

Identifikasi senyawa organik volatil pada tanaman kelapa sawit terinfeksi *Ganoderma* sp.

Identification of volatile organic compound of oil palm plants infected with Ganoderma sp.

Irma KRESNAWATY^{1*)}, Agustin Sri MULYATNI¹⁾, Deden Dewantara ERIS¹⁾, Tri PANJI¹⁾, Happy WIDIASTUTI¹⁾, & Kuwat TRIYANA²⁾

¹⁾Pusat Penelitian Kelapa Sawit Unit Bogor, Jl Taman Kencana No.1, Bogor 16128, Indonesia

²⁾Departemen Fisika, Universitas Gadjah Mada, Jl Sekip Utara Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia

Diterima tgl 8 Mar 2023/ Perbaikan tgl 18 Apr 2023/ Disetujui tgl 30 Jan 2024

Abstract

The success of controlling basal stem rot (BSR) disease caused by *Ganoderma* sp. is mostly determined by the early detection of the fungi. Hence, when the signs of infection begin to appear, plants are generally difficult to rescue since the pathogen infection has spread widely to all parts of the plant. Therefore, early detection through the application of biosensors for *Ganoderma* sp. infection is absolutely necessary. This study aim was to identify biomarker compounds of *Ganoderma* sp. infection in oil palm plants with GC-MS for volatile compounds, and LC-MS for non-volatile compounds. The results showed that *Ganoderma* sp. mycelium produced pyrimidinamine compounds. Meanwhile in early infected nursery plants, were found benzo[h]quinoline, hexaoxa-7,9,11-trisilaheptad, tris-(trimethyl-silyl ester and methyl-tris(trimethyl-siloxy)-silane). Whereas in Bekri, Rejosari, and Adolina plantation, the compound methyl-tris(trimethyl-siloxy)-silane was also found in healthy mature plants. GC-MS test results showed that for early, moderate and severe plants produced several benzene derivative compounds such as ethylbenzene, xylene, and benzaldehyde. These compounds were assumed to be resulted from the breakdown of the lignin structure which build plant cell walls, and have potency to be used as marker compounds for early infected *Ganoderma* sp. detection. The result of the produced gas quantification concluded that in the produced oil palm plants released less CO₂ compared to healthy plants. On the other hand, the NH₃ produced was higher than the healthy plants. Meanwhile, two non-volatile compounds were found that they were only produced by infected

trunk and root tissue, namely pseudobrucine and picrasidine.

[Keywords: benzaldehyde, GC-MS, lignin, marker compounds, volatile compound]

Abstrak

Keberhasilan pengendalian penyakit busuk pangkal batang (BPB) yang disebabkan patogen *Ganoderma* sp. sangat ditentukan oleh tingkat kecepatan deteksi infeksi cendawan tersebut. Hal ini disebabkan pada saat tanda serangan mulai terlihat, umumnya tanaman sulit diselamatkan karena infeksi patogen telah menjalar ke seluruh bagian tanaman. Untuk itu, deteksi dini serangan *Ganoderma* sp. melalui aplikasi biosensor mutlak diperlukan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi senyawa marka yang menjadi penanda infeksi *Ganoderma* sp pada tanaman kelapa sawit dengan GC-MS untuk senyawa volatil dan LC-MS untuk senyawa non-volatil. Hasil analisa GC-MS menunjukkan bahwa miselium *Ganoderma* sp. menghasilkan senyawa pirimidinamine. Pada tanaman pembibitan yang terinfeksi ringan ditemukan senyawa benzo[h]quinoline, hexaoxa-7,9,11-trisilaheptad, tris(trimethylsilyl) ester dan methyltris (trimethylsiloxy) silane. Tetapi hasil pengujian pada tanaman sawit TM asal kebun Bekri, Rejosari, dan Adolina, senyawa methyltris (trimethylsiloxy) silane juga ditemukan di tanaman sehat. Hasil pengujian GC-MS pada tanaman sawit dari Lampung, dengan serangan ringan, sedang dan berat menemukan beberapa senyawa turunan benzen seperti *ethylbenzene*, *xylene*, dan *benzaldehyde*. Senyawa - senyawa ini diduga hasil

^{*)}Korespondensi penulis: irmakresnawati83@gmail.com

perombakan struktur lignin yang membangun dinding sel tanaman, dan berpotensi digunakan sebagai senyawa marka pada kondisi serangan ringan *Ganoderma sp.* Dari hasil kuantifikasi gas yang dihasilkan dapat disimpulkan bahwa pada tanaman kelapa sawit TM terinfeksi berat *Ganoderma sp.*, mengeluarkan CO₂ lebih sedikit dibandingkan dengan tanaman sehat. Sebaliknya, NH₃ yang dihasilkan lebih tinggi daripada tanaman sehat. Sementara itu, dua senyawa non volatil ditemukan, yang hanya dihasilkan oleh jaringan batang dan akar yang sakit, yaitu pseudobrucine dan picrasidine.

[Kata kunci: benzaldehid, GC-MS, lignin, senyawa penciri, senyawa volatil]

Pendahuluan

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan komoditas strategis bagi ekonomi nasional. Saat ini Indonesia dan Malaysia, menyumbang 85% dari pasokan minyak sawit di seluruh dunia, setara dengan 34% dari konsumsi minyak nabati dunia (Khusairi et al., 2019; BPS, 2022). Kelapa sawit sebagai tanaman perkebunan monokultur menghadapi ancaman serius penyakit busuk pangkal batang (BPB) akibat cendawan *Ganoderma boninense*. Serangan penyakit ini telah menyebabkan kerugian yang besar akibat penurunan hasil minyak, jumlah tegakan, dan percepatan siklus penanaman kembali kelapa sawit baru (Ariffin et al., 2000). Infeksi *Ganoderma sp.* dimulai dengan penetrasi miselia ke dalam akar kelapa sawit dan perlahan menyebar ke pangkal batang (Rees et al., 2009). Infeksi *Ganoderma sp.* hanya dapat dikenali pada tahap yang sangat lanjut yaitu gejala klorosis daun yang berat dan adanya jaringan yang membusuk di pangkal sawit dan produksi tubuh buah cendawan (Seman & Kamarudin., 2023). Oleh karena itu, deteksi cendawan *Ganoderma sp.* yang cepat dan akurat pada tahap awal infeksi diperlukan untuk membantu praktik manajemen yang lebih efisien untuk mengurangi penyebaran penyakit busuk pangkal batang (BPB). Metode non destruktif, murah, dan terjangkau menjadi pilihan untuk deteksi dini penyakit. Salah satu metode tersebut adalah *electronic nose* yang berbasis pada senyawa organik volatil (*Volatile Organic Compounds/ VOC*) yang dihasilkan oleh target analit.

VOC telah mendapatkan perhatian karena aplikasinya dalam deteksi dan identifikasi penyakit tanaman. Analisis VOC untuk pengenalan bahan tanaman yang terinfeksi telah diperoleh dari beberapa tanaman yang penting secara ekonomi seperti tanaman apel dan pir (Spinelli et al., 2011), anggur (Brasioli et al., 2010), stroberi (Pan et al.,

2014) dan juga umbi kentang (Kushalappa et al., 2002). VOC merupakan senyawa karbon dengan berat molekul rendah dan tekanan uap tinggi, sehingga mudah menguap pada suhu kamar (Benneth et al., 2015). Penentuan VOC diklaim sangat penting dalam pengembangan sistem sensor elektronik (Triyana et al., 2015; Widada et al., 2021), seperti yang ditunjukkan dalam studi penyakit busuk pangkal batang). Profil VOC pada tanaman terinfeksi *G. boninense* juga sangat penting dalam penentuan baik tanaman yang tahan maupun rentan terhadap infeksi *G. boninense*. Selain senyawa tertentu perlu diketahui juga komposisi senyawa volatil umum yang biasa dihasilkan oleh tanaman.

