

**ANALISIS METABOLOMIK VARIETAS TEBU (*Saccarhum Officinarum* L.)
TERKAIT KETAHANAN TERHADAP
PENYAKIT BUSUK MERAH**

(Skripsi)

Oleh

**Tri Meisyah Putri
2014121035**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

ANALISIS METABOLOMIK VARIETAS TEBU (*Saccharum Officinarum* L.) TERKAIT KETAHANAN TERHADAP PENYAKIT BUSUK MERAH

Oleh

TRI MEISYAH PUTRI

Penyakit busuk merah pada tebu disebabkan *Colletotrichum falcatum* menghambat produksi tebu. Penyakit ini mengakibatkan penurunan kandungan nira batang tebu sampai 75% dan kehilangan hasil sampai 10%. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan profil metabolit sekunder varietas tebu tahan dan varietas peka terhadap penyakit busuk merah. Pendekatan kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS) digunakan untuk mengidentifikasi perbedaan metabolit pada varietas tebu peka dan tahan terhadap busuk merah. Dua varietas tebu dengan ketahanan berbeda, GMP5 (tahan busuk merah) dan GMP 7 (rentan busuk merah), diprofilkan metabolitnya. Data profil metabolit dianalisis menggunakan statistik multivariat, yaitu *partial least square-discriminat analysis* (PLS-DA) dan *Hierarchical cluster analysis*. Analisis dilakukan menggunakan *metaboanalyst* 6.0. Analisis GC-MS berhasil mengidentifikasi 74 senyawa metabolit berbeda dengan 20 senyawa yang sama terdapat pada keduanya. Metabolit sekunder tebu Varietas GMP 5 didominasi oleh senyawa golongan alkaloid dan *fatty acid*, sedangkan metabolit sekunder tebu Varietas GMP 7 didominasi oleh senyawa golongan terpenoid dan steroid. Pemisahan metabolit sekunder varietas tahan dan peka dapat dilakukan menggunakan metode PLS-DA dan untuk pengelompokannya dilakukan menggunakan metode *Hierarchical Cluster Analysis*. Hasil analisis *Variable Importance in Projection* (VIP) untuk melihat metabolit yang paling berperan dalam perbedaan antara Varietas GMP 5 dan GMP 7 didapatkan 15 metabolit dengan nilai VIP > 1.

Kata kunci: analisis kluster, *Colletotrichum falcatum*, GC-MS, PLS-DA, VIP skor.

ABSTRACT

METABOLOMIC ANALYSIS OF SUGARCANE (*Saccharum Officinarum* L.) VARIETIES RELATING TO RESISTANCE TO RED ROT DISEASE

By

TRI MEISYAH PUTRI

*Red rot disease in sugarcane, caused by the *Colletotrichum falcatum*, is a significant limiting factor for sugarcane production in various countries. This disease can lead to a reduction of up to 75% in the sugar content of cane stalks and result in yield losses of about 10%. This study aims to compare the secondary metabolite profiles between resistant and susceptible sugarcane varieties to red rot. In this research, gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was employed to identify differences in metabolites related to resistance against red rot. Two sugarcane varieties with differing resistance levels were analyzed: GMP5 (resistant to red rot) and GMP7 (susceptible). The metabolite profiles were assessed using multivariate statistical methods, partial least squares discriminant analysis (PLS-DA), and hierarchical cluster analysis. The analysis was conducted using MetaboAnalyst 6.0. The GC-MS results successfully identified 74 metabolite compounds in each variety, with 20 compounds common to both. The secondary metabolites in the GMP5 variety were predominantly alkaloids and fatty acids, while the GMP7 variety was mainly characterized by terpenoids and steroid. The separation of secondary metabolites between resistant and susceptible varieties was effectively achieved using PLS-DA and clustering of these metabolites was performed through hierarchical cluster analysis. The Variable Importance in Projection (VIP) analysis revealed 15 metabolites with VIP values greater than 1 that played significant roles in distinguishing between the both of varieties.*

Keywords: *cluster analysis, *Colletotrichum falcatum*, GC-MS, PLS-DA, VIP score.*

**ANALISIS METABOLOMIK VARIETAS TEBU (*Saccharum Officinarum* L.)
TERKAIT KETAHANAN TERHADAP
PENYAKIT BUSUK MERAH**

Oleh

TRI MEISYAH PUTRI

Skripsi

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

pada

**Jurusan Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : **ANALISIS METABOLOMIK VARIETAS
TEBU (*Saccharum Officinarum* L.) TERKAIT
KETAHANAN TERHADAP PENYAKIT
BUSUK MERAH**

Nama Mahasiswa : **Tri Meisyah**

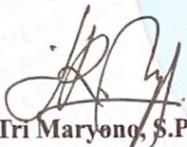
Nomor Pokok Mahasiswa : 2014121035

Program Studi : Agroteknologi

Fakultas : Pertanian

MENYETUJUI:

1. Komisi Pembimbing,

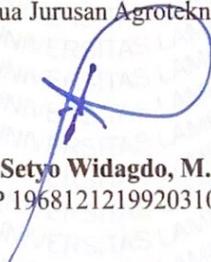


Dr. Tri Maryono, S.P., M.Si.
NIP 198002082005011002



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP 196411181989021002

2. Ketua Jurusan Agroteknologi,

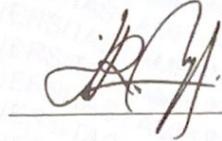


Ir. Setyo Widagdo, M.Si.
NIP 196812121992031004

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

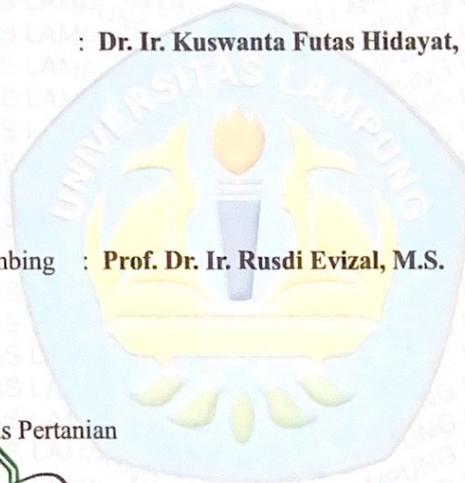
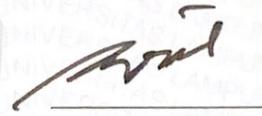
Ketua : **Dr. Tri Maryono, S.P., M.Si.**



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



Penguji
Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Ir. Rusdi Evizal, M.S.**



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 18 November 2024

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “**ANALISIS METABOLOMIK VARIETAS TEBU (*Saccharum Officinarum* L.) TERKAIT KETAHANAN TERHADAP PENYAKIT BUSUK MERAH**” 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 hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 10 November 2024
Penulis,



Tri Meisyah Putri
NPM. 2014121035

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Tri Meisyah Putri yang dilahirkan di kota Bandar Lampung pada 31 Mei 2002, merupakan anak bungsu dari tiga bersaudara pasangan Bapak Mulyadi dan Ibu Elviyanti. Penulis telah menyelesaikan Pendidikan Sekolah Dasar Negeri (SDN) di SDN 35 Percontohan Lahat pada 2008-2014, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Santo Yosef Lahat pada 2014-2017, dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) di SMA Negeri 8 Bandar Lampung pada 2017-2020, pada 2020 penulis diterima sebagai mahasiswa di Universitas Lampung dengan Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian.

