



**STUDI METABOLIT CENDAWAN DARK SEPTATE
ENDOPHYTE UNTUK PENGENDALIAN PENYAKIT BUSUK
PANGKAL BATANG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.)**

FRANSISKA NATALIA PURBA



**PROGRAM STUDI FITOPATOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul Studi Metabolit Cendawan *Dark Septate Endophyte* untuk Pengendalian Penyakit Busuk Pangkal Batang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Maret 2024

Fransiska Natalia Purba
A3502211004

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

FRANSISKA NATALIA PURBA. Studi Metabolit Cendawan *Dark Septate Endophyte* untuk Pengendalian Penyakit Busuk Pangkal Batang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). Dibimbing oleh ABDJAD ASIH NAWANGSIH, EFI TODING TONDOK dan SURONO.

Penyakit busuk pangkal batang merupakan penyakit penting pada kelapa sawit yang disebabkan oleh cendawan patogen *Ganoderma boninense*. Penyakit ini belum dapat dikendalikan secara optimal karena tidak menunjukkan gejala pada periode awal infeksi dan tidak spesifik. Gejala infeksi di pembibitan ditandai dengan daun muda yang jumlahnya tidak normal atau bahkan tidak berkembang, pelepasan daun layu dari daun bagian bawah, busuk lanjut di pangkal batang, dan diikuti tumbuhnya tubuh buah cendawan *G. boninense*. Cendawan ini dapat mempengaruhi produksi kelapa sawit karena mengakibatkan kematian pada kelapa sawit.

Berbagai pengendalian telah dilakukan namun hasilnya belum optimal. Cendawan endofit diketahui sebagai salah satu jenis mikrob fungsional yang mampu memproduksi metabolit sekunder, baik secara langsung atau tidak langsung sehingga sangat cocok dijadikan sebagai agens pengendali hidup. Salah satu agens pengendali hidup yang dapat digunakan dalam mengendalikan *G. boninense* yaitu cendawan *Dark Septate Endophyte* (DSE). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi metabolit DSE untuk mengendalikan *G. boninense* pada tanaman kelapa sawit dan mengevaluasi mekanisme kerjanya. Sebanyak tiga isolat cendawan DSE yaitu *Cladophialophora nyngchiensis* (isolat S5), isolat *Exophiala pisciphila* (isolat S14) asal tanaman kelapa sawit dari Subang dan isolat *Diaporthe pandanicola* (isolat TM) asal tanaman kelapa sawit dari Medan yang digunakan pada penelitian ini merupakan isolat koleksi Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN). Penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan, yaitu: persiapan inokulum *G. boninense*, uji *in vitro* isolat cendawan endofit terhadap patogen *G. boninense* (penyiapan filtrat DSE dan uji keefektifan filtrat DSE), identifikasi senyawa-senyawa yang terkandung dalam filtrat DSE dan uji keefektifan filtrat DSE dalam mengendalikan *G. boninense* pada bibit kelapa sawit di rumah kaca. Hasil uji *in vitro* menunjukkan bahwa filtrat ketiga cendawan DSE berpotensi menghambat pertumbuhan *G. boninense*. Uji pendahuluan dilakukan untuk menentukan konsentrasi filtrat dan masa inkubasi dalam menghasilkan filtrat bagi cendawan DSE yang paling tepat untuk ketiga cendawan DSE tersebut. Masa inkubasi yang paling baik untuk menghasilkan filtrat adalah 2 minggu. Filtrat cendawan DSE yang paling efektif berdasarkan nilai IC₅₀ yaitu filtrat *C. nyngchiensis* (isolat S51) pada konsentrasi 43,78% dan filtrat *D. pandanicola* (isolat TM) pada konsentrasi 57,77%.

Filtrat tiga isolat DSE tersebut diuji penghambatannya menggunakan metode peracunan media dengan konsentrasi 15%, 30%, 45%, 60% dan 75% (v/v dalam 10 ml media). Hasil menunjukkan bahwa penghambatan paling tinggi, yaitu sebesar 88,63%, terjadi pada perlakuan filtrat isolat S51 dengan konsentrasi 75%, diikuti oleh perlakuan filtrat isolat TM dengan penghambatan sebesar 67,00%. Filtrat isolat S51 selanjutnya diidentifikasi komponen penyusunnya menggunakan Liquid Chromotography-Mass Spectrometry (LCMS). Senyawa-senyawa yang terkandung

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



dalam filtrat isolat S51 di antaranya adalah: *heptadecylamine*, *yadanzioside p*, *linolein*, *androstenediol* dan *oxproline* yang melindungi tanaman inang dari serangan *G. boninense*.

Aplikasi filtrat isolat S51 dengan cara disiramkan pada pangkal batang bibit, sebanyak 2 kali, dengan konsentrasi filtrat 75% dapat menekan insidensi dan keparahan penyakit busuk pangkal batang secara eksternal dan internal pada bibit kelapa sawit di rumah kaca. Aplikasi filtrat S51 sebanyak 2 kali dengan konsentrasi 75% memberi pengaruh yang paling baik terhadap tinggi tanaman, jumlah daun dan diameter bonggol tanaman kelapa sawit pada 4 bulan pengamatan di rumah kaca. Filtrat isolat DSE S51 tidak menimbulkan efek fitotoksisitas.

Kata kunci: *Cladophialophora*, *Exophiala*, *Diaporthe*, *inhibition concentration (IC)*, LCMS, pengendalian hayati.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



SUMMARY

FRANSISKA NATALIA PURBA. Study of Dark Septate Endophyte's Metabolites for Control of Oil Palm Stem Base Rot Disease (*Elaeis guineensis* Jacq.). Supervised by ABDJAD ASIH NAWANGSIH, EFI TODING TONDOK dan SURONO.

Basal stem rot is an important disease of oil palm caused by the pathogenic fungus *Ganoderma boninense*. The disease cannot be optimally controlled because it is asymptomatic in the early period of infection and non-specific. Symptoms of infection in the nursery are characterized by abnormal or even undeveloped young leaves, wilting of the lower leaves, advanced rot at the base of the trunk, and subsequent growth of *Ganoderma boninense* fungal fruiting bodies. This fungus can affect oil palm production because it causes the death of oil palms.

Various controls have been carried out but the results have not been optimal. Endophytic fungi are known as one type of functional microbes that are able to produce secondary metabolites, either directly or indirectly, making them very suitable as biological control agents. One of the biological control agents that can be used in controlling *G. boninense* is the DSE fungus. This study aims to assess the potential of DSE metabolites to control *G. boninense* in oil palm plants and evaluate its mechanism of action. A total of three DSE fungus isolates, namely *Cladophialophora nyungchiensis* (isolate S51), *Exophiala pisciphila* (isolate S14) from oil palm plants Subang city and *Diaporthe pandanicola* (isolate TM) from oil palm plants Medan city used in this study are isolates from the National Research and Innovation Agency collection.

This study consisted of the preparation of *G. boninense* inoculum, in vitro tests of endophytic fungal isolates against the pathogen *G. boninense* (preparation of DSE filtrate and DSE filtrate effectiveness test), identification of DSE filtrate and DSE filtrate effectiveness test in controlling *Ganoderma boninense* on oil palm seedlings in the greenhouse. The results of the in vitro test showed that three DSE fungus filtrates had the potential to inhibit the growth of *G. boninense*. Preliminary tests were conducted to determine the filtrate concentration and incubation period to produce the most appropriate filtrate for the three DSE fungi. The best incubation period to produce filtrate was 2 weeks. The most effective DSE fungus filtrates based on the IC₅₀ value are *C. nyungchiensis* filtrate (isolate S51) at a concentration of 43.78% and *D. pandanicola* filtrate (isolate TM) at concentration of 57.77%.

Filtrates of three DSE isolates were tested for inhibition using the media poisoning method with concentrations of 15%, 30%, 45%, 60% and 75% (v/v in 10 ml media). The results showed that the highest inhibition, which amounted to 88.63%, occurred in the treatment of isolate S51 filtrate with a concentration of 75%, followed by the treatment of TM isolate filtrate with an inhibition of 67.00%. Filtrate isolate S51 was further identified Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (LCMS). The contained in the filtrate of isolate S51 include: *heptadecylamine*, *yadanziocide p*, *linolein*, *androstenediol* and *oxproline* which protect the host plant from *G. boninense* attack.



Application by pouring of S51 filtrate at 27% and 75% concentrations once and twice was able to reduce the incidence and severity of external and internal stem base rot disease in oil palm seedlings in the greenhouse. Application by pouring of S51 filtrate with 75% concentration twice gave the best effect on plant height, number of leaves and stem diameter of oil palm plants at 4 months of observation in the greenhouse.

Keywords: Biological control, *Cladophialophora*, *Exophiala*, *Diaporthe*, inhibition concentration (IC), LCMS

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta Milik IPB, Tahun 2024
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah; dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



STUDI METABOLIT CENDAWAN *DARK SEPTATE ENDOPHYTE* UNTUK PENGENDALIAN PENYAKIT BUSUK PANGKAL BATANG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.)

FRANSISKA NATALIA PURBA

Tesis

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Fitopatologi

**PROGRAM STUDI FITOPATOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1 Prof. Dr. Ir. Dadang, M.Sc

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Tesis : Studi Metabolit Cendawan *Dark Septate Endophyte* untuk Pengendalian Penyakit Busuk Pangkal Batang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.)
Nama : Fransiska Natalia Purba
NIM : A3502211004

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Ir. Abdjad Asih Nawangsih, M.Si



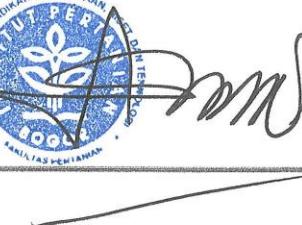

Pembimbing 2:
Dr. Efi Toding Tondok, S.P.,M.Sc.Agr.




Pembimbing 3:
Surono, S.P.,M.Agr.,Ph.D

Ketua Program Studi:
Dr. Ir. Giyanto, M.Si.
NIP. 196707091993031002

Dekan Fakultas Pertanian:
Prof. Dr. Ir. Suryo Wiyono, M.Sc.Agr.
NIP. 196902121992031003

Tanggal Ujian Tesis: 22 Januari 2024

Tanggal Lulus : 13 MAR 2024



Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Judul yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan November 2022 sampai bulan Agustus 2023 ini ialah Studi Metabolit Cendawan *Dark Septate Endophyte* untuk Pengendalian Penyakit Busuk Pangkal Batang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Ibu Dr. Ir. Abdjad Asih Nawangsih, M.Si, Ibu Dr. Efi Toding Tondok, S.P.,M.Sc.Agr. dan Bapak Surono, S.P.,M.Agr.,Ph.D yang telah membimbing dan banyak memberi saran selama proses penyusunan tesis ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Prof. Dr. Ir. Dadang, M.Sc. selaku penguji luar komisi atas masukan dan saran saat ujian tesis.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada:

1. Orangtua tersayang Almarhum Bapak Rittim Richardo Purba dan Ibu Tio Nainggolan yang telah memberi motivasi selama penulis melaksanakan pendidikan Magister.
2. Kepala program studi dan seluruh dosen Program Studi Proteksi Tanaman yang telah memberi ilmu pengetahuan.
3. Yan Octavyan Hutahaean, Ega Katriana, Novia Sarah Safira, Rahma Dian Sari, Mery Saragih yang membantu selama proses penelitian.
4. Teman-teman di Laboratorium Mikologi Tumbuhan, Departemen Proteksi Tanaman IPB.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Maret 2024

Fransiska Natalia Purba



DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Hipotesis Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penyakit Busuk Pangkal Batang pada Tanaman Kelapa Sawit	4
2.1.1 Bioekologi patogen penyakit busuk pangkal batang	4
2.1.2 Gejala dan tanda penyakit	4
2.1.3 Siklus hidup <i>Ganoderma boninense</i>	5
2.1.4 Pengendalian penyakit busuk pangkal batang	6
2.2 Cendawan Endofit	7
2.3 Potensi Metabolit Sekunder Cendawan Endofit sebagai Antifungi	8
III BAHAN DAN METODE	9
3.1 Waktu dan Tempat	9
3.2 Bahan dan Alat	9
3.3 Persiapkan Inokulum <i>Ganoderma boninense</i>	9
3.4 Isolat Cendawan Endofit	9
3.5 Produksi Senyawa Metabolit	9
3.6 Pengujian Filtrat	10
3.7 Identifikasi Senyawa menggunakan Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (LCMS)	10
3.8 Uji Keefektifan Metabolit <i>Dark Septate Endophyte</i> dalam menekan <i>Ganoderma boninense</i>	10
3.8.1 Persiapan media tanam	10
3.8.2 Inokulasi <i>Ganoderma boninense</i> dan penanaman bibit	11
3.8.3 Aplikasi filtrat cendawan endofit S51	11
3.8.4 Rancangan percobaan	11
3.9 Analisis Data	13
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	14
4.1 Penentuan Masa Inkubasi Produksi Filtrat	14
4.2 Tingkat Hambatan Relatif	14
4.3 Pengaruh Filtrat <i>Dark Septate Endophyte</i> terhadap Keparahan dan Insidensi Penyakit Secara <i>in vivo</i>	15
4.3.1 Pengaruh perlakuan filtrat S51 berdasarkan gejala eksternal	15
4.3.2 Pengaruh perlakuan filtrat S51 berdasarkan gejala internal	17

