

**ANALISIS PROFIL METABOLIT JAMUR *Xylaria* sp. PENYEBAB
PENYAKIT BUSUK AKAR DAN PANGKAL BATANG TEBU
TERADAPTASI FUNGISIDA PROKLORAZ-Mn MENGGUNAKAN GC-MS**

SKRIPSI

Oleh

**Richo Achmad Hidayat
2214191050**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

ANALISIS PROFIL METABOLIT JAMUR *Xylaria* sp. PENYEBAB PENYAKIT BUSUK AKAR DAN PANGKAL BATANG TEBU TERADAPTASI FUNGISIDA PROKLORAZ-Mn MENGGUNAKAN GC-MS

Oleh

RICHO ACHMAD HIDAYAT

Xylaria sp. merupakan penyebab penyakit busuk akar dan pangkal batang pada tanaman tebu. Penggunaan fungisida merupakan salah satu pilihan untuk mengendalikan penyebab busuk akar dan pangkal batang. Namun penggunaan fungisida secara intensif berpotensi menimbulkan resistensi sehingga menurunkan efektivitas pengendalian. Perubahan resistensi diduga berkaitan dengan perubahan metabolit sekunder yang dihasilkan jamur. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan membandingkan profil metabolit sekunder *Xylaria* sp. isolat parental dan isolat teradaptasi fungisida prokloraz-Mn. Isolat *Xylaria* sp. ditumbuhkan pada media dengan penambahan fungisida prokloraz-Mn berdasar nilai EC_{50} . Media pertumbuhan disaring untuk memisahkan propagul jamur, dan kemudian dianalisis. Analisis metabolit sekunder *Xylaria* sp. dilakukan menggunakan metode *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai EC_{50} isolat parental sebesar 2,96 $\mu\text{g/ml}$ dan teradaptasi sebesar 3,28 $\mu\text{g/ml}$. Analisis GC-MS berhasil didapatkan total 29 metabolit sekunder dari kedua isolat berdasarkan nilai waktu retensi (*retention time*). Sebanyak 7 metabolit sekunder ditemukan pada kedua isolat, sedangkan 18 metabolit sekunder terbentuk pada masing-masing isolat. Metabolit sekunder yang diduga berperan dalam mekanisme adaptasi meliputi senyawa 4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-, 5-Hydroxymethylfurfural (HMF), Cyclotetrasiloxane, octamethyl-, Furfural, dan Levoglucosenone. Perbedaan profil metabolit sekunder antara kedua isolat mengindikasikan adanya perubahan jalur metabolisme sebagai bentuk adaptasi fisiologi jamur terhadap cekaman fungisida prokloraz-Mn. Senyawa-senyawa yang terbentuk tersebut berpotensi menjadi penanda (marker) mekanisme resistensi jamur *Xylaria* sp. terhadap fungisida.

Kata kunci: GC-MS, profil metabolit, prokloraz-Mn, resistensi fungisida, *Xylaria* sp.

ABSTRACT

METABOLITE PROFILE ANALYSIS OF *Xylaria* sp., THE CAUSAL AGENT OF SUGARCANE ROOT AND BASAL STEM ROT, ADAPTED TO PROCHLORAZ-Mn FUNGICIDE USING GC-MS

By

RICHO ACHMAD HIDAYAT

Xylaria sp. is a fungal pathogen causing root and basal stem rot disease in sugarcane. Fungicide application is one of the management options used to control this disease. However, intensive fungicide use may lead to the development of resistance, thereby reducing the effectiveness of disease control. The development of resistance is presumed to be associated with alterations in the secondary metabolites produced by the fungus. This study aimed to identify and compare the secondary metabolite profiles of the parental isolate and the prochloraz-Mn-adapted isolate of *Xylaria* sp. The isolates of *Xylaria* sp. were cultured on growth media supplemented with prochloraz-Mn fungicide based on their EC₅₀ values. The culture media were subsequently filtered to separate fungal propagules, and the filtrates were subjected to metabolite analysis. Secondary metabolite profiling of *Xylaria* sp. was performed using Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS). The results showed that the EC₅₀ values of the parental and adapted isolates were 2.96 µg mL⁻¹ and 3.28 µg mL⁻¹, respectively. GC-MS analysis successfully identified a total of 29 secondary metabolites from both isolates based on their retention times. Seven secondary metabolites were detected in both isolates, whereas 18 metabolites were uniquely produced by each isolate. Secondary metabolites presumed to be involved in the adaptation mechanism included 4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-, 5-Hydroxymethylfurfural (HMF), Cyclotetrasiloxane, octamethyl-, Furfural, and Levoglucosenone. Differences in the secondary metabolite profiles between the two isolates indicate alterations in metabolic pathways as a physiological adaptation of the fungus to prochloraz-Mn fungicide stress. These metabolites may potentially serve as markers of the resistance mechanism of *Xylaria* sp. to fungicides.

Keywords : Fungicide resistance, GC-MS, metabolite profile, prochloraz-Mn, *Xylaria* sp.

**ANALISIS PROFIL METABOLIT JAMUR *Xylaria* sp. PENYEBAB
PENYAKIT BUSUK AKAR DAN PANGKAL BATANG TEBU
TERADAPTASI FUNGISIDA PROKLORAZ-Mn MENGGUNAKAN GC-MS**

Oleh

Richo Achmad Hidayat

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

**: ANALISIS PROFIL METABOLIT JAMUR
Xylaria sp. PENYEBAB PENYAKIT BUSUK
AKAR DAN PANGKAL BATANG TEBU
TERADAPTASI FUNGISIDA PROKLORAZ-
Mn MENGGUNAKAN GC-MS**

Nama Mahasiswa

: Richo Achmad Hidayat

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2214191050

Program Studi

: Proteksi Tanaman

Fakultas

: Pertanian



1. Komisi Pembimbing

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

Dr. Ivayani, S.P., M.Si.
NIP. 198812292015042001

2. Ketua Jurusan Proteksi Tanaman

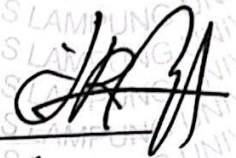
Dr. Tri Maryono, S.P., M.Si.
NIP. 198002082005011002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

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



Anggota Pembimbing

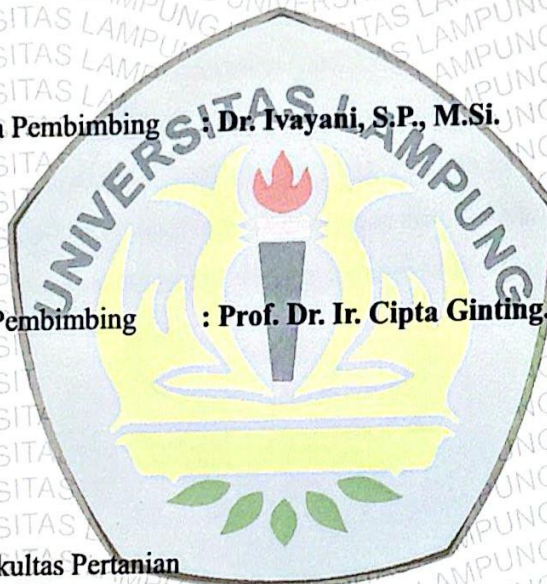
: Dr. Ivayani, S.P., M.Si.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Prof. Dr. Ir. Cipta Ginting, M.Sc.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. H. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP. 196411181989021002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 20 Mei 2026

