksi mencapai 644.475 ton (BPS, 2025). Perkebunan tebu di Provinsi Lampung berada di Kabupaten Way Kanan, Kabupaten Lampung Tengah, Kabupaten Lampung Utara, dan Kabupaten Tulang Bawang Barat (BPS Provinsi Lampung, 2024).

Kebutuhan gula diperkirakan akan terus meningkat seiring pertumbuhan jumlah penduduk (Hadi dan Nastiti, 2024). Setiap tahun, rata-rata konsumsi gula mencapai 7,3 juta ton, baik untuk keperluan rumah tangga maupun industri. Namun, produksi gula di dalam negeri hanya berkisar di 2 juta ton per tahun. Akibatnya, terjadi selisih besar antara jumlah gula yang dibutuhkan dan yang dapat diproduksi, yaitu sekitar 5 juta ton per tahun (Pusat Perakitan dan Modernisasi Perkebunan, 2024). Penurunan produktivitas perkebunan tebu di

Indonesia disebabkan oleh berbagai faktor, salah satunya penyakit tumbuhan. Salah satu penyakit yang memiliki potensi menurunkan produktivitas perkebunan tebu adalah penyakit busuk akar dan pangkal batang yang disebabkan oleh jamur *Xylaria* sp.

Penyakit busuk akar dan pangkal batang menjadi salah satu penyakit utama pada perkebunan tebu di Lampung dan sekitarnya. Tingkat serangan 25-26 % mengakibatkan turunnya produktivitas tebu sebanyak 12,3% dan produktivitas gula sebesar 15,4% (Sitepu *et al.*, 2010). Penyakit ini pertama kali dilaporkan oleh Fang *et al.* (1986) di Taiwan. Di Indonesia, penyakit ini ditemukan pertama kali pada varietas komersial yang dibudidayakan PT Gunung Madu Plantations (GMP) Provinsi Lampung (Sitepu *et al.*, 2010).

Hingga saat ini, belum ada metode yang efektif dan efisien untuk mengendalikan penyakit busuk akar dan pangkal batang tebu. Salah satu alternatif yang dapat dipertimbangkan adalah penggunaan fungisida sebagai strategi pengendalian. Namun, penggunaan fungisida secara berulang dapat memicu resistensi pada patogen, sehingga perlu pemahaman lebih mendalam tentang mekanisme resistensi dan efektivitas fungisida. Pendekatan metabolomik berpotensi menjadi solusi untuk menganalisis interaksi antara fungisida dan patogen serta pengembangan fungisida yang lebih efektif dan aman (Wu *et al.*, 2024).

Penelitian ini menganalisis perubahan metabolit pada *Xylaria* sp. sensitif dan resisten fungisida carbendazim. Karakterisasi perubahan metabolisme pada patogen resisten dapat membantu memahami mekanisme resistensi dan deteksi cepat isolat resisten, berkontribusi pada pengendalian busuk akar dan pangkal batang tebu.

## 1.2 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan membandingkan profil metabolit *Xylaria* sp. yang sensitif dan resisten terhadap fungisida carbendazim.

### 1.3 Kerangka Pemikiran

Metabolit merupakan hasil atau produk akhir dari proses metabolisme, umumnya berupa molekul kecil (Tiwari dan Rana, 2015). Metabolit primer adalah senyawa yang dihasilkan melalui metabolisme primer dan berperan penting dalam kelangsungan hidup makhluk hidup. Senyawa ini mencakup karbohidrat, asam amino, asam lemak, nukleotida, serta polimer turunan seperti polisakarida, protein, lipid, DNA, dan RNA (Bocso and Butnariu, 2022). Metabolit sekunder adalah kelompok senyawa metabolik yang beragam. Senyawa ini berperan dalam diferensiasi dan adaptasi organisme, seperti senyawa pertahanan atau molekul sinyal dalam interaksi ekologi, simbiosis, serta persaingan dengan organisme lain (Thirumurugan *et al.*, 2018). Studi mengenai profil metabolit dapat digunakan salah satunya untuk membedakan jenis isolat yang resisten dan sensitif terhadap stress lingkungan seperti fungisida.

GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk identifikasi senyawa metabolit sekunder (Pertala dkk., 2023). Analisis profil metabolit telah banyak digunakan untuk menilai ketahanan tanaman terhadap stress biotik dan abiotik (Cevalos *et al.*, 2012), serta respon jamur terhadap stres fungisida (Sevastos *et al.*, 2018). Metabolomik dapat membantu memahami mekanisme patogen tanaman resisten terhadap fungisida, namun belum banyak penelitian yang membahasnya secara mendalam (Zavala *et al.*, 2017).

Sejumlah peneliti melaporkan perubahan metabolit pada jamur patogen akibat terpapar fungisida. Li *et al.* (2018) melaporkan adanya perubahan signifikan dalam metabolisme asam amino, siklus asam trikarboksilat, dan metabolisme fosfolipid pada *Candida albicans* yang resisten dan sensitif terhadap fluconazole. Zavala *et al.* (2017) melaporkan bahwa *Phytophthora infestans* yang terpapar metalaksil dalam konsentrasi rendah (0,5 mg/L) atau tinggi (100 mg/L), terjadi perubahan ekspresi beberapa metabolit. Sevastos *et al.* (2018) melaporkan tentang perubahan metabolit pada *Fusarium graminearum* dengan tingkat resistensinya terhadap fungisida benzimidazol (carbendazim). Setelah terpapar konsentrasi

rendah carbendazim (2 mg/L), strain *F. graminearum* dapat dibedakan dengan sangat baik berdasarkan tingkat resistensinya.

Berdasarkan hal tersebut, pendekatan metabolomik dapat digunakan untuk mengungkap proses biokimia yang terjadi pada suatu patogen dengan berbagai latar belakang genetik yang berbeda. Untuk itu, pada penelitian ini dilakukan analisis profil metabolit *Xylaria* sp. sensitif dan resisten terhadap fungisida carbendazim untuk mengetahui perbedaan metabolitnya serta menganalisis perubahan profil metabolitnya.