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



V	PEMBAHASAN UMUM	20
VI	SIMPULAN DAN SARAN	21
	7.1 Simpulan	21
	7.2 Saran	21
	DAFTAR PUSTAKA	22

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR TABEL

3.1 Perlakuan-perlakuan pada pengujian filtrat S51 terhadap bibit kelapa sawit	11
3.2 Skala numerik penilaian penyakit akibat serangan <i>Ganoderma boninense</i>	11
3.3 Skoring bibit kelapa sawit terinfeksi <i>Ganoderma boninense</i> berdasarkan Gejala internal pada bonggol dan akar	13
4.1 Tingkat hambatan relatif filtrat TM dan S51 terhadap <i>Ganoderma boninense</i> melalui peracunan media	15
4.2 Pengaruh perlakuan filtrat S51 terhadap keparahan penyakit berdasarkan gejala eksternal pada bibit sawit	16
4.3 Pengaruh perlakuan filtrat S51 terhadap insidensi penyakit berdasarkan gejala eksternal pada bibit sawit	16
4.4 Keparahan dan insidensi penyakit internal	17
4.5 Tinggi bibit kelapa sawit di dalam rumah kaca setelah diberi perlakuan filtrat S51	18
4.6 Jumlah daun bibit kelapa sawit di dalam rumah kaca setelah diberi perlakuan filtrat S51	19
4.7 Diameter bonggol bibit kelapa sawit di dalam rumah kaca setelah diberi perlakuan filtrat S51	19

DAFTAR GAMBAR

1.1 Bagan alir penelitian “Aplikasi Metabolit Dark Septate Endophyte Mengendalikan <i>Ganoderma boninense</i> pada Kelapa Sawit”	3
2.1 Gejala infeksi <i>Ganoderma boninense</i>	5
2.2 Siklus hidup <i>Ganoderma boninense</i>	6
2.3 Mekanisme serangan <i>Ganoderma boninense</i>	6
4.1 Nilai IC ₅₅ dari filtrat <i>Dark Septate Endophyte</i> pada berbagai konsentrasi dengan empat minggu masa inkubasi	14
4.2 Pertumbuhan koloni <i>Ganoderma boninense</i> pada berbagai konsentrasi filtrat S51 dan TM	15
4.3 Gejala eksternal bibit kelapa sawit dengan perlakuan filtrat S51	17
4.4 Gejala internal bibit kelapa sawit dengan perlakuan filtrat S51	18
4.5 Spektrum filtrat LCQTOF-MS/MS: (a) TM; (b) S14; (c) S51	20

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu produsen kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) terbesar di dunia dengan total produksi mencapai 45,5 juta metrik ton/tahun atau hampir 69,7% dari total produksi minyak sawit di dunia (USDA 2022). Luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia diperkirakan bertambah sekitar 1,01% setiap tahunnya, tetapi pertambahan luas perkebunan kelapa sawit juga diikuti dengan pertambahan luas kejadian penyakit Busuk Pangkal Batang (BPB) yang disebabkan oleh cendawan *G. boninense*. Susanto *et al.* (2005) menyatakan bahwa penyakit busuk pangkal batang (BPB) dapat mempengaruhi produksi kelapa sawit karena mengakibatkan kematian hingga 50% dari seluruh populasi kelapa sawit per hektar. Kerugian yang timbul dari setiap 1% serangan *G. boninense* di perkebunan kelapa sawit Indonesia setara dengan 256 juta USD per tahun (Morel *et al.* 2016).

Penyakit yang disebabkan oleh cendawan *G. boninense* dilaporkan memiliki insiden yang tinggi pada semua stadia pertumbuhan tanaman kelapa sawit (Santoso 2020), dengan tingkat serangan yang tinggi dapat mencapai 60% (Bharudin *et al.* 2022). Penyakit ini tidak dapat dikontrol secara optimal karena tidak menunjukkan gejala pada periode awal infeksi dan tidak spesifik. Gejala spesifik akan muncul setelah stadium lanjut penyakit dan dalam waktu yang lama sejak infeksi awal (Suryantini dan Wulandari 2018). Gejala infeksi di pembibitan ditandai dengan daun muda yang jumlahnya tidak normal atau bahkan tidak berkembang, pelepasan daun layu dari daun bagian bawah, busuk lanjut di pangkal batang, dan diikuti tumbuhnya tubuh buah cendawan *G. boninense*.

Beberapa pengendalian yang telah dilakukan untuk menekan infeksi cendawan *G. boninense* diantaranya yaitu melakukan pengendalian secara kultur teknis, penanaman *hole in hole*, membuat parit isolasi dan menggunakan beberapa varietas tahan (Naher *et al.* 2013). Pengendalian dengan kultur teknis dan mekanis kurang efisien serta sering mengalami kegagalan akibat karakteristik *G. boninense* sebagai patogen tular tanah yang mempunyai kemampuan saprofitik yang tinggi dan kisaran inang yang sangat luas (Ress 2009). Pengendalian *G. boninense* juga masih banyak dilakukan dengan menggunakan fungisida kimiawi namun masih belum berhasil. Selain hasilnya kurang konsisten, penggunaannya juga menimbulkan residu, resistensi cendawan patogen, pencemaran lingkungan serta tidak berhasil mengatasi penyebaran penyakit busuk pangkal batang (Sinaga *et al.* 2003; Susanto 2002).

Kegagalan pengendalian banyak disebabkan oleh sifat *G. boninense* yang memiliki beberapa macam alat untuk bertahan dalam kondisi ekstrim seperti miselium resisten, basidiospora, klamidiospora serta mempunyai kisaran inang yang luas. Berdasarkan biologi *G. boninense* tersebut, maka pengendalian yang paling berpeluang untuk berhasil yaitu dengan pengendalian biologi (Susanto 2002). Pengendalian biologi merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menekan perkembangan penyakit BPB. Teknik pengendalian biologi memanfaatkan agens hidup seperti bakteri dan cendawan yang memiliki kemampuan antagonisme untuk menghambat pertumbuhan patogen melalui beberapa mekanisme, baik mekanisme secara langsung maupun tidak langsung. Mekanisme secara langsung dilakukan oleh agens hidup dengan menghasilkan

I PENDAHULUAN



senyawa antibiosis dan enzim pelisis dinding sel, sedangkan mekanisme secara tidak langsung dilakukan dengan cara menginduksi respon ketahanan tanaman, memicu pembentukan senyawa metabolit sekunder, dan memicu pertumbuhan dan fisiologis tanaman (Gao *et al.* 2010).

Salah satu agens hayati yang berpotensi dalam mengendalikan BPB pada tanaman kelapa sawit adalah cendawan *Dark Septate Endophyte* (DSE). Cendawan DSE merupakan kelompok cendawan endofit yang memiliki hifa melanisasi, membentuk koloni gelap pada berbagai media agar, mampu mengkolonisasi akar tanaman tanpa menimbulkan gejala penyakit, dan meningkatkan pertumbuhan tanaman (Jumpponen 2001; Khan *et al.* 2007; Surono dan Narasiwa 2017). Kolonisasi DSE dilaporkan terjadi pada sekitar 600 spesies tanaman meliputi 320 genus dan 114 famili dan tersebar luas mulai dari daerah tropis sampai kutub dan pegunungan (Jumpponen dan Trappe 1998). Ditambahkan oleh Knapp *et al.* (2015), DSE akan membentuk koloni berwarna gelap pada medium pertumbuhan. DSE memiliki karakteristik hifa yang berwarna gelap akibat adanya kandungan senyawa melanin di dalamnya (Bonfim *et al.* 2016). Beberapa penelitian melaporkan bahwa cendawan DSE memiliki kemampuan yang baik dalam menghambat perkembangan patogen tular tanah seperti *Fusarium* sp. dan *Rigidoporus microporus* (Surono dan Narisawa 2017; Dalimunthe *et al.* 2019; Zaffan *et al.* 2019). Secara *in vitro* DSE juga telah dilaporkan dapat menghambat pertumbuhan *G. boninense* dengan tingkat penghambatan diatas 50%. Kemampuan DSE sebagai agens biokontrol dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah produksi senyawa metabolit sekunder (Rahayu *et al.* 2021).

Cendawan endofit telah dilaporkan menghasilkan senyawa metabolit yang mampu menghambat dan mengendalikan pertumbuhan cendawan patogen (Suryanarayanan *et al.* 2009). Banyak kelompok cendawan endofit mampu memproduksi senyawa antibiotik yang aktif melawan bakteri dan cendawan patogen tumbuhan. Senyawa antimikroba yang dihasilkan oleh cendawan endofit mampu melindungi tanaman inang dari infeksi patogen. Kandungan senyawa metabolit sekunder dari cendawan endofit dapat diketahui dengan melakukan analisis menggunakan LCMS (Silless *et al.* 2018; Simamora dan Wening 2021). Pengembangan teknologi baru ramah lingkungan untuk mengendalikan cendawan patogen menggunakan metabolit cendawan endofit belum banyak dikembangkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian terkait potensi metabolit cendawan DSE untuk mengendalikan *G. boninense* sebagai bentuk pengendalian hayati.

1.2 Rumusan Masalah

Penyakit Busuk Pangkal Batang (BPB) kelapa sawit yang disebabkan oleh *G. boninense* merupakan penyakit yang paling sulit dikendalikan pada perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Penyakit yang disebabkan oleh *G. boninense* ini bukan hanya menyerang tanaman dewasa, namun juga pada fase bibit sehingga sangat merugikan petani dan menghambat perluasan lahan pertanaman. Beberapa pengendalian telah dilakukan untuk menekan infeksi *G. boninense* akan tetapi belum optimal. Pemanfaatan metabolit cendawan endofit DSE diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif pengendalian.

1.3 Tujuan Penelitian

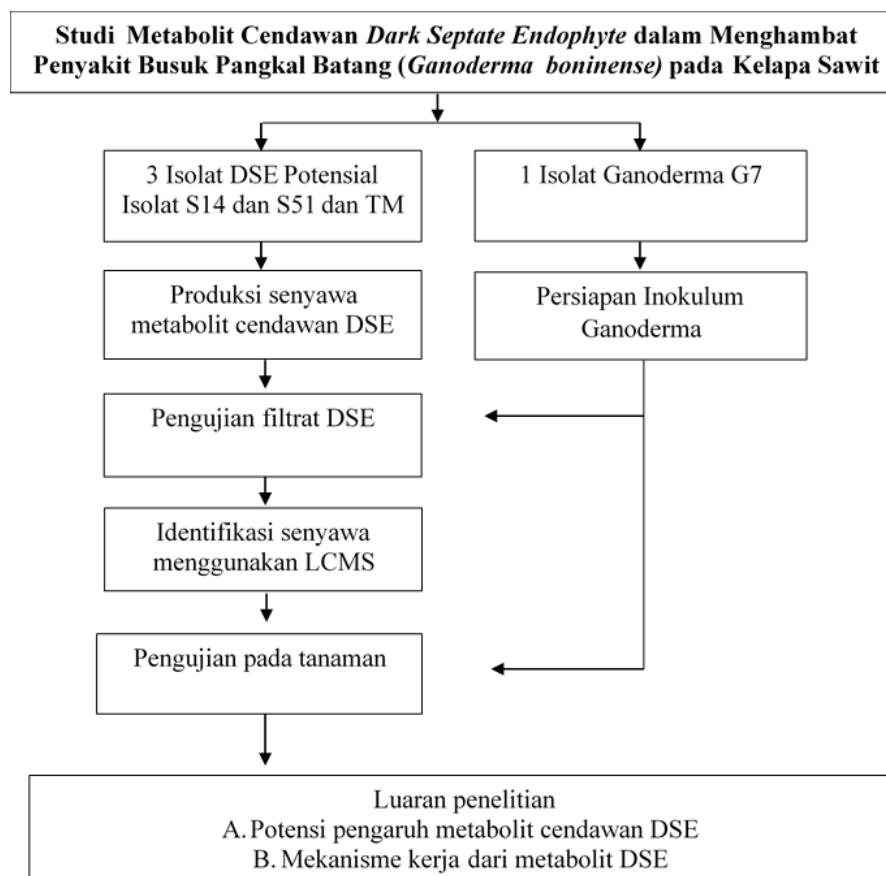
Penelitian ini bertujuan mengkaji potensi metabolit DSE untuk mengendalikan *G. boninense* pada bibit kelapa sawit dan mengevaluasi mekanisme kerjanya.

1.4 Hipotesis Penelitian

1. Metabolit sekunder yang dihasilkan oleh DSE dapat menghambat perkembangan cendawan *G. boninense*.
2. Metabolit sekunder yang dihasilkan oleh DSE dapat memacu pertumbuhan kelapa sawit.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini meliputi pemurnian isolat DSE terpilih, persiapan inokulum *G. boninense*, produksi senyawa metabolit dari DSE, pengujian filtrat, analisa kandungan senyawa filtrat, uji keefektifan DSE dalam menekan *G. boninense* secara *in vitro* dan *in vivo*. Adapun diagram alur penelitian ini secara rinci terlihat seperti gambar 1.1.