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Analisis Profil Metabolit Jamur *Xylaria* sp. Penyebab Penyakit Busuk Akar dan Pangkal Batang Tebu Teradaptasi Fungisida Prokloraz-Mn Menggunakan GC-MS”** merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang ada dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 15 Mei 2026
Penulis,



Richo Achmad Hidayat
NPM. 2214191050

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Desa Suban Jeriji, Kecamatan Rambang Niru, Kabupaten Muara Enim pada tanggal 03 Januari 2003. Penulis merupakan anak kesayangan bungsu, dari pasangan Bapak Munjaedi dan Ibu Rinda Yani. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SDN 32 Rambang Dangku pada 20 Juni 2015, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Wana Lestari pada 23 Mei 2018, Sekolah Menengah Kejuruan (SMKN) di SMKN 1 Gelumbang pada 13 Juni 2022, dan pada tahun 2022 penulis diterima sebagai mahasiswa di Universitas Lampung, Program Studi Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sinar Banten, Kecamatan Bekri, Kabupaten Lampung Tengah pada periode 1 tahun 2025. Penulis pernah melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT Great Giant Pineapple, Kecamatan Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah di tahun 2025. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi internal kampus Himpunan Mahasiswa Proteksi Tanaman (HIMAPROTEKTA) sebagai anggota bidang Seminar dan Diskusi pada tahun 2024/2025.

PERSEMBAHAN

Rasa syukur kupersembahkan karya ini sebagai ungkapan terima kasihku untuk:

1. Kedua orang tuaku tercinta, Bapak Munjaedi dan Ibu Rindayani yang senantiasa mendoakan, selalu berusaha membuat anaknya setara dengan anak orang lain dan tiada hentinya memberikan motivasi, semangat, bimbingan serta kasih sayang kepada penulis,
2. Keluarga besar saya, terutama kakak perempuan saya Luluk Hanun Indarti yang memberikan dukungan, doa dan nasihat dalam menyelesaikan pendidikan,
3. Bapak dan Ibu Dosen Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Lampung, yang sangat berjasa dalam memberikan ilmu, nasihat, dan bimbingan kepada penulis, dan
4. Teman-teman mahasiswa Proteksi Tanaman angkatan 2022 atas kenangan bersama dalam menempuh pendidikan bersama di Jurusan Proteksi Tanaman.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(QS. Al-Baqarah (2): 286)

“Berusahalah menjadi seseorang yang mengerti dan mampu untuk dimengerti”

(Munjaedi)

“Menjadi seseorang yang tegas tidaklah dengan cara yang kasar, sebab situasi yang buruk datang dari perbuatan yang kasar dan amarah semata”

(Rindayani)

”Kerja dan berusaha hingga titik maksimal mu, karena hidup dengan keadaan miskin sangat tidak menyenangkan”

(Rindayani)

“Fortis fortuna adiuvat
(keberuntungan berpihak kepada orang yang berani)”

(John wick, 2023).

“Chi trova un amico trova un tesoro
(Siapa yang menemukan seorang teman, menemukan harta karun)”

(Italian proverb).

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat, rahmat, karunia dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Profil Metabolit Jamur *Xylaria* sp. Penyebab Penyakit Busuk Akar dan Pangkal Batang Tebu Teradaptasi Fungisida Prokloraz-Mn Menggunakan GC-MS”**. Tujuan dari penulisan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Pertanian di Universitas Lampung. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, oleh karena itu ucapan terimakasih penulis kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat. M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah memfasilitasi penulis untuk melakukan perkuliahan,
2. Bapak Dr. Tri Maryono, S.P., M.Si., selaku Ketua Jurusan Proteksi Tanaman Universitas Lampung, Dosen Pembimbing Pertama, dan Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, saran, motivasi dan nasihat terbaik kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi sampai tuntas,
3. Ibu Dr. Ivayani, S.P., M.Si. selaku Dosen Pembimbing kedua atas bimbingan, arahan dan nasihat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi,
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Cipta Ginting. M. Sc. Selaku dosen penguji Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis,
5. Seluruh dosen dan staf Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu, arahan, dan membantu penulis dalam menempuh pendidikan dan menyelesaikan penelitian,

6. Kedua orang tua penulis Bapak Munjaedi dan Ibu Rindayani yang senantiasa memberikan doanya, perhatian, nasihat dan bimbingan menjadi seseorang yang baik serta mendukung penulis dalam menyelesaikan pendidikan,
7. Kakak perempuan saya Luluk Hanun Indarti, S.Pd., M.Pd., Gr. yang membantu dalam memberikan bantuan, saran, nasihat dan motivasinya kepada penulis,
8. Teman-teman tim *Xylaria* sp. Ni Made Ria Prateka, Arina Mawadah, Sifa Permatasari, dan Anita Maharani dalam membantu dan menyelesaikan penelitian,
9. Teman-teman Jurusan Proteksi Tanaman angkatan 2022 yang memberikan banyak kenangan, canda tawa, nasihat dan kebersamaan selama menempuh pendidikan,
10. Teman-teman pandawa Wira, Hafidz, Lutfi, Naufal, Gani yang telah banyak menemani dan menghasbiskan waktu bersama dalam susah maupun senang.
11. Teman-teman KKN Sinar Banten 2025 Fadil, Alka, Ayunda, Agnes, Nony, Rahel yang telah memberikan semangat, nasihat, motivasi dan bantuan kepada penulis selama menyusun skripsi,
12. Teman-teman Fakultas hukum Bagun, Alfi, Bintang, Sandi, Keysa, dan Arah yang memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis, dan
13. Abah Adrian dan teman-teman selama di wisma Amanah Miftah, Andre, Asmar, Afrolin, Hafis, Galih, serta anak-anak prodi AGB yang memberikan semangat, dukungan dan hal lucu saat tinggal di wisma Amanah.