#### **1.4 Hipotesis**

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah profil metabolit *Xylaria* sp. yang sensitif terhadap fungisida carbendazim berbeda dengan profil metabolit *Xylaria* sp. yang resisten terhadap fungisida carbendazim.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

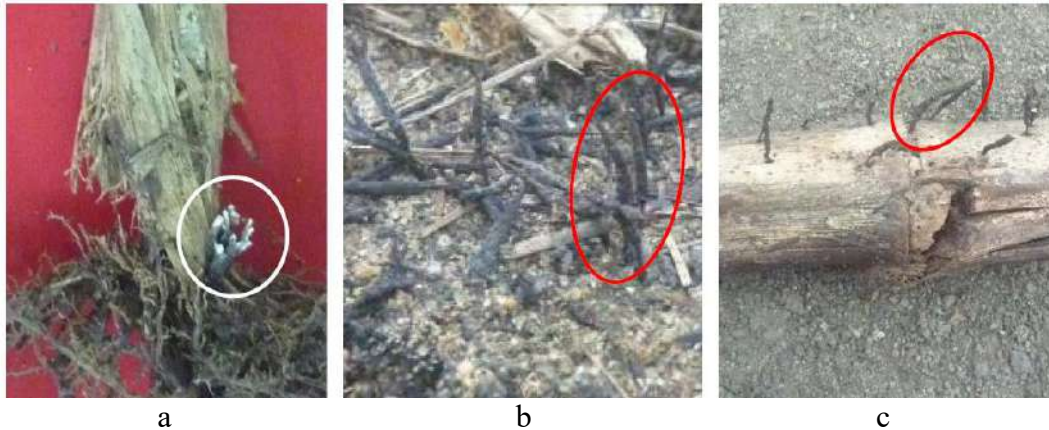
### 2.1 Penyakit Busuk Akar dan Pangkal Batang Tebu (BAPB)

Penyakit busuk akar dan pangkal batang (BAPB) merupakan salah satu penyakit penting pada tanaman tebu yang disebabkan oleh infeksi jamur *Xylaria* sp. Fang *et al.* (1986) menyatakan bahwa berdasarkan karakter morfologinya, penyebab penyakit ini mirip dengan *Xylaria warburgii* sehingga diberi nama *X. cf. warburgii*. Penyebab penyakit BAPB di Lampung disebabkan oleh *X. cf. warburgii* karena kemiripan karakter morfologinya (Sitepu *et al.* 2010). Penelitian terbaru Maryono dkk. (2019) menyatakan bahwa patogen penyebab penyakit BAPB pada tebu di Sumatera Selatan adalah *X. arbuscula*.

Penyakit yang disebabkan oleh jamur *Xylaria* ini menimbulkan kerugian cukup besar bagi para petani tebu di Lampung dan Sumatera Selatan. Dampak yang ditimbulkan penyakit BAPB yaitu bobot batang, rendeman, dan jumlah batang mengalami penurunan (Maryono dkk., 2020). Selain itu, matinya tanaman indukan dapat menghambat pertumbuhan tanaman keprasan (*ratoon cane*). Kerugian yang ditimbulkan lebih besar pada tanaman ratoon dibandingkan tanaman yang berasal dari bibit baru (*plant cane*), dan akan terjadi peningkatan pada generasi ratoon berikutnya (Maryono dkk., 2017).

Menurut Widowati dkk. (2022) penyakit busuk akar dan pangkal batang pada tebu mengakibatkan kematian tanaman diawali dengan daun yang mengering, akarnya mengalami pembusukan berwarna hitam, sementara pangkal batang tampak kering dan membusuk. Tampak garis hitam yang menunjukkan keberadaan jamur patogen menyerang jaringan tanaman ketika batang dibelah. Gejala tersebut mulai muncul pada tebu *plant cane* berumur 9 bulan atau lebih. Tanda penyakit berupa

stroma terbentuk pada pangkal batang tanaman yang terinfeksi atau di tanah di sekitar tanaman yang sakit (Gambar 1) (Maryono, 2017).



Gambar 1. Stroma *Xylaria* sp. pada tanaman tebu: (a) stroma pada pangkal tanaman tebu sakit, (b) stroma yang keluar dari tanah di sekitar tanaman sakit, dan (c) stroma yang tumbuh dari sisa-sisa tanaman sakit (Maryono, 2017).

*Xylaria* sp. merupakan jamur anggota famili Xylariaceae, ordo Xylariales, kelas Sordariomycetes, dan filum Ascomycota. Jamur ini memiliki stroma makroskopis keras berwarna hitam berbentuk silindris tegak dengan ujung mengandung peritesia di dalamnya. Asci berbentuk silindris bertangkai panjang berisi delapan askospora tersusun dalam satu baris. Askospora berwarna coklat gelap berbentuk elipsoid dengan celah perkecambahan (*germ slit*), serta fase aseksual bertipe geniculosporium. Dalam siklus hidupnya, *Xylaria* sp. dapat bereproduksi secara aseksual maupun seksual dalam stroma (Angelova *et al.*, 2023). Pada fase aseksual, stroma muda menghasilkan konidia yang disebarkan secara pasif sebagai sumber inokulum, sedangkan pada fase seksual, stroma matang membentuk peritesia yang berisi asci dengan askospora. Askospora yang matang dilepaskan melalui ostiola dan disebarkan oleh angin untuk memulai siklus infeksi baru pada tanaman inang (Wangsawat *et al.*, 2020).

Pertumbuhan jamur *Xylaria* sp. dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor. Varietas tebu yang kurang tahan terhadap penyakit mengalami perkembangan infeksi lebih cepat dan sebaliknya. Curah hujan dan kelembaban relatif tinggi, mendukung perkembangan penyakit, sementara suhu tinggi dan durasi penyinaran panjang dapat menghambat pertumbuhan jamur. Karakteristik tanah berupa kandungan

kalium (K) tersedia dan permeabilitas tanah yang tinggi mempercepat pertumbuhan jamur. Kadar nitrogen (N) total dan besi (Fe) yang tinggi justru menghambat infeksi dengan meningkatkan ketahanan tanaman. Siklus penyakit akan berlanjut melalui sumber inokulum tanaman terinfeksi sebelumnya, jamur *Xylaria* sp. menyebarkan askospora dan konidia yang memungkinkan infeksi baru terjadi (Maryono dkk., 2020).

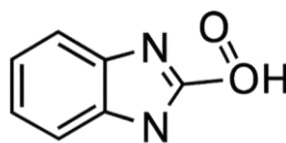
Hingga saat ini, belum ditemukan cara pengendalian yang efektif untuk mengendalikan serangan penyakit BAPB. Penanaman kembali merupakan cara yang paling umum dilakukan untuk mencegah kehilangan hasil yang signifikan. Namun, metode ini lebih efektif hanya pada tanaman yang berasal dari bibit, sedangkan pada tanaman keprasan pertama tingkat infeksi tetap tinggi (Maryono dkk., 2020). Fungisida sering digunakan untuk mengendalikan jamur patogen. Fungisida dengan bahan aktif benomil, carbendazim, mankozeb, propinep, dan maneb telah diuji untuk mengendalikan *X. cf. warburgii*. Hasilnya menunjukkan bahwa hanya benomil dan carbendazim yang efektif dalam menghambat pertumbuhan jamur pada media PDA. Penerapan fungisida di lapangan dengan merendam bibit sebelum tanam atau menyemprotkan pada tanaman tebu berusia 3, 5, dan 7 bulan dengan konsentrasi 2 g ba/L, kedua fungisida tersebut tidak mampu mengendalikan *X. cf. warburgii* (Yulianti, 2017).