Gambar 1.1 Diagram alur penelitian “Studi Metabolit *Dark Septate Endophyte* dalam Menghambat Penyakit Busuk Pangkal Batang (*Ganoderma boninense*) pada Kelapa Sawit”



II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penyakit Busuk Pangkal Batang pada Tanaman Kelapa Sawit

2.1.1 Bioekologi Patogen Penyakit Busuk Pangkal Batang

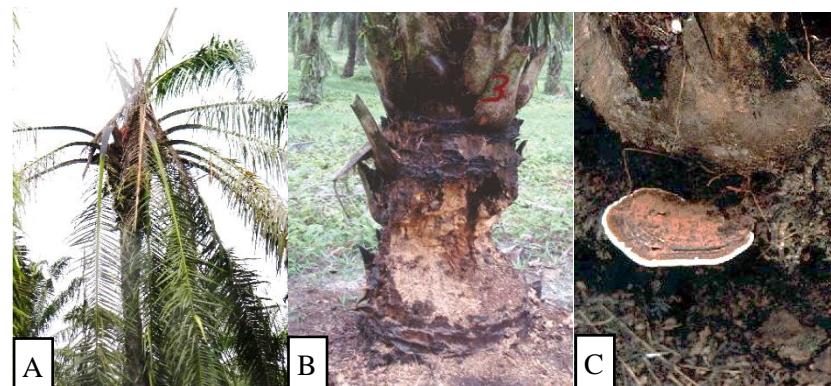
Penyakit busuk pangkal batang yang disebabkan cendawan *G. boninense*, merupakan penyakit paling berbahaya di perkebunan kelapa sawit khususnya di Indonesia dan Malaysia (Paterson 2007). Spesies *Ganoderma* yang menjadi penyebab penyakit tersebut dilaporkan berbeda-beda disetiap negara, di Afrika barat diidentifikasi karena *G. lucidum*, di Nigeria diketahui karena *G. zonatum*, di Malaysia dan di Indonesia dapat disebabkan oleh 4 spesies yang berbeda yakni *G. boninense*, *G. miniatoticum*, *G. zonatum* dan *G. tornatum*, dimana dari keempat spesies tersebut, dan *G. boninense* yang paling sering ditemukan (Susanto 2002). *Ganoderma* sama seperti jenis cendawan pada umumnya yaitu tidak memiliki klorofil dan kemampuan fotosintesis untuk memproduksi sumber makanannya sendiri, sehingga tumbuh dengan mengabsorbsi nutrien dari jaringan inang yang lemah atau mati khususnya pada pangkal batang dan akar. Patogen ini sebagai parasit fakultatif, terkadang tergantung kondisi lingkungan dan ketersediaan inangnya. Sumber inokulum primer dari *G. boninense* adalah akar tanaman yang sakit dan sisa tanaman lain yang dikolonisasi oleh cendawan tersebut (Rees *et al.* 2009; Cooper *et al.* 2011). Penyebaran utama patogen ini dimulai saat terjadi kontak akar sehat dengan jaringan tanaman lain yang terkena penyakit. Cendawan ini hidup sampai kedalaman 75 cm dari permukaan tanah namun pada kondisi tertentu cendawan ini dapat ditemukan pada kedalaman yang lebih dalam (Azahar *et al.* 2011).

Ganoderma boninense merupakan salah satu golongan dari patogen lemah, memiliki strategi hidup yang berlangsung lama. Tanaman yang lemah cenderung akan diserang oleh patogen ini karena patogen ini terkadang bersifat laten. Patogen ini umumnya menyerang tanaman kelapa sawit yang berumur lebih dari 10 tahun meskipun pada beberapa kasus juga ditemukan pada pembibitan. Cendawan ini memiliki kemampuan dalam menghasilkan enzim pendegradasi lignin dan selulosa. Senyawa lignin dan selulosa merupakan senyawa organik penyusun utama dinding sel kelapa sawit. Persentase senyawa paling besar penyusun kelapa sawit yaitu selulosa (Paterson 2007). Sifatnya yang mudah berubah menyebabkan penyakit ini sulit untuk dikendalikan (Cooper *et al.* 2011).

2.1.2 Gejala dan Tanda Penyakit

Penyakit busuk pangkal batang (BPB) kelapa sawit merupakan salah satu penyakit yang sulit dideteksi pada stadia dini. Perkembangan penyakit yang sangat lambat dengan gejala internal yang berbeda dengan gejala eksternal menyebabkan penyakit ini sulit dideteksi. Gejala ini mudah dideteksi pada saat dewasa saat membentuk tanda penyakit berupa tubuh buah. Gejala penyakit busuk pangkal batang (Gambar 2.1) yang disebabkan oleh *G. boninense* yaitu terjadi perubahan warna pada daun menjadi hijau pucat dan juga pertumbuhan tanaman menjadi terhambat.

Pada tanaman belum menghasilkan gejala penyakit ditandai dengan klorosis pada daun bagian bawah. Pada tanaman yang dewasa, pelepas akan menjadi pucat selanjutnya akan mengering dan mengakibatkan tombak pelepas baru terbentuk tidak dapat membuka. Pada tingkat serangan dengan intensitas serangan tinggi dapat mengakibatkan batang busuk dan kematian pada tanaman (Susanto 2011).

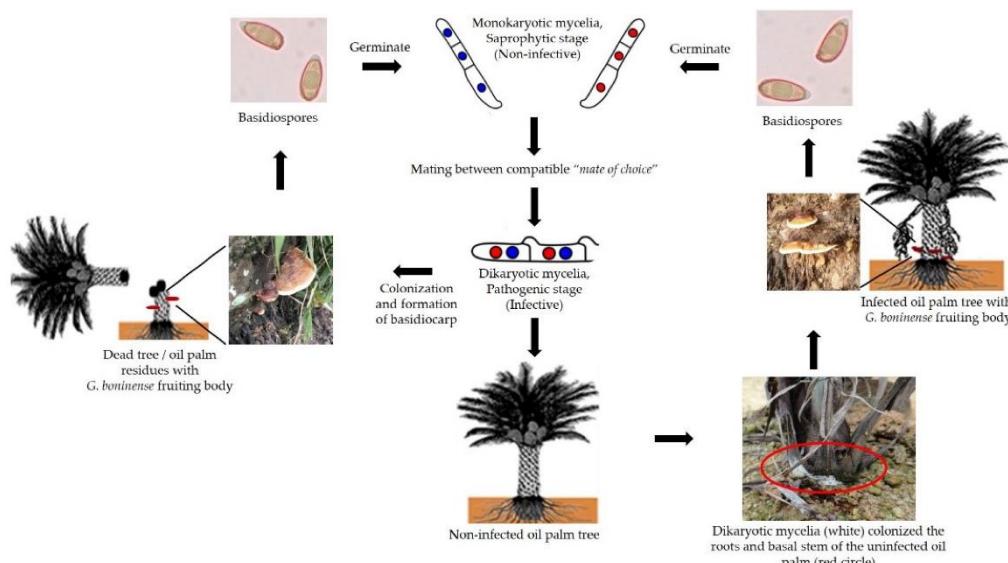


Gambar 2.1 Gejala infeksi *Ganoderma boninense* (A) Pelepas menggantung (B) Kerusakan dan busuk pada pangkal batang (C) Munculnya tubuh buah (Susanto 2011)

Jaringan akar yang terinfeksi berubah warna menjadi cokelat hingga menghitam pada serangan berat (Rahayu 1986). Hifa cendawan banyak ditemui pada jaringan korteks, endodermis, perisel, xilem dan floem. Tnada penyakit sudah mengalami serangan berat yaitu munculnya tubuh buah *G.boninense*. Morfologi warna dan bentuk tubuh buah *G.boninense* di tanaman kelapa sawit sangat bervariasi. Variasi ini dipengaruhi oleh substrat dan lingkungannya. Tubuh buah relatif jarang muncul pada tanaman muda dibandingkan tanaman tua.

2.1.3 Siklus Hidup *Ganoderma boninense*

Siklus hidup *G. boninense* dibagi menjadi seksual dan aseksual. Struktur seksual *G. boninense* disebut basidiokarp. Basidiospora *G. boninense* berwarna cokelat, berbentuk bulat telur, dan permukaan spora nya sedikit cekung. Dinding spora bagian luar dan bagian dalam terhubung dengan pilar penghubung. Dinding spora bagian dalam disebut endospora bertekstur lebih tebal daripada dinding spora bagian luar (Adaskaveg dan Gilbertson 1988). Basidiospora *G. boninense* nantinya akan berperan dalam infeksi dan penyebaran penyakit seperti yang dijelaskan pada siklus penyakit *G. boninense* pada Gambar 2.2 dibawah ini (Bharudin *et al.* 2021).

Gambar 2.2 Siklus hidup *G.boninense*

Basidiospora akan berkecambah membentuk sel miselia monokariotik yang mengandung satu inti sel haploid (Caselton dan Olesnicky 1988). Miselia monokariotik terus berkembang untuk menemukan miselia monokariotik lain yang kompatibel. Saat monokarion yang kompatibel dari dua jenis berbeda maka akan terjadi fusi. Setelah fusi, maka terjadi migrasi nukleus terjadi dimana inti berasal dari miselia yang menyatu dengan jenis kawin yang berbeda. Setelah dua inti sel menyatu, pertumbuhan selanjutnya adalah dengan membentuk miselia dikariotik (memiliki dua inti sel) karena dikariotisasi telah terjadi (Casselton dan Olesnicky 1998).

Pada umumnya miselia monokariotik (memiliki satu inti sel) yang berasal dari basidiospora kemungkinan tidak akan langsung bertemu dengan miselia monokariotik yang kompatibel. Tahapan awal saat terjadi kolonisasi dilakukan oleh miselia monokariotik dengan menghabiskan waktu selama 12 bulan hingga menjadi dikariotik. Oleh karena itu, sifat miselia monokariotik sama seperti *G. boninense* pada awalnya dapat hidup saprofit pada sisa tanaman kelapa sawit (Coates dan Rayner 1985). Bekas-bekas akar tanaman yang terinfeksi cendawan *G. boninense* kemungkinan memiliki peran penting sebagai inokulum dan untuk kelangsungan hidup cendawan dalam jangka panjang. Mengingat sifat basidiospora *G. boninense* bersifat *airborne* sehingga cendawan ini dapat memulai infeksi yang baru pada tungkul atau puing-puing penebangan yang selanjutnya dapat menyebar ke tanaman hidup melalui kontak akar (Chang 2003).

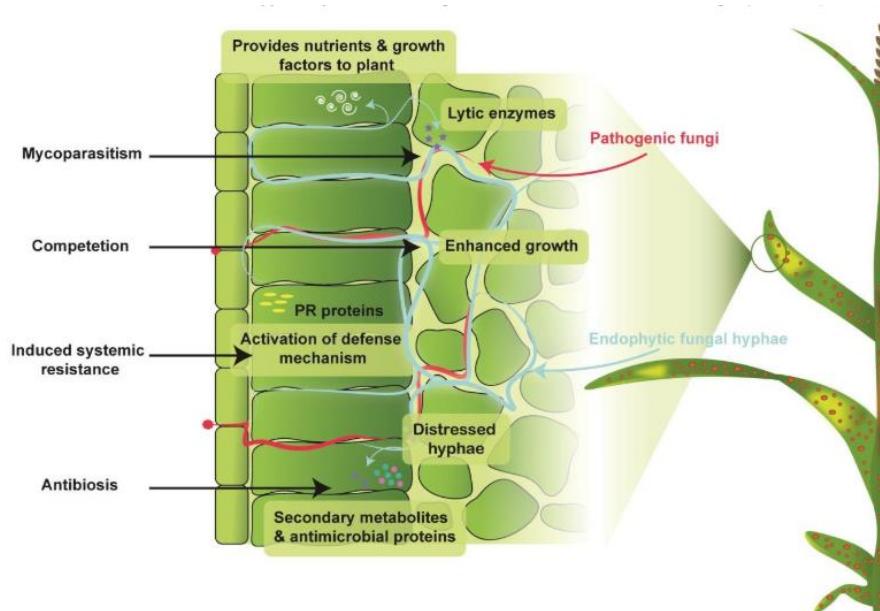
2.1.4 Pengendalian Penyakit Busuk Pangkal Batang

Beberapa pengendalian telah dilakukan seperti sanitasi sumber inokulum *G. boninense* saat awal tanam ulang, modifikasi sistem penanaman *hole in hole*, pembedahan dan pembumbunan tanaman terinfeksi *G. boninense*, pembuatan parit isolasi telah dilakukan untuk menekan infeksi cendawan *G. boninense* (Priwiratama *et al.* 2014) telah dilakukan untuk menekan infeksi *G. boninense*. Pada daerah endemik *G. boninense* umumnya diterapkan sistem penanaman *hole in hole*, pembuatan parit isolasi serta pembedahan dan pembumbunan tanaman terinfeksi

G. boninense. Upaya pengendalian juga dilakukan dengan menanam menggunakan beberapa varietas tahan terhadap serangan penyakit busuk pangkal batang. Teknik pengendalian secara kimiawi sintetik menggunakan beberapa bahan aktif fungisida dilaporkan belum efektif dalam menekan infeksi bahkan memberikan dampak negatif terhadap mikroba bermanfaat di dalam tanah (Priwiratama *et al.* 2014). Pengendalian hayati dilakukan dengan memanfaatkan agens antagonis, seperti cendawan *Trichoderma* sp. dan endomikoriza yang dilaporkan dapat menghasilkan senyawa anti cendawan (Kartika *et al.* 2006).