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode I 2023 di Pekon Sumur Jaya, Kecamatan Pesisir Selatan, Kabupaten Pesisir Barat. Penulis juga telah melaksanakan Praktik Umum (PU) di Balai Pengujian Standar Instrumen Tanaman Rempah, Obat dan Aromatik, Kementerian Pertanian, Kota Bogor, Provinsi Jawa Barat pada 2023. Selama menempuh pendidikan, penulis pernah menjadi asisten dosen mata kuliah Dasar-Dasar Agronomi Jurusan Proteksi Tanaman, Kimia Dasar Jurusan Teknik Pertanian, dan Bahasa Inggris Jurusan Agroteknologi. Selama menjadi mahasiswa, penulis juga aktif dalam unit kegiatan mahasiswa (UKM) English Society pada 2021, serta bergabung Persatuan Mahasiswa Agroteknologi (Perma AGT) sebagai anggota Bidang Hubungan Eksternal Periode 2022.

PERSEMBAHAN

Puji Syukur Alhamdulillah atas ke hadirat Allah SWT serta sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW dengan segala nikmat dan karunia-Nya kepada Peneliti sehingga karya tulis ini dapat terselesaikan dengan baik

Karya sederhana ini kupersembahkan kepada :

Kedua Orangtuaku, Papa dan Mama

Almarhum Papa Mulyadi dan Mama Elviyanti yang telah merawat, membersarkan, mendidik penulis dari kecil hingga dewasa. Terima kasih atas doa, cinta, kepercayaan dan segala bentuk yang telah diberikan, sehingga penulis merasa terdukung di segala pilihan dan keputusan yang diambil oleh penulis, serta tanpa lelah mendengar keluh kesah penulis hingga saat ini. Semoga Allah SWT memberikan keberkahan di dunia serta tempat yang terbaik di akhirat, papa dan mama telah menjadi figur orang tua terbaik bagi penulis.

Keluargaku Tersayang

Terima kasih kepada: Ibu Elsa, Abang Wahyu, Mas Agung, Yuk Lia, Kak Akbar, dan Ses Nanda atas semangat, do'a, serta dukungan kepada penulis selama ini. Terima kasih juga atas bimbingan dan bantuannya dalam mengarahkan penulis ke arah yang lebih baik. Semoga selalu diberi kesehatan, kebahagiaan, dan kelancaran dalam menjalani kehidupan dan mewujudkan impian yang ingin dicapai.

MOTTO

“Tidak ada ujian yang tidak bisa diselesaikan. Tidak ada kesulitan yang melebihi batas kesanggupan. Karena Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya”
(Q.S Al-Baqarah : 286)

“Allah tidak mengatakan bahwa hidup ini mudah, tetapi Allah berjanji bahwa sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”
(Q.S Al-in syirah : 5-6)

“It will pass, everything you have gone thorough it will pass”
-Rachel Venny

“Barang siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan mudahkan baginya jalan menuju surga”.
(HR. Muslim, no.2699)

SANWACANA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, Karena atas berkat, rahmat, karunia dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Metabolomik Varietas Tebu (*Saccharum Officinarum* L.) Terkait Ketahanan Terhadap Penyakit Busuk Merah**”. 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 terima kasih penulis kepada:

1. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P, selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung, Dosen Pembimbing Akademik, sekaligus Dosen Pembimbing Kedua yang senantiasa mengarahkan, memberikan bimbingan, nasehat, dan motivasi kepada penulis dari awal masa perkuliahan hingga tahap penyelesaian skripsi ini;
2. Ir. Setyo Widago, M.Si., selaku Ketua Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
3. Prof. Dr. Ir. Rusdi Evizal, M.S., selaku Ketua Bidang Peminatan Teknologi Perkebunan sekaligus Dosen Pembahas yang telah memberikan bimbingan, bantuan, nasihat, saran, dan motivasi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
4. Dr. Tri Maryono, S.P., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama, terima kasih telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan arahan, bimbingan, dukungan, bantuan, saran, dan motivasi kepada penulis selama proses penelitian hingga penyelesaian skripsi ini;
5. Seluruh Dosen Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Lampung, khususnya Dosen dari minat Teknologi Perkebunan, terima kasih

telah memberikan ilmu, dan pembelajaran kepada penulis selama menempuh pendidikan hingga memperoleh gelar Sarjana ini;

6. Seluruh Staff di Fakultas Pertanian Universitas Lampung yang telah banyak membantu, baik selama masa perkuliahan maupun masa penyusunan skripsi.
7. Cinta pertama dan panutanku Almarhum Papa Mulyadi dan pintu surga Mama Elviyanti atas kasih sayang, doa, dan dukungannya baik secara moril maupun materil. Terima kasih atas segalanya, Papa dan Mama sudah menjadi motivasi terbesar dalam menyelesaikan pendidikan. Semoga papa selalu bangga atas pencapaian penulis dan untuk mama semoga senantiasa diberikan kesehatan, panjang umur, serta kebahagiaan selalu;
8. Keluarga besar Aman Siakim, terima kasih telah memberi banyak doa, semangat, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Khususnya Ses Nanda dan Kak Yanda yang selalu menjadi tempat berkeluh kesah penulis dan tidak henti memberikan dukungan dari awal masa perkuliahan hingga saat ini;
9. Tersayang dua sahabatku: Leonita Tanedi dan Lala Faradilla, terima kasih untuk selalu memberikan kebahagiaan serta keceriaan bagi penulis sejak kita masih dibangku SMP hingga saat ini, semoga semua keinginan dan cita-cita kita semua tercapai;
10. Sahabat-sahabat SMA yang selalu ada di samping penulis: Monica, Caca, Ayu, Tiara, Eva, Shifa, dan Almarhumah Shalsha . Terima kasih atas dukungannya selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;
11. Terbaik sahabat sepejuangan penulis di masa perkuliahan: Alike Fadhillah Manaf, Alya Fayza, Indah Saskia Sofiyan, Nazwa Hanum, dan Yasmine Murad. Terima kasih telah berbagi ilmu, canda tawa, dan semoga kita semua dapat meraih kesuksesan di jalan masing-masing;
12. Pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu penulis untuk menyelesaikan skripsi ini;
13. Almamater tercinta, Universitas Lampung, yang telah mendewasakanmu dan memberikan banyak pelajaran berharga;
14. Muhammad Ilhan Akmal, terima kasih atas segala dukungan dan sudah menjadi teman berbagi keluh kesah tentang semua hal bagi penulis;

15. Terakhir, untuk diri saya sendiri Tri Meisyah Putri. Terima kasih telah kuat sampai detik ini, yang selalu tidak pernah menyerah sesulit apapun rintangan kuliah ataupun proses penyusunan skripsi, dan mampu berdiri tegak ketika dihantam permasalahan. Terima kasih diriku semoga tetap rendah hati, ini baru awal dari permulaan hidup tetap semangat.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, tetapi semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi semua yang membacanya. Penulis juga berharap semoga Allah SWT membalas kebaikan orang-orang yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini.