## **2.2 Fungisida Carbendazim**

Fungisida adalah jenis pestisida yang menghambat atau membunuh jamur. Fungisida telah digunakan secara luas untuk mencegah atau mengurangi kerusakan tanaman akibat jamur (Tleuova *et al.*, 2020). Beberapa penyakit dapat dikendalikan melalui penggunaan varietas tahan dan perubahan praktik budidaya, tetapi ada penyakit tertentu yang hanya bisa dikendalikan dengan aplikasi fungisida yang tepat. Agar efektif, fungisida biasanya diaplikasikan sebelum infeksi berkembang dan dalam volume semprot yang cukup untuk memastikan cakupan yang merata pada tanaman. Penggunaan fungisida harus dilakukan secara tepat untuk mengendalikan penyakit secara efektif dalam budidaya tanaman (Goswami *et al.*, 2018).

Menurut FRAC (2025) kelompok fungisida B1, terdiri dari Methyl Benzimidazole Carbamates (MBC), merupakan kelompok yang bekerja dengan menghambat polimerisasi tubulin dalam proses pembentukan mikrotubulus sel jamur. Beberapa senyawa utama dalam kelompok ini yaitu benomyl, carbendazim, fuberidazole, thiabendazole, serta turunan thiophanates seperti thiophanate dan thiophanate-methyl. Resistensi terhadap fungisida ini sudah banyak ditemukan pada berbagai spesies jamur, terutama melalui mutasi pada gen  $\beta$ -tubulin, seperti E198A/G/K dan F200Y, yang menyebabkan resistensi silang antar anggota kelompok ini. Selain itu, ada pola resistensi negatif terhadap N-phenyl carbamates, menunjukkan bahwa jamur yang resisten terhadap benzimidazol bisa lebih sensitif terhadap fungisida dari kelompok B2 (10 N- phenyl carbamates).

Fungisida kelompok Methyl benzimidazole carbamate (MBC), seperti carbendazim, diperkenalkan di bidang pertanian pada awal tahun 1970-an dan banyak digunakan untuk melindungi tanaman. Fungisida ini bekerja dengan cara menargetkan proses polimerisasi  $\beta$ -tubulin, proses penting dalam pembentukan mikrofilamen di dalam sel jamur. Mikrofilamen ini sangat penting untuk pembelahan sel. Saat MBC menghambat pembentukan mikrofilamen dengan mengikat pada subunit  $\beta$ -tubulin, proses pembelahan sel terhenti. Akibatnya, sel jamur mati, sehingga pengendalian terhadap patogen jamur bisa dilakukan (Corcia *et al.*, 2018). Struktur kimia carbendazim sebagai fungisida kelompok MBC ditampilkan pada (Gambar 2).



Gambar 2. Struktur kimia fungisida carbendazim, fungisida dari kelompok methyl benzimidazole carbamate (MBC) yang menargetkan  $\beta$ -tubulin pada sel jamur (FRAC, 2024).

Penggunaan fungisida MBC secara berulang dilaporkan memicu resistensi pada berbagai strain jamur patogen. Resistensi ini umumnya terjadi karena mutasi titik pada gen Tub2 yang mengubah struktur tempat ikatan fungisida pada  $\beta$ -tubulin sehingga mengurangi efektivitasnya. Mutasi pada kodon 6, 50, 134, 165, 167,

198, 200, 235, 240, 241, dan 257 telah ditemukan pada jamur yang resisten terhadap MBC baik di lapangan maupun di laboratorium. Namun demikian, terdapat beberapa kasus di mana strain resisten tidak memiliki mutasi tersebut, yang mengindikasikan kemungkinan adanya mekanisme resistensi lain yang turut berperan (Xu *et al.*, 2019).

### 2.3 Analisis Metabolit

Kromatografi adalah metode untuk memisahkan zat dalam suatu campuran agar bisa dianalisis satu per satu. Semua jenis kromatografi memiliki dua komponen utama yaitu fase diam (zat yang tetap di tempatnya) dan fase bergerak (zat yang berpindah, seperti cairan atau gas). Dalam kromatografi gas (GC), fase bergeraknya adalah gas seperti helium, yang membantu memisahkan zat berdasarkan sifatnya. Penggunaan spektrometer massa (MS) sebagai alat deteksi dalam GC mulai dikembangkan pada 1950-an oleh Roland Gohlke dan Fred McLafferty. Kemajuan teknologi memungkinkan metode ini menjadi semakin cepat (Pramod *et al.*, 2021).

*Gas chromatography–mass spectrometry* (GC-MS) adalah teknik analisis yang menggabungkan kromatografi gas dengan spektrometri massa untuk mengidentifikasi zat dalam suatu sampel. GC digunakan untuk memisahkan senyawa yang mudah menguap dan stabil dalam panas, sedangkan MS mendeteksi dan mengidentifikasi zat berdasarkan massanya (Upadhyay *et al.*, 2023). GC-MS menjadi alat yang sangat fleksibel dan banyak digunakan dalam berbagai bidang, termasuk deteksi obat, forensik, analisis lingkungan, penelitian jejak senyawa, dan aplikasi lainnya (Maji *et al.*, 2023).

GC-MS merupakan salah satu teknik utama yang digunakan dalam studi metabolomik. Metabolomik digunakan untuk menilai perubahan metabolit dalam organisme hidup sebagai respons terhadap faktor eksternal. Analisis dengan GC-MS telah diterapkan secara luas pada tanaman dengan berbagai kondisi, spesies, dan latar belakang genetik (Abadie *et al.*, 2022). Teknik ini memiliki sensitivitas tinggi dan reproduksibilitas yang baik, sehingga efektif untuk mengkarakterisasi

perubahan fisiologis pada jamur (Zavala *et al.*, 2024). Selain itu, metabolomik berperan dalam memahami mekanisme resistensi patogen tanaman terhadap fungisida (Zavala *et al.*, 2017).

Beberapa peneliti melaporkan perubahan metabolit pada jamur patogen akibat terpapar fungisida. Hu *et al.* (2019) mengungkapkan bahwa fungisida menyebabkan perubahan signifikan pada metabolit *Botrytis cinerea*, baik secara spesifik maupun umum dalam kelompok MoA (*Mode of Action*) yang sama. Contohnya, succinate meningkat lebih dari 40 kali setelah perlakuan dengan boscalid, dan cystathionine meningkat signifikan setelah perlakuan dengan pyrimethanil dan cyprodinil. Sevastos *et al.* (2018) melaporkan tentang perubahan metabolit pada *Fusarium graminearum* dengan tingkat resistensinya terhadap fungisida benzimidazol (carbendazim). Setelah terpapar konsentrasi rendah carbendazim (2 mg/L), strain *F. graminearum* dapat dibedakan dengan sangat baik berdasarkan tingkat resistensinya. Paparan fungisida thiabendazole menyebabkan perubahan metabolit pada *Pseudocercospora fijiensis* yaitu peningkatan konsentrasi phosphoric acid, L-proline, dan D-allose. Sementara itu, asam fumarat, asam sitrat, dan berbagai monosakarida mengalami penurunan seiring waktu paparan (Zavala *et al.*, 2024).

