

Potensi Minyak Atsiri Kayu Manis dan Kayu Lawang Sebagai Pengendali Hayati *Fusarium oxysporum*

Potential of Cinnamon and Lawang Essential Oils as a Biocontrol for *Fusarium oxysporum*

Siti Hariroh¹, Ilyas Marzuki¹, Christoffol Leiwakabessy¹, Abraham Talahaturuson²

¹ Program Studi S2 Ilmu Pertanian, Pascasarjana Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Kampus Poka, Ambon 97233.

² Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Kampus Poka, Ambon 97233.

Vol. 9. No.:2, Oktober 2025. DOI:

10.30598.jpk.2025.9.2.72x

Received: 15 Mei 2025

Accepted: 18 Agustus 2025

Online publication: 20 Oktober 2025

*Correspondent author:

Marzuki64@gmail.com

Abstract

Essential oils are concentrated hydrophobic liquids containing volatile aromatic compounds extracted from plants. This research aims to analyze the potential of essential compounds of *Cinnamomum burmannii* and *Cinnamomum cullilawan* as a bioagent for *Fusarium oxysporum* (*F. oxysporum*) and to test the efficacy of both essential oils on the growth of *F. oxysporum*. Oils extraction was carried out using the steam-water distillation method, and analysis of the components of the oil compounds of the cinnamon using the GC-MS method. Essential oils resulted were tested for their efficacy for inhibiting of *F. oxysporum* with four concentrations, namely 0.06%, 0.125%, 0.25% and 0.5% on PDA and PDB media. The results show that the main essential compounds in *C. burmannii* is cinnamaldehyde of 20.61% and *C. cullilawan* is eugenol of 26.33%. The essential compounds of both have antifungal activity against *F. oxysporum* with concentration rate of 0.125% is able to inhibit the growth of *F. oxysporum*. The main active compounds such as cinnamaldehyde and eugenol play an important role in the fungus control mechanism. This research concludes that the essential compounds from both have the potential to inhibit *F. oxysporum* growth.

Keywords : anti-fungal, cinnamaldehyde, eugenol, GC-MS

Abstrak

Minyak esensial adalah cairan hidrofobik pekat yang mengandung senyawa aromatik yang mudah menguap yang diekstraksi dari tanaman. Penelitian bertujuan untuk menganalisis potensi kandungan senyawa atsiri *C. burmannii* dan *C. cullilawan* sebagai bahan untuk pengendali cendawan *Fusarium oxysporum* dan menguji efikasi minyak atsiri terhadap pertumbuhan cendawan ini. Ekstraksi atsiri dilakukan menggunakan metode distilasi uap-air (*steam distillation*), analisis komponen senyawa yang terkandung menggunakan metode GC-MS, senyawa yang dihasilkan di uji efikasinya untuk penghambatan pada cendawan *F. oxysporum* dengan empat konsentrasi yakni 0.06%, 0.125%, 0.25% dan 0.5% pada media PDA dan PDB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen utama senyawa atsiri *C. burmannii* adalah sinamaldehid sebesar 20.61% dan *C. cullilawan* adalah eugenol sebesar 26.33%. senyawa atsiri dari kedua bahan memiliki aktivitas antifungi terhadap *F. oxysporum* dengan konsentrasi 0.125% sudah mampu menghambat pertumbuhan cendawan *F. oxysporum*. Kandungan senyawa aktif utama seperti sinamaldehid dan eugenol berperan penting dalam mekanisme pengendalian cendawan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa senyawa atsiri dari kayu manis dan kayu lawang berpotensi mengendalikan *F. oxysporum*.

Kata kunci: anti-cendawan, eugenol, GC-MS, sinamaldehid

Laman: <https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/jpk/article/view/21030>

PENDAHULUAN

Minyak atsiri merupakan campuran kompleks metabolit sekunder hasil biosintesis yang terjadi di dalam tanaman, dan bersifat mudah menguap. Minyak ini dapat diproduksi dari berbagai bagian tanaman termasuk

kuncup bunga, biji, buah, daun, dan batang. Minyak atsiri telah lama diketahui mempunyai senyawa yang bersifat racun terhadap cendawan (Saroj et al., 2018). Potensi dari minyak ini sangat baik untuk dikembangkan sebagai agens pengendalian terhadap hama dan penyakit tanaman (Isman, 2000).

Minyak atsiri dapat ditemukan di berbagai jenis tanaman rempah salah satunya ialah pada tanaman kayu manis. Jenis kayu manis paling banyak dikembangkan di Indonesia adalah jenis *Cinnamomum burmanii* Blume (*C. burmanii*) dan jenis kayu manis *Cinnamomum zeylanicum* Nees dikenal sebagai dengan kayu manis Ceylon karena diproduksi di Sri Lanka (Ceylon). Produksi kayu manis di Indonesia 60.018 ton (Direktorat Jendral Perkebunan, 2021). Minyak atsiri asal cengkih dan kayu manis dengan konsentrasi 0,25% (v/kg material) diketahui dapat menurunkan kejadian penyakit busuk pucuk pada tanaman kacang tanah (*Aspergillus niger*) (Kishore et al., 2007).

Umumnya penyakit tanaman yang disebabkan oleh cendawan menyebar melalui tanah, dapat menyerang daerah perakaran, dan pangkal batang dari tanaman. Hal ini mengakibatkan tanaman mengalami gejala layu, penyakit rebah semai/rebah kecambah (*damping-off*), penyakit akar, penyakit busuk akar, atau penyakit leher akar (Liza, 2015). *F. oxysporum* merupakan salah satu cendawan patogen tanaman yang dapat mengakibatkan rendahnya produktivitas pertanian. Cendawan ini merupakan kelompok cendawan patogen penyebab berbagai macam penyakit tanaman yang dikenal sebagai layu *Fusarium*. Penyebaran penyakit ini secara meluas pada pertanaman sayuran maupun hortikultura. Cendawan ini merupakan patogen tular tanah yang sangat berbahaya bagi tanaman karena dapat bertahan lama di dalam tanah tanpa inang. Tanah yang sudah terinfeksi sukar dibebaskan kembali dari cendawan ini, bahkan tanpa adanya inang, cendawan ini mampu bertahan dalam tanah lebih dari sepuluh tahun dalam bentuk *klamidospora* (Fatma, 2021). Desiminasi cendawan patogen ini melalui perakaran tanaman, air, dan angin (Heriyanto, 2019). Tanaman yang terinfeksi oleh cendawan ini akan tampak layu, daun bagian bawah menjadi kuning dan kering, serta jaringan xilem berubah warna menjadi coklat. Jika infeksi penyakit ini terjadi pada tahap pembibitan atau pemberian tanaman cabai, maka tanaman akan mati. Namun apabila penyakit ini muncul di lapangan setelah transplantasi dan serangan patogen ini terjadi secara terus-menerus bisa menyebabkan kematian tanaman cabai sehingga mengakibatkan gagal panen dan kerugian besar. Selain itu, *F. oxysporum* dapat menyebabkan kerusakan secara luas pada tanaman dalam waktu yang singkat dengan intensitas serangan mencapai 35% (Mahadi Putra, 2019).