Nusaibah et al. (2016) menyimpulkan bahwa senyawa organik aromatik heterosiklik, benzo[h]quinoline, piridin, dan pirimidin terdeteksi pada akar tanaman terinfeksi *Ganoderma sp.* di pembibitan. Sementara Yu & Chong (2018) juga melaporkan bahwa benzo[h]quinoline, 2,4-dimethyl dan tris(tert-butyl dimethylsilyloxy) arsane dideteksi pada jaringan batang yang terinfeksi *Ganoderma sp.*. Untuk itu penelitian ini bertujuan mengidentifikasi senyawa marka yang menjadi penanda infeksi *Ganoderma sp.* di tanaman kelapa sawit di pembibitan dan di lapang dengan GC-MS, GC dan LC-MS pada bagian akar, batang, serta tanah pada tingkat infeksi ringan, sedang, dan berat.

Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu isolat *Ganoderma boninense* koleksi Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Unit Bogor, dan sampel tanaman kelapa sawit varietas DXP tahun tanam berkisar tahun 1997-2003 dari Kebun Adolina, Medan dan Kebun Bekri, Lampung, *potato dextrose agar* (PDA), polibag, tanah, tanaman sawit, metanol, etanol, fenol, H₂SO₄, peralatan impinger, dan natrium hipoklorit.

Preparasi sampel

Isolat *G. boninense* yang terdiri dari isolat 82, AR, B421, dan 5-007 ditumbuhkan di Petri dish dengan media *potato dextrose agar* (PDA) dan diinkubasi pada suhu kamar selama 7 hari. Sedangkan sampel jaringan tanaman berupa daun, akar, dan batang terinfeksi *Ganoderma sp.* di lapang, dibandingkan dengan jaringan tanaman sehat. Sampel VOC dianalisa menggunakan GC-MS dan senyawa non-volatil menggunakan LC-MS dengan pelarut etanol. Selain itu, dilakukan uji kuantitatif gas CO dan CO₂ menggunakan Gas Chromatography (GC), serta kadar amoniak sesuai SNI 19-7119.1-2005.

Analisis GC-MS

Analisis GC dilakukan dengan instrument GC 7890A dari Agilent Technologies (CA, USA), dilengkapi dengan detektor MS Triple-Axis model 5975C yang inert. VOC dipisahkan pada kolom kapiler fase terikat silika leburan Zebtron TM ZB-5HT Inferno, panjang 30 m dengan diameter internal 0,25 mm, dengan ketebalan film 0,25 m (5% fenil 95% dimetilpolisiloksan). Helium digunakan sebagai gas pembawa dengan laju alirnya 1 mL/menit. Program oven pemanas tiga langkah berikut diterapkan: (1) 45 °C selama 1 menit; (2) suhu 100 °C min⁻¹ meningkat menjadi 260 °C; (3) 260 °C selama 30 menit. Suhu jalur transfer adalah 280 °C. Rentang massa dari 20–400 m/z dipindai dalam mode pemindaian penuh pada energi ionisasi 70 eV. Kromatogram dianalisis menggunakan Agilent Enhanced MSD ChemStation (Versi E.02.00.493) dan identifikasi sementara VOC dilakukan dengan membandingkan spektrum massa dan indeks retensi dengan perpustakaan data NIST Statistical analysis.

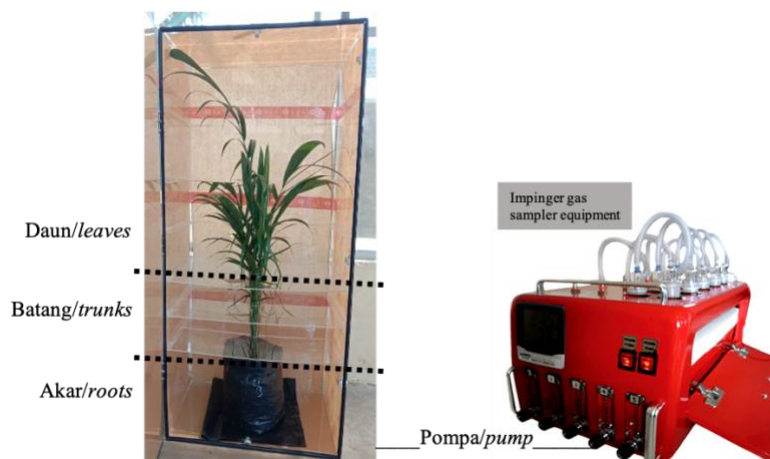
Analisis gas

Sampel gas diperangkap dengan sungkup plastik kemudian dialirkan di adsorben untuk analisa CO₂, NH₃, dan kelompok senyawa aromatik menggunakan peralatan *Impinger Gas Sampler*. Peralatan *Impinger* disusun sedemikian rupa kemudian ditempatkan pada titik pengambilan sampel (dalam box akrilik yang berisi tanaman (Gambar 1) dan di tanaman lapang yang disungkup

plastik. Sebanyak 10 mL larutan absorber H₂SO₄ untuk analisis amoniak dimasukkan ke dalam impinger. Pompa penghisap udara dinyalakan dan diatur dengan kecepatan aliran 2,5 L/menit. Setelah 60 menit pompa dimatikan dan dicatat kembali kecepatan alirannya. Suhu dan tekanan udara sekeliling sebelum dan sesudah proses pengambilan sampel juga dicatat. Analisis NH₃ dilakukan sesuai SNI 19-7119.1-2005.

Pengujian sampel

Sampel dipipet 10 ml ke dalam labu takar 25 mL. Larutan sampel ditambahkan 2 mL larutan penyangga, 2 mL larutan kerja fenol, dan 1 mL 12 larutan kerja hipoklorit. Sampel dihomogenkan dan didiamkan selama 30 menit. Pembuatan blanko dilakukan dengan memipet 10 mL absorber NH₃ ke dalam labu takar 25 mL. Larutan Absorber ditambahkan 2 mL larutan natrium fosfat, 2 mL larutan kerja fenol, dan 1 mL larutan kerja hipoklorit. Sampel dihomogenkan dan didiamkan selama 30 menit. Larutan sampel dan blanko diukur pada panjang gelombang 640 nm. Sementara untuk sampel CO₂, CO, dan senyawa aromatik dianalisis menggunakan *gas chromatography* Trace GC 1300 chromatographer dari Thermo Scientific dengan kondisi: *Chromatography* Kolom Porapak Q, suhu kolom injektor 60 °C, suhu kolom detektor 100 °C, *carrier gas* He, dan jenis detektor TCD (*Thermal Conductivity Detector*).