Bandar Lampung,

2024

Penulis,

Tri Meisyah Putri

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Kerangka Pemikiran.....	3
1.5 Hipotesis.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tebu (<i>Saccarhum Officinarum</i> L.).....	6
2.3 Penyakit Busuk Merah Tebu.....	8
2.2 Analisis Metabolit Sekunder.....	10
2.3 Varietas Tebu.....	12
III. BAHAN DAN METODE	14
3.1 Waktu dan Tempat.....	14
3.2 Alat dan Bahan.....	14
3.3 Metode Penelitian.....	14
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	15
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Hasil Penelitian.....	17
4.2 Pembahasan.....	25
V. SIMPULAN DAN SARAN	30
5.1 Simpulan.....	30
5.2 Saran.....	30

DAFTAR PUSTAKA	31
LAMPIRAN	36

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hasil Identifikasi Metabolit yang Terkandung pada Daun Tebu Varietas GMP 5.....	19
2. Hasil Identifikasi Metabolit yang Terkandung pada Daun Tebu Varietas GMP 7.....	21
3. Senyawa yang Terkandung pada GMP 5 Ulangan I.	38
4. Senyawa yang Terkandung pada GMP 5 Ulangan II.....	39
5. Senyawa yang Terkandung pada GMP 5 Ulangan III.	40
6. Senyawa yang Terkandung pada GMP 7 Ulangan I.	41
7. Senyawa yang Terkandung pada GMP 7 Ulangan II.....	42
8. Senyawa yang Terkandung pada GMP 7 Ulangan III.	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skema kerangka pemikiran	5
2. Indikasi penyakit busuk merah di permukaan luar tebu	8
3. Gejala internal batang tebu yang terindikasi penyakit busuk merah.....	9
4. Indikasi penyakit busuk merah pada tulang daun tebu.....	10
5. Kromatogram sampel daun GMP 5.....	17
6. Kromatogram sampel daun GMP 7.....	18
7. Diagram venn perbandingan metabolit tebu GMP 5 dan tebu GMP 7	23
8. Plot pemisahan metabolit tebu Varietas GMP 5 dan GMP 7.....	24
9. Dendogram pengelompokan metabolit tebu Varietas GMP 5 dan GMP 7	25
10. Hasil analisis VIP score pada tebu Varietas GMP 5 dan GMP 7....	25

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tebu (*Saccharum officinarum* L.) merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Pada bagian batang tebu mengandung banyak sukrosa yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan gula putih (Fauziah dan Rozaini, 2023). Tebu menyumbang 80% sumber bahan pemanis gula di dunia. Gula putih merupakan salah satu kebutuhan pokok masyarakat Indonesia, khususnya untuk keperluan konsumsi rumah tangga (Arini, 2017). Selain itu, gula juga digunakan sebagai pemanis dalam berbagai dunia industri makanan dan minuman (Sugiyatno, 2007).

Produksi gula tebu nasional masih jauh di bawah kebutuhan gula nasional. Kebutuhan gula nasional setiap tahun mencapai sekitar 5,9 juta ton, sedangkan rata-rata produksi gula putih nasional hanya mencapai 2,5 juta ton (Kementerian Perindustrian, 2021). Provinsi Lampung merupakan salah satu sentra tebu nasional dengan menyumbang produksi gula sebesar 771,38ribu ton atau 34,37% (Pusat Data dan Informasi Pertanian, 2020). Secara global produktivitas tebu Indonesia termasuk rendah yaitu 53,45 ton/ha, sedangkan produktivitas tebu India mencapai 70,5 ton/ha, Brasil 73,77 ton/ha, dan produktivitas tebu Pakistan 81 ton/ha (Respati, 2020). Rendahnya produktivitas perkebunan tebu di Indonesia disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya penyakit tumbuhan. Salah satu penyakit yang memiliki potensi menurunkan produktivitas perkebunan tebu adalah penyakit busuk merah (*Red Rot*) yang disebabkan oleh jamur *Colletotrichum falcatum*.

Penyakit busuk merah dapat menurunkan hasil produksi sebesar 5-10% (Bharti *et al.*, 2012). Penyakit ini dapat terjadi pada bagian batang tebu, daun dan pelepah daun, sehingga dapat menurunkan kualitas nira tebu, seperti kandungan sukrosa sebesar 75% (Poudel *et al.*, 2022). Penyakit ini mulai ditemukan di PT Gunung Madu Plantation (PT GMP). Hasil uji ketahanan 12 varietas tebu komersial di PT GMP terhadap jamur penyebab busuk merah didapatkan bahwa 10 varietas rentan dan 2 varietas tahan terhadap infeksi patogen busuk merah.

Setiap tanaman memiliki strategi pertahanan terhadap stress biotik yang berbeda-beda. Respon ketahanan tanaman terhadap penyebab penyakit sangat kompleks dan melibatkan banyak metabolit sekunder. Komposisi metabolit sekunder dapat menggambarkan latar belakang genetik suatu tanaman yang berbeda-beda adanya perubahan (evolusi). Perbedaan respon dan metabolit sekunder yang dihasilkan tanaman dapat digunakan untuk membedakan tanaman peka dan tahan terhadap penyebab penyakit. Banyak yang menyatakan bahwa varietas peka dan varietas tahan memiliki profil metabolit sekunder yang berbeda (Zhentian Lei *et al.*, 2018). Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisis profil metabolit tebu varietas tahan dan varietas peka terhadap penyakit busuk merah.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah apakah ada perbedaan profil metabolit sekunder varietas tebu tahan dan peka terhadap penyakit busuk merah?

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan profil metabolit sekunder varietas tebu tahan dan varietas peka terhadap penyakit busuk merah.

1.4 Kerangka Pemikiran

Interaksi patogen tanaman bersifat kompleks dan dinamis karena patogen dan tanaman saling berkompetisi untuk tetap bertahan. Sistem pertahanan tanaman terhadap infeksi patogen melibatkan berbagai metabolit sekunder. Metabolit sekunder merupakan produk akhir dari proses seluler, sehingga profil metabolit yang dihasilkan tanaman dapat memberikan gambaran mengenai respons tanaman terhadap stress lingkungan, termasuk terhadap infeksi patogen (Fiehn, 2002). Metabolit sekunder yang dihasilkan tanaman dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu : terpenoid, senyawa fenolik, dan senyawa yang mengandung nitrogen (Fang *et al.*, 2011). Kajian mengenai profil metabolit ini dapat digunakan untuk salah satunya adalah membedakan jenis senyawa yang terbentuk pada varietas resisten dan rentan.

Analisis profil metabolit tanaman yang terinfeksi suatu patogen dapat dilakukan menggunakan metode kromatografi gas spektrometri massa (Medina *et al.*, 2022). Hanifah *et al.* (2018), mengungkapkan bahwa analisis metabolit sekunder tanaman dapat diperoleh data metabolit sekunder yang sangat banyak dari sampel yang diuji. Metabolomik dapat digunakan untuk menampilkan bentuk adaptasi tanaman terhadap infeksi patogen penyakit (Lowe- Power *et al.*, 2018). Berdasarkan hal itu, dengan mengetahui profil metabolit tanaman tebu yang berbeda ketahanannya terhadap suatu patogen, dapat diketahui metabolit sekunder pembeda yang dapat digunakan untuk membedakan genotipe tebu resisten terhadap penyakit busuk merah.