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2025 hingga Februari 2026. Pelaksanaan penelitian meliputi pembuatan media *Potato Sucrose Agar* (PSA), isolasi jamur *Xylaria* sp., generasi mutan *Xylaria* sp. tahan terhadap fungisida carbendazim, pengujian sensitivitas *Xylaria* sp. terhadap carbendazim, serta produksi metabolit jamur *Xylaria* sp. dilaksanakan di Laboratorium Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Pelaksanaan penelitian lanjutan yaitu analisis GC-MS dilakukan di Laboratorium Sentral, Universitas Padjadjaran, Bandung.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah autoklaf, *Laminar Air Flow* (LAF), alat GC-MS, inkubator, bunsen, cawan petri, mikropipet dan tip, *scapel*, bor gabus, botol semprot, timbangan, tabung reaksi, *shaker*, labu erlenmeyer, gelas beaker, microwave, botol UC, tabung eppendorf 50 ml, kertas saring Whatman No. 1, *plastic wrap*, pinset, plastik tahan panas, *aluminium foil*, tisu, spidol, dan karet. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah pangkal batang tanaman tebu yang bergejala penyakit busuk akar dan pangkal batang, stroma jamur *Xylaria* sp., isolat jamur *Xylaria* sp., media PSA (*Potato Sucrose Agar*), media PSB (*Potato Sucrose Broth*), kentang, agar batang, gula, alkohol 70%, metanol, spiritus, korek api, asam laktat (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>), aquades, dan fungisida berbahan aktif carbendazim (Bendas 50 WP).

### 3.3 Pelaksanaan Penelitian

#### 3.3.1 Pembuatan Media *Potato Sucrose Agar* (PSA)

Media PSA dibuat dengan komposisi yaitu kentang 200 g, agar 20 g, sukrosa 20 g, dan aquadest 1000 mL. Pertama, kentang dikupas kemudian dipotong dadu lalu ditimbang sebanyak 200 g. Kentang dicuci bersih setelah ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam *beaker glass* yang berisi aquadest 1000 mL. Kentang direbus dalam microwave sekitar 15 menit sampai mendidih. Setelah itu, ekstrak kentang dimasukkan ke dalam *erlenmeyer* yang sudah berisi sukrosa dan agar masing-masing sebanyak 20 g. Erlenmeyer ditutup rapat dengan aluminium foil. Kemudian dimasukan ke dalam plastik tahan panas sebelum disterilisasi menggunakan autoklaf. Sterilisasi pada suhu 121°C dan tekanan 1 atm selama 30 menit. Setelah tahap sterilisasi, media didinginkan dan ditambahkan asam laktat lalu dihomogenkan. Terakhir, media dituangkan ke dalam cawan petri, tunggu hingga memadat, diwrap, dan disimpan.

#### 3.3.2 Isolasi Jamur *Xylaria* sp.

Isolasi jamur *Xylaria* sp. dapat dilakukan dari pangkal batang maupun stroma tanaman tebu yang bergejala. Perbandingan yang digunakan adalah 1:3 (1 bagian sakit, dan 3 bagian sehat). Proses isolasi dilakukan dengan memotong jaringan atau stroma menjadi bagian kecil berukuran 0,2 cm. Kemudian direndam dalam larutan klorox 0,5% selama 5 menit untuk sterilisasi dan dibilas dengan air steril sebanyak 3 kali. Potong-potongan yang telah steril lalu diangkat dan dikeringkan diatas tisu kemudian diletakkan dalam cawan petri berisi media PSA.

#### 3.3.3 Generasi Mutan Jamur *Xylaria* sp. Tahan Fungisida Carbendazim

Metode generasi mutan *Xylaria* sp. tahan fungisida carbendazim pada penelitian ini mengacu pada Du *et al.* (2021) dengan beberapa modifikasi. Pada metode awal, isolat yang digunakan adalah tipe liar jamur *Fusarium* sp. Potongan miselium ditumbuhkan pada media *Potato Dextroe Agar* (PDA) yang mengandung prochloraz-Mn dengan konsentrasi 1,0 µg/mL dan diinkubasi pada

suhu 25°C dalam kondisi gelap. Bagian koloni yang masih tumbuh kemudian dipindahkan secara bertahap ke media dengan konsentrasi fungisida yang meningkat dua kali lipat. Proses seleksi dilakukan selama lima tingkat yaitu pada konsentrasi 2,0 µg/mL, 4,0 µg/mL, 8,0 µg/mL, 16,0 µg/mL, dan 32,0 µg/mL, kemudian mutan yang diperoleh dipindahkan ke media tanpa fungisida.

Pembentukan mutan dalam penelitian ini dilakukan menggunakan organisme uji jamur *Xylaria* sp. yang berasal dari isolat yang belum pernah terpapar carbendazim sebelumnya. Fungisida yang digunakan adalah carbendazim, dan media pertumbuhan disesuaikan menjadi PSA. Inkubasi dilakukan pada suhu 27°C dalam kondisi gelap untuk menyesuaikan dengan kebutuhan pertumbuhan *Xylaria* sp. Pembuatan mutan dilakukan dengan konsentrasi awal carbendazim sebesar 1,0 µg/mL, kemudian konsentrasi fungisida ditingkatkan dua kali lipat secara bertahap dan diulang sebanyak tiga kali yaitu pada konsentrasi 2,0 µg/mL, 4,0 µg/mL, dan 8,0 µg/mL. Mutan kemudian diisolasi dan dipindahkan ke media PSA tanpa fungisida ketika tidak lagi teramati pertumbuhan miselium pada media PSA yang mengandung carbendazim dengan konsentrasi 8 µg/mL.

### **3.3.4 Sensitivitas *Xylaria* sp. terhadap Carbendazim**

Untuk penentuan sensitivitas dasar *Xylaria* sp. terhadap carbendazim, dilakukan dengan eksperimen berdasarkan metode Zhang *et al.* (2021) dengan beberapa modifikasi. Pada metode awal, pengujian sensitivitas dilakukan menggunakan jamur *Sclerotinia sclerotiorum* pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA) yang ditambahkan fungisida prochloraz dengan konsentrasi 0,01; 0,03; 0,06; 0,1; 0,15; dan 0,36 µg/mL. Potongan miselium berdiameter 5 mm diambil dari koloni berumur 2 hari, kemudian diinkubasi pada suhu 23°C selama 48 jam. Diameter koloni diukur sebanyak dua kali pada arah yang saling tegak lurus untuk menentukan nilai EC<sub>50</sub> berdasarkan penghambatan pertumbuhan miselium sebesar 50%.