Gambar 1. Analisis gas pada tanaman pembibitan yang terinfeksi *Ganoderma* sp menggunakan alat *Impinger*
Figure 1. Gas analysis in *Ganoderma* infected oil palm seedlings using *Impinger* gas sampler equipment

Hasil dan Pembahasan

Senyawa VOC miselium dan jaringan tanaman kelapa sawit pembibitan

Hasil analisa GC-MS menunjukkan bahwa miselium *Ganoderma* menghasilkan senyawa pirimidinamin (Tabel 1). Kelompok senyawa ini juga ditemukan pada tanaman pembibitan yang terinfeksi *Ganoderma* sp. (Nusaibah et al., 2016). Senyawa pirimidinamin merupakan turunan senyawa pirimidin yang berfungsi sebagai bahan pembangun DNA/RNA. Senyawa pirimidin jenis ini juga merupakan substrat untuk enzim *lathyrine sintase* untuk membentuk senyawa asam amino yang tidak umum seperti ectoine dan betaine yang berperan sebagai antagonis reseptor molekul peptida (Kataoka et al., 2005). *Ganoderma* sp non patogen seperti *Ganoderma lucidum* diketahui juga menghasilkan senyawa turunan pirimidin, yaitu alloxan. Alloxan yang direduksi oleh reduktor biologis menjadi asam dialurat yang mudah teroksidasi menghasilkan anion superoksida, hidrogen peroksida, dan radikal hidroksi yang dapat menyebabkan kerusakan jaringan (Zhang et al., 2003). Sementara senyawa turunan pirimidin lain N4-(1-benzyl-1H-indazol-5-yl)-N6,N6-dimethylpyrido[3,4-d]pyrimidine 4,6-diamine 3B pada *G. lucidum* diketahui dapat menghambat enzim EGFr dan c-erbB-2 saat proliferasi sel tumor pada tikus (Chen et al., 2020). Sehingga diasumsikan pirimidinamin dihasilkan oleh *Ganoderma* sp. untuk memperberat infeksi tanaman sawit dengan menghasilkan radikal bebas yang merusak jaringan tanaman sawit. Selain itu, kelompok senyawa pirimidin ini juga diduga dihasilkan oleh konidia yang bertanggung jawab untuk reproduksi, penyebaran, persistensi lingkungan dan infeksi inang dari banyak spesies jamur. Salah satu faktor lingkungan utama yang dapat membunuh dan atau merusak konidia adalah radiasi UV matahari. Dimer *cyclobutane pyrimidine* (CPD) yang merupakan produk DNA utama yang diinduksi oleh sinar UVB (Nascimento et al., 2010).

Tabel 1 juga menunjukkan bahwa tanaman sehat menghasilkan senyawa *sulfurous acid*, dodecyl 2-propyl ester. Senyawa yang sama ditemukan di tanaman bawang daun. Sementara tanaman sakit menghasilkan senyawa *methyl-tris(trimethyl-siloxy) silane*, senyawa silan yang dihasilkan oleh bagian batang dan akar kemungkinan berasal dari silika organik yang terikat pada molekul karbohidrat (selulosa, pektin, lignin, hemiselulosa, residu asam galakturonat) yang berikatan silang dengan Ca pada dinding sel tanaman (Curry & Perry, 2009). Molekul Si ini berperan mengurangi stres biotik dan abiotik, dan juga untuk memberikan penguatan dinding sel

tanaman dan diduga senyawa ini tidak mudah diurai oleh *Ganoderma* sp., sehingga yang tersisa molekul hidrokarbon yang mengikat silan.

Pengujian GC-MS pada tanaman lapang difokuskan pada sampel tanah dan batang, agar pengujian dapat bersifat non-destruktif dan benar-benar merupakan deteksi dini/ringan. Sampel yang digunakan dibagi menjadi 4 kategori, yaitu tanaman sehat, terinfeksi ringan, terinfeksi sedang, dan terinfeksi berat. Hasil analisa menunjukkan bahwa jaringan batang dan tanah tanaman sakit berat masing-masing menghasilkan senyawa turunan silan yaitu *12,15-hexaoxa-7,9,11-trisilaheptad methyl-tris(trimethyl-siloxy)silane* (Tabel 2). Hal yang juga menarik adalah ditemukannya senyawa *benzo[h]quinoline*, pada tanaman yang terinfeksi ringan, sebagaimana hasil yang dilaporkan oleh Nusaibah et al. (2016) pada tanaman pembibitan. Yu & Chong (2018) juga melaporkan bahwa *benzo[h]quinoline*, 2,4-dimethyl dan Tris(tert-butyl-dimethylsilyloxy) arsane dideteksi pada jaringan yang terinfeksi *Ganoderma* sp. Tetapi, masih menjadi pertanyaan apakah senyawa ini dihasilkan sebagai reaksi lanjutan-senyawa pirimidinamin. Di sampel tanah, senyawa *benzo[h]quinoline* ditemukan dalam bentuk *4-phenyl-3,4-dihydroisoquinoline*, sedangkan senyawa silan pada serangan ringan, sedang, dan berat berturut-turut ditemukan dalam bentuk *hexaoxa-7,9,11-trisilaheptad, tris(trimethyl-silyl ester* dan *methyl-tris(trimethyl-siloxy)-silane* (Tabel 2).

Hasil pengujian pada tanaman asal kebun Bekri, Rejosari, dan Adolina menunjukkan bahwa senyawa *methyl-tris(trimethyl-siloxy)-silane* juga ditemukan di tanaman sehat. Asumsi sementara diduga infeksi *Ganoderma* sp menimbulkan senyawa-senyawa dengan kadar tertentu yang berbeda dengan tanaman sehat. Untuk mendukung hal ini dilakukan pengujian gas menggunakan adsorben gas yang dianalisa secara kuantitatif dengan GC yang mungkin dapat dijadikan sebagai senyawa biomarker infeksi *Ganoderma* sp..

Senyawa VOC jaringan tanaman kelapa sawit di lapang

Hasil pengujian GC-MS pada tanaman sawit terinfeksi *Ganoderma* sp. berat dari Lampung, ditemukan beberapa senyawa turunan benzene seperti *ethylbenzene*, *xylene*, *benzaldehyde*, *1,3-dikloro benzene*, *2-ethyl-5-methyl-phenol*, *1-ethyl-4-methoxy-benzene*, *benzo[b]cyclobuta[d]thiophene-1,2-dicarboxylic acid*, *1,2,2a,7b-tetrahydro-1-methyl-, triphenylene*, *octadecahydro-naphacene*, *phenylglyoxal*, *benzoylformic acid*, *phenol*, *2-ethyl-5-methyl-*; dan *phenyletyl alcohol*.