Berbagai upaya pengendalian *F. oxysporum* sudah banyak dilakukan melalui berbagai teknik pengendalian seperti penggunaan Gliokompos (Herwanti, 2019); solarisasi tanah (Wati et al, 2020); fungisida nabati (Abdila & Maduratna, 2021); efek pupuk hayati dan pestisida kimia (Syarifudin et al., 2021); *Gliocladium virens* (Afriani et al, 2019). Dari berbagai teknik pengendalian terhadap cendawan patogen ini namun masih memiliki keterbatasan. Hal ini disebabkan oleh *F. oxysporum* mudah mengalami perubahan secara genetik di lapangan akibat pemberian bahan kimia secara terus menerus. Rantai makanan bagi manusia dan hewan dapat terpengaruh oleh kecenderungan penggunaan pestisida yang terakumulasi di dalam air dan tanah. Akibatnya, metode pengelolaan alternatif yang memanfaatkan minyak atsiri lokal sebagai alternatif yang harus dikembangkan sebagai pestisida nabati. Minyak atsiri yang dapat dikembangkan di Provinsi Maluku adalah kayu manis dan kayu lawang yang berpotensi sebagai metabolit sekunder.

Provinsi Maluku memiliki dua jenis minyak atsiri yang dihasilkan dari jenis *C. burmanni* atau dikenal kayu manis dan juga minyak lawang (*C. culilawan*). Minyak kulit lawang diperoleh dengan penyulingan uap pada kulitnya lawang. Komposisi kandungan kimia minyak atsiri dari *C. culilawan* dan *C. burmanni* yang diperoleh dari metode distilasi uap dan komposisi kimianya ditentukan oleh GC (*Gas Chromatography*) dan GC-MS (*Gas Chromatography Mass Spectrometry*) menunjukkan bahwa kandungan minyak atsiri *C. culilawan* yakni senyawa fenilpropanoid (86.47%), senyawa minor teroksigenasi monoterpen (7.934%) dan monoterpen hidrokarbon (5.592%). Pemurnian dua senyawa utama menghasilkan eugenol (51.66%), dan safrole (6.71%) (Sohilait & Kainaman, 2016). Sedangkan kandungan *C. burmanni* yakni monoterpen (2.50%), monoterpen (4.22%), sinamaldehid (73.18%), alkohol (7.35%), polisilik aromatil hidrokarbon (2.28%) (Mulyanti, 2023). Sampai saat ini penggunaan atsiri *C. burmanni* dan *C. culilawan* asal Maluku belum diketahui pengaruhnya terhadap cendawan layu *Fusarium* dengan konsentrasi minimum sebagai agens pengendali hayati sehingga diperlukan kajian lebih detail terkait metabolit sekunder dari kedua minyak atsiri dalam menekan pertumbuhan *F. oxysporum*. Berdasarkan hal ini maka penelitian bertujuan menganalisis potensi kandungan senyawa atsiri *C. burmanni* dan *C. culilawan* sebagai bahan pengendali cendawan *F. oxysporum* dan menguji efikasi minyak atsiri terhadap pertumbuhan cendawan patogen tersebut.

BAHAN DAN METODE

Sampel kulit kayu manis lawang diambil dari petani di desa Laturake kecamatan Taniwel, Kabupaten Seram Bagian Barat, sedangkan kulit kayu manis diambil dari petani di Tanah Rata, Pulau Banda, Kabupaten Maluku Tengah. Penyulingan minyak atsiri dilakukan dilaboratorium Teknologi Hasil Pertanian Universitas Pattimura, kemudian dilanjutkan dengan analisis GC-MC di Laboratorium Kimia, Politeknik Negeri Ujung Pandang. Sedangkan untuk pengujian efikasi atsiri terhadap cendawan dilakukan di laboratorium Penyakit Tumbuhan, Jurusan Budidaya Pertanian, Universitas Pattimura.

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit batang kayu manis dan kayu lawang masing-masing sebanyak 9 kg, media PDA (*Potato Dextrose Agar*), media PDB (*Potato Dextrose Broth*), dan isolat biakan murni cendawan *F. oxysporum*. Isolat cendawan patogen ini diambil dari tanaman cabai yang ditumbuhkan dalam media PDA. Penelitian uji efikasi menggunakan percobaan faktorial dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL). Perlakuan terdiri atas dua faktor yaitu dua jenis kayu manis (*C. burmanni* dan *C. cullilawan*); dan empat konsentrasi atsiri (0.06%, 0.125%, 0.250%, dan 0.500%). Setiap perlakuan diulang masing-masing sebanyak 3 dan 5 kali pada media PDB dan PDA.

Ekstraksi Minyak Atsiri

Ekstraksi dilakukan dengan distilasi uap menggunakan 3 kg kulit kayu manis dan kulit lawang per siklus (total 3 siklus). Bahan dirajang, dimasukkan ke dalam ketel distilasi dengan 5 liter air, lalu diproses selama 4 jam. Minyak hasil distilasi ditampung dalam botol.

Analisis GC-MS

Sebanyak 2 ml minyak atsiri dianalisis menggunakan GC-MS Shimadzu QP-2010 Plus.

Uji Efikasi Minyak Atsiri

Pembuatan Media PDA dan PDB

- Media padat (PDA) dibuat dengan mencampur 3.9 g PDA sintesis, 0.0036 g chloramphenicol dan ditambahkan aquades hingga volumenya 100 ml, lalu disterilkan.
- Media cair (PDB) dibuat dengan mencampur 2.4 g PDB sintesis, 0.003.6 g chloramphenicol, dan ditambahkan aquades hingga volumenya 100 ml, lalu disterilkan.
- Isolasi *F. oxysporum*

Cendawan pathogen ini diambil dari tanaman cabai yang terserang oleh penyakit layu pada tanaman Cabai di Kobisonta, Maluku Tengah. Sampel akar dicuci, ditumbuhkan pada media PDA, diinkubasi selama seminggu, dan dimurnikan sebagai spora tunggal (*single spore*) untuk digunakan sebagai isolat penelitian.