Penentuan sensitivitas dasar dalam penelitian ini dilakukan terhadap jamur uji yaitu *Xylaria* sp. Media yang digunakan adalah PSA, ditambahkan fungisida

carbendazim dari kelompok methyl benzimidazole carbamate (MBC), dengan rentang konsentrasi 0,50; 0,75; 1,0; 1,5; dan 2,0 µg/mL. Potongan miselium berdiameter 5 mm diambil dari koloni berumur 8 hari. Masa inkubasi diperpanjang menjadi 19 hari pada suhu 27°C dalam kondisi gelap untuk menyesuaikan dengan laju pertumbuhan *Xylaria* sp. yang relatif lambat dibandingkan jamur patogen yang digunakan pada metode awal. Pengukuran pertumbuhan koloni dilakukan dengan mengukur diameter koloni sebanyak dua kali pada arah yang saling tegak lurus. Setiap konsentrasi perlakuan dilakukan dengan empat ulangan.

Persentase penghambatan pertumbuhan koloni dihitung dengan rumus berikut:

$$I = \frac{(dk - dp)}{dk} 100\%$$

Keterangan:

I = Persentase penghambatan (%),

dk = Diameter koloni jamur pada kontrol (tanpa fungisida) (cm), dan

dp = Diameter koloni jamur pada perlakuan konsentrasi fungisida tertentu (Suganda dkk., 2019).

Nilai EC<sub>50</sub> dihitung dengan mengubah konsentrasi fungisida menjadi logaritma (log<sub>10</sub>), lalu dilakukan regresi linear antara penghambatan pertumbuhan (I) dan log<sub>10</sub> konsentrasi fungisida (Dutra *et al.*, 2020).

### 3.3.5 Analisis Profil Metabolit

#### 3.3.5.1 Produksi Metabolit Jamur *Xylaria* sp.

Metode produksi metabolit jamur *Xylaria* sp. dalam penelitian ini mengacu pada metode yang dilaporkan oleh Zavala *et al.* (2024), dengan beberapa penyesuaian. Pada metode acuan, penelitian dilakukan menggunakan isolat resisten *P. fijiensis* yang ditumbuhkan pada media padat PDA dan media cair PDB untuk mengevaluasi pengaruh fungisida thiabendazole terhadap profil metabolit jamur. Setelah jamur menghasilkan biomassa yang cukup, fungisida ditambahkan ke dalam media, kemudian sampel berupa biomassa miselium diambil pada beberapa

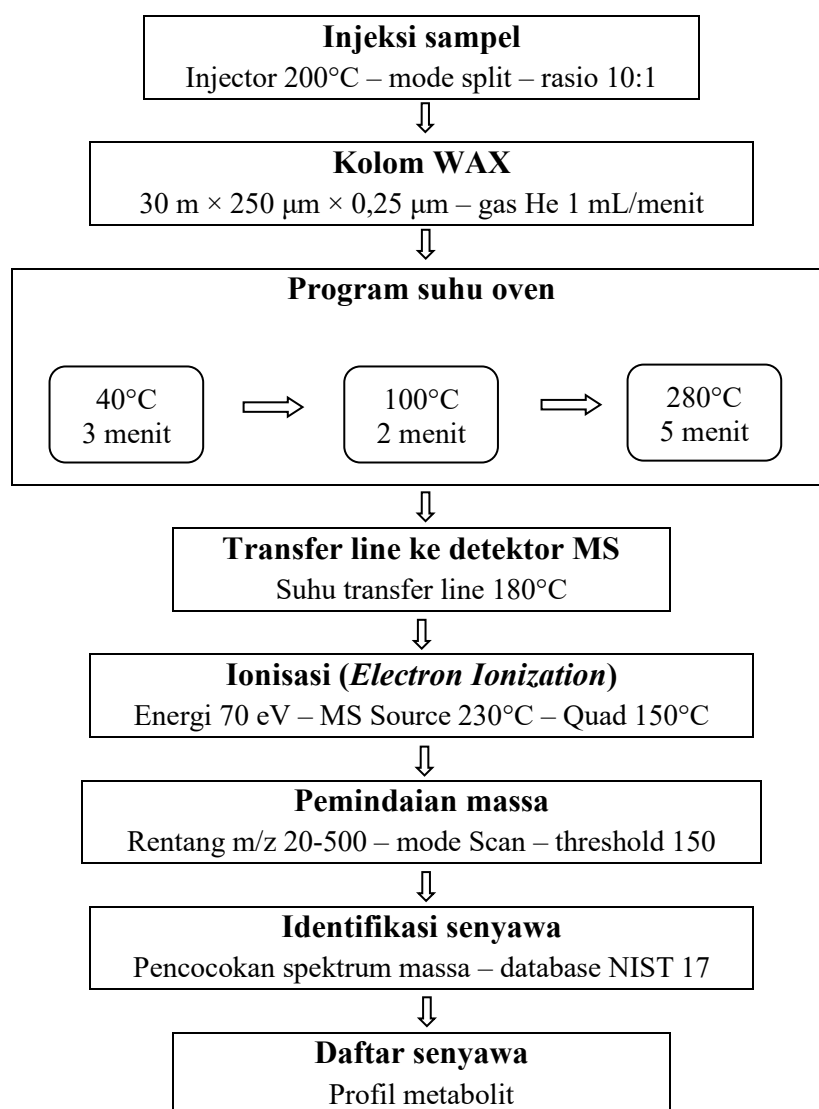
waktu paparan, yaitu 6, 24, dan 48 jam, untuk dianalisis menggunakan GC-MS. Metode ini menekankan pengaruh konsentrasi fungisida dan durasi paparan terhadap perubahan profil metabolit jamur resisten.

Produksi metabolit jamur *Xylaria* sp. pada penelitian ini dilakukan menggunakan media cair *Potato Sucrose Broth* (PSB) tanpa penambahan fungisida yang disiapkan dalam botol kultur. Sebanyak empat potongan isolat jamur *Xylaria* sp. mutan dimasukkan ke dalam 100 ml media PSB, dengan empat ulangan untuk setiap perlakuan. Perlakuan yang sama dilakukan terhadap isolat jamur *Xylaria* sp. *wild type*, yaitu dengan memasukkan empat potongan isolat ke dalam 100 ml media PSB dengan empat ulangan. Botol kultur kemudian ditutup menggunakan *aluminium foil* dan *plastic wrap*, selanjutnya diinkubasi pada *shaker* selama 15 hari dengan kecepatan 150 rpm. Pada hari ke-15, fungisida carbendazim ditambahkan ke dalam media sesuai nilai  $EC_{50}$  masing-masing isolat, yaitu 1  $\mu\text{g/ml}$  untuk isolat mutan dan 0,7  $\mu\text{g/ml}$  untuk isolat *wild type*. Setelah penambahan fungisida, botol kultur kembali ditutup dan diinkubasi pada *shaker* selama 2 hari. Kultur jamur kemudian disaring dengan kertas saring Whatman No. 1 untuk memisahkan biomassa jamur dari media cair. Filtrat hasil penyaringan kemudian digunakan sebagai sampel metabolit untuk proses analisis GC-MS.