Bandar Lampung, 15 Mei 2026

Richo Achmad Hidayat
NPM. 2214191050

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	1
DAFTAR GAMBAR	2
1. PENDAHULUAN	3
1.1 Latar Belakang	3
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Kerangka Pemikiran.....	3
1.4 Hipotesis.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penyakit Busuk Akar Pangkal Batang Tebu (BAPB).....	5
2.2 Fungisida Prokloraz-Mn.....	7
III. METODE PENELITIAN	9
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	9
3.2 Alat dan Bahan	9
3.3 Pelaksanaan penelitian	9
3.3.1 Pembuatan Media <i>Potato Sucrose Agar</i> (PSA).....	9
3.3.2 Isolasi Jamur <i>Xylaria</i> sp. penyebab BAPB tebu	10
3.3.3 Adaptasi <i>Xylaria</i> sp. penyebab BAPB tebu terhadap fungisida Prokloraz-Mn.....	10
3.3.4 Sensivitas <i>Xylaria</i> sp. penyebab BAPB tebu terhadap Fungisida Prokloraz-Mn.....	10
3.3.5 Pembuatan Media <i>Potato Sucrose Broth</i> (PSB).....	11
3.3.6 Produksi Metabolit Jamur <i>Xylaria</i> sp. penyebab BAPB tebu	11
3.3.7 Analisis GC-MS	12
3.3.8 Analisis Data	12

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	13
4.1 Hasil	13
4.1.1 Hasil Isolasi.....	13
4.1.2 Adaptasi <i>Xylaria</i> sp. penyebab BAPB tebu terhadap fungisida prokloraz-Mn	13
4.1.3 EC ₅₀ isolat <i>Xylaria</i> sp. penyebab BAPB tebu parental dan teradaptasi fungisida prokloraz-Mn	14
4.1.4 Hasil analisis GC-MS metabolit sekunder isolat <i>Xylaria</i> sp. parental dan teradaptasi fungisida prokloraz-Mn	16
4.2 Pembahasan.....	19
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	22
5.1 Simpulan	22
5.2 Saran.....	22
DAFTAR PUSTAKA.....	23
LAMPIRAN.....	27

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. Diameter koloni isolat jamur <i>Xylaria</i> sp. pada media yang diberi fungisida prokloraz-Mn	14
2. Transformasi log ₁₀ konsentrasi fungisida uji dan persentase penghambatan pertumbuhan diameter koloni jamur <i>Xylaria</i> sp. isolat parental dan teradaptasi	14
3. Perbandingan metabolit sekunder <i>Xylaria</i> sp. isolat parental dan teradaptasi fungisida prokloraz Mn.	17
4. Tujuh senyawa metabolit yang sama ditemukan pada isolat jamur <i>Xylaria</i> sp. parental dan teradaptasi prochloraz-Mn.....	18
5. Senyawa metabolit sekunder pada jamur <i>Xylaria</i> sp. parental terhadap	28
6. Senyawa metabolit sekunder pada jamur <i>Xylaria</i> sp. teradaptasi teradaptasi fungisida prokloraz.....	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Struktur kimia fungisida prokloraz-Mn (FRAC, 2025)	8
2. Morfologi koloni jamur <i>Xylarias</i> sp. hasil isolasi.....	13
3. Diameter koloni jamur <i>Xylaria</i> sp. 15 hsi teradaptasi fungisida prokloraz-Mn dengan berbagai konsentrasi fungisida.	14
4. Regresi linear $\log_{10}$ konsentrasi fungisida prokloraz-Mn 50% dengan persentase penghambatan pertumbuhan diameter koloni jamur <i>Xylaria</i> sp. parental.	15
5. Regresi linear $\log_{10}$ konsentrasi fungisida prokloraz-Mn 50% dengan persentase penghambatan pertumbuhan diameter koloni jamur <i>Xylaria</i> sp. mutan.	15
6. Kromatogram sampel jamur <i>Xylaria</i> sp. parental.	16
7. Kromatogram sampel jamur <i>Xylaria</i> sp. teradaptasi.....	16
8. Diagram Venn perbandingan kandungan metabolit jamur <i>Xylaria</i> sp. parental dan teradaptasi.....	18
9. Laporan analisis kualitatif metabolit jamur <i>Xylaria</i> sp. parental menggunakan GC-MS.....	49
10. Laporan analisis kualitatif metabolit jamur <i>Xylaria</i> sp. teradaptasi menggunakan GC-MS.....	73

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanaman tebu (*Saccharum officinarum*) adalah tanaman dalam kelompok rumput-rumputan (Poaceae) dan sebagai bahan utama dalam industri gula putih. Gula putih merupakan salah satu kebutuhan pokok masyarakat. Gula putih juga diperlukan dalam beberapa industri seperti pangan, farmasi, kosmetik, dan beberapa industri lainnya (Alwani dkk., 2019). Produksi gula di Indonesia antara 2019 hingga 2023 mengalami fluktuasi. Pada tahun 2020, produksi menurun sebesar 103,65 ribu ton (4,65 %) menjadi 2,12 juta ton. Pada 2021, terjadi peningkatan sebesar 224,93 ribu ton (10,60 %) menjadi 2,35 juta ton, dan tahun 2022 meningkat lagi sebesar 54,32 ribu ton (2,31 %) menjadi 2,40 juta ton. Di tahun 2023, produksi kembali menurun sebesar 168,41 ribu ton (7,01 %).

Penyakit busuk akar dan pangkal batang (BAPB) yang disebabkan oleh *Xylaria* sp. merupakan permasalahan utama dalam budidaya tebu (Sitepu dkk., 2010). Infeksi *Xylaria* sp. menimbulkan kerusakan pada akar dan pangkal batang tebu. Akibatnya, pertumbuhan tebu terhambat, produktivitas menurun. Dampak lebih lanjut adalah seperti penurunan berat batang, penurunan rendemen, dan bahkan menyebabkan kematian pada tanaman (Maryono dkk., 2017). Dengan demikian, penyakit busuk pangkal dan akar batang perlu mendapatkan perhatian khusus dalam upaya menjaga stabilitas produksi gula nasional.

Sampai saat ini, belum tersedia metode pengendalian yang efektif untuk menekan kehilangan hasil akibat busuk akar dan pangkal batang tebu. Penggunaan fungisida menjadi salah satu alternatif pengendalian yang layak untuk dicoba untuk mengendalikan BAPB tebu. Salah satu kelompok fungisida yang dapat digunakan untuk mengendalikan BAPB tebu adalah fungisida kelompok

demethylation inhibitors (DMI). Fungisida prokloraz-Mn termasuk dalam kelompok DMI dan bekerja dengan cara menghambat sintesis ergosterol, yang merupakan komponen krusial dalam membran sel jamur. Fungisida prokloraz melemahkan enzim P450 sterol 14 α -demetilase (CYP51) yang dapat mengganggu keberlangsungan hidup jamur. Seiring penggunaan fungisida ini dapat membuat jamur beradaptasi sehingga bermutasi yang menyebabkan jamur menjadi resisten (Zhang *et al.*, 2021).