Persiapan Suspensi Spora:

- Tambahkan ±5 mL air steril ke permukaan koloni *Fusarium oxysporum*.
- Gosok ringan permukaan koloni dengan loop steril untuk melepaskan konidia.
- Saring suspensi menggunakan kasa steril atau kertas saring untuk membuang fragmen miselium.
- Masukkan suspensi ke dalam tabung reaksi steril.
- Lakukan pengenceran serial (misalnya 1:10, 1:100, hingga 1:1000) agar diperoleh kepadatan spora yang cukup rendah sehingga memungkinkan identifikasi spora tunggal di bawah mikroskop.

Inokulasi ke Media WA (water agar)

- Ambil 100 µL suspensi hasil pengenceran dan teteskan ke permukaan cawan WA (Water Agar).
- Ratakan secara merata dengan L-spreader steril atau goyangkan perlahan agar spora tersebar merata.
- Biarkan mengering sebentar dalam laminar agar tetesan menyerap.
- Inkubasi pada suhu 25–28°C selama ±12–18 jam (hingga spora mulai berkecambah, tapi belum tumbuh miselium besar).

Pemilihan Spora Tunggal

- Amati di bawah mikroskop menggunakan mikroskop stereo atau mikroskop cahaya.
- Tandai posisi spora tunggal yang mulai berkecambah (bisa gunakan bagian bawah cawan petri dengan spidol). Gunakan jarum inokulasi steril untuk memindahkan satu spora berkecambah ke media PDA segar. Inkubasi isolat tunggal pada media PDA selama 5–7 hari.

- Amati morfologi koloni untuk memastikan homogenitas (menunjukkan satu jenis *Fusarium oxysporum*).

Pembuatan konsentrasi atsiri pada media PDA dan PDB

Konsentrasi minyak atsiri kayu manis dan kayu lawang sebagai perlakuan terdiri dari 4 konsentrasi yakni:

K_0 = kontrol, tanpa minyak atsiri (hanya media PDA/PDB)

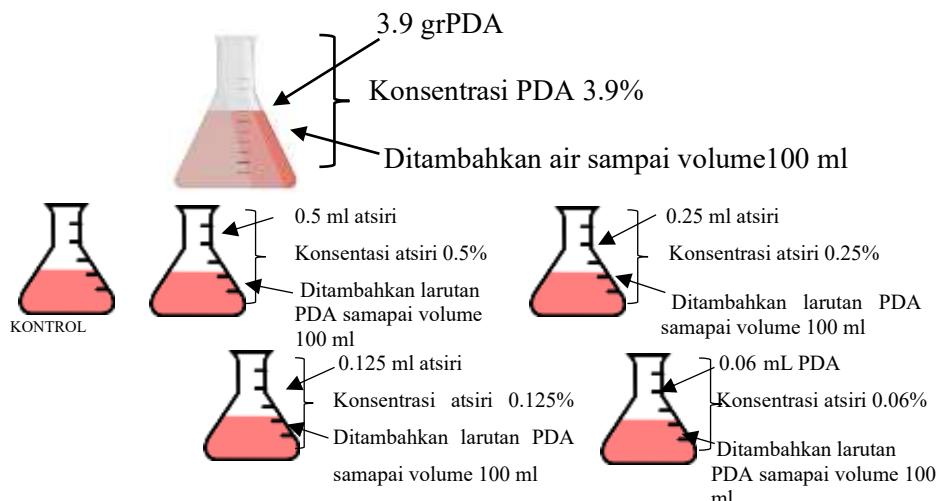
K_1 = konsentrasi minyak atsiri 0.06%

K_2 = konsentrasi minyak atsiri 0.125%

K_3 = konsentrasi minyak atsiri 0.25%

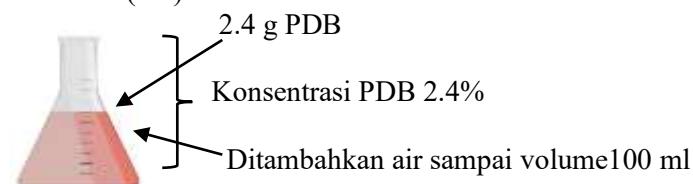
K_4 = konsentrasi minyak atsiri 0.5%

Pembuatan larutan stok PDA 3.9% (b/v)



Gambar 1. Ilustrasi pembuatan media PDA

Pembuatan larutan stok PDB 2.4% (b/v)



Gambar 2. Ilustrasi pembuatan media PDB

Tabel 1. Komposisi larutan minyak atsiri untuk media PDB

Konsentrasi (%)	Volume minyak atsiri (ml)	<i>Tween</i> 20 (ml)	Larutan PDB (ml)
0.5	0.5	0.5	99,00
0.25	0.25	0.25	99,50
0.125	0.125	0.125	99,75
0.06	0.06	0.06	99,88

Uji daya hambat minyak atsiri *C. cullilawan* dan *C. burmannii* pada media PDA

Cendawan *F. oxysporum* yang telah dimurnikan diinkubasi selama 7 hari dipotong menggunakan bor gabus sebanyak 40 potong sesuai dengan kebutuhan atau ulangan, potongan dari bor gabus tersebut membentuk bulatan. Kemudian Media PDA 15 ml dimasukan ke dalam petridish, tunggu hingga PDA memadat dan dengan menggunakan spatula *F.oxysporum* diisolasi satu per satu ke dalam petridish.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berat Jenis Minyak Atsiri

Berat jenis merupakan perbandingan antara massa suatu zat dengan volume yang ditempatinya. Prinsip pengukuran berat jenis didasarkan pada perbandingan massa cairan terhadap volumenya pada suhu yang sama. Dalam penelitian ini, hasil pengukuran berat jenis tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Nilai berat jenis suatu bahan sangat dipengaruhi oleh komposisi senyawa penyusunnya. Rata-rata berat jenis minyak atsiri dari *C. burmannii* yang diperoleh adalah 0,943 g/mL. Minyak atsiri ini terutama mengandung senyawa sinamaldehid serta kelompok senyawa terpen. Nilai ini sedikit lebih rendah dibandingkan standar SNI, yaitu 1,008–1,030 g/mL pada suhu 20°C atau sekitar 1,0120–1,0340 g/mL pada suhu 25°C. Perbedaan tersebut kemungkinan besar disebabkan oleh faktor genetik individu tanaman, kondisi lingkungan tempat tumbuh, serta faktor eksternal lainnya. Sebagai perbandingan, berat jenis minyak atsiri dari *C. culillawan* tercatat sebesar 0,940 g/mL. Sementara itu, berat jenis kulit kayu lawang dilaporkan sebesar 1,060 (Sastrohamidjojo, 2005). Nilai berat jenis yang relatif rendah ini dapat dikaitkan dengan tingginya fraksi senyawa larut air dalam minyak atsiri. Fraksi berat dalam minyak atsiri mengacu pada komponen yang memiliki berat jenis lebih tinggi biasanya terdiri dari senyawa kompleks yang kurang volatil dan lebih padat, serta memerlukan suhu lebih tinggi untuk menguap dibandingkan fraksi lainnya.