Beberapa penelitian melaporkan bahwa profil metabolit tanaman tahan dan rentan berbeda. Amrullah *et al.* (2023) melaporkan bahwa terdapat empat metabolit sekunder pembeda antara genotipe bawang merah resisten dan rentan terhadap penyebab penyakit antraknosa (*Colletotrichum gloeosporioides*) yaitu asam oktadekanoat, asam linoleat etil ester, nonacosane, dan squalene. Makhumbila *et al.* (2023) melaporkan bahwa terdapat metabolit sekunder pembeda antara tanaman kacang (*Phaseolus vulgaris*) varietas tahan (Teebus-RR-1) dan varietas

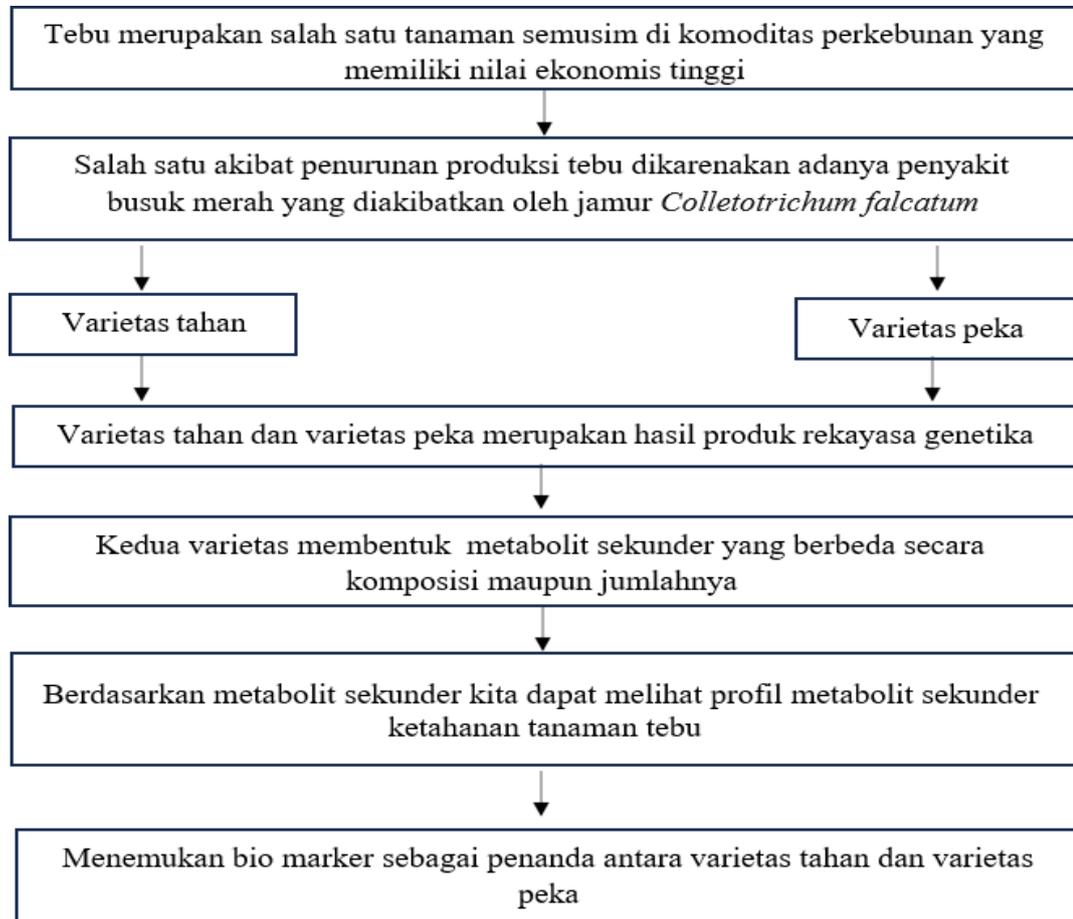
rentan (*Golden Gate Wax*) terhadap infeksi *Uromyces appendiculatus* yaitu aconifine, D-sukrosa, galangin, rutarin yang terdapat pada varietas tahan.

Penelitian yang dilakukan Lei *et al.* (2018) melaporkan bahwa tanaman *Carya illinoensis* varietas Kanza (varietas tahan) dan Pawnee (varietas rentan) masing-masing memiliki profil metabolit yang unik, namun pada varietas Kanza terdapat turunan quercetin yang lebih melimpah dibanding pada varietas Pawnee. Shi *et al.* (2022) melaporkan bahwa varietas tahan (KCB-1) menghasilkan metabolit dengan sumber nitrogen berbeda dan merugikan pertumbuhan dan reproduksi *R. solanacearum*. Chaowongdee *et al.* (2023) melaporkan singkong kultivar TME3, KU50, dan R11 masing-masing memiliki profil metabolit yang unik, namun beberapa senyawa tertentu memiliki konsentrasi yang tinggi pada kultivar singkong toleran (TME3 dan KU50) dibanding pada kultivar singkong rentan (R11). Diduga, senyawa-senyawa tersebut terlibat dalam mekanisme pertahanan terhadap infeksi *Sri Lankan cassava mosaic virus* (SLCMV).

Profil metabolit tembakau varietas resisten (K326) cenderung tidak berubah dengan adanya infeksi *Ralstonia pseudosolanacearum*, sedangkan profil metabolit tembakau rentan (Yunyan87) mengalami perubahan, ada yang meningkat dan ada yang menurun. Lebih lanjut dijelaskan bahwa, metabolit-metabolit yang meningkat tersebut merupakan metabolit yang dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri *R. pseudosolanacearum*. Pada jamur *C. falcatum* penyebab penyakit busuk merah, infeksi dilakukan dengan menembus kutikula dan menghancurkan dinding sel untuk memasuki jaringan antar dan intraseluler (Liang *et al.*, 2021). Selama proses infeksi, *C. Falcatum* mengeluarkan enzim hidrolitik yang menyebabkan terjadinya kerusakan pada sel tanaman (Armesto *et al.*, 2019). Sebagai respon, tanaman tebu akan membentuk berbagai metabolit sekunder sebagai bentuk pertahanan (Sathyabhama *et al.*, 2015).

Berdasarkan hal tersebut, pendekatan metabolomik dapat digunakan untuk mengungkap proses biokimia yang terjadi pada suatu tanaman dengan berbagai latar belakang genetik yang berbeda. Untuk itu, pada penelitian ini dilakukan

analisis profil metabolit tanaman tebu varietas tahan dan varietas peka terhadap penyakit busuk merah untuk mengetahui perbedaan metabolitnya. Skema kerangka pemikiran disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema kerangka pemikiran.

1.5 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah profil metabolit sekunder tebu varietas tahan terhadap penyakit busuk merah berbeda dengan varietas tebu peka terhadap penyakit busuk merah

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tebu (*Saccharum Officinarum* L.)

Tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) berasal dari famili *Graminae* yaitu rumput-rumputan. *Saccharum officinarum* merupakan spesies paling penting dalam genus *Saccharum* sebab kandungan sukrosanya paling tinggi dan kandungan seratnya paling rendah. Kedudukan tanaman tebu dalam sistematika (taksonomi) tumbuhan, meliputi kingdom *Plantae*, divisi *Spermatophytas*, kelas *Monocotyledone*, ordo *Graminales*, famili *Graminae*, genus *Saccharum*, dan spesies *Saccharum officinarum* L. (Wijayanti, 2008).

Tebu memiliki akar yang tergolong akar serabut yang menandakan tanaman ini termasuk *Monocotyledone*. Akar tebu dapat dibedakan menjadi dua, yaitu akar stek dan akar tunas. Akar stek (akar bibit) masa hidupnya tidak lama. Akar ini tumbuh pada cincin akar dari stek batang. Akar tunas merupakan pengganti akar bibit. Permukaan batang tebu beruas-ruas dibatasi dengan buku-buku yang berdiameter 3-5 cm tinggi batang antara 2-5 meter tidak bercabang (Indrawanto *et al.*, 2012). Bagian pangkal batang tebu sampai pertengahan, ruasnya panjang-panjang, sedangkan dibagian pucuk ruasnya pendek. Tinggi batang antara 2 – 5 meter tergantung pertumbuhannya, jenis tebu maupun keadaan iklim. Bagian batang tebu terdapat titik tumbuh yang mempunyai peranan penting dalam pertumbuhan.