Salah satu resiko penggunaan fungisida untuk mengendalikan jamur patogen adalah munculnya resistensi. Resistensi merupakan kemampuan organisme untuk beradaptasi dari zat yang dapat membunuh seperti fungisida (Sumardiyono, 2008). Salah satu cara mengetahui mekanisme adaptasi jamur adalah dengan menganalisis metabolit sekundernya. Metabolit sekunder merupakan senyawa yang diproduksi organisme sebagai bentuk pertahanan diri terhadap stres lingkungan (Hersila dkk., 2023). Salah satu metode yang dapat digunakan menganalisis profil metabolit sekunder suatu organisme yaitu menggunakan *Gas Chromatography- Mass Spectrometry* (GC-MS).

GC-MS merupakan metode pemisahan sampel melalui kromatografi untuk memisahkan dan mengidentifikasi suatu senyawa-senyawa dalam komponen tertentu. GC-MS menggunakan dua alat yaitu kromatografi gas dan spektrometri massa sebagai detektor. Prinsip kerja alat ini adalah cairan diinjeksikan ke dalam injektor yang akan menguapkan dan memisahkan senyawa (Ayu dan Wonorahardjo, 2023). Dengan menggunakan metode ini diharapkan mampu mengetahui metabolit sekunder *Xylaria* sp. yang teradaptasi terhadap fungisida.

Penelitian ini mempelajari perubahan metabolit yang terjadi pada *Xylaria* sp. akibat adanya tekanan dari pemberian fungisida prokloraz-Mn. Hasil penelitian diharapkan dapat membantu dan memahami mekanisme resistensi yang terjadi pada jamur *Xylaria* sp. terhadap prokloraz-Mn.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi profil metabolit sekunder *Xylaria* sp. penyebab BAPB tebu isolat parental (belum terpapar fungisida) dan isolat teradaptasi terhadap fungisida prokloraz-Mn, dan
2. Membandingkan profil metabolit sekunder *Xylaria* sp. penyebab BAPB isolat parental (belum terpapar fungisida) dengan isolat teradaptasi terhadap fungisida prokloraz.

1.3 Kerangka Pemikiran

Resistensi merupakan kemampuan patogen untuk menyesuaikan diri dari keadaan yang buruk. Pemberian fungisida kepada jamur patogen dapat memicu hal buruk terhadap jamur. Akibat hal ini, jamur patogen terus berusaha menyesuaikan diri terhadap cekaman fungisida (Hajijah dkk., 2022). Upaya yang dilakukan diantaranya menghasilkan metabolit sekunder. Metabolit sekunder merupakan senyawa kimia yang diproduksi oleh organisme dengan fungsi sebagai upaya dalam pertahanan terhadap stres lingkungan (Riska dkk., 2013).

Metabolit jamur patogen dapat dianalisis menggunakan metode GC-MS. Metode ini bekerja dengan cara memisahkan metabolit berdasarkan sifat volatilitasnya melalui proses kromatografi gas (Warth dkk., 2015). Kromatografi gas digunakan untuk mengidentifikasi senyawa yang mudah menguap ketika dipanaskan dalam kondisi vakum yang tinggi dan tekanan rendah. Sementara itu, spektrometri massa berfungsi untuk menentukan berat molekul, rumus molekul, serta menghasilkan ion bermuatan dari senyawa tersebut (Hotmian dkk., 2021).

Penggunaan GC-MS untuk menganalisis profil metabolit sekunder terkait resistensi jamur terhadap fungisida telah dilaporkan oleh beberapa peneliti. Mariduen *et al.* (2024) berhasil mengidentifikasi metabolit sekunder *Pseudocercospora fijiensis* parental dan teradaptasi terhadap fungisida tiabendazol. Sementara itu, Lavergne *et al.* (2022) berhasil menganalisis resistensi *Aspergillus fumigatus* terhadap fungisida azole menggunakan metode GC-MS.

Sama halnya dengan Martel *et al.* (2010) yang berhasil melakukan analisis resistensi *Candida albicans* terhadap fungisida azole melalui metode GC-MS.

Berdasarkan laporan di atas, pada penelitian ini dilakukan identifikasi dan perbandingan profil metabolit sekunder *Xylaria* sp. penyebab BAPB tebu setelah dipapar fungisida prokloraz-Mn. Metabolit sekunder *Xylaria* sp. penyebab BAPB tebu dianalisis menggunakan metode analisis GC-MS. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang respons metabolomik *Xylaria* sp. penyebab BABP tebu setelah dipaparkan fungisida prokloraz-Mn.

1.4 Hipotesis

Berdasarkan kerangka pemikiran, hipotesis penelitian ini adalah

1. *Xylaria* sp. isolat parental dan isolat teradaptasi fungisida prokloraz-Mn memiliki profil metabolit sekunder yang khas, dan
2. Profil metabolit sekunder *Xylaria* sp. teradaptasi fungisida prokloraz-Mn berbeda dengan profil metabolit sekunder *Xylaria* sp. isolat parental.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penyakit Busuk Akar Pangkal Batang Tebu (BAPB)

Penyakit busuk akar dan pangkal batang merupakan salah satu penyakit penting pada tanaman tebu. Penyakit ini menyebabkan kerugian yang signifikan di Indonesia khususnya di Lampung dan Sumatera Selatan. Penyakit ini termasuk dalam kelompok penyakit tular tanah (*Soilborne disease*). Keberadaan penyakit ini dapat menyebabkan kerusakan organ dan gangguan fisiologis tanaman tebu. Penyakit ini dapat menimbulkan kerugian berupa penurunan produksi akibat kematian tanaman. Selain itu juga dapat menyebabkan tanaman keprasan (*ratoon cane*) sulit untuk mengeluarkan tunas baru (Maryono dkk., 2020).

Gejala penyakit busuk akar dan pangkal batang tebu diawali terjadinya perubahan warna daun dari hijau normal menjadi kuning pucat (klorosis) yang dimulai dari daun-daun bagian bawah kemudian menyebar ke atas. Selanjutnya, daun mengalami layu meskipun tanah dalam kondisi cukup lembab serta pangkal batang menunjukkan warna kecokelatan (Widowati dkk., 2022). Pada bagian pangkal batang, terlihat perubahan warna jaringan menjadi kecokelatan hingga kehitaman. Jaringan yang terinfeksi mengalami pembusukan yang pada akhirnya menyebabkan tanaman tidak dapat menyerap air dan hara secara optimal. Pada serangan berat, sebagian besar akar telah membusuk dan mudah putus saat tanaman dicabut dari tanah (Maryono dkk., 2017).