Minyak atsiri, fraksi berat umumnya terdiri dari senyawa-senyawa teroksigenasi seperti aldehida, alkohol, dan ester, yang memiliki massa molekul lebih tinggi dibandingkan dengan senyawa terpenoid misalnya terpen dan seskuiterpen yang lebih ringan dan mudah menguap. Contohnya, dalam minyak atsiri kayu manis, sinamaldehid yang menjadi komponen utama dikategorikan sebagai bagian dari fraksi berat karena struktur kimianya yang lebih kompleks dibandingkan dengan terpen, yang volatilitasnya lebih tinggi. Fraksi berat ini berkontribusi terhadap karakteristik fisik minyak atsiri, seperti berat jenis, kelarutan dalam air, dan stabilitas aroma, serta turut memengaruhi mutu dan aplikasi minyak atsiri dalam berbagai bidang industri. Senyawa-senyawa yang larut dalam air sebagian besar merupakan senyawa teroksigenasi, termasuk sinamaldehid, yang memiliki berat jenis lebih besar daripada senyawa non-teroksigenasi seperti terpen dan seskuiterpen (Pise et al., 2023). Dengan demikian dapatlah dikatakan bahwa berat jenis minyak atsiri hasil distilasi dari kulit kayu manis cenderung lebih rendah dibandingkan dengan minyak kulit lawang.

Analisis Minyak Atsiri *C. burmannii* dan *C. culillawan*

Proses Ekstraksi dan Identifikasi Senyawa

Minyak atsiri yang didapat dari distilasi uap *C. burmannii* dan *C. culillawan* dianalisis menggunakan GC-MS (*Gass Chromatography Mass-Spectrometry*). Metode ini penting untuk mengidentifikasi senyawa bioaktif dan memisahkan serta mengkarakterisasi komponen kimia dengan akurat, bahkan dari sedikit sampel. GC-MS mampu mendeteksi berbagai zat, termasuk hidrokarbon berantai panjang atau bercabang, alkohol, dan ester. Data hasil analisis GC-MS disajikan dalam bentuk kromatogram, yaitu grafik dengan puncak-puncak yang menunjukkan senyawa yang terdeteksi pada waktu retensi tertentu. Kromatogram juga menampilkan persentase area senyawa, yang mengindikasikan perkiraan relatif konsentrasi senyawa dalam sampel.

Kandungan Minyak Atsiri *C. burmannii*

Sinamaldehid adalah komponen utama minyak atsiri kulit kayu manis. Dalam penelitian ini, minyak atsiri *C. burmannii* ditemukan mengandung 21 komponen, dengan dua senyawa utama yaitu sinamaldehid (20,61%) dan β-phellandrene (15,58%), diikuti oleh linalol (8,21%), croweacin (7,74%), Phenol2-Methoxy-3-(2-Propenyl) (4,31%), dan 1,3 Benzodioxole,5-(2-Propenyl)- (3,51%). Sebagai bahan perbandingan, Mulyanti (2023) sebelumnya menunjukkan delapan senyawa utama pada minyak atsiri kulit kayu manis, dengan sinamaldehid sebagai yang paling dominan (73,18%), diikuti oleh 1,8-Cineole (1,07%), endo-Borneol (1,15%), 3-Cyclohexen-1-ol,4- methyl-1-(1- methylethyl) (2,05%), α-terpineol (4,22%), α-copaene (1,43%), 2-propen-1-ol,3-phenyl-3-acetate (7,35%), dan Naphthalene,1,2,4a,5,6, 8a-Hexahydro-4,7- Dimethyl-1-(1- Methylethyl) (1,23%). Meskipun kedua penelitian mengonfirmasi sinamaldehid sebagai komponen utama *C. burmannii*, persentase sinamaldehid dalam penelitian ini lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh oksidasi dan penguapan selama penyimpanan, terutama jika disimpan di tempat yang tidak gelap. Sinamaldehid sangat reaktif terhadap oksidasi, bahkan tanpa katalis ketika terpapar udara pada suhu

kamar (Amalia et al., 2013). Dengan demikia, oksidasi sinamaldehid dapat menghilangkan sifat sterilisasi dan mempercepat kerusakan makanan karena sinamaldehid kehilangan kemampuan sebagai agen antimikroba setelah teroksidasi. Hal ini menjadi alasan penting untuk memperhatikan kondisi penyimpanan dan penggunaan sinamaldehid dalam produk makanan agar proses oksidasi dapat diminimalkan (Ilmi et al., 2022).

Kandungan Minyak Atsiri *C. culilawan*

Penelitian ini menunjukkan bahwa minyak atsiri *C. culilawan* mengandung 37 komponen, dengan Eugenol (26,33%), 1,6-Octadien (26,3%), Phenol (18,2%), Norbornadiene (7,49%), 3-Cyclohexen (4,09%), Eucalyptol (2,95%), 1,8 cineole (2,88%), α -pinene (1,06%), β -pinene (1,09%), dan o-cymene (1,29%) sebagai kandungan utama. Menurut Sohilait & Kainama (2016) sebelumnya menemukan 12 komponen dalam *C. culilawan*, dengan Eugenol (66,477%) sebagai yang paling dominan, diikuti oleh Safrole (12,432%), Methyleugenol (6,972%), Linalool (4,852%), 1,8-cineol (2,431%), Limonena (0,856%), o-cymene (1,590%), β -pinene (0,631%), α -pinene (1,999%), α -thujene (0,516%), 4-terpineol (0,651%), dan Myristicin (0,592%). Kedua penelitian konsisten menunjukkan eugenol sebagai komponen utama *C. culilawan*. Namun, dalam penelitian ini senyawa safrol tidak terdeteksi, padahal minyak kulit lawang diketahui mengandung safrol (Sohilait, 2015). Tidak terdeteksinya safrol bisa disebabkan oleh metode ekstraksi yang digunakan (yang mungkin menyebabkan degradasi atau isolasi tidak optimal), lokasi geografis tanaman, atau kondisi lingkungan. Selain itu, sensitivitas alat GC-MS yang kurang juga bisa memengaruhi hasil deteksi. Dalam minyak cengkeh, safrole seringkali merupakan komponen yang sangat kecil. Banyak penelitian telah menunjukkan bahwa kadar safrole dalam minyak cengkeh dapat bervariasi secara signifikan dan dalam beberapa kasus dapat sangat rendah, bahkan di bawah batas deteksi berbagai alat analitis. Berbeda dengan komponen penting lainnya seperti eugenol, safrole kadang-kadang dapat terdeteksi dalam jumlah di bawah 1% atau sebagai komponen minor. Perbedaan ini bergantung pada asal minyak atsiri dan proses ekstraksinya.