Tabel 1. Senyawa volatil pada miselium beberapa strain *Ganoderma* sp. dan jaringan tanaman pembibitan kelapa sawit sehat dan terinfeksi *Ganoderma* sp.
 Table 1. Volatile compounds in the mycelium of some strains of *Ganoderma* sp. and healthy and *Ganoderma* sp.-infected oil palm plant tissue seedlings

<i>Ganoderma</i> 82	<i>Ganoderma</i> AR	<i>Ganoderma</i> B421	<i>Ganoderma</i> 5-007	Akar sehat <i>Healthy roots</i>	Akar sakit <i>Infected roots</i>	Batang sehat <i>Healthy trunks</i>	Batang sakit <i>Infected trunks</i>	Daun sehat <i>Healthy leaves</i>	Daun sakit <i>Infected leaves</i>
3,4-dimethyl-1H-pyrrole-2-carboxaldehyde	4-Pyrimidinamine	4-Pyrimidinamine	4-Pyrimidinamine	trans-Chrysanthemol	trans-Chrysanthemol	Cyclopentene	Furan, 2-(1,1-dimethylethyl)-4-methyl	2-Propenoic acid, 2-methyl-,	Bicyclo[2.2.2]octane, 1-bromo-4-methyl
Cyclohexaneglycolic acid	Oxazole	1-Methyl-4-(1-methylethyl)-cyclohexane	Cyclohexane	Nonane	O-decylHydroxylamine, -	Furan, 2-(1,1-dimethylethyl)-4-methyl	2-Methyl-7-phenylindole	Phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)	Decane
Propylene glycol	.alpha.-Cadinol	Methanamine	Phenol	2-Propenoic acid, 2-methyl	2-Propenoic acid, 2-methyl-,	Decane	Decane	trans-Farnesol	Dimethyl phthaSevere
Propanoic acid	Benzaldehyde	Hexadecane	3-Azabicyclo[3.2.2]nonane	Sulfurous acid, dodecyl 2-propyl ester	Eicosane	3-Iodomethyl-3,6,6-trimethyl-cyclohexene	1-Penten-3-one, 2,4-dimethyl-		Dodecane
2-Ethyl-3-trimethylsilyloxy	7-Hydroxy-3-(1,1-dimethylprop-2-enyl)coumarin	Dodecyl octyl ether	2-Propenoic acid,	Phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)b	Phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)	2-Propenoic acid, 2-methyl	Heptadecane		Neophytadiene
1,2,3-Butanetriol	2,4-Dimethylamphetamine	Oxalic acid	Benzene	Eicosane	1H-Indole-2-carboxylic acid,	Dimethyl phthaSevere	Methyltris(trimethylsiloxy)silane		Neophytadiene
alpha.-Cadinol	3-Chloro-N-methylpropylamine	Octacosane		4-(4-Hydroxyphenyl)-4-methyl-2-pentanone	Tris(tert-butyl dimethylsilyloxy)arsane	Pentadecane	2-tert-Butylphenol		3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol
Tris(tert-butyl dimethylsilyloxy)	Cyclopropyl carbinol	Hexadecane		5-Methyl-2-phenylindolizine	Methyltris(trimethylsilyloxy)silane	Decane	hexadecamethyl-2-Ethylacridine		1,2-Benzenedicarboxylic acid
	Cyclohexane	Pentadecane		2-Methyl-7-phenylindole		Sulfurous acid, pentadecyl 2-propyl ester			Phytol
	3-Chloro-5-(2-methylphenyl)-1H-1,2,4-triazole	exadecamethyl Arsenous acid				Tetrasiloxane, decamethyl-			Squalene
	3-Chloro-6-imino-1,8,8-trimethyl-7-oxa-2-azabicyclo[3.2.1]oct-3-ene-4,5-dicarbonitrile	Eicosane				2-Ethylacridine			Tris(tert-butyl dimethylsilyloxy)arsane
	(E)-2-bromobutyloxycalone	Dibutyl phthaSevere				1H-Indole, 1-methyl-2-phenyl-			Benzo[h]quinoline, 2,4-dimethyl-
	Tris(tert-butyl dimethylsilyloxy)arsan	Tris(tert-butyl dimethylsilyloxy)				2-Methyl-7-phenylindole			Acetamide, N-[4-(trimethylsilyl)ph
		Eicosane							

Keterangan/Notes:

- Senyawa yang ditemukan pada miselium dan tanaman yang terinfeksi *Ganoderma*/The compounds that found in *Ganoderma* mycelium and infected plants
- Senyawa yang ditemukan pada jaringan tanaman sehat/The compounds that found in healthy oil palm tissue seedlings

Tabel 2. Senyawa volatil yang hanya teridentifikasi pada tanaman dan tanah kelapa sawit pada beberapa tingkat infeksi *Ganoderma sp.* dari kebun Cisolak Baru, Banten

Table 2. Volatile compounds that only identified on *Ganoderma sp.*-infected produced volatile compounds at some levels of infection and soil from Cisolak Baru plantation, Banten

Kontrol (Control)	Batang (Trunks)			Tanah (Soils)			
	Ringan (Light)	Sedang (Moderate)	Berat (Severe)	Sehat (Healthy)	Ringan (Light)	Sedang (Moderate)	Berat Severe
Furan, 2,3-dihydro-4-methyl-	2-Pentenal	Acetamide, 2-chloro-N,N-di-2-propenyl	Furan	2-Pentenal	Furan, 2,3-dihydro-4-methyl	Furan, 2,3-dihydro-4-methyl-	3,3-Dimethyl-2-pentanol
N-Aminopyrrolidine	Octasiloxane	2,4,4-Trimethyl-1-hexene	Hexamethylhexaoxa-7,9,11-trisilaheptadecane	Octasiloxane	Octasiloxane	Tetrasiloxane,	Heptasiloxane
Divinyl sulfide	Tricyclo[4.2.1.0(2,5)]non-7-ene	3-Penten-1-yne	Benzoic acid, 4-[[trimethylsilyl]	Heptasiloxane	Benzoic acid, 4-[[trimethylsilyl]oxy]methyl]-ester	Hexasiloxane	1-Benzazirene-1-carboxylic acid
Octasiloxane	Heptasiloxane	Octasiloxane	12,15-Hexaoxa-7,9,11-trisilaheptadecane	2-Ethylacridine	hexaoxa-7,9,11-trisilaheptadecane	Heptasiloxane	Indole-2-one, 2,3-dihydro-N-hydroxy-4-methoxy-3,3-dimethyl-
Tricyclo[4.2.1.0(2,5)]non-7-ene	Hexasiloxane,	Tricyclo[4.2.1.0(2,5)]non-7-ene	Octasiloxane	Tetrasiloxane, decamethyl-	4-Phenyl-3,4-dihydroisoquinoline	3-Isopropoxy-1,1,1,5,5,5-hexamethyl-3-(trimethylsilyloxy)trisiloxane	Tricyclo[4.2.1.0(2,5)]non-7-ene
1,2-Bis(trimethylsilyl)benzene	Acetic acid, 2-bis(methylthio)met	Tricyclo[4.2.1.0(2,5)]non-7-ene	Trimethylsilyl 3-methyl-4-[[trimethylsilyl]oxy]benzoate	3-Quinolinecarboxylic acid	Silicic acid, diethyl bis(trimethylsilyl) ester 2-Methyl-7-phenylindole	1-Benzazirene-1-carboxylic acid	Methyltris(trimethylsilyloxy)silane
4-tert-Butylphenol	Tetrasiloxane	Hexasiloxane			Heptasiloxane	Arsenous acid, tris(trimethylsilyl) ester	Cyclotrisiloxane
	Trimethylsilyl 3-methyl-4-[[trimethyl	Tetrasiloxane				Trimethylsilyl 3-methyl-4-[[trimethylsilyl]oxy]benzoate	2-Hexyn-1-ol

Keterangan/Notes :

Senyawa yang ditemukan pada jaringan tanaman TM yang terinfeksi *Ganoderma sp.*
 The compounds that found in tissue of *Ganoderma sp.*-infected mature plants

Senyawa-senyawa ini diduga merupakan hasil perombakan struktur lignin yang membangun dinding sel tanaman. Hasil pengujian senyawa volatile di Adolina, Medan, pada jaringan batang menunjukkan bahwa senyawa *methyl-tris(trimethyl-siloxy)-silane* dihasilkan di tanaman sehat dan ada beberapa senyawa yang dihasilkan oleh tanaman terinfeksi ringan yang berpotensi sebagai biomarker di jaringan batang di antaranya 10-heneicosene, 5-hepten-2-one, 6-methyl- dan cadala-1(10),3,8-triene. Hasil yang sama dengan

sampel dari Lampung, ditunjukkan oleh bagian akar dimana pada tanaman yang terinfeksi sedang dan berat menghasilkan banyak senyawa turunan benzene, diantaranya benzaldehid dan *benzene neacetaldehyde*. Sementara senyawa yang dihasilkan pada tanah yang terinfeksi ringan adalah 1H-pyrazole, 4,5-dihydro-5,5-dimethyl-4-isopropylidene- dan 4,4-dimethyl-3-(3-methylbut-3-enylidene)-2-ethylenebicyclo [4.1.0]heptane (Tabel 3 dan 4).