Jamur *Xylaria* sp. merupakan penyebab penyakit busuk akar dan pangkal batang pada tanaman tebu. Berdasarkan klasifikasi terbaru oleh Wijayawardene dkk. (2020), jamur ini termasuk ke dalam Kingdom *Fungi*, Divisi *Ascomycota*, Kelas

Sordariomycetes, Ordo *Xylariales*, Famili *Xylariaceae*, dan Genus *Xylaria*. Genus *Xylaria* merupakan genus terbesar dalam Famili *Xylariaceae* dan termasuk genus kosmopolitan terbesar dalam *Ascomycota*, dengan jumlah spesies yang terdaftar mencapai sekitar 571 spesies (Wijayawardene dkk., 2020), terutama tersebar di daerah tropis dan subtropis. Secara morfologi, *Xylaria* sp. merupakan jamur yang menghasilkan stroma sebagai struktur reproduksi utamanya. Stroma *Xylaria* sp. memiliki dua bentuk yaitu: stroma pertama berwarna hitam dengan ujung berwarna putih, berkelompok, dan bercabang banyak; stroma kedua berbentuk silindris dengan bagian ujung runcing, tunggal, bertangkai pendek tanpa cabang, dan berwarna hitam (Maryono dkk., 2017). Perkembangan stroma jamur *Xylaria* sp. pada media pertumbuhan berwarna putih kemudian lama-kelamaan berubah menjadi hitam dengan ujung yang tetap putih (Rachmawati, 2017).

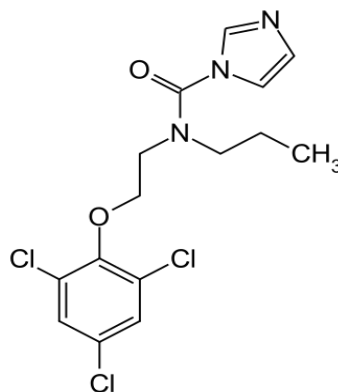
Jamur *Xylaria* sp. bersifat saprotrofik sekaligus patogenik. Sebagian besar spesies *Xylaria* ditemukan sebagai saprotrof pada kayu, kotoran hewan, maupun sarang rayap; sementara perannya sebagai fitopatogen relatif jarang ditemukan (Selvaraj dkk., 2024). Kemampuan jamur ini dalam mendegradasi lignin dan selulosa menjadikannya agen dekomposer penting dalam ekosistem. Namun dalam kondisi tertentu, terutama pada lahan dengan sejarah tanaman berkayu atau kondisi lingkungan yang mendukung, jamur ini dapat bersifat patogenik dan menyerang akar serta pangkal batang tanaman tebu (Maryono dkk., 2020)

Keterjadian penyakit busuk akar dan pangkal batang tebu dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara faktor inang (tebu), patogen (*Xylaria* sp.), dan lingkungan. Perkembangan jamur sangat dipengaruhi oleh curah hujan tinggi, kelembapan udara, dan ketersediaan kalium serta permeabilitas tanah (Maryono dkk., 2020). Curah hujan yang tinggi merupakan salah satu faktor utama yang mendukung perkembangan dan penyebaran jamur *Xylaria* sp. di dalam tanah. Kondisi tanah yang terus-menerus lembab menciptakan lingkungan yang sangat kondusif bagi pertumbuhan miselium dan perkembangan spora jamur. Selain itu, kelembapan udara yang tinggi juga turut mendukung pembentukan dan pelepasan spora. Kebutuhan akan cahaya sangat berpengaruh terhadap proses infeksi, sporulasi, pelepasan spora, dan penyebaran spora (Endarwati dkk., 2024).

Upaya pengendalian penyakit busuk akar dan pangkal batang pada tanaman tebu sampai saat ini terus dikembangkan. Berbagai upaya telah dilakukan termasuk pemilihan tanaman. Akan tetapi, upaya ini hanya efektif pada tanaman dari bibit. Namun pada tanaman keprasan (*ratoon cane*), tingkat penyakit kembali tinggi (Maryono dkk., 2020). Oleh karena itu, pengendalian terpadu yang mengkombinasikan berbagai metode pengendalian. Termasuk penggunaan agen hayati dari rizosfer yang dapat menekan perkembangan patogen, sangat diperlukan untuk mengurangi kerugian akibat penyakit ini secara berkelanjutan (Ren dkk., 2024).

2.2 Fungisida Prokloraz-Mn

Prokloraz-Mn adalah salah satu fungisida *demethylation inhibitors* (DMI) yang mulai dikenalkan di Cina pada abad ke-20 (Ge *et al.*, 2024). Fungisida DMI menargetkan sitokrom P450 sterol 14 α -demetilase (CYP51) dan dapat mengganggu biosintesis ergosterol pada membran sel jamur patogen. Struktur molekul prokloraz-Mn ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur kimia fungisida prokloraz-Mn (FRAC, 2025).

Fungisida prokloraz-Mn diketahui memiliki kemampuan menghambat biosintesis ergosterol pada sel jamur, yang merupakan komponen penting dalam menjaga stabilitas dan fungsi membran sel. Menurut Zhang *et al.* (2021), laju penurunan ergosterol pada isolat teradaptasi lebih tinggi dibandingkan isolat parental. Mekanisme penghambatan terjadi melalui inhibisi enzim CYP51 yang berperan dalam jalur biosintesis ergosterol, sehingga pembentukan ergosterol menjadi tidak

optimal dan dapat menyebabkan terganggunya membran sel serta menurunkan viabilitas jamur. Namun demikian, jamur memiliki mekanisme adaptasi yang dapat menurunkan efektivitas fungisida, salah satunya melalui aktivitas protein pompa efluks. Pompa efluks secara aktif mengeluarkan senyawa asing seperti fungisida keluar dari membran sel. Mekanisme ini menyebabkan penurunan konsentrasi fungisida di dalam sel sehingga berkontribusi terhadap peningkatan toleransi dan memicu terjadinya resistensi terhadap fungisida (Cuan *et al.*, 2024).

Salah satu contoh resistensi dari fungisida prokloraz-Mn ditemukan pada jamur *Penicillium digitatum*, penyebab penyakit kapang hijau (*green mold*) pada buah jeruk pascapanen. Jamur patogen ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan konidia dalam jumlah yang sangat tinggi. Fungisida prokloraz-Mn melemahkan membran sel jamur yakni ergosterol. Enzim yang terhambat CYP51 (sterol 14 α -demethylase) yang menyebabkan membran sel kekurangan komponen esensialnya dan terjadi penumpukan senyawa sterol yang bersifat toksik bagi jamur. Akibat hal ini jamur *P. digitatum* mengubah bentuk enzim target yang tidak dikenali prokloraz-Mn (Zhang *et al.*, 2021).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Agustus 2025 sampai Maret 2026 di Laboratorium Ilmu Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Jurusan Proteksi Tanaman, Universitas Lampung dan Laboratorium Sentral Universitas Padjadjaran, Bandung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah autoklaf, *Laminar Air Flow* (LAF), timbangan, labu erlenmeyer, *microwave*, mikropipet, mesin GC-MS, cawan petri, *beaker glass*, bunsen, pinset, skapel, kertas label, tisu, *plastic wrap*, plastik tahan panas, nampan, bor gabus, alat tulis dan kamera. Sedangkan bahan yang digunakan pada penelitian adalah isolat jamur *Xylaria* sp., kentang, agar batang, gula, alkohol, spritus, korek api, asam laktat ($C_3H_6O_3$), aquades dan fungisida prokloraz-Mn.