### 3.3.5.2 Analisis GC-MS

Analisis GC-MS dilakukan di Laboratorium Sentral Universitas Padjadjaran. Analisis dilakukan sesuai dengan kondisi yang ditetapkan oleh laboratorium, sampel diinjeksikan ke dalam injektor yang dipanaskan pada suhu 200 °C dengan mode split dan split ratio 10:1, sehingga sebagian kecil sampel masuk ke dalam kolom kromatografi. Gas pembawa yang digunakan adalah helium dengan laju alir konstan sebesar 1 mL/menit untuk mengangkut metabolit yang terpisah berdasarkan volatilitasnya. Kolom yang digunakan adalah kolom WAX berukuran 30 m × 250  $\mu\text{m}$  × 0,25  $\mu\text{m}$ . Program suhu oven diatur secara bertahap, dimulai dari suhu awal 40 °C selama 3 menit, kemudian dinaikkan dengan laju 10 °C/menit hingga mencapai 100 °C selama 2 menit, lalu dinaikkan kembali dengan laju yang sama hingga mencapai 280 °C dan ditahan selama 5 menit, sehingga

total waktu analisis adalah 34 menit. Metabolit yang terelusi dari kolom dideteksi oleh detektor MS melalui transfer line bersuhu 180 °C. Suhu sumber ion (MS Source) ditetapkan pada 230 °C, dan suhu MS Quad pada 150 °C. Ionisasi dilakukan menggunakan metode *Electron Ionization* (EI) dengan energi 70 eV. Pemindaian massa dilakukan pada rentang m/z 20–500 dengan mode Scan dan threshold 150. Identifikasi senyawa dilakukan dengan pencocokan spektrum massa menggunakan database NIST 17. Alur proses analisis GC-MS secara keseluruhan disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Alur proses analisis GC-MS.

### 3.3.6 Analisis Data

Data hasil analisis GC-MS berupa daftar senyawa dan persentase luas area (% area) dianalisis secara deskriptif dan komparatif. Selanjutnya, senyawa yang teridentifikasi ditentukan golongan kimia untuk mendukung interpretasi biologis terkait mekanisme resistensi terhadap carbendazim. Senyawa yang terdeteksi pada kedua isolat maupun yang bersifat spesifik dianalisis menggunakan diagram Venn untuk mengetahui kesamaan dan perbedaan komposisi metabolit. Perubahan kelimpahan relatif metabolit antara isolat mutan dan *wild type* dihitung menggunakan nilai rasio atau *fold change* (FC) (Salvatore *et al.*, 2024) dengan rumus:

$$\text{Fold Change (FC)} = \frac{\% \text{ Area Mutan}}{\% \text{ Area Wild type}}$$

Nilai *fold change* digunakan untuk menentukan kecenderungan peningkatan (FC > 1) atau penurunan (FC < 1) kelimpahan relatif metabolit pada isolat mutan.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Simpulan dari penelitian ini yaitu profil metabolit *Xylaria* sp. *wild type* berbeda dengan profil metabolit *Xylaria* sp. mutan. Secara kuantitatif perbedaannya yaitu isolat mutan menunjukkan kandungan furfural (15,16%) dan asam asetat (3,51%) yang lebih tinggi dibandingkan *wild type* (masing-masing 8,80% dan 2,22%), sementara *wild type* memiliki kadar L-lactic acid yang lebih tinggi (14,12%) dibandingkan mutan (10,25%). Secara kualitatif, perbedaan tersebut berupa hilangnya beberapa senyawa seperti norephedrine; levoglucosenone; cis-7-hexadecenoic acid; serta munculnya senyawa unik seperti R-(-)-cyclohexylethylamine; 2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-,; 1,4-Dioxane-2,5-dione, 3,6-dimethyl-, (3S-cis)::; dan 3-Ethyl-2-heptanol pada isolat resisten. Perbedaan ini menunjukkan adanya penyesuaian metabolik pada isolat resisten dalam menghadapi tekanan fungisida, yang berperan dalam kemampuannya bertahan di bawah paparan carbendazim.

### 5.2 Saran

Penelitian lanjutan disarankan untuk melakukan validasi terhadap metabolit kunci menggunakan pendekatan metabolomik terarah (*targeted*) serta mengkaji keterkaitannya dengan ekspresi gen atau aktivitas enzim yang berperan dalam metabolisme karbon dan mekanisme resistensi. Pendekatan ini akan membantu memperjelas hubungan antara perubahan profil metabolit dan ketahanan terhadap carbendazim secara lebih mendalam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abadie, C., Lalande, J., and Tcherkez, G. 2022. Exact mass GC-MS analysis: Protocol, database, advantages and application to plant metabolic profiling. *Plant, cell & environment*. 45(10): 3171–3183.
- Abdel, R. M. A., Tashiro, Y., and Sonomoto, K. 2013. Recent advances in lactic acid production by microbial fermentation processes. *Biotechnology advances*. 31(6): 877-902.
- Angelova, G., Stefanova, P., Brazkova, M., and Krastanov, A. 2023. Molecular and morphological characterization of *Xylaria karsticola* (Ascomycota) isolated from the fruiting body of *Macrolepiota procera* (Basidiomycota) from Bulgaria. *Plos one*. 18(6): e0287679.
- Asmawati, A., Sunardi, H., dan Ihromi, S. 2019. Kajian persentase penambahan gula terhadap komponen mutu sirup buah naga merah. *Jurnal Agrotek UMMat*. 5(2): 97-106.
- Bai, Y., Hou, Y., Wang, Q., Lu, C., Ma, X., Wang, Z., and Xu, H. 2023. Analysis of the binding modes and resistance mechanism of four methyl benzimidazole carbamates inhibitors fungicides with *Monilinia fructicola*  $\beta$ 2-tubulin protein. *Journal of Molecular Structure*. 1291: 136057.
- Bocso, N. S. and Butnariu, M. 2022. The biological role of primary and secondary plants metabolites. *Journal of Nutrition and Food Processing*. 5(3): 1-7.
- BPS. 2025. *Statistik Tanaman Perkebunan Semusim Indonesia 2024 (Tebu dan Tembakau)*. Badan Pusat Statistik. Jakarta. 68 hlm.
- BPS Provinsi Lampung. 2024. *Provinsi Lampung dalam Angka*. BPS Provinsi Lampung. Lampung. Hal 819.
- Cai, M., Lin, D., Chen, L., Bi, Y., Xiao, L., and Liu, X. L. 2015. M233I mutation in the  $\beta$ -tubulin of *Botrytis cinerea* confers resistance to zoxamide. *Scientific Reports*. 5(1): 16881.
- Cevallos, J. M., Futch, D. B., Reyes-De-Corcuera, J. I., Folimonova, S. Y., and Shilts, T. 2012. GC–Ms metabolomic differentiation of selected citrus varieties with different sensitivity to citrus huanglongbing. *Plant Physiology and Biochemistry*. 53: 69–76.