2.2 Cendawan Endofit

Cendawan endofit merupakan mikroorganisme yang hidup di dalam jaringan tanaman dan tidak menyebabkan gejala pada tanaman inangnya (An *et al* 2020). Cendawan endofit mampu bertahan hidup pada jaringan tanaman dalam waktu yang lama dan berfungsi untuk melindungi tanaman dari cekaman biotik dan abiotik. Cendawan endofit membentuk interaksi antar spesies dengan mekanisme langsung seperti kompetisi, antibiosis dan membentuk anti mikroba dengan memproduksi senyawa metabolit dan volatil, sedangkan mekanisme tidak langsung dengan induksi resistensi. Akram *et al.* 2023, menjelaskan mekanisme interaksi cendawan endofit dengan cendawan patogen pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2. Mekanisme interaksi pada cendawan endofit dengan cendawan patogen

Mekanisme langsung pada cendawan endofit dengan mampu berkompetisi ditandai oleh kemampuan mengkolonisasi jaringan tanaman baik secara lokal maupun sistemik dengan memanfaatkan nutrisi untuk menciptakan lingkungan yang tidak sesuai untuk pertumbuhan cendawan patogen. Selanjutnya mekanisme secara antibiosis dengan menghasilkan berbagai metabolit sekunder yang menghambat pertumbuhan patogen tanaman.



Metabolit sekunder pada tanaman merupakan senyawa bioaktif yang berguna untuk menghambat pertumbuhan cendawan patogen (Radji 2005). Metabolit sekunder dari cendawan endofit telah banyak diteliti fungsinya sebagai bentuk preventif dan kuratif mikroorganisme berbahaya, termasuk patogen tanaman baik bakteri, cendawan, virus, dan protozoa.

4.4 Potensi Metabolit Sekunder Cendawan Endofit sebagai Antifungi

Cendawan endofit memiliki potensi dalam menghasilkan metabolit sekunder dalam bentuk yang beragam secara struktural dan aktif secara biologis untuk melindungi tanaman inang dari patogen. Metabolit sekunder didefinisikan sebagai senyawa-senyawa yang memiliki berat molekul rendah, tidak dibutuhkan untuk pertumbuhan dalam kultur murni, dan dihasilkan sebagai adaptasi terhadap fungsi spesifik di alam. Metabolit sekunder dari cendawan endofit telah banyak diteliti untuk menghambat atau mematikan berbagai mikroorganisme berbahaya, termasuk patogen tanaman baik bakteri, cendawan, virus, dan protozoa. Cendawan endofit kadang-kadang dapat menghasilkan antibiotik saat dikulturkan (Strobel *et al.* 2004). Sejumlah metabolit dengan susunan kimia berbeda telah diuraikan dari cendawan endofit seperti alkaloid, terpenoid, steroid, peptida, benzopiranonan, kuinon dan isocoumarin. Metabolit sekunder cendawan endofit yang memiliki aktivitas antifungi terhadap patogen tanaman telah banyak dilaporkan baik berupa ekstrak kasar maupun senyawa aktif. Beberapa senyawa metabolit sekunder cendawan endofit yang telah dilaporkan memiliki aktivitas antifungi antara lain ekstrak etil asetat *Acremonium bactrocephalum* dan miselia steril dapat menghambat pertumbuhan cendawan *Alternaria alternata* (Hormabazal dan Piontelli 2009); Ekstrak etil asetat *Chaetomium globosum* dapat menghambat pertumbuhan radial *S. sclerotiorum* sebesar 75.68%. Ekstrak metanol *C. globosum* dari hasil partisi ekstrak etil asetat dapat menghambat pertumbuhan radial *S. sclerotiorum* sebesar 80.83% (Kumar *et al.* 2013); ekstrak etil asetat filtrat dan miselium cendawan endofit *Cladosporium* asal tanaman bambu dapat menunjukkan zona penghambatan terhadap cendawan *Pleospora*.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.



3.1

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan November 2022 hingga Agustus 2023. Kegiatan pemurnian serta pengujian cendawan patogen dan cendawan endofit secara *in vitro* dilakukan di Laboratorium Mikologi Departemen Proteksi Tanaman, IPB. Pengujian keefektifan cendawan endofit pada kelapa sawit dilakukan di Rumah Kaca Departemen Proteksi Tanaman, IPB.

3.2

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, isolat DSE terpilih koleksi BRIN yaitu isolat S14, S51 dan TM, media uji *in vitro* antara lain seperti *corn meal malt yeast agar* (CMMYA), *potato dextrose agar* (PDA), *potato dextrose broth* (PDB), bibit sawit berumur 3 bulan, polybag 5 kg, bahan kimia lainnya seperti chloramphenicol, akuades dan alkohol. Alat yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah cawan petri, mikropipet, tip, *syringe*, kertas Whatman, *centrifuge*, *shaker* inkubator, autoklaf, tabung reaksi dan rak, mikroskop cahaya, *haemocytometer*, timbangan analitik, *laminar airflow cabinet* (LAFC), vortex, erlenmeyer, gelas beaker, kaca preparat dan *cover glass*.

3.3 Persiapan Inokulum *Ganoderma boninense*

Inokulum *G. boninense* asal Medan diperbanyak pada substrat kayu karet steril berukuran 6 cm × 6 cm × 6 cm. Teknik persiapan inokulum mengikuti metode Idris *et al.* (2004). Potongan *G. boninense* dalam medium *Potato Dextrose Agar* (PDA) sebesar 1 cm diinokulasikan ke dalam plastik tahan panas yang berisi potongan kayu karet yang telah disterilisasi, kemudian diinkubasi pada suhu 28 °C selama satu sampai dua bulan untuk mendapatkan inokulum yang sudah tua.

3.4 Isolat Cendawan Endofit

Isolat cendawan endofit yang digunakan dalam penelitian ini merupakan tiga isolat koleksi Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), yang diisolasi dari bagian akar tanaman. Tiga isolat *Cladophialophora nyngchiensis* dengan kode isolat S51 asal tanaman kelapa sawit dari Subang, isolat *Exophiala pisciphila* dengan kode isolat S14 asal tanaman kelapa sawit dari Subang dan isolat *Diaporthe pandanicola* dengan kode isolat TM asal tanaman karet dari Deli Serdang. Tiga isolat tersebut dikulturkan pada media CMMYA dan diinkubasi selama 7-25 hari pada suhu ruang sebelum digunakan untuk beberapa tahap pengujian.

3.5 Optimasi Produksi Senyawa Metabolit

Produksi senyawa metabolit oleh DSE dilakukan berdasarkan metode Achmad (1997). Cendawan DSE yang sudah dimurnikan pada media Corn Meal Malt Yeast Agar (CMMYA), dipotong sebanyak tiga potong dengan diameter 0,5 cm dari masing-masing isolat, kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer berisi 100 mL medium PDB. Medium PDB diinkubasikan menggunakan shaker dengan kecepatan 100 rpm dengan perlakuan masa inkubasi selama satu hingga empat minggu. Medium Potato Dextrose Broth (PDB) disentrifugasi dengan kecepatan

6000 rpm selama 20 menit untuk memperoleh supernatan. Supernatan kemudian disaring dengan syringe filter berukuran 0,2 µm, sehingga diperoleh filtrat DSE.

3.6 Pengujian Konsentrasi Filtrat

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan nilai IC (*Inhibition concentration*) dengan cara peracunan media menggunakan metode Meyer *et al.* (1982). Filtrat DSE S51, S14 dan TM dari masing-masing perlakuan inkubasi dicampur dengan PDA sesuai dengan perlakuan konsentrasi, yaitu 15% (campuran 1,5 ml filtrat dengan 8,5 ml PDA), 30% (campuran 3 ml filtrat dengan 7 ml PDA), 45% (campuran 4,5 ml filtrat dengan 5,5 PDA), 60% (campuran 6 ml filtrat dengan 4 ml PDA), 75% (campuran 7,5 ml filtrat dengan 2,5 ml PDA) dan tanpa penambahan filtrat sebagai kontrol negatif. Campuran PDA dan filtrat tersebut dituang pada cawan petri. Setelah padat, kemudian diinokulasi cendawan *Ganoderma boninense* dengan diameter 0,5 cm. Perlakuan pada masing-masing konsentrasi diulang sebanyak lima kali dan diinkubasi pada suhu ruang selama tujuh hari. Pengamatan dilakukan setiap hari selama tujuh hari berturut-turut dengan mengukur diameter koloni cendawan *G.boninense*. Lalu dihitung daya hambat relatif filtrat dan dimasukkan dalam program POLO PC (Finney 1971) sehingga diperoleh data IC dan daya hambat filtrat dengan masa inkubasi satu hingga empat minggu. Filtrat terbaik kemudian dianalisis menggunakan LCMS.

$$\text{Daya Hambat Relatif} = \frac{D_1 - D_2}{D_1} \times 100\%$$

Keterangan:

D1 = diameter hifa cendawan patogen sebagai kontrol negatif (cm)

D2 = diameter hifa cendawan patogen sebagai perlakuan (cm)

3.7 Identifikasi Senyawa menggunakan LCMS

Identifikasi senyawa yang terkadung di dalam filtrat S51 menggunakan LCMS mengikuti metode Shahid *et al.* (2018). Ambil 500 µl filtrat dan masukkan ke Kromatografi Cair-Elekrospray Ionisasi-Spektrometri Massa (LC/ESI/MS), untuk identifikasi metabolit sekunder. Siapkan instrumen dan lakukan proses LC-ESI MS/MS menggunakan sistem LCMS. Pemisahan kromatografi dilakukan dengan menggunakan kolom Thermo Hypersil Gold C18 (4,6 x 250 mm, ukuran partikel 5 µm). Atur suhu kompartemen kolom pada 25 °C, dan masukkan 20 µl volume injeksi ke dalam kolom. Gradien yang digunakan untuk memisahkan metabolit terdiri dari dua sistem pelarut. Pelarut A adalah 0,1% asam format dalam air dan pelarut B adalah 0,1% asam format dalam asetonitril. Total waktu kerja LC-MS/MS adalah 55 menit, dan atur laju alir pada 0,7 ml/menit.

3.8 Uji Keefektifan Metabolit DSE dalam Menekan *Ganoderma boninense* di Pembibitan

3.8.1 Persiapan media tanam

Media tanam yang digunakan dalam pengujian adalah campuran antara tanah topsoil dan pasir dengan perbandingan 1:1 yang disterilkan terlebih dahulu. Sebanyak 5 kg media tanam dimasukkan ke dalam polybag berukuran 40 x 50 cm.





3.8.2 Inokulasi *Ganoderma boninense* dan penanaman bibit

Inokulasi *G. boninense* dilakukan bersamaan dengan penanaman bibit kelapa sawit. Cara yang digunakan dengan membuat lubang tanam pada *polybag*, lalu membenamkan sepotong kayu berinokulum *G. boninense* dan ditempelkan erat pada akar tanaman sedalam 10 cm, kemudian ditutup kembali dengan tanah. Bibit kelapa sawit yang digunakan untuk pengujian di rumah kaca adalah bibit sehat berumur tiga bulan dengan varietas DXP sriwijaya.

3.8.3 Aplikasi filtrat cendawan endofit S51

Aplikasi filtrat cendawan endofit S51 dilakukan dengan percobaan satu kali penyiraman yaitu pada saat penanaman bibit kelapa sawit dan inokulasi patogen dan penyiraman dua kali dengan selang satu minggu setelah penyiraman pertama.

3.8.4 Rancangan percobaan

Percobaan di rumah kaca dilakukan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK). Percobaan terdiri atas enam perlakuan dan lima ulangan (Tabel 3.1). Setiap perlakuan pada tiap-tiap ulangan terdiri atas tiga unit tanaman, sehingga total bibit tanaman yang diuji pada satu percobaan berjumlah 90 bibit. Perlakuan percobaan meliputi :

Tabel 3.1 Perlakuan jumlah aplikasi (penyiraman) filtrat isolat S51 dan konsentrasi nya pada bibit kelapa sawit

Kode perlakuan	Perlakuan
F27A	Penyiraman filtrat 1 kali (konsentrasi 27%)
F27B	Penyiraman filtrat 2 kali (konsentrasi 27%)
F75A	Penyiraman filtrat 1 kali (konsentrasi 75%)
F75B	Penyiraman filtrat 2 kali (konsentrasi 75%)
KP	Kontrol positif (tanaman + <i>G. boninense</i>)
KN	Kontrol negatif (tanaman)

Pengamatan terhadap pertumbuhan tanaman meliputi: tinggi tanaman, jumlah daun, dan diameter bonggol dilakukan setiap dua minggu sekali selama 4 bulan setelah inokulasi (BSI). Pengamatan insidensi dan keparahan penyakit dilakukan setiap dua minggu sekali selama 4 BSI dengan cara mengamati gejala eksternal pada bibit tanaman sawit dengan nilai kategori penyakit eksternal berdasarkan Rakib *et al.* (2015). Pada akhir percobaan, dilakukan pengamatan insidensi dan keparahan penyakit secara destruktif dengan mengamati gejala internal bibit dengan nilai kategori penyakit internal berdasarkan Peng *et al.* (2022).