3.3 Pelaksanaan penelitian

3.3.1 Pembuatan Media *Potato Sucrose Agar* (PSA)

Komposisi media yang digunakan adalah: kentang, agar, sukrosa, asam laktat, dan aquades 1000 ml. Kentang dikupas sampai bersih lalu dipotong dadu. Kentang kemudian dicuci dan ditimbang sebanyak 200 g. Setelah ditimbang, kentang dimasukkan ke dalam *beaker glass* berisi aquades 1000 ml, dan kemudian direbus sampai mendidih. Setelah itu, ekstrak kentang dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer yang telah ditambahkan agar dan sukrosa, masing-masing 20 g. Labu erlenmeyer ditutup dengan aluminium foil, kemudian diautoklaf pada suhu

121°C, tekanan 1 atm, selama 30 menit. Media yang sudah disterilkan kemudian diberi asam laktat dan dituang pada cawan petri (Purba dkk., 2022).

3.3.2 Isolasi Jamur *Xylaria* sp. penyebab BAPB tebu

Jamur *Xylaria* sp. diisolasi dari pangkal batang tanaman tebu yang menunjukkan gejala. Jaringan sakit dan sehat dipotong dengan rasio 1:3 (satu bagian tanaman sakit dan tiga bagian sehat), kemudian dilakukan sterilisasi bertingkat dengan merendamnya dalam larutan klorox 10 % selama 5 menit, alkohol 70 % selama 5 menit, dan aquades 2 ml selama 5 menit. Setelah proses sterilisasi, potongan jaringan tanaman tersebut dikeringkan di atas tissu bersih dan kemudian ditanam secara terpisah dalam cawan berisi media PSA.

3.3.3 Adaptasi *Xylaria* sp. penyebab BAPB tebu terhadap fungisida Prokloraz-Mn

Adaptasi dilakukan dengan menumbuhkan jamur *Xylaria* sp. pada media PSA dengan konsentrasi fungisida ditingkatkan secara bertahap (Du *et al.*, 2021). Jamur *Xylaria* sp. ditumbuhkan pada media PSA prokloraz-Mn dengan konsentrasi 1 µg/ml, kemudian di inkubasi pada suhu 25 °C dalam gelap selama 10 hari. Jamur yang tumbuh kemudian dipotong menggunakan *cork borer* dan dipindahkan ke media PSA baru dengan konsentrasi prokloraz-Mn 2 µg/ml. Siklus ini dilakukan berulang sampai konsentrasi prokloraz-Mn mencapai 8 µg/ml. Setelah jamur tumbuh pada konsentrasi tertinggi, jamur dipindahkan ke media PSA tanpa fungisida dan digunakan dalam pengujian.

3.3.4 Sensivitas *Xylaria* sp. penyebab BAPB tebu terhadap Fungisida Prokloraz-Mn

Uji sensitivitas dilakukan untuk menentukan nilai konsentrasi efektif 50 % (EC₅₀) fungisida prokloraz-Mn pada *Xylaria* sp. penyebab BAPB tebu. Pengujian dilakukan menggunakan metode Du *et al.* (2021) dengan beberapa modifikasi pada konsentrasi yang digunakan yaitu: 0, 1, 3, 5, 7 dan 9 µg/ml. Potongan koloni *Xylaria* sp. berdiameter 5 mm diambil dari koloni berumur 8 hari, kemudian

diletakkan pada cawan petri yang telah berisi media PSA mengandung fungisida prokloraz-Mn sesuai konsentrasi uji. dan kemudian diinkubasi pada suhu 25 °C selama 24 hari. Pertumbuhan koloni diamati dengan mengukur diameter koloni menggunakan penggaris. Penghambatan pertumbuhan koloni dihitung menggunakan rumus:

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

Keterangan:

I = Persentase penghambat (%),

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

dp = Diameter pertumbuhan koloni pada perlakuan konsentrasi fungisida dan pembanding (cm).

Nilai EC₅₀ dihitung menggunakan regresi liner sederhana antara logaritma (log₁₀) konsentrasi dengan persentase penghambat pertumbuhan koloni (Du *et al.*, 2021).

3.3.5 Pembuatan Media *Potato Sucrose Broth* (PSB)

Pembuatan media PSB mengikuti prosedur Juni dan Prasetya (2023). Kentang dikupas kemudian dipotong dadu dan ditimbang sebanyak 200 g, dicuci dan dipotong kecil. Kemudian, kentang direbus dengan aquades sebanyak 1000 ml selama 15 menit. Selanjutnya disaring rebusan kentang dan ditampung pada labu erlenmayer dengan ditambahkan gula pasir sebanyak 20 g. Langkah selanjutnya, labu erlenmayer ditutup menggunakan alumunim foil serta dibungkus menggunakan plastik tahan panas. Media disterilkan dengan autoklaf pada suhu 121 °C selama 15 menit. Media dibiarkan sebentar setelah keluar dari autoklaf supaya suhu menjadi dingin dan siap untuk digunakan.

3.3.6 Produksi Metabolit Jamur *Xylaria* sp. penyebab BAPB tebu

Metabolit *Xylaria* sp. diproduksi menggunakan metode Nurulita dkk. (2020).

Media PSB disiapkan beserta *Xylaria* sp. dari media PSA. Koloni jamur diambil 0,5 cm menggunakan bor gabus dan dimasukkan ke media PSB yang telah diberi fungisida prokloraz-Mn 5 µg/ml. Selanjutnya, labu erlenmayer ditutup

menggunakan aluminium foil untuk menghindari kontaminasi dan dilakukan inkubasi selama 7 hari pada *shaker* dengan kecepatan 150 rpm. Setelah selasi, propagul jamur disaring dan cairan media yang mengandung metabolit sekunder dimasukkan dalam botol untuk dikirim ke Laboratorium Sentral Universitas Padjajaran untuk selanjutnya dilakukan analisis GC-MS.

3.3.7 Analisis GC-MS

Sampel hasil penyaringan diinjeksi pada kolom GC kemudian dipanaskan pada suhu 200°C dengan *split ratio* 10:1. Sebagian kecil sampel lalu masuk ke kolom kromatografi. Gas pembawa berupa helium dengan laju alir 1 mL/menit mengangkut senyawa terpisah berdasarkan volatilitasnya dengan kolom WAX (30 m × 0,25 µm × 0,25 µm). Peningkatan suhu oven secara bertahap dimulai dari 40°C selama 3 menit, lalu dinaikkan dengan laju 10°C/menit sampai 100°C selama 2 menit, kemudian dinaikkan lagi dengan laju yang sama hingga 280°C selama 5 menit, sehingga total waktu analisis adalah 34 menit. Setelah melewati kolom GC, senyawa yang terelusi masuk ke detektor MS melewati transfer line pada suhu 180°C, dengan ionisasi dilakukan dengan energi 70 eV. Detektor MS diatur pada suhu sumber ion 230°C dengan suhu quadrupole 150°C. Data diakusisi dalam mode *full scan* dengan rentang massa m/z 20–500. Senyawa diidentifikasi dengan pencocokan spektrum massa terhadap *database* NIST 17.