Tabel 3. Senyawa organik volatil yang dideteksi pada batang tanaman kelapa sawit pada beberapa tingkatan infeksi *Ganoderma* sp. dari Kebun Bekri, Lampung

Table 3. Volatile organic compounds detected on the trunk of several levels *Ganoderma* sp. infected-oil palms from Bekri plantation, Lampung

Batang (Trunks)							
Kontrol (Control)	Ringan 1 (Light 1)	Ringan 2 (Light 2)	Sedang 1 (Moderate 1)	Sedang 2 (Moderate 2)	Berat 1 (Severe 1)	Berat 2 (Severe 2)	Berat 3 (Severe 3)
2,3-Butanediol, [S-(R*,R*)]-	Bicyclo[3.1.1]heptane, 2,6,6-trimethyl-, [1R-(1.alpha.,2.alpha.,5.alpha.)]-	5-cten-2-one,6-methyl-	4-Methyl-2,3-hexadien-1-ol	5-Hepten-2-one, 6-methyl-	alpha.-Methyl-.alpha.-[4-methyl-3-pentenyl]oxiranemethanol	5-Methyloxazolidine	5-Methyloxazolidine
Bicyclo[3.1.1]heptane, 2,6,6-trimethyl-, [1R-(1.alpha.,2.alpha.,5.alpha.)]-	5-Octen-2-one,6-methyl-	5-Hepten-2-one, 6-methyl-	2-Pentadecyn-1-ol	5-Octen-1-ol, (Z)-	3-Buten-2-one, 4-(2,6,6-trimethyl-1-cyclohexen-1-yl)-	Silane, trichlorodocosyl-	5-Methyloxazolidine
Silane,[[4-[1,2-bis(trimethylsilyl)oxy]ethyl]-1,2-phenylene]bis(oxy)]bis(trimethyl-	Benzeneacetaldehyde	Silane,[[4-[1,2-bis(trimethylsilyl)oxy]ethyl]-1,2-phenylene]bis(oxy)]bis(trimethyl-	.beta.-Guaine	Humulane-1,6-dien-3-ol	5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-, (E)-	1,3,5-Cycloheptatriene	2-Ethyl-2-methyl-1,3-propanediol
	1,3-Cyclohexadiene, 5-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-2-methyl-, [S-(R*,S*)]-	Benzene, 1-methyl-4-(1,2,2-trimethylcyclopentyl)-, (R)-	Cadala-1(10),3,8-triene	10-Heneicosene (c,t)	3-Furanacetic acid, 4-hexyl-2,5-dihydro-2,5-dioxo-	Cyclopentanol, 2-methyl-, trans-	1,3,5-Cycloheptatriene
	Oleyl alcohol	Oleyl alcohol	Kaurene		Cis-1,4-dimethyladamantane	Phosporic acid, monododecyl ester	Cyclopentanol, 2-methyl-, trans-
	Cubenol	10-Heneicosene (c,t)			Naphthalene, 1,2,4a,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-	Styrene	2,3-Butanediol, [S-(R*,R*)]-

Lanjutan Tabel 3/ Continuation of Table 3

Batang (Trunks)							
Kontrol (Control)	Ringan 1 (Light 1)	Ringan 2 (Light 2)	Sedang 1 (Moderate 1)	Sedang 2 (Moderate 2)	Berat 1 (Severe 1)	Berat 2 (Severe 2)	Berat 3 (Severe 3)
					Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a- octahydro-7-methyl-4- methylene-1-(1-	3-Carene	Phosphoric acid, monododecyl ester
					Cadala-1(10),3,8-triene	5-Hepten-2-one, 6- methyl-	Styrene
					2-Butanone, 4-(2,6,6- trimethyl-1-cyclohexen-1- yl)-	2-Pentadecyn-1-ol	3-Carene
					Pentadecanal- 10-Heneicosene (c,t)	5-Octen-1-ol, (Z)- Benzothiazole	Cyclohexene, 3-propyl- Benzaldehyde
					Bis(pentamethylcyclotrisil oxy)tetramethyldisiloxane	Phenethylamine, N- methyl-.beta.,3,4- tris(trimethylsiloxy)-	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-
					1-Naphthalenol, 1,2,3,4,4a,7,8,8a- octahydro-1,6-dimethyl-4- (1-methylethyl)-, [1R- (1.alpha.,4.beta.,4a.beta.,8a .beta.)]-	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a- octahydro-7-methyl-4- methylene-1-(1- methylethyl)-, (1.alpha.,4a.alpha.,8a. alpha.)-	5-Hepten-2-one, 6- methyl-
					Mebeverine	5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-, (E)-	Furan, 2-pentyl-
					4,8,12-Tetradecatrienal, 5,9,13-trimethyl-	Cis-1,4- dimethyladamantane	2-Pentadecyn-1-ol
					Z,E-3,13-Octadecadien-1- ol		5-Octen-1-ol, (Z)-

Keterangan/Notes:

Senyawa yang ditemukan pada jaringan tanaman TM yang terinfeksi *Ganoderma sp.*/The compounds that found in tissue of *Ganoderma sp.*-infected mature plants

Tabel 4. Senyawa yang dideteksi pada akar dan tanah tanaman kelapa sawit pada beberapa tingkatan infeksi *Ganoderma* sp. dari Kebun Bekri, LampungTable 4. Compounds detected on the root and soil of several levels *Ganoderma* sp. infected-oil palms from Bekri plantation, Lampung