Insidensi penyakit pada tanaman dihitung dengan menentukan nilai kejadian penyakit. Nilai tersebut diperoleh dengan menghitung perbandingan antara tanaman yang sakit dengan jumlah seluruh tanaman yang diamati dengan menggunakan persamaan Townsend dan Huberger (1943)

$$IP (\%) = \frac{n}{N} \times 100\%$$

Keterangan :

IP = Insidensi Penyakit

n = jumlah tanaman yang terkena penyakit

N = jumlah seluruh tanaman yang diamati

Perhitungan indeks keparahan penyakit *G. boninense* dengan menggunakan skala numerik seperti pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 Indeks keparahan penyakit *G. boninense* dihitung dengan menggunakan persamaan Townsend dan Huberger (1943)

$$DS (\%) = \frac{\sum(n_i \times v_i)}{N \times Z} \times 100\%$$

Keterangan :

DS = *diseases severity* (keparahan penyakit)

vi = skor intensitas serangan sampel

ni = jumlah sampel tanaman/bibit dengan skor ke-i

N = jumlah seluruh sampel yang diamati

Z = skor intensitas serangan maksimal

Tabel 3.2 Skala numerik penilaian penyakit akibat serangan cendawan *Ganoderma boninense*

Skor	Gejala serangan <i>Ganoderma boninense</i> pada bibit kelapa sawit
0	Tanaman sehat, daun hijau, dan tidak terbentuk massa cendawan pada semua bagian tanaman
1	Terdapat 1-3 daun yang mengalami klorosis dan tidak terbentuk massa cendawan pada seluruh bagian tanaman
2	Terdapat massa cendawan yang disertai atau tidak disertai oleh gejala klorosis
3	Terdapat lebih dari 3 helai daun yang mengalami gelaga klorosis, terdapat daun yang mengalami nekrotik baik yang disertai atau tidak disertai dengan pembentukan massa cendawan pada bagian tanaman
4	Paling sedikit terdapat 4 daun yang mengalami klorosis atau nekrosis baik yang disertai atau tidak disertai dengan pembentukan massa cendawan
5	Tanaman mati baik yang disertai atau tidak disertai dengan pembentukan massa cendawan





Tabel 3.3 Skoring gejala internal pada bonggol dan akar bibit kelapa sawit yang terinfeksi *Ganoderma boninense*

Skor	Gejala serangan <i>Ganoderma boninense</i> pada bibit kelapa sawit
0	Tidak ada gejala nekrotik pada perakaran dan pangkal batang
1	Terdapat nekrotik pada perakaran tetapi belum pada pangkal batang
2	Terdapat nekrotik pada perakaran, mulai terjadi nekrotik pada bagian pangkal batang < 5%
3	Terdapat nekrotik pada perakaran, nekrotik pada bagian pangkal batang 5%-25%
4	Terdapat nekrotik pada perakaran, nekrotik pada bagian pangkal batang > 25%, muncul tubuh buah <i>Ganoderma boninense</i> pada pangkal batang, nekrotik sampai mati.

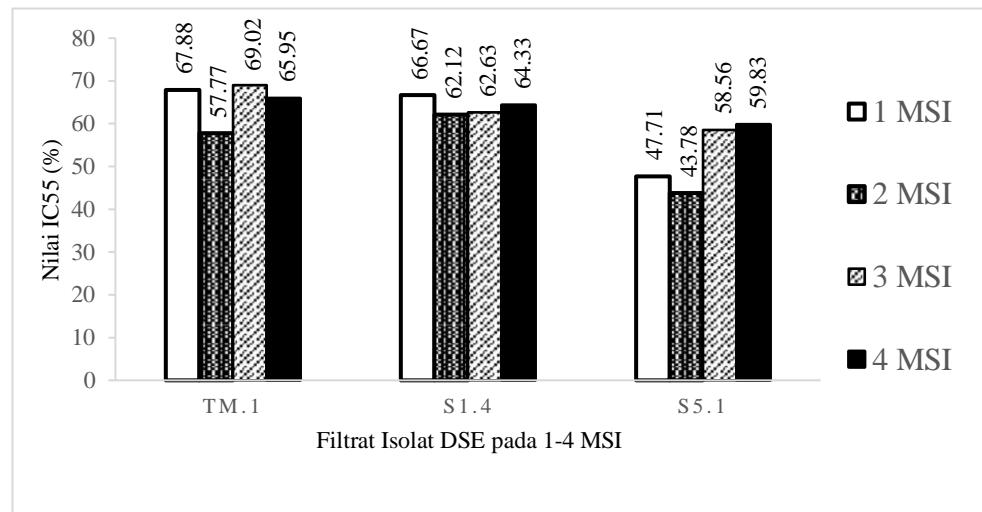
3.9 Analisis Data

Data hasil pengujian *in vitro* di laboratorium dan *in vivo* di rumah kaca ditabulasi dengan Microsoft Excel 2019 serta dianalisis menggunakan program POLO PC dan analisis ragam (*analysis of variance/ANOVA*). Perlakuan tingkat hambatan relatif yang berbeda nyata diuji lanjut dengan uji Tukey pada taraf 5% dan perlakuan agronomis yang berbeda nyata diuji lanjut dengan uji Dunnet pada taraf 5% dengan menggunakan perangkat lunak SAS 9.4.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Masa Inkubasi Filtrat

Cendawan endofit ditumbuhkan pada media cair PDB dengan perlakuan masa inkubasi satu hingga empat minggu. Penentuan masa inkubasi filtrat efektif ditentukan berdasarkan nilai IC₅₅ dari perhitungan Tingkat Hambatan Relatif (THR) pada hari ke tujuh. Nilai IC₅₅ paling efektif diperoleh dengan menginkubasi filtrat selama 2 minggu, ditandai dengan nilai konsentrasi terendah dengan penambahan filtrat isolat S51 sebesar 43,78% sudah mampu menekan *G. boninense* (Gambar 4.1). Hasil dari pengujian ini dipilih dua filtrat isolat terbaik dengan penghambatan tertinggi yang akan diuji lanjutan yaitu pada filtrat isolat TM dan S51.



Gambar 4.1 Nilai IC₅₅ dari filtrat isolat DSE pada berbagai konsentrasi dengan masa inkubasi 1,2,3 dan 4 minggu; *Diaporthe* (TM), *Exophiala* (S14) dan *Cladophialophora* (S51)

4.2 Tingkat Hambatan Relatif

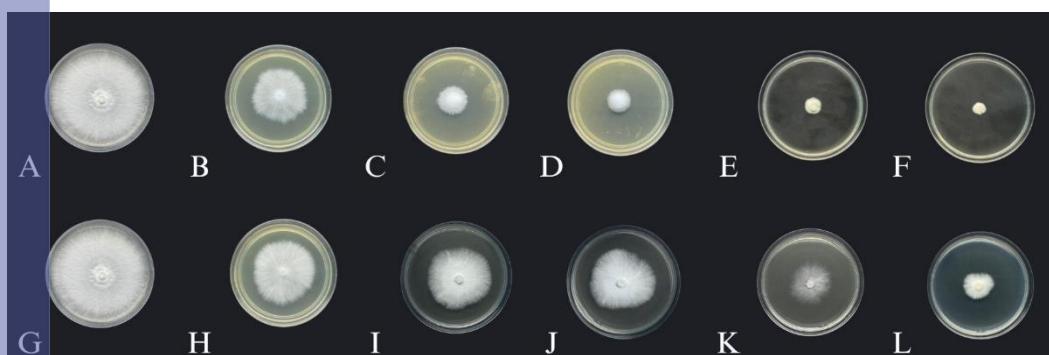
Peracunan media memperlihatkan kemampuan koloni *G. boninense* untuk tumbuh pada media PDA yang ditambahkan filtrat DSE mulai dari konsentrasi 15% hingga 75% (Gambar 4.2). Pertumbuhan diameter masing-masing koloni *G. boninense* dengan penambahan filtrat S51 dan TM pada 2 MSI menunjukkan tingkat pertumbuhan yang berbeda-beda. Tingkat hambatan relatif dengan penambahan kedua filtrat menunjukkan adanya peningkatan hambatan setiap minggunya seiring dengan peningkatan konsentrasi pada media (Tabel 4.1). Penghambatan tertinggi terlihat pada minggu ke delapan dengan penambahan filtrat S51 konsentrasi 75%, memiliki tingkat penghambatan sebesar 88,63%. Filtrat dengan tingkat penghambatan tertinggi yaitu filtrat S51 akan digunakan dalam uji selanjutnya yaitu uji *in vivo*.

Tabel 4.1 Tingkat hambatan relatif filtrat TM dan S51 terhadap *Ganoderma boninense* melalui peracunan media

Perlakuan filtrat	Tingkat hambatan relatif (%)*			
	2 MSP**	4 MSP	6 MSP	8 MSP
Isolat TM				
15%	24,14 ^h	28,39 ^h	43,48 ^j	47,89 ^j
30%	38,28 ^g	43,02 ^g	52,57 ⁱ	56,15 ⁱ
45%	44,14 ^f	51,09 ^f	55,14 ^h	60,30 ^h
60%	50,52 ^e	54,13 ^e	60,47 ^g	64,22 ^g
75%	52,07 ^e	58,21 ^d	63,09 ^e	67,00 ^f
Isolat S51				
15%	57,27 ^d	57,70 ^d	69,09 ^e	71,48 ^e
30%	62,50 ^c	67,01 ^c	73,56 ^d	77,78 ^d
45%	65,67 ^b	69,51 ^b	79,82 ^c	82,56 ^c
60%	64,61 ^{bc}	77,39 ^a	84,67 ^b	86,48 ^b
75%	68,49 ^a	79,33 ^a	87,24 ^a	88,63 ^a

Keterangan: *Angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata pada uji Tukey $\alpha = 5\%$

**MSP = Minggu Setelah Perlakuan



Gambar 4.2 Pertumbuhan koloni *Ganoderma boninense* pada media PDA dengan berbagai konsentrasi filtrat S51 dan TM; Filtrat S51; (A) Kontrol , (B) 15% (C) 30%, (D) 45%, (E) 60% dan (F) 75% serta filtrat TM; (G) Kontrol, (H) 15%, (I) 30%, (J) 45% (K) 60% dan (L) 75%

4.3 Pengaruh filtrat Dark Septate Endophyte terhadap keparahan dan insidensi penyakit secara *in vivo*

4.3.1 Pengaruh perlakuan filtrat S51 terhadap gejala eksternal

Pengaruh perlakuan filtrat S51 terhadap keparahan dan insidensi penyakit berdasarkan gejala eksternal disajikan berturut-turut pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3. Gejala eksternal mulai terlihat pada minggu ke empat setelah inokulasi patogen. Hasil perhitungan keparahan dan insidensi penyakit secara eksternal menunjukkan



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

bahwa keparahan serta insidensi penyakit menunjukkan hasil yang beda nyata dengan kontrol positif namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Pada perlakuan bibit yang diinfeksi dengan *G. boninense* dan filtrat S51 tidak menunjukkan adanya bercak nekrotik dan bibit tumbuh dengan baik. Namun pada bibit kelapa sawit yang diinfeksi *G. boninense* tanpa filtrat S51 menunjukkan gejala nekrotik yang mana daun berubah warna menjadi kuning kecokelatan, daun mengering dan setelah 2,5 bulan pengamatan mulai muncul tubuh buah di bagian pangkal batang dan cangkang biji ditutupi oleh miselia *G. boninense* (Gambar 4.3).