Karakteristik Minyak Atsiri Secara Umum

Molekul organik berberat molekul rendah, termasuk terpenoid (monoterpen dan seskuiterpen), terpen, serta senyawa aromatik dan alifatik, membentuk minyak esensial. Komponen-komponen ini mudah menguap pada suhu kamar karena berat molekulnya yang rendah. Minyak atsiri adalah campuran kompleks dari senyawa volatil hingga semi-volatile, baik yang polar maupun non-polar. Interaksi non-polar ini menyebabkan molekul-molekulnya cenderung berpindah ke fase gas dibandingkan senyawa polar yang memiliki ikatan lebih kuat (Siddiqui et al., 2024).

Tabel 3. Sidik Ragam Variabel Pengamatan Efikasi Minyak Atsiri terhadap *F. oxysporum*

Sumber Keragaman	Variabel			
	Berat Kering	Diameter	Penghambatan (Media PDA)	Penghambatan (Media PDB)
Jenis kayu manis	tn	tn	tn	tn
Konsentrasi	**	*	*	**
Jenis x konsentrasi	*	tn	tn	tn

Ket.: **= berbeda sangat nyata; *= berbeda nyata; tn= tidak berbeda nyata ($P< 0.05$)

Tabel 4. Berat kering miselium *F. oxysporum* pada perlakuan kombinasi jenis dan konsentrasi minyak atsiri

Jenis x Konsentrasi	Berat Kering (g)
CB 0.060	0.953 ^a
CC 0.060	0.870 ^{ab}
CB 0.125	0.840 ^{ab}
CC 0.250	0.770 ^{bc}
CC 0.125	0.770 ^{bc}
CC 0.500	0.770 ^{bc}
CB 0.500	0.700 ^c
CB 0.250	0.700 ^c

Ket. Angka yang diikuti oleh huruf yang tidak sama berbeda sangat nyata ($P< 0,05$); berat kering dinyatakan dalam log ($x+0.5$).

Berat Kering Miselium

Hasil uji BNJ menunjukkan bahwa interaksi yang sangat signifikan antara jenis minyak atsiri dan konsentrasi, sedangkan untuk kedua jenis *C. burmannii* (CB) dan *C. culilawan* (CC) tidak memberikan pengaruh nyata terhadap berat kering miselium. Lebih lanjut ada hubungan antara jenis dengan konsentrasi terhadap berat kering miselium menunjukkan perlakuan CB 0.060 berbeda nyata dengan CC 0.250, CC

0.125, CC 0.500, CB 0.500, dan CB 0.250 tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan CC 0.060 dan CB 0.125. CC 0.060 dan CB 0.125 berbeda nyata dengan CB 0.500 dan CB 0.250 tetapi tidak berbeda nyata dengan CC 0.250, CC 0.125 dan CC 0.500. Berdasarkan Tabel 6. perlakuan pada jenis atsiri yang digunakan tidak memberikan pengaruh tidak berbeda nyata, Komponen kimia minyak atsiri dari *C. burmannii* dan *C. cullilawan*, dua varietas kayu manis, secara umum serupa. Selain berbagai terpenoid lainnya, bahan utama yang sering terdeteksi meliputi eugenol dan aldehida kayu manis. Jenis-jenis kayu manis yang berbeda dapat memiliki konsentrasi kimia yang bervariasi, meskipun perubahan ini umumnya tidak cukup besar untuk berdampak signifikan pada pertumbuhan miselium dalam medium PDB (potato dextrose broth). Hal terlihat pada komponen terbesar dari kedua jenis kayu manis sinamaldehid dan eugenol sebagai komponen terbesar dari kayu manis, yang paling dominan berperan sebagai agen fungitoksik adalah sinamaldehid dan eugenol (Jham et al., 2005).

Ketika diaplikasikan pada spora *F. oxysporum*, konsentrasi minyak esensial memiliki dampak yang signifikan; pada konsentrasi tinggi, senyawa aktif eugenol dan cinnamonaldehyde mungkin memiliki sifat antifungal. Hal ini disebabkan oleh senyawa dalam minyak atsiri kayu manis tersebut dapat merusak membran sel cendawan (Wang et al., 2023), mengganggu metabolisme atau menghambat sporulasi yang pada akhirnya menghambat pertumbuhan miselium. Sinamaldehid berfungsi merusak membran sel cendawan atau mengganggu aktivitas enzimatik penting dalam proses metabolisme cendawan (Rizki & Panjaitan, 2018). Eugenol adalah senyawa yang memiliki sifat antimikroba dan dapat menyebabkan perubahan pada morfologi cendawan, serta merusak dinding sel, termasuk konidia dan hifa. Senyawa ini juga berperan dalam aktivitas fungistatik (Giordani et al., 2008).

Diameter Miselium

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa konsentrasi minyak atsiri berpengaruh signifikan terhadap diameter miselium *F. oxysporum* (Gambar 1) dan penghambatan diameter (pertumbuhan miselium) tertinggi terjadi pada hasil terbaik pada konsentrasi 0.500% (Tabel 5).

Tabel 5. Pengaruh konsentrasi minyak atsiri terhadap diameter miselium

Konsentrasi (%)	Diameter (cm)
0.060	1.469 ^a
0.125	1.249 ^{ab}
0.250	1.089 ^{ab}
0.500	1.000 ^b

Ket. Angka yang diikuti huruf tidak sama berbeda secara signifikan sesuai uji BNJ, α 5%
Diameter dinyatakan dalam log ($x+0.5$).