3.3.8 Analisis Data

Data hasil GC-MS selanjutnya dikelompokkan berdasarkan golongan senyawanya. Perubahan kelimpahan senyawa dari masing-masing sampel dihitung menggunakan nilai rasio atau *fold change* (FC) Salvatore *et al.* (2024) dengan rumus sebagai berikut:

$$FC = \frac{\% \text{ Area isolat teradaptasi}}{\% \text{ Area isolat parental}}$$

Nilai FC <1 menunjukan adanya penurunan % area metabolit sekunder tersebut, sedangkan jika FC >1 menunjukan ada peningkatan metabolit sekunder.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik simpulan sebagai berikut.

1. Profil metabolit sekunder isolat *Xylaria* sp. parental teridentifikasi memiliki 18 senyawa dengan tiga metabolit dominan, yaitu 5-Hydroxymethylfurfural (36,30%), L-Lactic acid (25,25%), dan Cirsiumaldehyde (14,98%). Adapun isolat teradaptasi teridentifikasi 18 senyawa dengan metabolit dominan berupa 5-Hydroxymethylfurfural (47,5%), Furfural (10,79%), dan L-Lactic acid (10,93%), sehingga total keseluruhan diperoleh 36 senyawa yang teridentifikasi dari kedua isolat.
2. Perbandingan profil metabolit sekunder isolat *Xylaria* sp. teradaptasi dan isolat parental menunjukkan adanya perbedaan, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Hal ini terlihat dari adanya peningkatan dan penurunan konsentrasi setiap senyawa isolat *Xylaria* sp. terhadap fungisida prokloraz-Mn terbukti diiringi oleh perubahan profil metabolit yang menyeluruh, yang diduga merupakan bentuk adaptasi metabolisme jamur dalam merespons cekaman fungisida prokloraz-Mn.

5.2 Saran

Saran terhadap penelitian ini penambahan waktu lebih lama saat jamur terpapar fungisida dengan harapan nilai EC_{50} meningkat lebih besar. .

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, M., Mirakhorli, N., Erginbas-Orakci, G., Ansari, O., Braun, H. J., Paulitz, T., and Dababat, A. A. 2022. Interactions among cereal cyst nematode *Heterodera filipjevi*, dryland crown rot *Fusarium culmorum*, and drought on grain yield components and disease severity in bread wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 44(3): 415–431.
- Agrios, G. N. 2005. *Plant Pathology*. 5th edition. New York (US). Elsevier Academic Press.
- Alwani, M., Meiriani, dan Lisa, M. 2019. Pertumbuhan bibit bud set tebu (*Saccharum officinarum* L.) pada berbagai umur bahan tanam dan lama penyimpanan. *Jurnal Agroteknologi FP USU*. 1(7): 176-180.
- Ayu, M. H. M. dan Wonorahardjo, S. 2023. Optimasi metode penetapan senyawa eugenol dalam minyak cengkeh menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrum* dengan variasi suhu injeksi. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*. 6(2): 95-103.
- Cuan, R., Liu, S., Zhou, C., Wang, S., Zheng, Y., dan Yuan, Y. 2024. Analisis transkriptom mutasi *Penicillium digitatum* yang cacat mfs2 untuk mengungkapkan pentingnya pd mfs2 dalam mengembangkan resistensi jamur terhadap prokloraz. *Mikroorganisme*. 12(5): 888.
- Du, Y., Shi, N., Ruan, H., Miao, J., Yan, H., Shi, C., dan 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.
- Endarwati, D., Maryono, T., Pramono, S., Akin, H. M., Pranata, H., dan Saefudin, S. 2024. Pengaruh faktor lingkungan terhadap pertumbuhan miselium *Xylaria* sp. penyebab penyakit lapuk akar dan pangkal batang tebu. *Jurnal Agrotek Tropika*. 12(3): 571-577.
- Erginbaş, G., Kılınç, A. T., Laasli Eddine, S., Mokrini, F., and Dababat, A. 2022. Identifikasi resistensi genetik terhadap busuk mahkota dan akar akibat *Fusarium culmorum* dan nematoda kista sereal (*Heterodera filipjevi*) pada varietas sereal Turki. *Uluslararası Tarım Ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*. 8 (3): 450-461.
- FRAC. 2025. Struktur kimia fungisida Prokloraz. <https://www.frac.info/media/ljsi3qrv/frac-code-list-2025.pdf>. Diakses pada 30 April 2026.

- Ge, C., Dong, D., Mao, C., Zhang, Q., dan Zhang, C. 2024. Karakterisasi, mekanisme molekuler resistensi prokloraz pada *Fusarium fujikuroi* dan pengembangan teknik deteksi cepat amplifikasi isothermal termediasi loop berdasarkan genotipe resistensi S312T. *Jurnal Fungi*. 10(8): 560.
- Hajijah, H., Mariana, M., dan Pramudi, M. I. 2022. Uji resistensi *Colletotrichum* sp. asal cabai hiyung terhadap fungisida berbahan aktif Klorotalonil dan Mankozeb. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropika*. 5(2): 455-465.
- Hersila, N., Chatri, M. Vauzia. dan Irdawati. 2023. Senyawa metabolit sekunder (tanin) pada tanaman sebagai antifungi. *Jurnal Embrio*. 15(1) :16-22
- Hotmian, E., Suoth, E., Fatimawali, F., dan Tallei, T. 2021. Analisis GC-MS (*gas kromatografi-spektrometri massa*) ekstrak metanol dari umbi rumput teki (*cyperus rotundus* L.). *Farmasi*. 10(2): 849-856.
- Hou, Y. N., Wang, Y. R., Zheng, C. H., and Feng, K. 2020. Biotransformation of 5-hydroxymethylfurfural into 2,5-dihydroxymethylfuran by *Ganoderma sessile* and toxicological assessment of both compounds. *AMB Express*. 10(1): 88.
- Islam, T., Danishuddin, Tamanna, N. T., Matin, M. N., Barai, H. R., and Haque, M. A. 2024. Resistance mechanisms of plant pathogenic fungi to fungicide, environmental impacts of fungicides, and sustainable solutions. *Plants*. 13(19): 2737.
- Iwaki, A., Kawai, T., Yamamoto, Y., and Izawa, S. 2013. Biomass conversion inhibitors furfural and 5-hydroxymethylfurfural induce formation of messenger RNP granules and attenuate translation activity in *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl. environment. microbiol.* 79(5): 1661-7.
- Kusbiantoro, D. dan Purwaningrum. 2018. Pemanfaatan kandungan metabolit sekunder pada tanaman kunyit dalam mendukung peningkatan pendapatan masyarakat. *Kultivasi*. 17(1): 544-549.
- Korpioja, M. E., Sveholm, E., Dilokpimol, A., Paasela, T., and Kovalchuk, A. 2025. Transcriptome analysis of *Aspergillus oryzae* RIB40 under chemical stress reveals mechanisms of adaptation to fungistatic compounds of lignocellulosic side streams. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 18, 89.
- Lavergne, R. A., Albassier, M., Hardouin, J. B., Alvarez-Moreno, C., Pagniez, F., Morio, F., and Ourliac-Garnier, I. 2022. Impact of TR34/L98H, TR46/Y121F/T289A and TR53 alterations in azole-resistant *Aspergillus fumigatus* on sterol composition and modifications after in vitro exposure to itraconazole and voriconazole. *Microorganisms*. 10(1): 104.
- Liu, A., Xu, R., Zhang, S., Wang, Y., Hu, B., Ao, X., Li, Q., Li, J., Hu, K., Yang, Y., and Liu, S. 2022. Antifungal Mechanisms and Application of Lactic Acid Bacteria in Bakery Products: A Review. *Frontiers in microbiology*. 13: 924398.