Bagian daun tanaman tebu termasuk golongan daun tidak lengkap, dikarenakan hanya terdiri dari daun, pelepah dan tanpa adanya tangkai. Kedudukan daun berpangkal padabuku. Ukuran lebar daun sempit kurang 4 cm, sedang antara 4-6 cm dan lebar 6 cm. Daun tebu berbentuk seperti pita, tidak bertangkai dan

memiliki pelepah seperti daun jagung muncul berselingan pada bagian kanan dan kiri. Tepi daun sedikit bergelombang serta berbulu keras. Lalu, bagian lainnya dari tebu adalah untaian bunga yang bentuknya piramida, panjangnya antara 70-90 cm.

Morfologi bunga tebu terdiri dari tenda bunga yaitu 3 helai daun tajuk bunga. Bunga tebu berupa malai dengan panjang antara 50-80 cm. Cabang bunga pada tahap pertama berupa karangan bunga dan pada tahap selanjutnya berupa tandan dengan dua bulir panjang 3-4 mm. Terdapat pula benang sari, putik dengan dua kepala putik dan bakal biji. Selain itu, tebu juga memiliki buah yang bentuknya seperti padi.

Tebu dapat tumbuh di daerah tropis dan sub tropis sampai batas garis kontur 20 °C yaitu antara 19°LU – 35 °LS. Tebu memerlukan kondisi tanah yang tidak terlalu kering dan tidak terlalu basah, selain itu akar tanaman tebu sangat sensitif terhadap kekurangan udara dalam tanah sehingga pengairan dan drainase harus sangat diperhatikan. Drainase yang baik dengan kedalaman sekitar 1 meter memberikan peluang akar tanaman menyerap air dan unsur hara pada lapisan yang lebih dalam sehingga pertumbuhan tanaman pada musim kemarau tidak terganggu. Drainase yang baik dan dalam juga dapat menyalurkan kelebihan air dimusim penghujan sehingga tidak terjadi genangan air yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman karena berkurangnya oksigen dalam tanah (Indrawanto *et al.*, 2012).

Tanaman tebu (*Saccharum Officinarum* L.) tumbuh baik pada berbagai jenis tanah seperti tanah alluvial, grumosol, latosol dan regusol dengan ketinggian antara 0 –1400 mdpl. Pada ketinggian > 1200 m diatas permukaan laut pertumbuhan tanaman relatif lambat. Kemiringan lahan sebaiknya kurang dari 8%, meskipun pada kemiringan sampai 10% dapat juga digunakan untuk areal yang dilokalisasi. Kondisi lahan terbaik untuk tanaman tebu adalah berlereng panjang, rata dan sedikit landai sebesar 2% apabila tanahnya ringan dan sampai 5% apabila tanahnya lebih berat (Indrawanto *et al.*, 2012).

2.3 Penyakit Busuk Merah Tebu

Penyakit busuk merah merupakan salah satu penyakit yang sudah banyak menginfeksi tanaman tebu. Penyakit ini dilaporkan terdapat di Perkebunan PT Gunung Madu Plantation (PT GMP). Agen penyebab penyakit adalah jamur *Colletotrichum falcatum* yang bisa mempengaruhi hasil dan kadar gula yang dihasilkan tebu. Gejala penyakit busuk merah dapat dilihat dari melalui bagian tanaman yang terinfeksi, seperti daun, batang, dan akar yang membusuk dan berubah warna merah kecoklatan (Balitbang Tanaman Pemanis dan Serat, 2024). Gejala penyakit busuk merah pada bagian luar batang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Indikasi di permukaan luar pada batang tebu.

Indikasi pertama dari penyakit ini bisa dilihat dari daun ketiga atau keempat yang layu dan mengering saat musim hujan. Pada tingkatan ringan muncul gejala berupa pelepah yang menunjukkan perubahan warna dari hijau menjadi jingga. Tingkat serangan sedang akan terlihat daun menjadi kuning dan mengering dari bawah hingga ke atas. Ketika memasuki serangan berat, saat tebu dipotong akan terlihat daerah bagian dalam berwarna kemerahan.

Tebu yang sudah menunjukkan gejala busuk merah ketika dibelah daerah bagian dalam tebu berwarna kemerahan, sebagaimana disajikan pada Gambar 3. Batang tebu yang menunjukkan gejala menimbulkan bau sedikit asam. Tanaman tebu sehat tidak menunjukkan gejala (Sangdit dalam Amel, 2023). Pada kasus yang

berat menunjukkan seluruh tajuk mengering dalam delapan hingga dua belas hari (Ansari, 2012).



Gambar 3. Indikasi di permukaan dalam pada batang tebu.

Mekanisme jamur *Colletotrichum falcatum* masuk ke dalam tanaman melalui masuknya hifa ke dalam akar melalui rongga intrasel epidermis sehingga mengakibatkan sel akar berlubang dan terjadinya penetrasi hifa (Handayani, 2011). Jamur endofit dapat berpindah dari satu tanaman ke tanaman lain melalui benih. Miselium jamur tumbuh selama masa pembentukan batang dan daun, kemudian hidup dalam jaringan daun dan batang (Aly *et al.*, 2011). Saat berasosiasi dengan tanaman inangnya, jamur endofit juga memiliki pengaruh terhadap jamur patogen tumbuhan. Senyawa metabolit yang dikeluarkan jamur endofit dapat mencegah atau menghambat pertumbuhan patogen tanaman.

Konsep segitiga penyakit menjelaskan bahwa suatu penyakit tidak dapat terjadi jika kondisi lingkungan tidak mendukung. Intensitas apabila suatu penyakit telah terjadi juga ditentukan oleh faktor lingkungan. Semakin mendukung kondisi lingkungan, maka akan semakin tinggi intensitas penyakit tersebut (Ginting, 2013). Kondisi lingkungan berpengaruh terhadap keberhasilan patogen yaitu suhu, terutama pada perkembangan koloni dan konidia (Pramesti *et al.*, 2014). Suhu menjadi salah satu faktor yang berpengaruh terhadap metabolisme sel. Suhu

tinggi dapat menyebabkan denaturasi protein dan menghambat kerja enzim yang berdampak pada kerusakan sel sehingga berpengaruh terhadap pertumbuhan dan biomassa jamur (Darah *et al.*, 2011). Penyakit busuk merah biasanya terjadi pada suhu sedang antara 75-80°F dengan nilai pH sebesar 4,2 hingga 4,5. Kelembaban relatif tinggi juga berpengaruh terhadap perkembangan penyakit busuk merah.

Paparan polusi lingkungan dapat meningkatkan risiko penyakit busuk merah (Yonzon *et al.*, 2018). Pengendalian penyakit busuk merah yang disebabkan oleh jamur *Colletotrichum falcatum* tidak hanya dikendalikan melalui jamur patogennya saja. Kegiatan pengendalian harus dilakukan secara terpadu dan terintegrasi, antara lain melalui perendaman bibit tebu dengan air panas, penggunaan agensia pengendalian hayati, penerapan pola tanam yang tidak mendukung perkembangan penyakit dan penggunaan varietas tahan penyakit. Salah satu alternatif pengendalian yang telah disebutkan yaitu penggunaan varietas tahan juga dapat mengatasi kerugian dari penurunan produksi tebu yang diakibatkan oleh penyakit busuk merah (Hossain *et al.*, 2020).

2.2 Analisis Metabolit Sekunder

Metabolit sekunder adalah senyawa metabolit yang tidak esensial bagi pertumbuhan organisme dan ditemukan dalam bentuk yang unik atau berbeda-beda antara spesies yang satu dan lainnya. Setiap organisme biasanya menghasilkan senyawa metabolit sekunder yang berbeda-beda, bahkan mungkin satu jenis senyawa metabolit sekunder hanya ditemukan pada satu spesies. Senyawa ini juga tidak selalu dihasilkan, tetapi hanya pada saat dibutuhkan saja atau pada fase-fase tertentu. Fungsi metabolit sekunder adalah untuk mempertahankan diri dari kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan, misalnya untuk mengatasi hama penyakit, menarik polinator, dan sebagai molekul sinyal (Khizar *et al.*, 2020).