Tabel 4.2 Pengaruh perlakuan filtrat S51 terhadap keparahan penyakit berdasarkan gejala eksternal pada bibit kelapa sawit

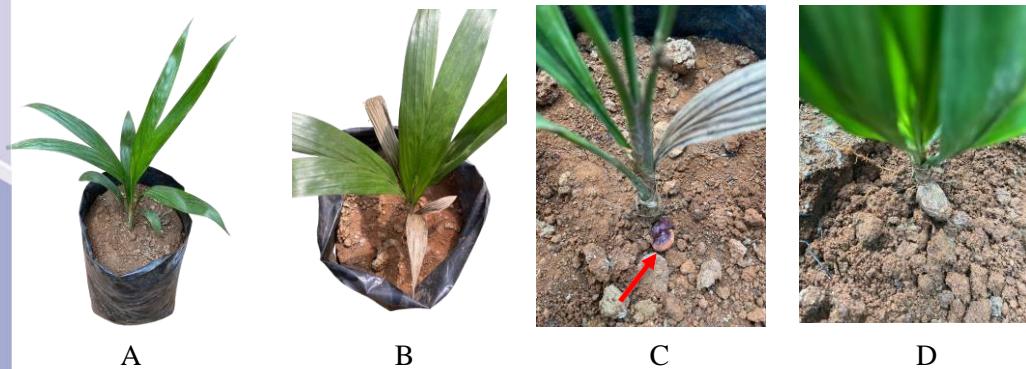
Perlakuan Filtrat DSE	Keparahan Penyakit eksternal (%) pada n-minggu setelah inokulasi (MSI)*			
	2 MSI	4 MSI	6 MSI	8 MSI
F27A	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^b	0,00 ± 0,00 ^b
F27B	0,00 ± 0,00 ^b	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^b	0,00 ± 0,00 ^b
F75A	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^b	0,00 ± 0,00 ^b
F75B	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^b	0,00 ± 0,00 ^b
KP	0,00 ± 0,00 ^a	5,20 ± 0,72 ^a	22,6 ± 1,03 ^a	30,80 ± 0,86 ^a
KN	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^b	0,00 ± 0,00 ^b

Keterangan: *Angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata pada uji Tukey $\alpha = 5\%$

Tabel 4.3 Pengaruh perlakuan filtrat S51 terhadap insidensi penyakit berdasarkan gejala eksternal pada bibit kelapa sawit

Perlakuan Filtrat DSE	Insidensi penyakit eksternal (%) pada n-minggu setelah inokulasi (MSI)*			
	2 MSI	4 MSI	6 MSI	8 MSI
F27A	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^b	0,00 ± 0,00 ^b
F27B	0,00 ± 0,00 ^b	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^b	0,00 ± 0,00 ^b
F75A	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^b	0,00 ± 0,00 ^b
F75B	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^b	0,00 ± 0,00 ^b
KP	0,00 ± 0,00 ^a	20,00 ± 1,91 ^a	73,40 ± 0,45 ^a	100,00 ± 0,00 ^a
KN	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^b	0,00 ± 0,00 ^b

Keterangan: *Angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata pada uji Tukey $\alpha = 5\%$



Gambar 4.3 Gejala eksternal: (A) Bibit sehat dengan perlakuan filtrat, Gambar B, C dan D merupakan bibit tanpa perlakuan filtrat; (B) Daun berubah warna menjadi kuning kecokelatan, (C) Setelah 2,5 bulan pengamatan mulai muncul tubuh buah di pangkal batang, (D) Cangkang biji ditutupi oleh miselia *Ganoderma boninense*

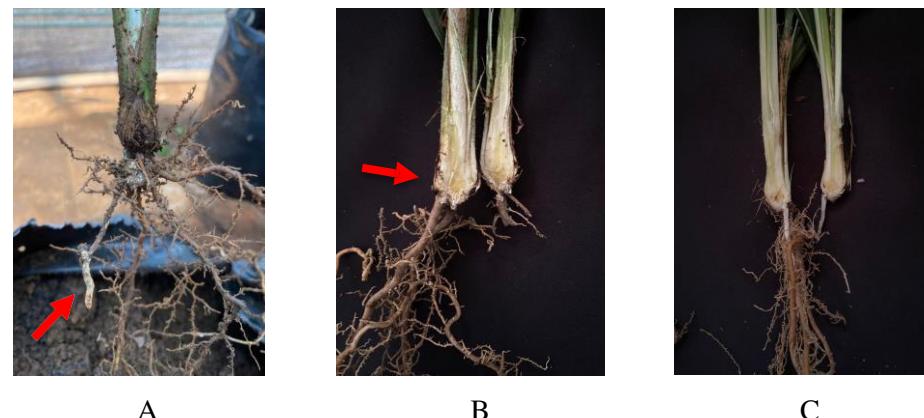
4.3.2 Pengaruh perlakuan filtrat S51 terhadap gejala internal

Pengaruh perlakuan filtrat S51 terhadap keparahan dan insidensi penyakit berdasarkan gejala eksternal disajikan berturut-turut pada Tabel 4.4. Hasil perhitungan keparahan dan insidensi penyakit secara internal menunjukkan bahwa keparahan serta insidensi penyakit menunjukkan hasil yang beda nyata dengan kontrol positif namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Pada perlakuan bibit yang diinfestasikan dengan *G. boninense* dan filtrat S51 tidak menunjukkan akar membusuk namun pada perlakuan penyiraman filtrat S51 dengan konsentrasi 27% yang disiram sebanyak satu kali terdapat 2 tanaman yang menunjukkan gejala akar yang hampir membusuk. Pada bibit kelapa sawit yang diinfestasikan *G. boninense* tanpa filtrat S51 menunjukkan gejala akar membusuk dan muncul tubuh buah pada perakaran dan bonggol yang terinfeksi berwarna kecokelatan dan terdapat miselia *G. boninense* (Gambar 4.4). Menurut Susanto (2013), penyakit *G. boninense* dikenal dengan penyakit tersembunyi (*cryptic diseases*) karena seringkali tidak menyebabkan penampakan gejala pada tanaman yang terinfeksi sehingga perlu dilakukan pengamatan secara internal dengan pengambilan sampel secara destruktif pada bagian perakaran.

Tabel 4.4 Keparahan dan insidensi penyakit berdasarkan gejala internal

Perlakuan Filtrat DSE	Insidensi penyakit internal (%)	Keparahan penyakit internal (%)
F27A	13,20 ± 1,21 ^b	2,80 ± 0,83 ^b
F27B	0,00 ± 0,00 ^b	0,00 ± 0,00 ^b
F75A	0,00 ± 0,00 ^b	0,00 ± 0,00 ^b
F75B	0,00 ± 0,00 ^b	0,00 ± 0,00 ^b
KP	100 ± 0,00 ^a	33,20 ± 0,60 ^a
KN	0,00 ± 0,00 ^b	0,00 ± 0,00 ^b

Keterangan: *Angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Tukey pada $\alpha = 5\%$



Gambar 4.4 Gejala internal: (A) Akar membusuk dan muncul tubuh buah *Ganoderma boninense*, (B) Bonggol terinfeksi *Ganoderma boninense* berwarna kecokelatan dan terdapat hifa *Ganoderma boninense* (C) Bonggol tidak terinfeksi *Ganoderma boninense*

4.4 Pengaruh perlakuan filtrat isolat S51 terhadap karakter agronomis bibit kelapa sawit

Perlakuan filtrat isolat S51 terhadap tinggi tanaman, jumlah daun dan diameter bonggol disajikan berturut-turut pada Tabel 4.5; Tabel 4.6 dan Tabel 4.7. Hasil percobaan menunjukkan bahwa tinggi tanaman yang diberi dengan filtrat isolat S51 dengan penyiraman filtrat S51 sebanyak dua kali pada konsentrasi 75% (F75B) memiliki rerata tinggi tanaman nyata lebih tinggi dan diameter bonggol lebih besar dibandingkan dengan perlakuan kontrol positif. Jumlah daun menunjukkan hasil yang tidak beda nyata dibandingkan dengan perlakuan kontrol positif, akan tetapi rerata jumlah daun perlakuan lebih tinggi dibandingkan kontrol sehingga dapat dikatakan bahwa filtrat S51 tidak bersifat fitotoksik terhadap bibit kelapa sawit.

Tabel 4.5 Tinggi bibit kelapa sawit di dalam rumah kaca setelah diberi perlakuan penyiraman filtrat S51

Perlakuan Filtrat DSE	Tinggi tanaman (cm) pada n-minggu setelah inokulasi (MSI)*			
	2 MSI	4 MSI	6 MSI	8 MSI
F27A	28,09 ± 1,40 ^{ns}	31,58 ± 1,50 ^{ns}	36,71 ± 1,25 ^{ns}	42,21 ± 1,70 ^{ns}
F27B	27,73 ± 2,58 ^{ns}	33,13 ± 2,30	39,95 ± 2,7	43,93 ± 2,05 ^{ns}
F75A	30,31 ± 2,4 ^{ns}	33,36 ± 3,23	39,46 ± 3,02	45,00 ± 2,63
F75B	31,93 ± 1,18 ^{ns}	35,55 ± 1,82	40,07 ± 0,76	45,93 ± 0,95
KP	26,41 ± 1,18 ^{ns}	30,66 ± 1,45 ^{ns}	33,36 ± 1,89 ^{ns}	40,37 ± 3,64 ^{ns}
KN	27,69 ± 1,57 ^{ns}	31,43 ± 1,16 ^{ns}	36,63 ± 1,4 ^{ns}	41,60 ± 0,87 ^{ns}

*Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan kontrol positif (KP) berdasarkan uji Dunnet pada taraf 5%



Tabel 4.6 Jumlah daun bibit kelapa sawit di dalam rumah kaca setelah diberi perlakuan penyiraman filtrat S51

Perlakuan Filtrat DSE	Jumlah daun (helai) pada n-minggu setelah inokulasi (MSI)*			
	2 MSI	4 MSI	6 MSI	8 MSI
F27A	4,17 ± 0,16 ^{ns}	5,07 ± 0,25 ^{ns}	5,97 ± 0,34 ^{ns}	7,00 ± 0,45 ^{ns}
F27B	4,13 ± 0,34 ^{ns}	4,93 ± 0,44 ^{ns}	6,00 ± 0,02 ^{ns}	7,20 ± 0,49 ^{ns}
F75A	4,39 ± 0,13 ^{ns}	5,47 ± 0,16 ^{ns}	6,13 ± 0,37 ^{ns}	7,27 ± 0,40 ^{ns}
F75B	4,47 ± 0,16 ^{ns}	4,87 ± 0,34 ^{ns}	6,33 ± 0,57 ^{ns}	7,53 ± 0,62 ^{ns}
KP	3,87 ± 0,16 ^{ns}	4,74 ± 0,21 ^{ns}	5,87 ± 0,25 ^{ns}	6,80 ± 0,21 ^{ns}
KN	4,07 ± 0,13 ^{ns}	5,00 ± 0,25 ^{ns}	5,93 ± 0,16 ^{ns}	6,93 ± 0,65 ^{ns}

*Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan kontrol positif (KP) berdasarkan uji Dunnet pada taraf 5%

Tabel 4.7 Diameter bonggol bibit kelapa sawit di dalam rumah kaca setelah diberi perlakuan penyiraman filtrat S51

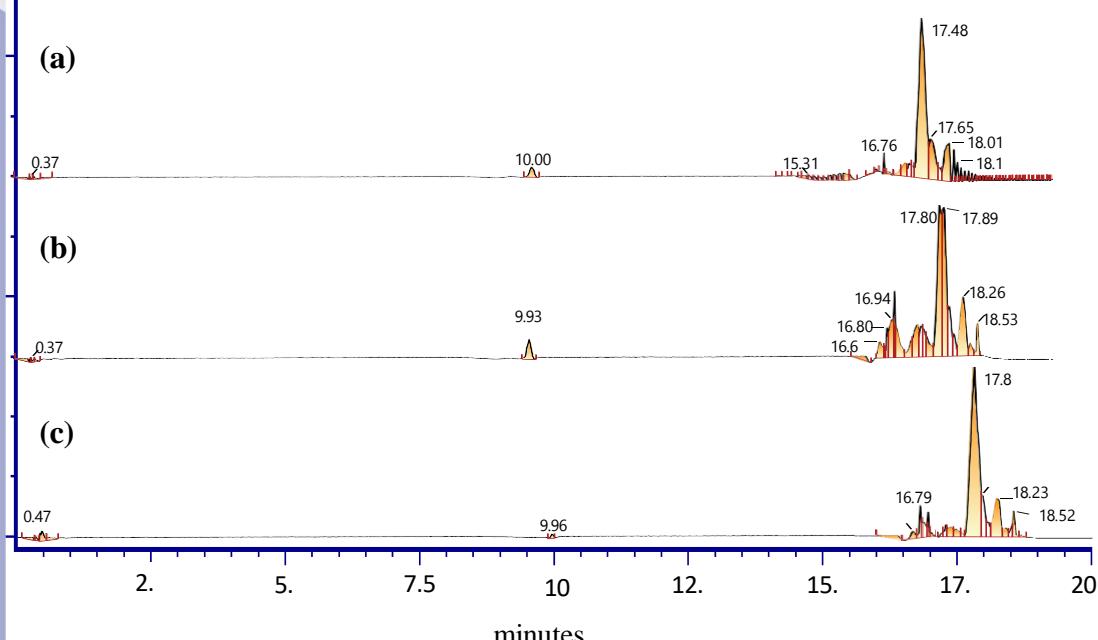
Perlakuan Filtrat DSE	Diameter bonggol (cm) pada n-minggu setelah inokulasi (MSI)*			
	2 MSI	4 MSI	6 MSI	8 MSI
F27A	0,84 ± 0,05 ^{ns}	1,12 ± 0,11	1,28 ± 0,09	1,37 ± 0,08 ^{ns}
F27B	0,87 ± 0,09 ^{ns}	1,16 ± 0,06	1,33 ± 0,04	1,45 ± 0,05 ^{ns}
F75A	0,87 ± 0,09 ^{ns}	1,18 ± 0,08	1,32 ± 0,09 ^{ns}	1,54 ± 0,10
F75B	0,96 ± 0,09 ^{ns}	1,22 ± 0,10	1,43 ± 0,09	1,56 ± 0,09
KP	0,81 ± 0,10 ^{ns}	1,00 ± 0,06 ^{ns}	1,08 ± 0,08 ^{ns}	1,19 ± 0,07 ^{ns}
KN	0,84 ± 0,10 ^{ns}	1,08 ± 0,13 ^{ns}	1,27 ± 0,13 ^{ns}	1,36 ± 0,15 ^{ns}

*Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan kontrol kontrol positif (KP) berdasarkan uji Dunnet pada taraf 5%

Hasil pengamatan tersebut didukung dengan hasil uji filtrat S51 menggunakan LCQTOF-MS/MS, bahwa terdapat komponen senyawa metabolit filtrat S51 yang mempengaruhi intensitas penyakit dan agronomis pada bibit kelapa sawit (Gambar 4.5). Terdapat beberapa komponen hasil pengujian filtrat S51 menggunakan LCQTOF-MS/MS yaitu *heptadecylamine*, *yadanzioside p*, *linolein*, *androstenediol* dan *oxproline* yang melindungi tanaman inang dari serangan *G. boninense*. Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa cendawan DSE dapat membantu tanaman inang dalam berbagai hal, diantaranya yaitu adaptasi di habitat yang kurang menguntungkan, perlindungan terhadap stress lingkungan baik biotik maupun abiotik, peningkatan pertumbuhan dan penyerapan nutrisi (Maciá-Vicente *et al.* 2009). Beberapa jenis DSE telah dilaporkan memiliki manfaat meningkatkan performa dan pertumbuhan tanaman, meningkatkan toleransi terhadap cekaman biotik dan abiotik (Mateu *et al.* 2020), meningkatkan penyerapan nutrisi hara tanaman (Yakti *et al.* 2019), dan membantu pelarutan unsur P dalam tanah. Lebih jauh lagi, DSE dilaporkan berperan sebagai herbisida (Kumar *et al.* 2017), insektisida, fungisida (Surono dan Narisawa 2018), bakterisida (Chu *et al.* 2019), penghasil metabolit sekunder (Bai *et al.* 2019) dan hormon pertumbuhan (Hamayun



et al. 2010), serta sebagai fitoremediasi (Santos *et al.* 2021), reklamasi (Akhtar *et al.* 2022) dan agens mitigasi pada lahan tidak optimum (He *et al.* 2019).



Gambar 4.5 Spektrum filtrat LCQTOF-MS/MS: (a) TM; (b) S14; (c) S51

V PEMBAHASAN UMUM

Penyakit busuk pangkal batang (BPB) merupakan salah satu ancaman terbesar penurunan kualitas dan produksi kelapa sawit di Asia Tenggara yang disebabkan oleh *G. boninense* (Rees *et al.* 2009). *G. boninense* dapat mengurangi hasil produksi sebesar 50-80%. Strategi pengendalian penyakit busuk pangkal batang saat ini terdiri atas pengendalian secara fisik, kimia, dan biologi. Pengendalian ini dimaksudkan untuk mengurangi kejadian penyakit busuk pangkal batang setelah penanaman kembali dan meningkatkan umur produktif kelapa sawit yang terinfeksi (Siddiqui *et al.* 2021). Beberapa pengendalian telah dilakukan namun belum efektif dan efisien. Pendekatan pengendalian hayati untuk mengendalikan penyakit yang disebabkan patogen cendawan saat ini terus dikaji dan telah menjadi salah satu pilihan alternatif. Pengendalian hayati adalah penggunaan musuh alami untuk mengurangi kerusakan yang ditimbulkan oleh organisme yang berbahaya atau pengaturan populasi penyakit oleh musuh alaminya.

Agens hayati yang dimanfaatkan dalam pengendalian *G. boninense* yaitu cendawan *Dark Septate Endophyte* (DSE). Cendawan DSE dapat ditemukan hidup diberbagai tempat, mulai dari daerah tropis sampai daerah kutub dan pegunungan Alpen. Walaupun demikian, DSE umumnya hidup melimpah di hutan-hutan konifer. DSE merupakan kelompok cendawan heterogen yang fungsi dan ekologinya tumpang tindih dengan cendawan tanah, cendawan saprofit, cendawan rizoplan, cendawan patogen (obligat atau fakultatif) serta cendawan mikoriza (Jumpponen dan Trappe 1998). *Dark Septate Endophyte* (DSE) berguna bagi tanaman karena mampu memproduksi metabolit sekunder yang dapat mencegah tumbuhan inangnya dari serangan fungi patogen. Cendawan DSE mampu



menghasilkan senyawa-senyawa bioaktif, misalnya senyawa anti bakteri dan anti fungi. Cendawan DSE bersinergis dengan tumbuhan inangnya melalui hubungan simbiosis mutualisme. Cendawan DSE dapat digunakan untuk penanganan penyakit pada tumbuhan. Beberapa penelitian menyatakan jika cendawan DSE mampu menghambat pertumbuhan fungi patogen, salah satunya adalah fungi patogen *Ganoderma* sp dan *Fusarium* sp.

Produksi metabolit cendawan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu masa inkubasi filtrat (Irawati *et al.* 2019). Menurut Syarifah *et al.* (2021), Cendawan dalam masa pertumbuhan dan produksi metabolit membutuhkan waktu untuk menghidrolisis sumber nutrisi yang tersedia. Semakin lama masa inkubasi maka pertumbuhan miselium dapat terus meningkat hingga batas waktu tertentu sehingga produksi metabolitnya mengalami peningkatan. Pada pengujian masa inkubasi filtrat DSE yang terbaik diperoleh dengan mengikubasi filtrat selama dua minggu. Sebanyak tiga filtrat DSE yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kemampuan dalam menghambat *G. boninense* secara *in vitro* dilihat dar hasil tingkat hambatan relatif. Filtrat isolat S51 memperlihatkan hasil terbaik dalam menghambat pertumbuhan *G. boninense*.

Pengujian keefektifan filtrat S51 dilakukan pada skala rumah kaca, menunjukkan pengaruh terhadap insidensi dan keparahan penyakit relatif. Pengujian selama empat bulan menunjukkan bahwa tanaman yang diaplikasikan filtrat S51 tidak menunjukkan gejala pada gejala eksternal maupun internal. Fenomena ini menunjukkan adanya pengaruh DSE terhadap pengendalian perkembangan penyakit. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan peran DSE dalam meningkatkan toleransi terhadap cekaman biotik (Mateu *et al.* 2019) dan sebagai fungisida (Surono dan Narisawa 2018). Aplikasi filtrat S51 terhadap pertumbuhan agronomis pada tanaman yang meliputi tinggi tanaman, diameter bonggol dan jumlah daun memiliki pengaruh apabila dibandingkan dengan perlakuan kontrol positif.

Mekanisme antagonis juga dapat secara langsung dengan menghasilkan senyawa antimikrob yang bersifat toksin bagi patogen dan mengganggu koloni patogen atau dengan cara menginduksi resistensi secara sistemik (ISR) pada tanaman sehingga tanaman lebih tahan terhadap infeksi patogen. Penambahan cendawan endofit dapat menginduksi ketahanan sistemik (ISR) yang memberikan perlindungan lebih besar pada tanaman dari infeksi patogen. Induksi ISR mengakibatkan tanaman menjadi lebih aktif merespon, lebih kuat dan lebih cepat dalam merespon adanya infeksi patogen atau yang lebih dikenal dengan fenomena priming. Respon tanaman sangat dipengaruhi oleh jalur pensinyalan asam jasmonat (JA) dan juga senyawa etilen (ET) yang mana sangat efektif meningkatkan respon ketahanan terhadap infeksi cendawan.



VI SIMPULAN DAN SARAN

6.1 Simpulan

Filtrat isolat cendawan DSE:*Cladophialophora* (S51), *Exophiala* (S14), dan *Diaporthe* (TM) memiliki potensi dalam menekan pertumbuhan *G. boninense*. Filtrat DSE yang paling baik dihasilkan dari filtrat DSE yang diinkubasi selama dua minggu. Filtrat S51 dengan konsentrasi 75% dapat menghambat koloni *G. boninense* paling tinggi yaitu sebesar 88,63% secara *in vitro*. Filtrat isolat S51 mengandung senyawa *heptadecylamine*, *yadanziocide p*, *linolein*, *androstenediol* dan *oxproline* yang melindungi tanaman inang dari serangan *G. boninense*. Penyiraman filtrat isolat S51 dengan konsentrasi 75% sebanyak dua kali dapat meningkatkan tinggi tanaman dan diameter bonggol bibit kelapa sawit.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian *in vitro* dan *in vivo* disarankan untuk tiga isolat cendawan endofit terpilih ini juga perlu diuji di lapangan untuk mengetahui tingkat keefektifannya pada ekologi tanaman kelapa sawit yang sebenarnya.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR PUSTAKA

- Adaskaveg JE and Gilbertson RL. 1988. Basidiospores, pilocystidia, and other basidiocarp characters in several species of the *Ganoderma lucidum* complex. *Mycologia*. 80(4): 493-507.
- Akhtar N, Wani AK, Dhanjal DS and Mukherjee S. 2022. Insight into the beneficial roles of dark septate endophytes in plants under challenging environment: resilience to biotic and abiotic stresses. *World journal of microbiology and biotechnology*. 38(79): 1-14.
- Arsyad S. 2012. Konservasi Tanah dan Air. IPB Press. Bogor
- Azahar T, Mustapha JC, Mazliham S, Boursier P. 2011. Temporal analysis of basal stem rot disease in oil palm plantations: an analysis on peat soil. *Int j engineer technol.* 11(3): 96-101.
- Bai M, Zheng CJ, Tang DQ, Zhang F, Wang HY, Chen GY. 2019. Two new secondary metabolites from a mangrove-derived fungus Cladosporium sp. JS1-2. *Journal of antibiotics*. 72(10):779–782.
- Bharudin I, Wahab AB, Abd Samad, Xin Yie, Zairun N, Abu Bakar, Abdul Murad. 2022. Review update on the life cycle, plant-microbe interaction, genomics, detection and control strategies of the oil palm pathogen *Ganoderma boninense*. *Biology*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/biology11020251>
- Bonfim JA, Vasconcellos RLF, Baldesin LF, Sieber TN, Cardoso EJBN. 2016. Dark septate endophytic fungi of native plants along an altitudinal gradient in the Brazilian Atlantic forest. *Fungal ecol.* 20:202–210.doi:10.1016/j.funeco.2016.01.008.
- Casselton LA and Olesnický NS. 1988. Molecular genetics of mating recognition in Basidiomycete fungi. *Microbiology and molecular biology reviews*. 62(1): 55-70.
- Chang TT. 2003. Effect of soil moisture content on the survival of Ganoderma species and other wood-inhabiting fungi. *Plant disease*. 87: 1201-1204.
- Chu H, Wang C, Li Z, Wang H, Xiao Y, Chen J, Tang M. 2019. The dark septate endophytes and ectomycorrhizal fungi effect on Pinus tabulaeformis Carr. seedling growth and their potential effects to pine wilt disease resistance. *Forests*. 10(140):1–16
- Coates D and Rayner ADM. 1985. Fungal population and community development in cut beech logs I. establishment via the aerial cut surface. *New phytol*. 101: 153-171.
- Cooper RM, Flood J dan Rees RW. 2011. *Ganoderma boninense* in oil palm plantations: current thinking on epidemiology, resistance and pathology. *Planter*. 87:515-526.
- Fauzi YY, Widayastuti I, Setyawibawa R, Hartono. 2008. Kelapa Sawit. Jakarta (ID) : Penebar Swadaya. 168 hal.
- Fauzi YEW, Yustina SW, Imam H, Rudi. 2002. Kelapa Sawit: Budidaya, Pemanfaatan Hasil dan Limbah, Analisis Usaha dan Pemasaran. Penebar Swadaya: Jakarta
- Finney DF.1971. *Probit analysis*. 3rd ed. London (UK): Cambridge University.