Akar / Roots							Tanah / Soils					
Kontrol/ Control	Ringan 1/ Light 1	Ringan 2/ Light 2	Sedang 1 / Moderate 1	Sedang 2/ Moderate 2	Berat 1/ Severe 1	Berat 2/ Severe 2	Ringan 1/ Light 1	Ringan 2/ Light 2	Sedang 1/ Moderate 1	Sedang 2/ Moderate 2	Berat 1/ Severe 1	
Caryphyllene	Oxirane, 2-(1,1-dimethylethyl)-3-methyl-	2-Ethyl-2-methyl-1,3-propanediol	Benzeneacetaldehyde	Benzeneacetaldehyde	Benzaldehyde	Benzeneacetaldehyde	Spiro[2.4]hepta-4,6-diene	Oxalic acid, 2-ethylhexyl isoheptyl ester	1H-Pyrazole, 4,5-dihydro-5,5-dimethyl-4-isopropylidene-	Phenylethyl Alcohol	n-Butyl ether	n-Butyl ether
Humulane	tert-Butylbenzene-3-ol	Benzaldehyde	Trifluoroacetic acid, n-tridecyl ester		3-Octanol	3,6-Dimethyl-2,3,3a,4,5,7a-hexahydrobenzofuran	Benzaldehyde	Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-	4,4-Dimethyl-3-(3-methylbut-3-enylidene)-2-ethylenecyclo[4.1.0]heptane	1H-Pyrazole, 4,5-dihydro-5,5-dimethyl-4-isopropylidene-	1H-Pyrazole, 4,5-dihydro-5,5-dimethyl-4-isopropylidene-	Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-
1-Eicosanol		Benzeneacetaldehyde	Cis-1,4-dimethyladamantane		Benzeneacetaldehyde	E-2-Tetradecen-1-ol	E-2-Tetradecen-1-ol		Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-	Nitrazepam	4,4-Dimethyl-3-(3-methylbut-3-enylidene)-2-ethylenecyclo[4.1.0]heptane	4,4-Dimethyl-3-(3-methylbut-3-enylidene)-2-ethylenecyclo[4.1.0]heptane
			Cadala-1(10),3,8-triene		E-2-Tetradecen-1-ol	methylethyl-, [1R-(1.alpha.,4.beta.,8a.beta.)]-			10-Heneicosene (c,t)	10-Heneicosene (c,t)		2-Butanone, 4-(2,6,6-trimethyl-1-cyclohexen-1-yl)-
					Benzene, 1-methyl-4-(1,2,2-trimethylcyclopentyl)-, (R)-				Tritetracontane	7,9-Di-tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione		
					Diepicedrene-1-oxide							
					Furan, 3-(4,8-dimethyl-3,7-nonadienyl)-, (E)-							

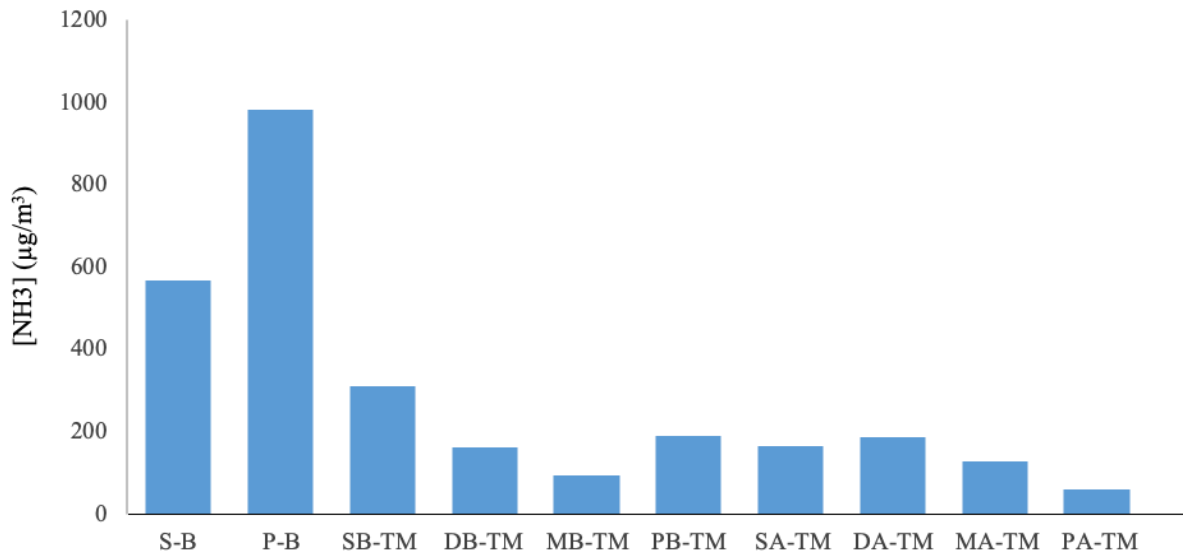
Keterangan/Notes:

Senyawa yang ditemukan pada miselium dan tanaman yang terinfeksi *Ganoderma* sp./The compounds that found in *Ganoderma* sp. mycelium and infected plants

Senyawa yang ditemukan pada jaringan tanaman sehat/The compounds that found in healthy oil palm tissue seedlings

Hasil analisis komposisi gas umum dan turunan benzen pada tanaman menghasilkan di kebun Cislak Baru, Banten disajikan pada (Gambar 2 dan 3). Hasil analisis menunjukkan terdapat perbedaan gas yang terdeteksi di sekitar tanaman pembibitan yang terinfeksi pada beberapa tingkat infeksi *Ganoderma sp.* Pada tanaman pembibitan sehat kadar CO₂ relatif lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman sawit, sedangkan kadar NH₃ pembibitan lebih rendah pada tanaman sehat daripada tanaman sakit. Hasil yang

sama diperoleh pada tanaman sawit TM dimana tanaman sakit relatif mengeluarkan CO₂ lebih sedikit dibandingkan dengan tanaman sehat, sebaliknya NH₃ yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman sehat. Konsentrasi NH₃ yang tinggi pada tanaman sakit kemungkinan berasal dari penguraian biomassa yang mengandung nitrogen (seperti protein dan lignin) pada tanaman yang terinfeksi *Ganoderma sp.* (Tabel 5).



Keterangan /Notes :

S-B = Bibit sehat/healthy seedlings

P-B= Bibit terinfeksi berat/ severe infected seedlings

Q-TM= Tanaman menghasilkan/mature plants

SB-TM = Batang TM sehat/healthy mature trunks

DB-TM = Batang TM terinfeksi ringan/light infected mature trunks

MB-TM = Batang TM terinfeksi sedang/moderate infected mature trunks

PB-TM = Batang TM terinfeksi berat/severe infected mature trunks

SA-TM = Akar TM sehat/healthy mature roots

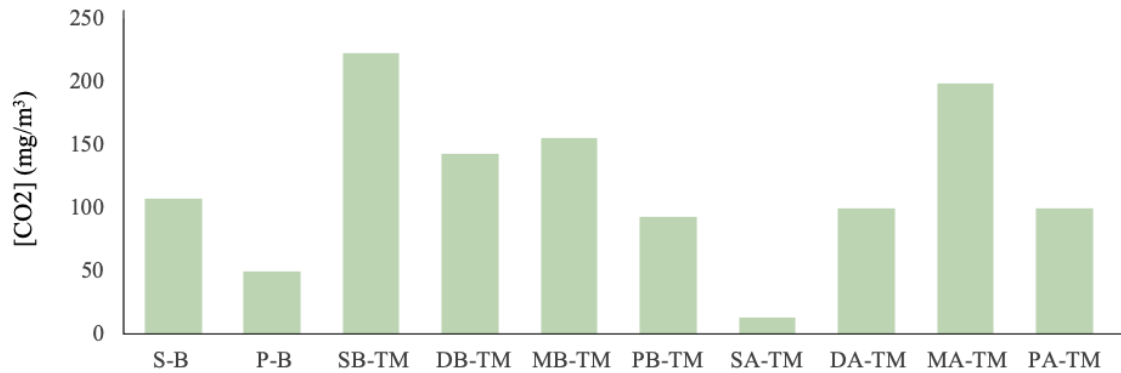
DA-TM = Akar TM terinfeksi ringan/early infected mature roots