Kajian mengenai metabolit dapat memberikan terkait hubungan antara perubahan fenotipe dan fisiologis yang telah menjadi elemen penting dalam mempelajari ilmu

biologi tanaman. Tumbuhan di dunia memiliki >200.000 metabolit berbeda yang menentukan kualitas suatu tanaman. Bahkan, mungkin jumlah ini hanya mewakili sebagian kecil dari rentang metabolisme tanaman secara global dan dapat diperkirakan bahwa dalam tanaman dapat menghasilkan hingga 15.000 metabolit. Penerapan metabolomik pada tanaman tebu sangat penting karena dapat membedakan persamaan antara garis induk dan keturunannya. Studi metabolomik dapat mengungkap mekanisme akumulasi gula dengan mengetahui interaksi antara gen terkait gula dan protein yang dihasilkannya dalam tebu (Gao, 2019).

Tanaman telah mengembangkan sistem pertahanan struktural yang dapat diinduksi terhadap infeksi patogen. Ketika patogen menerobos pertahanan tanaman, pertahanan struktural yang terinduksi menjadi salah satu pertahanan paling penting terhadap patogen. Metabolit yang dihasilkan tanaman berhubungan dengan resistensi suatu tanaman. Metabolomik dan transkriptom sangat penting dalam mengidentifikasi metabolit utama dan mekanisme jalur utama yang dihasilkan oleh tanaman sebagai respons terhadap tekanan biotik. Melalui metabolomik dapat mencerminkan variasi fenotipe terhadap tanaman dan membantu memahami mekanisme kompleks pada tingkat metabolisme tanaman (Shi *et al.*, 2022).

Senyawa metabolit sekunder diklasifikasikan menjadi 3 kelompok utama, yaitu: (1) Terpenoid, sebagian besar senyawa terpenoid mengandung karbon dan hidrogen serta disintesis melalui jalur metabolisme asam mevalonat. Contohnya: monoterpena, seskiterpena, diterpena, triterpena, dan polimer terpena, (2) Fenolik, senyawa yang terbuat dari gula sederhana dan memiliki cincin benzena, hidrogen, dan oksigen dalam struktur kimianya. Contohnya asam fenolat, kumarina, lignin, flavonoid, dan tannin, (3) Senyawa yang mengandung nitrogen. Contohnya alkaloid dan glukosinolat (Aliferis *et al.*, 2014). Umumnya, sebagian besar tanaman penghasil senyawa metabolit sekunder memanfaatkan senyawa tersebut untuk mempertahankan diri dan berkompetisi dengan makhluk hidup lain.

Suatu tanaman dapat menghasilkan metabolit sekunder (seperti: quinon, flavonoid, tanin, dan lain sebagainya) yang mengakibatkan tanaman lain tidak dapat tumbuh di sekitarnya, hal ini disebut sebagai alelopati. Berbagai senyawa metabolit sekunder telah digunakan sebagai obat atau model untuk membuat obat baru, contohnya adalah aspirin yang dibuat berdasarkan asam salisilat yang secara alami terdapat pada tumbuhan tertentu. Manfaat lain dari metabolit sekunder adalah sebagai pestisida dan insektisida, contohnya adalah rotenon dan rotenoid. Beberapa metabolit sekunder lainnya yang telah digunakan dalam memproduksi sabun, parfum, minyak herbal, pewarna, permen karet, dan plastik alami adalah resin, antosianin, tanin, saponin, dan minyak volatil (Junaedi *et al.*, 2006).

2.3 Varietas Tebu

Karakteristik yang dimiliki oleh setiap varietas tebu merupakan bagian genetik dari suatu tanaman. Beberapa faktor penting yang harus diperhatikan dalam membudidayakan tebu adalah ketahanan varietas tebu terhadap hama dan penyakit, jumlah rendemen yang dihasilkan, jumlah anakan, serta respon terhadap pupuk yang diberikan pada tanaman tebu. Faktor lain yang juga penting untuk diperhatikan adalah daya adaptasi tanaman terhadap lingkungan dan kekeringan (Indrawanto *et al.*, 2012).

2.3.1 Tebu Varietas GMP 5

Tebu ini termasuk varietas komersial yang sudah tersertifikasi secara nasional. Bagian daun yang ada pada varietas ini berwarna hijau dengan lebar (4-5 cm), dan memiliki lengkung helai daun yang $1/3$ - $1/2$ daun. Panjang telinga daun Varietas GMP 5 ini yaitu 1 kali lebar yang termasuk ke dalam kategori lemah. Pada bagian batangnya berwarna hijau dengan susunan ruas yang lurus dan berbentuk silindris. Diameter batangnya mencapai 2,5-3 cm (Indrawanto *et al.*, 2012).

2.3.2 Tebu Varietas GMP 7

Tebu Varietas GMP 7 merupakan salah satu varietas komersial yang sudah tersertifikasi secara nasional dan varietas yang paling banyak ditanam pada bagian *plantations*. Bagian daun pada varietas ini berwarna hijau dengan lebar 4-5 cm, lengkung helai daunnya berjumlah $1/3$ - $1/2$ daun, dan memiliki panjang telinga daun yang mencapai 2-3 kali lebar. Pelepah daunnya berwarna ungu. Bagian batang berwarna kuning kehijauan dengan susunan ruas lurus dan berbentuk silindris dengan diameter batang GMP 7 mencapai 2,5-3 cm (Indrawanto *et al.*, 2012).

III. BAHAN DAN METODE

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan mulai Mei sampai Juli 2024. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Ilmu Penyakit Tumbuhan, Laboratorium Pengawasan Mutu Hasil Pertanian (LPHMP) Fakultas Pertanian Universitas Lampung dan Laboratorium Bioteknologi Bogor.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain 6 botol kaca, blender, pisau, corong kaca, Erlenmeyer, gelas ukur, botol vial, *rotary evaporator*, pinset, scaple bor gabus, kertas label, blender, alat tulis, oven laboratorium, *ice gel*, timbangan digital, dan alat dokumentasi. Bahan yang digunakan antara lain sampel tanaman tebu Varietas GMP 5 dan tebu Varietas GMP 7, larutan etil asetat, tissue, plastik *ziplock*, *bubble wrap*, kertas saring, dan plastik *wrapping*.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dianalisis dengan pendekatan multivariat, yaitu *partial least square-discriminat analysis* (PLS-DA) dan *Hierarchical clustering*. Analisis dilakukan menggunakan metaboanalyst 6.0 (<https://www.metaboanalyst.ca/>). Metode analisis PLS-DA dilakukan untuk memisahkan metabolit varietas tebu tahan dan tidak tahan terhadap penyakit busuk merah. Selanjutnya, untuk pengelompokan metabolit setiap varietas tebu, dilakukan menggunakan metode *Hierarchical clustering*.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yakni pengambilan sampel tanaman, ekstraksi sampel tanaman, dan analisis GCMS.