- Corcía, D. V., Romero, D., de Vicente, A., and García, P. A. 2018. Analysis of  $\beta$ -tubulin-carbendazim interaction reveals that binding site for MBC fungicides does not include residues involved in fungicide resistance. *Scientific Reports*. 8(1): 7161.
- Du, Y., Shi, N., Ruan, H., Miao, J., Yan, H., Shi, C., Chen, F., and Liu, X. 2021. Analysis of the prochloraz-Mn resistance risk and its molecular basis in *Mycogone rosea* from *Agaricus bisporus*. *Pest Management Science*. 77(10): 4680-4690.
- Dutra, P. S. S., Lichtemberg, P. S., Martinez, M. B., Michailides, T. J., and May De Mio, L. L. 2020. Cross-resistance among demethylation inhibitor fungicides with Brazilian *Monilinia fructicola* isolates as a foundation to discuss brown rot control in stone fruit. *Plant Disease*. 104(11): 2843-2850.
- Fang, J. G., Lee, C. S., and Hsieh, W. H. 1986. Perfect state of root and basal stem rot of sugarcane. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* 19: 370–374.
- FRAC. 2024. Fungal Control Agents by Cross Resistance Pattern and Mode of Action 2024. <https://www.frac.info/media/42keb12k/frac-moa-poster-2024.pdf>. Diakses pada tanggal 12 Juni 2025 Pukul 09.07 WIB
- FRAC. 2025. Benzimidazole. <https://www.frac.info/frac-teams/expert-fora/benzimidazoles/>. Diakses pada tanggal 10 Juni 2025 Pukul 06.32 WIB
- FRAC. 2025. Fungal Control Agents Sorted by Cross-Resistance Pattern and Mode of Action. <https://www.frac.info/media/ljsi3qrv/frac-code-list-2025.pdf>. Diakses pada tanggal 12 Juni 2025 Pukul 09.09 WIB
- Giannattasio, S., Guaragnella, N., Ždravlečić, M., and Marra, E. 2013. Molecular mechanisms of *Saccharomyces cerevisiae* stress adaptation and programmed cell death in response to acetic acid. *Frontiers in microbiology*. 4: 33.
- Goswami, S. K., Singh, V., Chakdar, H., and Choudhary, P. 2018. Harmful effects of fungicides-Current status. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*. 11(779): 1011-1019.
- Hadi, S. dan Nastiti, K. 2024. Gula tebu (*Saccharum officinarum* Linn.) dan palam (*Arenga Pinnata* Merr.) terhadap diabetes. *JFARM-Jurnal Farmasi*. 2(1): 7-12.
- Heryanto, M. A., Pardian, P., dan Nugraha, A. 2024. Analisis wilayah unggulan perkebunan: komoditas tebu (*Saccharum officinarum* Linn). *Agricore: Jurnal Agribisnis dan Sosial Ekonomi Pertanian Unpad*. 9(2): 174-182.
- Huang, Y., Wang, Y., Shang, N., and Li, P. 2023. Microbial fermentation processes of lactic acid: challenges, solutions, and future prospects. *Foods*. 12(12): 2311
- Hu, M. and Chen, S. 2021. Non-target site mechanisms of fungicide resistance in crop pathogens: A review. *Microorganisms*. 9(3): 502.

- Hu, Z., Dai, T., Li, L., Liu, P., and Liu, X. 2019. Use of GC–MS based metabolic fingerprinting for fast exploration of fungicide modes of action. *BMC microbiology*. 19: 1-10.
- Jilani, S. B. and Olson, D. G. 2023. Mechanism of furfural toxicity and metabolic strategies to engineer tolerance in microbial strains. *Microbial Cell Factories*. 22(1): 221.
- Kementerian Pertanian. 2024. Analisis kinerja perdagangan gula. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian.  
[https://satudata.pertanian.go.id/assets/docs/publikasi/1E\\_Analisis\\_Kinerja\\_Perdagangan\\_Gula\\_2024\\_-\\_publish.pdf](https://satudata.pertanian.go.id/assets/docs/publikasi/1E_Analisis_Kinerja_Perdagangan_Gula_2024_-_publish.pdf)
- Li, G., Jian, T., Liu, X., Lv, Q., Zhang, G., and Ling, J. 2022. Application of metabolomics in fungal research. *Molecules*. 27(21): 7365.
- Li, L., Liao, Z., Yang, Y., Lv, L., Cao, Y., and Zhu, Z. 2018. Metabolomic profiling for the identification of potential biomarkers involved in a laboratory azole resistance in *Candida albicans*. *PloS one*. 13(2): e0192328.
- Liu, S., Fu, L., Wang, S., Chen, J., Jiang, J., Che, Z., Tian, Y. and Chen, G. 2019. Carbendazim resistance of *Fusarium graminearum* from Henan wheat. *Plant disease*. 103(10): 2536-2540.
- Maji, S. R, Chaitali, R. O. Y., and Sinha, S. K. 2023. *Gas chromatography–mass spectrometry* (GC-MS): a comprehensive review of synergistic combinations and their applications in the past two decades. *Journal of Analytical Sciences and Applied Biotechnology*. 5(2): 72-85.
- Maryono, T., Widiastuti, A., Murti, R. H., and Priyatmojo, A. 2019. Identification and characterization of the causal agent of sugarcane root and basal stem rot in south Sumatra, Indonesia. *Sugar Tech*. 22(1): 105-111.
- Maryono, T., Widiastuti, A., Murti, R. H., dan Priyatmojo, A. 2020. Komponen epidemi penyakit busuk akar dan pangkal batang tebu di Sumatera Selatan. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 16(2): 49-60.
- Maryono, T., Widiastuti, A., and Priyatmojo, A. 2017. Penyakit busuk akar dan pangkal batang tebu di Sumatera Selatan. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 13(2): 67-67.
- Murzagulova, G. S., Gogoleva, O. A., Ryazanov, E. A., Shatravina, K. A., Tendiuk, N. V., Sakhabutdinov, I. T., Ponomarev, S. N., Chastukhina, I. B., Makshakova, O. N., Ponomareva, M. L., and Gorshkov, V. Y. 2025. Population, physiological, and genetic insights into carbendazim resistance in populations of the phytopathogenic fungus *Microdochium nivale*. *Journal of Fungi*. 11(9): 639.
- Pertala, M. S., Tutik, dan Nofita. 2023. Identifikasi senyawa metabolit sekunder menggunakan instrumen GC-MS pada ekstrak kulit bawang merah (*Allium cepa* L.) menggunakan pelarut etil asetat dan n-heksana. *Jurnal Ilmu Kedokteran dan Kesehatan*. 9(4): 1300-1309.