- Flood, Hasan J, Turner Y, O'Grady. 2000. The spread of *Ganoderma* from infective sources in the field and its implications for management of the disease in oil palm. In *J. Flood*, P. D. Bridge, & M. Holderness (Eds.), *Ganoderma diseases of perennial crops* (pp. 101-112). UK: CABI.
- Hamayun M, Khan SA, Khan AL, Rehman G, Kim YH, Iqbal I, Hussain J, Lee IJ, Sohn EY. 2010. Gibberellin production and plant growth promotion from pure cultures of *Cladosporium* sp. MH-6 isolated from cucumber (*Cucumis sativus L.*). *Mycologia*. 102(5):989–995.
- He C, Wang W and Hou J. 2019. Characterization of *Dark Septate Endophytic Fungi* and Improve the Performance of Liquorice Under Organic Residue Treatment. *Front. Microbiol.* 10(1364): 1-14.
- Gao F, Dai C, Liu X. 2010. Mechanisms of fungal endophytes in plant protection against pathogens. *African J. Microbiol. Res.* 4(13):1346–1351.
- Goh KM, Ganeson M, Supramaniam CV. 2014. Infection potential of vegetative incompatible *Ganoderma boninense* isolates with known ligninolytic enzyme production. *African j of biotechnology*. 13(9): 1056-1066.
- Grünig CR, Duo` A, Sieber TN, 2006. Population genetic analysis of *Phialocephala fortinii* s.l. and *Acephala applanata* in two undisturbed forests in Switzerland and evidence for new cryptic species. *Fungal gen. biol.* 43, 410–421.
- Handayani D. 2017. Karakterisasi cendawan Dark Septate Endophyte (DSE) pada akar tanaman jagung dan padi. *EKSAKTA* 18(1): 1-8. E-ISSN: 2549-7464.P-ISSN: 1411-3724.
- Handayani D. 2016. Keberadaan cendawan *Dark Septate Endophyte* (dse) pada sistem perakaran benih *shorea selanica*. *EKSAKTA* Vol. 1: 38-44.
- Hapuarachchi, Cheng, Wen, Jeewon, Kakumyan. 2017. Mycosphere essays 20: Therapeutic potential of *Ganoderma* species: insights into its use as traditional medicine. *Mycosphere*. 8(10): 1653-1694.
- Idris AS, Khushairi A, Ismail S, Ariffin D. 2004. Selection for partial resistance in oil palm to *Ganoderma* basal stem rot. *Journal of oil palm research*.16 (1) :12-18
- Irawati D, Nircela N, Margareta R dan Sutapa JGSG. 2019. Optimasi Produksi Badan Buah Tiga Jenis Jamur Kayu dengan Inovasi Perlakuan pada Waktu Inkubasi dan Jumlah Penyobekan pada Baglog. *Jurnal ilmu kehutanan*, 13(1):87-97.
- Jumpponen A, Trappe JM. 1998. Dark Septate Endophytes : a review of facultative biotrophic root-colonizing fungi. *New phytol.* 140:295–310.
- Keller NP, Turner G, Bennett JW. 2005. Fungal secondary metabolism-from biochemistry to genomics. *Nature rev microbiol.* 3(12): 937-47.
- Khastini OR, Ohta H, Narisawa K. 2012. The role of dark septate endophytic fungus, *Veronaeopsis simplex* Y34, in fusarium diasease suppression in chinese cabbage. *The journal of microbiology* 50(4): 618-624.doi: 10.1007/s12275-012-2105-6.
- Knapp DG, Pintye A dan Kovács GM. 2012. The Dark Side is not Fastidious Dark Septate Endophytic Fungi of Native and Invasive Plants of Semi-arid Sandy Areas. *Plos ONE*, 7 (2) : e32570.
- Kumar G, Chandra P, Choudhary M. 2017. Review Article Endophytic Fungi: A Potential Source of Bioactive Compounds. *Chemical science review and letters*. 6(24): 2373-2381





- Kusari S, Hertweck C, Spiteller M. 2012. Chemical ecology of endophytic fungi: origins of secondary metabolites. *Chem biol persp* 19:792-798
- Li T, Liu MJ, Zhang XT, Zhang HB, Sha T, Zhao ZW. 2011. Improved tolerance of maize (*Zea mays L.*) to heavy metals by colonization of a *Dark Septate Endophyte* (DSE) *Exophiala pisciphila*. *Sci. total environ.* 409:1069–1074
- Lubis RE dan Widanarko A. 2011. Buku Pintar Kelapa Sawit. Opi, Nofiandi; Penyunting. Agro Media Pustaka. Jakarta
- Maciá-Vicente JG, Hans-Börje J, LopezLlorca LV. 2009. Assesing fungal root colonization for plant improvement. *Plant signal behav* 4(5):445-447.
- Martawijaya A, Kartasujana I, Kadir K, Prawira SA. 2005. Atlas Kayu Indonesia. Bogor-Indonesia: Badan Penelitian Dan Pengembangan Kehutanan. Departemen Kehutanan. Hlm 7-10.
- Mateu MG, Baldwin AH, Maul JE and Yarwood SA. 2020. *Dark septate endophyte* improves salt tolerance of native and invasive lineages of *Phragmites australis*. *The ISME Journal* 14: 1943-1954.
- Miller R, Holderness M, Bridge P, Chung G, Zakaria M. 1999. Genetic diversity of *Ganoderma* in oil palm plantings. *Plant pathol.* 48(5): 595-603.
- Morel A, Friedman R, Tulloch DJ, Caldecott B. 2016. Stranded assets in Palm Oil Production: a case study of Indonesia. Sustainable Finance Programme, SSEE, University of Oxford. Working Paper.
- Naher L, Yusuf UK, Ismail A, Tan SG, Mondal MMA. 2013. Ecological status of *Ganoderma* and basal stem rot disease of oil palms (*Elaeis guineensis* Jacq).
- Naher L, Soon GT, Umi KY, Chai LH, Shafoquzzaman S. 2012. Activities of chitinase enzymes in the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in interaction with pathogenic and non-pathogenic fungi. *POJ.* 5(4):333-336.
- Paterson RRM, Meon S, Abidin MAZ, Lima N. 2008. Prospects for inhibition of lignin degrading enzymes to control *Ganoderma* white rot of oil palm. *Curr Enz Inhib.* 4:172–179. DOI: <http://dx.doi.org/10.2174/157340808786733613>.
- Paterson R. 2007. Ganoderma disease of oil palm—a white rot perspective necessary for integrated control. *Crop protec.* 26(9): 1369-1376. doi: 10.1016/j.cropro.2006.11.009.
- Porras-Alfaro A, Bayman P. 2011. Hidden fungi, emergent properties: endophytes and microbiomes. *Annual review of phytopathology.* 49: 291–315.
- Rahayu G, Surono, Octaviani DA. 2021. Antagonistic capacity of Dark Septate Endophytes (DSE) against *Ganoderma boninense* from oil palm (*Elaeis guinensis* Jacq.). *IOP conf. ser. earth environ. Sci.* 948(1).doi:10.1088/1755-1315/948/1/012074.
- Redman RS, Sheehan KB, Stout RG, Rodriguez RJ, Henson JM. 2002. Thermotolerance generated by plant/fungal symbiosis. *Science* 298(5598): 1581. doi:10.1126/science.1072191.
- Rees R, Flood J, Hasan Y, Potter U, Cooper RM. 2009. Basal stem rot of oil palm (*Elaeis guineensis*); mode of root infection and lower stem invasion by *Ganoderma boninense*. *Plant pathol.* 58(5): 982–989. doi: 10.1111/j.1365-3059.2009.02100
- Santos M, Cesanelli I, Diánez F, Sánchez Montesinos B, and Moreno-Gavíra A. 2021. Advances in the role of dark septate endophytes in the plant resistance to abiotic and biotic stresses. *J. fungi.* 7(93): 1-15

- Schulz B, Boyle C, Draeger S, Römmert AK, Krohn K. 2005. Endophytic fungi: a source od novel biologically active secondary metabolites. *Mycological Research* 106:996-1004. doi: <http://dx.doi.org/10.1017/S0953756202006342>.
- Siddiqui Y, Surendran A, Paterson RRM, Ali A, Ahmad K. 2021. Current strategies and perspectives in detection and control of basal stem rot of oil palm. *Saudi Journal of biological sciences.* 28(2021): 2840-2849.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.016>
- Siless GE, Gallardo GL, Rodriguez MA, Rincón YA, Godeas AM dan Cabrera G M. 2018. Metabolites from the dark septate endophyte *Drechslera* sp. evaluation by LC/MS and principal component analysis of culture extracts with histone deacetylase inhibitors. *Chemistry and biodiversity*, 15(8). <https://doi.org/10.1002/cbdv.201800133>
- Sinaga MS, Bonny PWS, Susanto. 2003. Keragaman mikroorganisme rhizosfer kelapa sawit dan patogenesitas *Ganoderma boninense* Pat. sebagai dasar pengendalian penyakit busuk pangkal batang. Laporan Akhir Hibah Bersaing IX. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Strobel GA. 2004. Natural products from endophytic microorganism. *Journal of natural products* 67: 257-268.
- Surono, Narisawa K. 2018. The inhibitory role of dark septate endophytic fungus *Phialocephala fortinii* against *Fusarium* disease on the *Asparags officinalis* growth in organic source conditions. *Biological control* 121: 159-169. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.02.011>.
- Surono, Narisawa K. 2017. The dark septate endophytic fungus *Phialocephala fortinii* is a potential decomposer of soil organic. *Fungal ecol.* 28 August:1–10. doi:[10.1016/j.funeco.2017.04.001](https://doi.org/10.1016/j.funeco.2017.04.001).
- Suryanarayanan TS, Thirunavukkarasu N, Govindarajulu MB, Sasse F, Jansen R, Murali TS. 2009. Fungal endophytes and bioprospecting. *Fungal biol Rev.* 23(1–2):9–19. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbr.2009.07.001>.
- Suryantini R dan Wulandari RS. 2018. Diversity of *Ganoderma* pathogen in Pontianak, West Kalimantan: Characteristics, virulence and ability to infect *Acacia mangium* seedlings. *Jurnal biodiversitas*, 19(2), 465–471. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190213>
- Susanto A, Prasetyo AE dan Wening S. 2013. Laju infeksi *Ganoderma* pada empat kelas tekstur tanah. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 9(2), 39.
- Susanto A, Sudharto PS, Purba RY. 2005. Enhancing biological control of basal stem rot disease (*Ganoderma boninense*) in oil palm plantations. *Mycopathol.* 159: 153–157.
- Susanto A, Sinaga MS, Suseno R, Tjahjono B, Sudharto PS. 2002. Status terkini penyakit penyakit busuk pangkal batang kelapa sawit (*Ganoderma boninense*) dan keragaman populasi agens bio pengendalian pada berbagai kebun kelapa sawit di Indonesia. *J. pen pert fak pert UISU* 21(1):53-63.
- Suwarto dan Octavianty Y. 2010. Budidaya Tanaman perkebunan Unggulan. Jakarta : Penebar Swadaya
- Syahputra E. 2011. Weeds Assessment Di Perkebunan Kelapa Sawit Lahan Gambut. *J. tek. perkebunan & PSDL* 1, (1): 37-42.
- Syarifah NDT, Ekowati N, Mumpuni A, Saskiawan I. 2021. Detection of Secondary Metabolite of *Mycena pelianthina* Growth in Various Liquid Medium. *Journal of functional food and nutraceutical*. 2(2): 89-97.





- Townsend GR, Heuberger JW. 1943. *Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments.* *Plant dis. rep.* 27: 340-343.
- [USDA] United States Department of Agriculture. 2022. Palm Oil Production by Country in 1000 MT. [internet]. [diacu 2023 April 29]. Tersedia dari: <https://www.fas.usda.gov/>
- Yakti W, Kovács GM, Franken P. 2019. Differential interaction of the dark septate endophyte *Cadophora* sp. and fungal pathogens in vitro and in planta. *FEMS microbiology ecology*, 95(12), 1–12. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiz164>
- Yan L, Zhu J, Zhao X, Shi J, Jiang C, Shao D. 2019. Beneficial effects of endophytic fungi colonization on plants. *Applied microbiology and biotechnology*. DOI:10.1007/s00253-019-09713-2.
- Zhan F, He Y, Zu Y, Li T, Zhao Z. 2011. Characterization of melanin isolated from a *Dark Septate Endophyte* (DSE), *Exophiala pisciphila*. *World journal of microbiology and biotechnology*. 27(10): 2483–2489.

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Bukittinggi pada tanggal 29 Desember 1996 sebagai anak kedua dari pasangan Almarhum bapak Rittim Richardo dan ibu Tio. Tahun 2014 penulis menyelesaikan pendidikan di SMAN 1 Bukittinggi, kemudian penulis diterima sebagai mahasiswa di Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh Program Diploma. Pada tahun 2017 melanjutkan Program Sarjana ke Univeristas Mercu Buana Yogyakarta. Setelah menyelesaikan pendidikan Sarjana selama dua tahun sepuluh bulan, penulis berkesempatan untuk bekerja di salah satu anak perusahaan perkebunan kelapa sawit PT Sampoerna Agro Tbk. sebagai staff Research and Development yang terletak di Kendawangan, Kalimantan Barat dari tahun 2020-2023. Pada Agustus 2021, penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke program Sekolah Pascasarjana IPB pada Program Studi Fitopatologi (S2).

Selama kuliah penulis terlibat aktif sebagai Head of Departement Human Resources di Bogor Science Club, menjadi Head of Departement Businees di IKAMAPSU dan menjadi asisten praktikum mata kuliah Teknik Penulisan Ilmiah dan Ilmu Penyakit Tumbuhan Dasar. Tesis telah dipublikasikan di Journal of General Plant Pathology Springer dengan judul *The Inhibitory Role of Dark Septate Endophyte Fungal Metabolites Against Oil Palm Basal Stem Rot Disease Caused by Ganoderma boninense* dan saat ini pada tahap under review.