3.4.1 Pengambilan Sampel Tanaman

Varietas tebu yang digunakan adalah Varietas GMP 5 dan Varietas GMP 7, sampel yang dianalisis adalah bagian daun tebu. Sampel daun tebu diambil di PT GMP. tersebut akan di ambil dari PT GMP. yang keduanya merupakan hasil produksi dari PT GMP. Tanaman sampel yang digunakan harus dalam keadaan sehat dan segar. Hal ini dikarenakan sampel yang segar umumnya memiliki kandungan metabolit yang lebih tinggi yang disebabkan oleh kadar air yang lebih banyak dan mempengaruhi pada saat proses ekstraksi (Khalid, 2006). Penggunaan sampel segar juga dapat memberikan hasil yang lebih representatif mengenai komposisi kimia tanaman. Tanaman yang lebih tua cenderung menghasilkan senyawa metabolit yang berbeda dibandingkan dengan tanaman yang lebih muda, hal itu disebabkan proses fisiologis dan metabolisme yang berlangsung seiring pertumbuhan. Umur panen juga berpengaruh terhadap kualitas senyawa yang dianalisis (Adesalu *et al.*, 2016)

3.4.2 Ekstraksi Sampel Tanaman

Masing-masing sampel daun dari kedua varietas dikumpulkan dalam keadaan segar dan sehat. Daun dicuci dengan air mengalir untuk menghilangkan debu dan bahan organik lain yang ada pada permukaan daun kemudian dikeringkan di udara terbuka pada suhu ruangan. Lalu, daun disimpan di dalam *cooler box* dan dibawa ke laboratorium. Pada kondisi sampel yang masih segar, sampel daun tanaman tebu dipotong kecil-kecil dan dihaluskan menggunakan blender. Kemudian, dilakukan maserasi pada ekstrak dengan campuran etil asetat selama 72 jam.

Setelah itu, dilakukan penguapan menggunakan alat *rotary evaporator*. Sampel yang sudah dilakukan penguapan dan dianalisis menggunakan GCMS.

3.4.3 Analisis GCMS

Analisis senyawa dalam ekstrak daun tebu dari kedua varietas dilakukan dengan Kromatografi Gas (Agilent 6890 seri GC -MS) yang dilengkapi dengan kolom HP-5MS (diameter panjang 30 m; diameter 0,25 mm; ketebalan film 0,25 mm) spektrometer massa diprogram pada suhu 30 -C – 280/300 -C dengan waktu tahan 5 menit, laju 10 -C/menit. Kondisi kromatografi adalah laju alir kolom 1,2 mL/menit, mode injeksi: split dan gas pembawa Helium 99%. Senyawa tersebut diidentifikasi dengan spektrum GC-MS melalui pencarian perpustakaan massal (perangkat lunak AMDIS berbasis NIST) pada indeks retensi relatifnya (Kulkarni *et al.*, 2015)

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Kesimpulan penelitian ini antara lain:

- (1) Profil metabolit sekunder tebu varietas tahan (GMP 5) terhadap penyakit busuk merah berbeda dengan profil metabolit sekunder tebu varietas peka (GMP 7) terhadap penyakit busuk merah;
- (2) Metabolit sekunder tebu Varietas GMP 5 didominasi oleh senyawa golongan alkaloid dan *fatty acid*, sedangkan metabolit sekunder tebu Varietas GMP 7 didominasi oleh senyawa golongan terpenoid dan steroid;
- (3) Pemisahan metabolit sekunder varietas tahan dan peka dapat dilakukan menggunakan metode *partial least square discriminant analysis* (PLS-DA), dan pengelompokan metabolit sekunder varietas tahan dan peka dapat dilakukan menggunakan metode *hierarchical cluster analysis*.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian disarankan untuk melakukan analisis metabolit sekunder tanaman tebu dengan terlebih dahulu diinokulasi patogen busuk merah untuk mengetahui jenis metabolit yang meningkat dan menurun pada varietas yang tahan dan peka busuk merah

DAFTAR PUSTAKA

- Adesalu, T. A dan Agadagba, T. 2016. Isolation of Symbionts and GC-MS Analysis of Lichens Collected from Obudu Mountain Resort, South-South, Nigeria. *Ife Journal of Science*. 18 (2): 427-434.
- Aliferia KA, Faubert D, Jabaji S. 2014. Strategi Profil Metabolik Diseksi Pertahanan Tanaman Terhadap Patogen Jamur. *Journal of Biodiversity*. 9 (11): 111-930.
- Amrullah, R. A., Maharijaya, A., Purwito, A., dan Wiyono, S. 2023. Unraveling metabolite profile variations among resistance and susceptible shallot genotypes related to anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*). *Jurnal Biodiversitas*. 24 (9): 5113–5122.
- Albrecht, C., Boutrot, F., Segonzac, C., Schwessinger, B., Gimenez-Ibanez, S., Chinchilla, D., and Zipfel, C. 2012. Brassinosteroids inhibit pathogen-associated molecular pattern-triggered immune signaling independent of the receptor kinase BAK1. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 109 (1): 303-308.
- Aqil, M., Ahad, A., Sultana, Y., and Ali, A. 2007. Status of terpenes as skin penetration enhancers. *Drug discovery today*. 12 (23-24): 1061-1067.
- Armesto, C., Maia, F. G. M., Monteiro, F. P., Abreu, M. S. 2019. Ekoenzim sebagai faktor patogenisitas untuk *Colletotrichum gloeosporioides* berasosiasi dengan tanaman kopi. *Summa Fitopatol*. 45 (4): 368-373.
- BSFIC, 2008. MIS Report. Bangladesh Sugar and Food Industries Corporation. Motijheel Commercial Area, Dhaka, Bangladesh. *J. Agri*. 116 hlm.
- Canonne J, Froidure-Nicolas S, Rivas S. 2011. Fosfolipase dalam tindakan selama sinyal pertahanan tanaman. Perilaku Sinyal Tanaman. *Jurnal Ilmu Tanaman*. 6: 13-18.
- Cao J, Liu B, Xu X, Zhang X, Zhu C, Li Y, et al. 2021. Plant endophytic fungus extract ZNC improved potato immunity, yield, and quality. *Journal of Front Plant Sci*. 12:707256.

- Chen F, Ma, R., Chen, X. L. 2019. Kemajuan metabolomik pada jamur interaksi patogen tanaman. *Journal of Metabolit*. 9 (8): 169.
- Chaowongdee, S., Malichan, S., Pongpamorn, P., Paemanee, A., & Siriwan, W. 2023. Metabolic profiles of Sri Lankan cassava mosaic virus-infected and healthy cassava (*Manihot esculenta Crantz*) cultivars with tolerance and susceptibility phenotypes. *BMC Plant Biology*. 23 (1): 1–22.
- Darah, I., Sumathi, G., Jain K., and Hong, L. S. 2011. Involvement of physical parameters in medium improvement for tannase production by *Aspergillus niger* FETL FT3 in submerge fermentation. *Journal of Biotechnology Research International*. 7 (1) : 1-7.
- Dangl, J. L., Horvath, D. M., and Staskawicz, B. J. 2013. Pivoting the plant immune system from dissection to deployment. *Science*. 341(6147): 746-751.
- De Vleeschauwer, D., Van Buyten, E., Satoh, K., Balidion, J., Mauleon, R., Choi, I. R., and Höfte, M. 2012. Brassinosteroids antagonize gibberellin- and salicylate-mediated root immunity in rice. *Plant physiology*. 158(4): 1833-1846.
- Departemen Pertanian. 2007. *Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Agribisnis tanaman tebu)*. Kementerian Pertanian. Bogor. 27 hlm.
- Ditjenbun. 2019. *Statistik Perkebunan Indonesia 2018-2020*. Kementerian Pertanian. Jakarta. 1056 hlm.
- Dumanau, J. M., Caroline A.W., and Poli, A. F. 2015. Penetapan Kadar saponin Pada Ekstrak Daun Lidah Mertua (*Sansevieria trifasciata Prain* varietas *S. Laurentii*) secara gravimetri. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kesehatan*. 2(2): 65-69.
- Ellya, H. S. 2014. Identifikasi Nematoda Parasit Tanaman Tebu Di Pertanaman Tebu Lahan Kering PTPN VII Cinta Manis. *Prosiding pada Konvensi 7 PTPN*. Palembang. 15-20
- Fauziah, R. dan Rozaini, N. 2023. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Permintaan Gula Pasir di Sumatera Utara Tahun 2016–2022. *Jurnal Ekonomi dan Manajemen*. 3(2) : 28-35.