MA-TM = Akar TM terinfeksi sedang/moderate infected mature roots

PA-TM = Akar TM terinfeksi berat/severe infected mature roots

Gambar 2. Gas NH₃ di sekitar batang dan akar tanaman sawit sehat dan tanaman terinfeksi *Ganoderma sp.* pada beberapa tingkatan infeksi

Figure 2. NH₃ gas on the trunks and roots of healthy oil palm plants, and *Ganoderma sp.*-infected plants in some levels of infection



Keterangan /Notes :

SB = Bibit sehat/*healthy seedlings*

PB= Bibit terinfeksi berat/*severe infected seedlings*

TM= Tanaman menghasilkan/*mature plants*

SB-TM = Batang TM sehat/*healthy mature trunks*

DB-TM = Batang TM terinfeksi ringan/*early infected mature trunks*

MB-TM = Batang TM terinfeksi sedang/*moderate infected mature trunks*

PB-TM = Batang TM terinfeksi berat/*severe infected mature trunks*

SA-TM = Akar TM sehat/*healthy mature roots*

DA-TM = Akar TM terinfeksi ringan/*early infected mature roots*

MA-TM = Akar TM terinfeksi sedang/*moderate infected mature roots*

PA-TM = Akar TM terinfeksi berat/*severe infected mature roots*

Gambar 3. Gas CO₂ di sekitar batang dan akar tanaman sawit sehat dan tanaman terinfeksi *Ganoderma* sp. pada beberapa tingkatan infeksi

Figure 3. CO₂ gas on the trunks and roots of healthy oil palm plants, and *Ganoderma* sp.-infected plants in some levels of infection

Literatur selama ini lebih banyak mengukur (penyerapan) O₂ uptake saat tanaman terinfeksi patogen. Biasanya terjadi peningkatan respirasi karena kebutuhan akan sumber energi untuk meningkatkan reaksi pertahanan pada jaringan yang sudah rusak. Penelitian menunjukkan adanya peningkatan asupan O₂ pada tahap pertama penetrasi appressorium, yang terjadi 6-9 jam setelah inokulasi jamur penyebab *powdery mildew* pada tanaman barley (Pratt et al., 2005). Peningkatan uptake O₂ juga berhubungan dengan peningkatan aktivitas fitoaleksin yang kemungkinan berhubungan dengan kebutuhan oksigen dalam sintesis senyawa fitoaleksin yang melibatkan reaksi oksidasi.

Hasil rangkuman LC-MS tanaman sawit yang terinfeksi *Ganoderma* sp. (Tabel 1 Supplementary file) menunjukkan bahwa tanaman sakit menghasilkan beberapa senyawa jenis alkaloid. Sementara menurut literatur, alkaloid yang berasal dari genus *Ganoderma* sp. termasuk jarang sekali, dan hanya beberapa yang telah teridentifikasi. Selama ini *Ganoderma* sp. dike-

tahui banyak mengandung senyawa terpenoid dan polisakarida. Beberapa diantaranya yaitu alkaloid sinensis yang diisolasi dari tubuh buah *G. sinense*, (±) sinensilactam A yang diisolasi dari tubuh buah *G. sinensis*, dan alkaloid lucidimines A-D yang diisolasi dari tubuh buah *G. lucidium* (Zhen et al., 2015).

Ada dua senyawa yang hanya dihasilkan oleh jaringan batang dan akar yang sakit, yaitu Pseudobrucine dan Picrasidine K. Pseudobrucine (16-Hydroxy-2,3-dimethoxystrychnidin-10-one) merupakan senyawa alkaloid yang memiliki aktivitas anestesi. Senyawa ini juga ditemukan di tanaman *Strychnos Nux-vomica* (De & Bisset, 1991). Sedangkan Picrasidine K ditemukan juga turunannya di *Picrasma quassioides* (Li et al., 1993). Sementara senyawa trigonelline dihasilkan oleh jaringan daun dan batang yang sakit. Trigonelline diketahui berperan dalam meningkatkan aroma dan rasa kopi robusta (Ky et al., 2001). Senyawa-senyawa ini diasumsikan dihasilkan dari hasil degradasi molekul yang lebih besar dan nantinya menjadi molekul yang mudah menguap (volatil). Hasil pengujian LC-MS

menunjukkan bahwa senyawa trigonelline juga dihasilkan tanaman sawit di lapang khususnya pada jaringan daun dan batang (Supplementary Tabel 1). Hal yang menarik adalah dihasilkannya senyawa seperti Forsythoside D, dan D-Catechin_1 pada jaringan akar dan batang pada tanaman terinfeksi ringan yang diduga dapat dijadikan biomarker untuk deteksi ringan infeksi *Ganoderma sp.*. Senyawa-senyawa ini diduga merupakan respons tanaman terhadap infeksi *Ganoderma sp.*. Forsythoside A (FTA), turunan glikosida, diketahui memiliki aktivitas antibakteri, antioksidan dan antiviral (Zhou et al., 2014); D-Catechin_1 telah lama diketahui merupakan antioksidan yang kuat dan dapat berperan sebagai inhibitor enzim glukosiltransferase mikroba (Hamada et al., 1996). Sedangkan senyawa Arecatannin A2 hanya dijumpai pada jaringan akar dan daun dengan serangan ringan (Supplementary Tabel 1). Senyawa ini merupakan kelompok procyanidin yang merupakan senyawa antioksidan yang sedang diteliti sebagai antikanker (Lee, 2017).

Kesimpulan

Pada bibit terinfeksi ringan ditemukan senyawa benzo[h]quinoline, hexaoxa-7,9,11-trisilaheptad-tris(trimethylsilyl ester dan methyl-tris(trimethylsilyloxy)-silane, sementara tanaman sehat menghasilkan senyawa *sulfurous acid*, dodecyl 2-propyl ester. Pada tanaman sawit TM terinfeksi ringan, sedang dan berat ditemukan beberapa senyawa turunan benzen seperti *ethylbenzen*, *xylene*, dan benzaldehid. Hal ini selaras juga dengan ditemukannya senyawa *phenyl-3,4-dihydroisoquinoline* di sekitar tanah tanaman yang terinfeksi ringan. Senyawa-senyawa turunan benzen tersebut berpotensi menjadi kandidat senyawa marka tanaman kelapa sawit terinfeksi ringan *Ganoderma sp.* Diperlukan pengujian lanjutan untuk memastikan konsistensi senyawa tersebut sebagai marka deteksi dini infeksi *Ganoderma sp.* Hasil analisis gas pada tanaman sawit TM ditemukan CO₂ lebih sedikit dibandingkan dengan tanaman sehat, dan sebaliknya untuk NH₃.

Ucapan Terima kasih

Terima kasih kepada Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit atas pendanaan riset tersebut pada tahun 2018 dengan no SPK Nomor PRJ-84/DPKS/2018.