Gambar 1. Pengamatan mikroskopis miselium cendawan *F. oxysporum* dengan perbesaran 4x100 μm

Hasil uji beda nyata jujur pengaruh konsentrasi atsiri terhadap pertumbuhan diameter *F. oxysporum* menunjukkan pada perlakuan konsentrasi 0.060% berbeda nyata dengan perlakuan 0.500% tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi 0.125% dan 0.250%. 0.125% dan 0.250% tidak berbeda nyata dengan 0.500%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis kayu manis tidak berpengaruh nyata, begitupun dengan interaksi antara jenis kayu manis dan konsentrasi tidak menunjukkan pengaruh nyata. Hasil ini menampilkan bahwa konsentrasi minyak atsiri kayu manis berpengaruh nyata terhadap diameter pertumbuhan cendawan *F. oxysporum*. Penelitian menunjukkan bahwa minyak ini mampu menghambat pertumbuhan cendawan patogen ini dengan memengaruhi diameter koloni cendawan secara signifikan. Semakin tinggi konsentrasi atsiri efektif dalam menekan pertumbuhan *F. oxysporum* sehingga diameternya pun semakin kecil. Menurut Giordani et al., (2008), senyawa eugenol mengubah morfologi jamur dan merusak dinding sel, konidia, dan hifanya dan dikenal memiliki sifat antibakteri. Selain itu, senyawa ini memiliki kemampuan untuk memecah lipid yang terdapat dalam dinding sel jamur, merusaknya, dan

mengubah permeabilitasnya, sehingga bersifat non-selektif dan mencegah pertumbuhan dan perkembangan cendawan. Kandungan sinamaldehid bekerja dengan mengganggu membran sel cendawan dan proses metabolismnya, sehingga menghambat pertumbuhan dan reproduksinya. Efek ini lebih terasa dengan meningkatnya konsentrasi minyak atsiri yang digunakan. Menurut Wang et al., (2023), menunjukkan bahwa kemampuan antijamur minyak atsiri kayu manis terhadap cendawan *Aspergillus niger* dengan menghancurkan dinding sel dan membran serta menghambat pertumbuhan normal. Atsiri kayu manis dapat menghambat pertumbuhan koloni *A. flavus* secara praktis (Kocevski et al., 2013)

Penghambatan pertumbuhan miselium

Pengaruh konsentrasi minyak atsiri secara signifikan terhadap penghambatan pertumbuhan miselium *F. oxysporum* pada media PDA, dengan konsentrasi 0.500% memberikan hambatan tertinggi.

Tabel 6. Penghambatan pertumbuhan miselium *F. oxysporum* pada media PDA/PDB dengan konsentrasi minyak atsiri

Konsentrasi Atsiri (%)	Penghambatan (%)	
	PDA	PDB
0.060	1.815 ^b	1,838 ^b
0.125	1.912 ^{ab}	1,952 ^a
0.250	1.974 ^a	2,040 ^a
0.500	1.999 ^a	2,040 ^a

Ket.: Angka yang diikuti huruf tidak sama berbeda sangat nyata dengan perlakuan lainnya sesuai uji BNJ pada $P(< 0,05)$, Penghambatan dinyatakan dalam log ($x+0.5$).

Hasil uji beda nyata jujur pada media PDA konsentrasi 0.500% dan 0.250% berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi 0.500% tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan 0.125%. dan perlakuan 0.125% tidak berbeda nyata dengan perlakuan 0.060%. Selanjutnya hasil uji beda nyata jujur pada media PDB 0.125%, 0.250% dan 0.500% tidak berbeda nyata, tetapi berbeda nyata dengan perlakuan 0.060%. Media PDA adalah salah satu media paling umum digunakan untuk menumbuhkan cendawan, termasuk *Fusarium*. Media ini mendukung pertumbuhan cendawan karena menyediakan nutrisi yang kaya, khususnya karbon dari pati kentang dan gula dari dekstrosa, yang esensial untuk perkembangan miselium dan sporulasi. Hasil analisis uji daya hambat pada media PDA menunjukkan bahwa terdapat pengaruh nyata dari variasi konsentrasi terhadap pertumbuhan cendawan. Hal ini mengindikasikan adanya hubungan signifikan antara peningkatan konsentrasi minyak atsiri dan efektivitas daya hambat pada media PDA. Sebagaimana ditunjukkan oleh parameter pertumbuhan yang diamati.

Minyak atsiri dari kayu manis jenis *Cinnamomum burmanni* didominasi oleh senyawa sinamaldehid, sedangkan jenis *Cinnamomum culilawan* memiliki eugenol sebagai komponen utamanya. Kedua senyawa ini, sinamaldehid dan eugenol, merupakan komponen paling berperan dalam aktivitas fungitoksik kayu manis (Jham et al., 2005). Sinamaldehid, sebagai senyawa utama dalam minyak atsiri kayu manis, telah dimanfaatkan sebagai agen antimikroba dalam industri pangan karena kemampuannya melawan bakteri, jamur, dan kapang (Hu et al., 2013). Senyawa ini bekerja melawan *F. sambucinum* dengan cara merusak integritas membran sel, meningkatkan permeabilitasnya, sehingga menyebabkan keluarnya komponen penting intraseluler seperti protein, asam nukleat, dan ion-ion seperti Na^+ dan K^+ . Akibatnya, keseimbangan dan proses metabolisme dalam sel jamur terganggu (Wei et al., 2020). Selain itu, sinamaldehid juga dapat menimbulkan stres oksidatif melalui peningkatan produksi spesies oksigen reaktif (ROS), yang berpotensi merusak struktur serta fungsi sel. Gabungan mekanisme ini menyebabkan terhambatnya perkembangan spora serta pertumbuhan miselium cendawan (Wang et al., 2018). Perlakuan dengan sinamaldehid secara nyata menyebabkan peningkatan kebocoran protein dan asam nukleat dari miselium. Hal ini terjadi karena sinamaldehid berinteraksi dengan membran sel miselium, merusak struktur membran dan meningkatkan permeabilitasnya. Akibatnya, isi sel seperti protein dan asam nukleat bocor keluar dari sel, mengganggu fungsi sel dan menyebabkan kerusakan yang berujung pada kematian sel.

Sinamaldehid dikenal sebagai komponen antifungi yang kuat dalam minyak atsiri kayu manis. Mekanisme antifungi sinamaldehid termasuk pengikatan pada enzim-enzim penting, seperti aspartil protease pada dinding sel jamur, serta pengikatan oksigen yang dibutuhkan jamur untuk metabolisme. Kerusakan membran dan kebocoran molekul penting ini menyebabkan pertumbuhan dan kelangsungan hidup miselium menjadi terganggu (OuYang et al., 2019). Efek ini mirip dengan cara kerja minyak atsiri lain yang dapat merusak membran sel mikroorganisme sehingga terjadi kebocoran isi sel, termasuk protein dan DNA, yang secara akhirnya menyebabkan kematian sel mikroba tersebut. Jadi, komponen

sinamaldehid meningkatkan kebocoran protein dan asam nukleat dari miselium sebagai bagian dari mekanisme antifunginya. Hal ini disebabkan oleh wilayah ini memiliki aktivitas metabolismik yang tinggi, kubah apikal menjadi sangat rentan terhadap efek merusak sinamaldehid, yang pada akhirnya mengakibatkan keluarnya komponen seluler penting dan berujung pada kematian sel *F. oxysporum* (Olea et al., (2019). Aktivitas antimikroba eugenol juga dipengaruhi oleh keberadaan gugus alkil sekunder serta gugus hidroksil fenolik yang reaktif, yang mampu membentuk ikatan hidrogen dengan enzim target (Elbestawy et al., 2023).