- Flors, V., Leyva, M. D. L. O., Vicedo, B., Finiti, I., Real, M. D., García-Agustín, P., and González-Bosch, C. 2007. Absence of the endo- β -1, 4-glucanases Cel1 and Cel2 reduces susceptibility to *Botrytis cinerea* in tomato. *The Plant Journal*. 52(6): 1027-1040.
- Gao, S. 2019. Update Status Penelitian dan Peningkatan Tanaman Saat Ini. *Omics Tebu*. 116 hlm.
- Ginting, C. 2013. *Ilmu Penyakit Tumbuhan: Konsep dan Aplikasi*. Lembaga Penelitian Universitas Lampung, Bandar Lampung. 216 hlm.
- Gimenez-Ibanez, S., Boter, M., Fernández-Barbero, G., Chini, A., Rathjen, J. P., and Solano, R. 2014. The bacterial effector HopX1 targets JAZ transcriptional repressors to activate jasmonate signaling and promote infection in *Arabidopsis*. *PLoS biology*. 12(2): e1001792.
- Hapsani, A., dan Basri, H. 2009. Sugarcane Streak Mosaic Virus dan cara pengendaliannya. *Agrica Ekstensi*. 9(1): 50-57.
- Hariyanto, R., dan Sa'diyah, K. 2018. Sistem Pakar Diagnosis Penyakit dan Hama Pada Tanaman Tebu Menggunakan Metode Certainty Factor. *Journal of Information Technology and Computer Science*. 3(1): 3–5.
- Hart K. J., D. R., Ya nez-Ruiz, S. M., Duval, N. R. McEwan, C. J. Newbold. 2008. Plant extracts to manipulate rumen fermentation. *J. Anim. Feed Sci. and Tech*. 147: 8–35.
- Hossain, M. I., Ahmad, K., Siddiqui, Y., Saad, N., Rahman, Z., Haruna, A. O., & Bejo, S. K. 2020. Current and prospective strategies on detecting and managing *colletotrichumfalcatum* causing red rot of sugarcane. *Agronomy*. 10(9): 1253.
- Indrawanto, C., Purwono, Siawanto, M. Syakir, S. J. Munarso, J. Pitono, W. Rumini. 2012. *Budidaya dan Pasca Panen Tebu*. IAARD Press. Jakarta. 86 hlm.
- Junaedi, A., Chozin, M. A., & Kim, K. H. 2006. Perkembangan terkini kajian alelopati. *Journal of Biosciences*, 13(2), 79-84.
- Khalid, K. A. 2006. Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (*Ocimum sp.*). *International agrophysics*, 20(4).
- Kim T., Song B., Cho K. S., Lee I.-S. 2020. Therapeutic Potential of Volatile Terpenes and Terpenoids from Forests for Inflammatory Diseases. *Int. J. Mol. Sci*. 21, 2187.

- Kiswanto dan Bambang, W. 2014. Petunjuk Teknis Budidaya Tebu. Bandar Lampung: Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Lampung Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian. 53 hlm.
- Lei, Z., Kranawetter, C., Sumner, B. W., Huhman, D., Wherritt, D. J., Thomas, A. L., Rohla, C., & Sumner, L. W. 2018. Metabolomics of two pecan varieties provides insights into scabresistance. *Journal of Metabolites*, 8(4):56.
- Makhumbila, P., Rauwane, M. E., Muedi, H. H., Madala, N. E., & Figlan, S. 2023. Metabolome profile variations in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) resistant and susceptible genotypes incited by rust (*Uromyces appendiculatus*). *Journal of Frontiers in Genetics*. 7:120.
- Medina-Melchor DL, Zapata-Sarmiento DH, Becerra-Martínez E, Rodríguez-Monroy M, Vallejo LGZ, Sepúlveda- Jiménez G. 2022. Perubahan profil metabolik *Allium cepa* L. (bawang) tanaman yang terinfeksi *Stemphylium vesicarium*. *International Journal Pabrik Eur*. 162 (3): 557-573.
- Nicaise V, Roux M, Zipfel C. Recent advances in PAMP-triggered immunity against bacteria: pattern recognition receptors watch over and raise the alarm. *Plant Physiol*. 2009;150(4):1638 1647.
- Poudle B, Bhatt A, dan Panth S. 2022. In Vitro Evaluation of Botanicals against Red Rot of Sugarcane (*Colletotrichum falcatum*). *Asian J Plant Sei Res*. 12(6): 219.
- Rusdi Evizal, 2018. Teknik Mulsa Vertikal Pada Budidaya Tebu (*Saccharum Officinarum*. L) Ratoon Satu. *Jurnal Pertanian Tropik*, 3(1), 82-91.
- Risyanto, S. 2014. Teknik Inokulasi Pada Budidaya Jamur Tiram Putih. *Jurnal Agritrop Ilmu-ilmu Pertanian*. 40 hlm.
- R. Verpoorte, A. W. Alfermann 2000. Metabolic engineering of plant secondary metabolism. *Springer ISBN*. 30 hlm.
- Sari, K. 2017. *Teknik Inokulasi Mikroorganismen*. *Jurnal Serambi Biologi*. Universitas Andalas Padang. 36 hlm.

- Sathyabhama, M., Viswanathan, R., Nandakumar, M., Malathi, P., & Ramesh Sundar, A. 2015. *Understanding sugarcane defence responses during the initial phase of Colletotrichum falcatum pathogenesis by suppression subtractive hybridization (SSH)*. *Journal of Physiological and Molecular Plant Pathology*, 91, 131–140.
- Shi, H., Xu, P., Yu, W., Cheng, Y., Ding, A., Wang, W., Wu, S., & Sun, Y. (2022). Metabolomic and transcriptomic analysis of roots of tobacco varieties resistant and susceptible to bacterial wilt. *Journal of Genomics*, 114(5),110471.
- Tarigan, B.Y. dan J.N. Sinulingga. 2006. Laporan Kerja Praktek Lapangan di Pabrik Gula Sei Semayang PTPN II Sumatera Utara. Universitas Sumatera Utara, Medan. 63 hlm.
- Veza T., Rodríguez-Nogales A., Algieri F., Utrilla M.P., Rodriguez -Cabezas M.E., Galvez J. 2016. Flavonoids in inflammatory bowel disease: A review. *Journal of Nutrients*. 8:659.
- Wolf S, Hématy K, Höfte H. G. 2012. Growth control and cell wall signaling in plants. *Journal of Plant Science Biol*. 63(1):381–407.
- Yang, L., Wei, Z., Valls, M., & Ding, W. 2022. Metabolic Profiling of Resistant and Susceptible Tobaccos Response Incited by *Ralstonia pseudosolanacearum* Causing Bacterial Wilt. *Journal of Frontiers in Plant Science*.
- Yani, Supriyanti. 2021. Analisis Kinerja Perdagangan Gula. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. Kementerian Pertanian. 59 hlm.
- Yonzon, R., & Soniya Devi, M. 2018. Red Stripe/ Top Rot Disease of Sugarcane: A Review. *Internation Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(1), 1469–14.