- Maridueña-Zavala, M. G., Chong-Aguirre, P. A., Freire-Peñaherrera, A., Moreno, A., Reyes-De-Corcuera, J. I., Jiménez, F. M. I., and Cevallos-Cevallos, J. M. 2024. GC-MS metabolite profiling of *Pseudocercospora fijiensis* isolates resistant to thiabendazole. *PloS one*. 19(11): e0313915.
- Maryono, T., Widiastuti, A., dan Priyatmojo, A. 2017. Penyakit busuk akar dan pangkal batang tebu di Sumatera Selatan. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 13(2): 67-67.
- Martel, C. M., Parker, J. E., Bader, O., Weig, M., Gross, U., Warrilow, A. G., and Kelly, S. L. 2010. Identification and characterization of four azole-resistant *erg3* mutants of *Candida albicans*. *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 54(11): 4527-4533.
- Narale, S. B. 2024. *Wawasan Metabolomic tentang Aktivitas Fungisida dan Mekanisme Resistensi*. Rahuri, Maharashtra.
- Nurulita, Y., Yuharmen, Y., Nenci, N., Mellani, A. O., dan Nugroho, T. T. 2020. Metabolit sekunder sekresi jamur *Penicillium* spp. isolat tanah gambut Riau sebagai antijamur *Candida albicans*. *Chimica et Natura Acta*, 8(3), 133-143.
- Park, J. and Son, H. 2024. Antioxidant Systems of Plant Pathogenic Fungi: Functions in Oxidative Stress Response and Their Regulatory Mechanisms. *The plant pathology journal*. 40(3): 235–250.
- Purba, J. F., Ginting, C., Akin, H. M., Prasetyo, J., dan Ivayani, I. 2022. Inventarisasi penyakit tanaman buah naga (*Hylocereus polyrhizus*) Di Kabupaten Way Kanan. *Jurnal Agrotek Tropika*. 10 (3): 437-445.
- Rachmawati, A. 2017. Skrining jamur antagonis terhadap jamur *Xylaria* sp. Penyebab penyakit lapuk akar dan pangkal batang tebu. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Ren, Q., Khan, A., Zhang, J., Bao, Y., Khan, M. T., Wang, J., Xu, S., and Zhang, M. 2024. Fungal community dynamics associated with the outbreaks of sugarcane root rot disease. *Microbiology spectrum*. 12(2), e0309023.
- Riska, A., Wenry, J. A. M, dan La, A. 2013. Identifikasi senyawa alkaloid dari ekstrak metanol kulit batang mangga (*Mangifera indica* L). *Jurnal Entropi*. 7(1): 514-519
- Salvatore, M. M., Maione, A., Imparato, 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.
- Selvaraj, P., Muralishankar, V., Muruganantham, S., Tham, J. H. F., Saeroji, S., Susiyanti, E., Lau, K. J. X., and Naqvi, N. I. 2024. Draft genome sequence of *Xylaria bambusicola* isolate GMP-LS, the root and basal stem rot pathogen of sugarcane in Indonesia. *Microbiology resource announcements*. 13(3): e0104323.

- Sharma, D., Pramanik, A., and Kumar, P. A. 2016. Evaluation of bioactive secondary metabolites from endophytic fungus *Pestalotiopsis neglecta* BAB-5510 isolated from leaves of *Cupressus torulosa* D.Don. *3 Biotech.* 6(2): 210.
- Sitepu, R., Sunaryo, Widyatmoko, K., and Purwoko, H. 2010. Root and basal stem rot disease of sugarcane in Lampung, Indonesia. Di dalam: *Prosiding Kongress XXVII International Society of Sugar Cane Technologists*; 2010 Mar 7–11; Veracruz (MX): ISSCT. hlm 1–7.
- 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.
- Sumardiyono, C. 2008. Ketahanan jamur terhadap fungisida di Indonesia. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia.* 14(1): 1-5.
- Wang, H., Yan, Y., Wang, J., Zhang, H., and Qi, W. 2012. Produksi dan karakterisasi senyawa antifungal yang diproduksi oleh *Lactobacillus plantarum* IMAU10014. *PLoS ONE.* 7(1): e29452.
- Warth, B., Parich, A., Bueschl, C., Schoefbeck, D., Neumann, N. K. N., Kluger, B., and Schuhmacher, R. 2015. GC–MS based targeted metabolic profiling identifies changes in the wheat metabolome following *deoxynivalenol* treatment. *Metabolomik.* 11: 722-738.
- 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.
- Wulandara, D. O. 2019. Resistensi silang jamur *Metarhizium flavoviride* terhadap beberapa jenis fungisida secara in vitro. *Skripsi.* Universitas Lampung.
- Yadav, G., Sonigra, P., and Nagda, A. 2026. Wawasan fitokimia dan bioaktif pada jamur endofit dari *Wrightia tinctoria* dengan penekanan pada potensi metabolit *Xylaria rohrensensis*. *Sci Rep.* 16: 475.
- Zahra, A. N. dan Chatri, M. 2024. Peranan senyawa metabolit sekunder untuk pengendalian penyakit pada tanaman. *Jurnal Pendidikan Tambusai.* 8(1): 15900-15911.
- Zhang, R., Xu, Q., Zhang, Y., dan Zhu, F. 2018. Baseline sensitivity and toxic actions of prochloraz to *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant disease.* 102(11): 2149-2157.
- Zhang, Y., Zhang, B., Luo, C., Fu, Y., dan Zhu, F. 2021. Fungicidal action and resistance mechanisms of prochloraz to *Penicillium digitatum*. *Plant disease.* 105(2): 409-416.