Minimum Inhibitory Concentration (MIC) adalah konsentrasi terendah dari suatu zat antimikroba. Contohnya seperti minyak atsiri kayu manis, yang mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme tanpa membunuhnya secara langsung. Dalam konteks cendawan pathogen *F. oxysporum*, MIC minyak atsiri kayu manis merupakan titik dimana pertumbuhan cendawan ini mulai terhambat secara signifikan dalam media kultur seperti PDA dan PDB. Jika MIC rendah, berarti minyak atsiri tersebut memiliki potensi kuat sebagai antifungi (Zhou, 2023). Berdasarkan hasil pengamatan pada media PDA, konsentrasi 0,125% menunjukkan kemampuan signifikan dalam menghambat pertumbuhan cendawan *F. oxysporum* sehingga pada konsentrasi ini sudah mampu menghambat pertumbuhan cendawan. Sementara itu, pada media PDB, konsentrasi 0,125% sudah mampu memberikan efek serupa sehingga dalam konsentrasi ini pun sudah mampu menghambat pertumbuhan cendawan. MIC yang rendah menunjukkan bahwa minyak atsiri kayu manis memiliki aktivitas antifungi yang kuat terhadap *F. oxysporum*, sehingga dapat menjadi alternatif alami dalam pengendalian penyakit tanaman yang diakibatkan oleh cendawan ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Ir. I. Marzuki yang sudah membiayai sebagian dari penelitian ini dan Ir. A. Talahaturuson, M. Si yang telah meluangkan waktu dalam mendukung penelitian ini sampai terselesaikan penulisan Tesis.

KESIMPULAN

1). Senyawa atsiri dari *C. burmannii* dan *C. cullilawan* dengan kandungan utamanya sinamaldehid dan euganol berpotensi sebagai antifungi dengan menghambat pertumbuhan *F. oxysporum*; 2). Pemberian konsentrasi atsiri terhadap *F. oxysporum* yakni 0.06%, 0.125%, 0,25% dan 0.5% dimana semakin tinggi konsentrasi memberikan penghambatan yang tinggi pula dengan tidak ada pertumbuhan cendawan, tetapi pada konsentrasi terkecilnya yakni 0.125% sudah mampu memberikan penghambatan dimana konsentrasi ini pun dapat dijadikan MIC (*Minimum Inhibitory Concentration*) dan direkomendasikan untuk penelitian lanjut terkait uji in vivo potensi minyak atsiri kayu manis dan kayu lawing sebagai agens pengendali hayati.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd-Alla, M. A. , N. G. E. , & E. R. H. (2013). Effect of some natural plant extracts & plant essential oils on suppressive of *Penecillium digitatum* (Pers.:Fr.) Sacc. and its enzyme activity which caused citrus green mold for navel oranges in Egypt. *Jurnal of Applied Sciences Research*, 9(6), 4073–4080.
- Abdila, A. N., & Maduratna, M. (2021). Uji efektivitas fungisida nabati (kombinasi tepung jagung dan ekstrak daun sirsak) dalam mengendalikan penyakit layu fusarium (*fusarium oxysporum*) pada tanaman cabai. *Jurnal Nasional Holistic Science*, 1(1), 17–20. <https://doi.org/10.30596/jcositve.v1i1.xxxx>
- Achmad, A., & Mulyaningsih, I. (2016). Pengaruh pH, Penggoyangan Media, dan Ekstrak Daun Sirih Merah (*Piper crocatum* Linn.) terhadap Pertumbuhan Cendawan Rhizoctonia sp. *Jurnal Hortikultura*, 25(2). <https://doi.org/10.21082/jhort.v25n2.2015.p150-159>
- Achmad Achmad, I. M. (2015). Pengaruh pH, Penggoyangan Media, dan Ekstrak Daun Sirih Merah (*Piper crocatum* Linn.) terhadap Pertumbuhan Cendawan Rhizoctonia sp. *Jurnal Hortikultura*, 25(2), 150–159.
- Amalia, D., Ngadiwiyana, & Fachriah, E. (2013). Sintesis Etil Sinamat pada Minyak Kayu Manis dan Uji Aktivitas Sebagai Antidiabetes. *Jurnal Sains Dan Matematika*, 21(4), 108–113.
- Astri Afriani, M. H. F. S. H. (2019). Efektivitas gliocladium virens untuk mengendalikan penyakit Fusarium oxysporum sp. capsici pada tanaman cabai. *Pertanian Tropik*, 69(3), 403–411.
- Dessy Herwanti, I. S. B. S. S. (2019). Pengaruh Dosis Gliokompos dalam Mengendalikan Penyakit Layu Fusarium Pada Tanaman Cabai Hiyung (*Capsicum frutescens* L.). *Proteksi TanamanTropika*, 2(3), 151–156.
- Direktorat Jendral Perkebunan. (2021). *Produksi hasil tanaman non hutan di indonesia*.
- Elbestawy, M. K. M., El-Sherbiny, G. M., & Moghannem, S. A. (2023). Antibacterial, Antibiofilm and Anti-Inflammatory Activities of Eugenol Clove Essential Oil against Resistant Helicobacter pylori. *Molecules*, 28(6). <https://doi.org/10.3390/molecules28062448>
- Giordani, R. , H. Y. , & K. J. (2008). Compositions and antifungal activities of essential oils of some Algerian aromatic plants.

Fitoterapia, 79(3), 199–203.