- Pramod, S. K., Navnath, K. A., Pramod, S. M. 2021. A review on gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). *World J. Pharm. Res. Factor*. 10 (3): 741-763.
- Pusat Perakitan dan Modernisasi Perkebunan. 2024. Harapan dan Tantangan Swasembada Gula. <https://perkebunan.bsip.pertanian.go.id/berita/harapan-dan-tantangan-swasembada-gula>. Diakses pada tanggal 19 Mei 2025 pukul 10.32 WIB.
- Rusanen, A., Lappalainen, K., Kärkkäinen, J., and Lassi, U. 2021. Furfural and 5-hydroxymethylfurfural production from sugar mixture using deep eutectic solvent/MIBK system. *ChemistryOpen*. 10(10): 1004-1012.
- Salvatore, M. M., Maione, A., Imperato, M., Salvatore, F., Guida, M., Galdiero, E., and Andolfi, A. 2024. A metabolomics footprinting approach using GC-MS to study inhibitory effects of the fungal metabolite diplopyrone C against nosocomial pathogen biofilms. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 243: 116081.
- Sevastos, A., Kalampokis, I. F., Panagiotopoulou, A., Pelecanou, M., and Aliferis, K. A. 2018. Implication of *Fusarium graminearum* primary metabolism in its resistance to benzimidazole fungicides as revealed by 1H NMR metabolomics. *Pesticide biochemistry and physiology*. 148: 50-61.
- Shao, W., Zhao, Y., and Ma, Z. 2021. Advances in understanding fungicide resistance in *Botrytis cinerea* in China. *Phytopathology*. 111(3): 455-463.
- Sitepu, R., Sunaryo, S., Widyatmoko, K., and Purwoko, H. 2010. Root and basal stem rot disease of sugarcane in Lampung, Indonesia. *International Society of Sugar Cane Technologists*.
- Suganda, T., Kaltsum, R. T., dan Yulia, E. 2024. Uji ekstrak metanol biji kembang telang (*Clitoria ternatea* L.) dalam menghambat pertumbuhan koloni serta produksi dan perkecambahan konidia jamur *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae*. *Agrikultura*. 35(1): 46-58.
- Tiwari, R. and Rana, C. S. 2015. Plant secondary metabolites: A review. *International Journal Of Engineering Research and General Science*. 3(5): 661-670.
- Thirumurugan, D., Cholarajan, A., Raja, S. S., and Vijayakumar, R. 2018. An introductory chapter: secondary metabolites. *Secondary metabolites-sources and applications*. 1: 13.
- Tleuova, A. B., Wielogorska, E., Talluri, V. P., Štěpánek, F., Elliott, C. T., and Grigoriev, D. O. 2020. Recent advances and remaining barriers to producing novel formulations of fungicides for safe and sustainable agriculture. *Journal of Controlled Release*. 326: 468-481.
- Upadhyay, R., Patel, K., and Upadhyay, D. U. 2023. A Review Article on Advancements in GC-MS. *International Journal of Pharmaceutical Research and Applications*. 8(2): 54-59.

- Wang, Y., Brown, C. A., and Chen, R. 2018. Industrial production, application, microbial biosynthesis and degradation of furanic compound, hydroxymethylfurfural (HMF). *AIMS microbiology*. 4(2): 261.
- Wangsawat, N., Ju, Y. M., Phosri, C., Whalley, A. J. S., and Suwannasai, N. 2021. Twelve New Taxa of *Xylaria* Associated with Termite Nests and Soil from Northeast Thailand. *Biology*. 10(7): 575.
- Widowati, R., Winarno, W., Sulaksono, C., dan Guntur, N. D. 2022. Sebaran serangan penyakit busuk akar pangkal batang *Xylaria* spp. (Xylariaceae; Ascomycota) di wilayah PG Cintamanis. *Indonesian Sugar Research Journal*. 2(1): 1-11.
- Wierckx, N., Koopman, F., Ruijsenaars, H. J., and de Winde, J. H. 2011. Microbial degradation of furanic compounds: biochemistry, genetics, and impact. *Applied microbiology and biotechnology*. 92(6): 1095-1105.
- Wu, Z., Liu, Z., Hu, Z., Wang, T., Teng, L., Dai, T., Liu, P., Hao, J., and Liu, X. 2024. Utilizing metabolomic approach to study the mode of action of fungicides and corresponding resistance in plant pathogens. *Advanced Agrochem*. 3: 19-205.
- Xu, S., Wang, J., Wang, H., Bao, Y., Li, Y., Govindaraju, M., Yao, W., Chen, B., and Zhang, M. 2019. Molecular characterization of carbendazim resistance of *Fusarium* species complex that causes sugarcane pokkah boeng disease. *BMC genomics*. 20: 1-14.
- Yin, Y., Miao, J., Shao, W., Liu, X., Zhao, Y., and Ma, Z. 2023. Fungicide resistance: Progress in understanding mechanism, monitoring, and management. *Phytopathology*. 113(4): 707-718.
- Yulianti, T. 2017. Perkembangan penyakit lapuk akar dan pangkal batang tebu (*Xylaria warbugii*) di Sumatera dan strategi pengendaliannya. *Perspektif*. 16(2): 122-133.
- Zavala, M. G., Aguirre, C. P. A., Peñaherrera, F. A., Moreno, A., Corcuera, R. D. J. I., Feijoo, J. M. I., and Cevallos, J. M. 2024. GC-MS metabolite profiling of *Pseudocercospora fijiensis* isolates resistant to thiabendazole. *Plos one*. 19(11): e0313915.
- Zavala, M. G., Peñaherrera, F. A., Cevallos, J. M., and Peralta, E. L. 2017. GC-MS metabolite profiling of *Phytophthora infestans* resistant to metalaxyl. *European journal of plant pathology*. 149: 563-574.
- Zhang, Y., Zhang, B., Luo, C., Fu, Y., and Zhu, F. 2021. Fungicidal actions and resistance mechanisms of prochloraz to *Penicillium digitatum*. *Plant Disease*. 105(2): 408-415.