- Gulab N, Jham, O. D. D. C. M. J. & V. M. V. (2005). Identification of the Major Fungitoxic Component of Cinnamon Bark Oil. *Fitopatologia Brasileira*, 30, 404–408.
- Hariharan, G., & Prasannath, K. (2021). Recent Advances in Molecular Diagnostics of Fungal Plant Pathogens: A Mini Review. In *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* (Vol. 10). <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.600234>
- Heriyanto, H. (2019). Kajian Pengendalian Penyakit Layu Fusarium oxysporum dengan Trichoderma sp. pada Tanaman Cabai. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 21(2), 26.
- Hu, L., Wang, D., Liu, L., Chen, J., Xue, Y., & Shi, Z. (2013). Ca²⁺ Efflux Is Involved in Cinnamaldehyde-Induced Growth Inhibition of Phytophthora capsici. *PLoS ONE*, 8(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076264>
- I Made Tedi Mahadi Putra, T. A. P. N. W. S. (2019). Pengendalian Penyakit Layu Fusarium oxysporum f.sp. capsici pada Tanaman Cabai Rawit Capsicum frutescens di Rumah Kaca dengan Trichoderma sp yang Ditambahkan pada Kompos. *Agroekoteknologi Tropika*, 8(1), 103–117.
- Ilmi, I. N., Filiany, F., & Yarlina, V. P. (2022). Sediaan Kayu Manis (Cinnamomum Sp.) sebagai Minuman Fungsional Antidiabetes. *Jurnal Kimia Padjadjaran*, 1, 31–59. <https://jurnal.unpad.ac.id/jukimpad>
- Isman, M. B. (2000). Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19(8–10), 603–608. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00079-X](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00079-X)
- Julianus Sohilait, H. (2016). GC/GC-MS Analysis, Isolation and Identification of Bark Essential Oil Components from <i>Cinnamomum culilawan</i>, Blume. *American Journal of Applied Chemistry*, 4(4), 157. <https://doi.org/10.11648/j.ajax.20160404.16>
- Kishore, G. K., Pande, S., & Harish, S. (2007). Evaluation of essential oils and their components for broad-spectrum antifungal activity and control of late leaf spot and crown rot diseases in peanut. *Plant Disease*, 91(4), 375–379. <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-4-0375>
- Kocevski, D., Du, M., Kan, J., Jing, C., Lačanin, I., & Pavlović, H. (2013). Antifungal effect of allium tuberosum, cinnamomum cassia, and pogostemon cablin essential oils and their components against population of aspergillus species. *Journal of Food Science*, 78(5). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12118>
- Liza YE, A. A. T. J. (2015). Variability of Fungal Rhizosphere and Its Role as Antagonist Agents of Fusarium oxysporum Causing Wilt Disease in Crysanthemum sp. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*.
- Meriza Fatma, M. C. M. F. D. H. (2021). Pengaruh Ekstrak Daun Pepaya (Carica papaya L.) terhadap Diameter Koloni dan Persentase Penghambatan Pertumbuhan Fusarium oxysporum. *Serambi Biologi*, 6(2), 9–14.
- Mulyanti, N. , H. R. , M. S. , & S. D. (2023). Analisis Minyak Atsiri Pada Kulit Kayu Manis (Cinnamomum Burmanii) Dengan Metode Gass Chromatography-Mass Spectrometry (Gc-Ms). *Jurnal Farmasi Malahayati*, 6(2), 203–210.
- Novita. (2008). Peran daun cengkeh terhadap pengendalian layu fusarium pada tanaman tomat. *Jurnal Agronomi*, 12(2), 14–17.
- Olea, A. F., Bravo, A., Martínez, R., Thomas, M., Sedan, C., Espinoza, L., Zambrano, E., Carvajal, D., Silva-Moreno, E., & Carrasco, H. (2019). Antifungal activity of eugenol derivatives against Botrytis cinerea. *Molecules*, 24(7). <https://doi.org/10.3390/molecules24071239>
- OuYang, Q., Duan, X., Li, L., & Tao, N. (2019). Cinnamaldehyde exerts its antifungal activity by disrupting the cell wall integrity of Geotrichum citri-aurantii. *Frontiers in Microbiology*, 10(JAN). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00055>
- Pise, V. H., Harlalka, R., & Thorat, B. N. (2023). Chemical Composition of Essential Oils. In *Drying of Aromatic Plant Material for Natural Perfumes*. <https://doi.org/10.1201/9781003315384-7>
- Rizki, S. M., & Panjaitan, R. S. (2018). Efektivitas Antifungi dari Minyak Atsiri Kulit Batang Kayu Manis (Cinnamomum burmanni) terhadap Candida albicans. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, 3(2), 172. <https://doi.org/10.30870/educhemia.v3i2.4560>
- Saroj, A., Srivastava, A. K., Nayak, A. K., Chanotiya, C. S., & ... (2018). Essential Oils in Pest Control and Disease Management. <https://doi.org/10.1201/9780429426155-17>
- Sastrohamidjojo, H. (2005). “Prospek Minyak Atsiri Indonesia”. , 26-27 Mei 2005. Proyek ITTO. (Personal Comm.). *Seminar Nasional Peningkatan Produktivitas Hutan*.
- Siddiqui, T., Khan, M. U., Sharma, V., & Gupta, K. (2024). Terpenoids in essential oils: Chemistry, classification, and potential impact on human health and industry. *Phytomedicine Plus*, 4(2), 100549. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.phyplu.2024.100549>
- Sohilait, H. J. (2015). Chemical composition of the essential oils in Eugenia caryophylata, Thunb from Amboina Island. *Science Journal of Organic Chemistry*. https://www.researchgate.net/profile/Hanoch-Sohilait/publication/295547004_Chemical_Composition_of_the_Essential_Oils_in_Eugenia_caryophylata_Thunb_from_Amboina_Island/links/56cb1e0b08ae5488f0dae07f/Chemical-Composition-of-the-Essential-Oils-in-Eugenia-caryophylata-Thunb-from-Amboina-Island.pdf
- Syarifudin, R., Kalay, A. M., & Uruilal, C. (2021). Effect of Biological Fertilizer and Chemical Fungicide on Fusarium Wilt Disease, Growth and Yield on Onion (Allium ascaloncum L). *Agrologia*, 10(2). <https://doi.org/10.30598/ajibt.v10i2.1426>
- V. R. Wati, Y. dan E. F. (2020). Pengaruh solarisasi tanah dan pemberian dosis Trichoderma harzianum dalam pengendalian penyakit layu Fusarium pada cabai (*Capsicum annum* L.). *Agro Complex*, 4(1), 40–49.
- Wang, M., Liu, H., Dang, Y., Li, D., Qiao, Z., Wang, G., Liu, G., Xu, J., & Li, E. (2023). Antifungal Mechanism of Cinnamon Essential Oil against Chinese Yam-Derived Aspergillus niger. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2023/5777460>
- Wang, Y., Feng, K., Yang, H., Zhang, Z., Yuan, Y., & Yue, T. (2018). Effect of cinnamaldehyde and citral combination on transcriptional profile, growth, oxidative damage and patulin biosynthesis of *Penicillium expansum*. *Frontiers in Microbiology*, 9(MAR). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00597>
- Wei, J., Bi, Y., Xue, H., Wang, Y., Zong, Y., & Prusky, D. (2020). Antifungal activity of cinnamaldehyde against Fusarium sambucinum involves inhibition of ergosterol biosynthesis. *Journal of Applied Microbiology*, 129(2). <https://doi.org/10.1111/jam.14601>
- Zhou, X. (2023). The potential role of plant secondary metabolites on antifungal and immunomodulatory effect. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 107(14), 4471–4492. <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12601-5>