Daftar Pustaka

- Ariffin, D., Idris, A. S., & Singh, G. (2000). Status of *Ganoderma* in oil palm. In *Ganoderma diseases of perennial crops*, 49-68. Wallingford UK: CABI
- Badan Pusat Statistik. (2022). Statistik Kelapa Sawit 2022. Bogor: BPS.
- Bennett, J. W., & Inamdar, A. A. (2015). Are some fungal volatile organic compounds (VOCs) mycotoxins. *Toxins*, 7(9), 3785-3804. <https://doi.org/10.3390/toxins7093785>
- Blasioli, S., Biondi, E., Braschi, I., Mazzucchi, U., Bazzi, C., & Gessa, C. E. (2010). Electronic nose as an innovative tool for the diagnosis of grapevine crown gall. *Analytica Chimica Acta*, 672(1-2), 20-24. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.02.017>
- Chen, M., Xiao, D., Liu, W., Song, Y., Zou, B., Li, L., & Xie, Z. (2020). Intake of *Ganoderma lucidum* polysaccharides reverses the disturbed gut microbiota and metabolism in type 2 diabetic rats. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 890-902. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.047>
- Currie, H. A., & Perry, C. C. (2009). Chemical evidence for intrinsic 'Si' within equisetum cell walls. *Phytochemistry*, 70(17), 2089-2095. <http://dx.doi.org/10.1016/j.phytochem.2009.07.039>
- De, B., & Bisset, N. G. (1991). Separation of *Strychnos nux-vomica* alkaloids by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 587(2), 318-320. [https://doi.org/10.1016/0021-9673\(91\)85175-F](https://doi.org/10.1016/0021-9673(91)85175-F)
- Hamada, S., Kontani, M., Hosono, H., Ono, H., Tanaka, T., Ooshima, T., & Abe, I. (1996). Peroxidase-catalyzed generation of catechin oligomers that inhibit glucosyltransferase from *Streptococcus sobrinus*. *FEMS Microbiology Letters*, 143(1), 35-40. [https://doi.org/10.1016/0378-1097\(96\)00273-X](https://doi.org/10.1016/0378-1097(96)00273-X)
- Kataoka, M., Hirano, T., Kuroda, K., & Hayakawa, Y. (2005). Pyrimido [4, 5-d] pyrimidine-2, 4, 5, 7-(1 H, 3 H, 6 H, 8 H)-tetraone as a novel universal base. In *Nucleic Acids Symposium Series* (Vol. 49, No. 1, pp. 119-120). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/nass/49.1.119>

- Kushalappa, A. C., Lui, L. H., Chen, C. R., & Lee, B. (2002). Volatile fingerprinting (SPME-GC-FID) to detect and discriminate diseases of potato tubers. *Plant Disease*, 86(2), 131-137. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2002.86.2.131>
- Kushairi, A., Ong-Abdullah, M., Nambiappan, B., Hishamuddin, E., Bidin, M. N. I. Z., Ghazali, R., & Parveez, G. K. A. (2019). Oil palm economic performance in Malaysia and R&D progress in 2018. *Journal of Oil Palm Research*, 31(2), 165-194. <https://doi.org/10.21894/jopr.2019.0026>
- Ky, C. L., Louarn, J., Dussert, S., Guyot, B., Hamon, S., & Noirot, M. (2001). Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild *Coffea arabica* L. and *C. canephora* P. accessions. *Food Chemistry*, 75(2), 223-230. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00204-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00204-7)
- Lee, Y. (2017). Cancer chemo preventive potential of procyanidin. *Toxicological Research*, 33, 273-282. <https://doi.org/10.5487/TR.2017.33.4.273>
- LI, H. Y., Koike, K., & Ohmoto, T. (1993). New alkaloids, picrasidines W, X and Y, from *Picrasma quassioides* and X-ray crystallographic analysis of picrasidine Q. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 41(10), 1807-1811. <https://doi.org/10.1248/cpb.41.1807>
- Nascimento, E., Da Silva, S. H., dos Reis Marques, E., Roberts, D. W., & Braga, G. U. (2010). Quantification of cyclobutane pyrimidine dimers induced by UVB radiation in conidia of the fungi *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus nidulans*, *Metarhizium acridum* and *Metarhizium robertsii*. *Photochemistry and Photobiology*, 86(6), 1259-1266. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2010.00793.x>
- Nusaibah, S. A., Akmar, A. S. N., Idris, A. S., Sariah, M., & Pauzi, Z. M. (2016). Involvement of metabolites in early defense mechanism of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) against *Ganoderma* disease. *Plant Physiology and Biochemistry*, 109, 156-165. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.09.014>
- Pan, L., Zhang, W., Zhu, N., Mao, S. and Tu, K. (2014). Early detection and classification of pathogenic fungal disease in post-harvest strawberry fruit by electronic nose and gas chromatography–mass spectrometry. *Food Research International*, 62: 162-168. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.020>
- Prats, E., Mur, L. A., Sanderson, R., & Carver, T. L. (2005). Nitric oxide contributes both to papilla-based resistance and the hypersensitive response in barley attacked by *Blumeria graminis* f. sp. hordei. *Molecular Plant Pathology*, 6(1), 65-78. <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.131364-3703.2004.00266x>
- Rees, R. W., Flood, J., Hasan, Y., Potter, U. & Cooper, R. M. (2009). Basal stem rot of oil palm (*Elaeis guineensis*); Mode of root infection and lower stem invasion by *Ganoderma boninense*. *Plant Pathology*, 58: 982-989. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02100x>
- Seman, I. A., & Kamarudin, N. (2023). *Standard operating procedures (SOP) guidelines for managing Ganoderma disease in oil palm*. <http://sawitsecure.mpob.gov.my/standard-operating-procedures-sop/>
- Spinelli, F., Costa, G., Rondelli, E., Busi, S., Vanneste, J. L., Rodriguez, E. M. T., Savioli, S. and Cristescu, S. M. (2011). Volatile compounds produced by *Erwinia amylovora* and their potential exploitation for bacterial identification. *Acta Horticulturae*, 896, 77-84. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.896.8>
- Triyana, K., Taukhid-Subekti, M., Aji, P., Hidayat, S.N. & Rohman, A. (2015). Development of electronic nose with low-cost dynamic headspace for classifying vegetable oils and animal Fats. *Applied Mechanical Material*, 771,50-54. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.771.50>
- Wilson, A. D. (2018). Application of electronic-nose technologies and VOC-biomarkers for the noninvasive early diagnosis of gastrointestinal diseases. *Sensors*, 18(8), 2613. <https://doi.org/10.3390/s18082613>
- Widada, J., Damayanti, E., Alhakim, M. R., Yuwono, T., & Mustofa, M. (2021). Two strains of airborne *Nocardiosis alba* producing different volatile organic compounds (VOCs) as biofungicide for *Ganoderma boninense*. *FEMS Microbiology Letters*, 368 (20). <https://doi.org/10.1093/femsle/fnab138>

- Yu, G., & Chong, K. (2018). Selected biomarkers from oil palm-*Ganoderma* infected tissues for detection of basal stem rot disease. *WMSU Research Journal*, 37(1), 1-13. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02100.x>
- Zhang, H. N., He, J. H., Yuan, L., & Lin, Z. B. (2003). In vitro and in vivo protective effect of *Ganoderma lucidum* polysaccharides on alloxan-induced pancreatic islets damage. *Life Sciences*, 73(18), 2307-2319. [https://doi.org/10.1016/S0024-3205\(03\)00594-0](https://doi.org/10.1016/S0024-3205(03)00594-0)
- Zhen, X. T., Chen, Y., Yu, Y. L., Shi, M. Z., Yan, T. C., Yue, Z. X., & Cao, J. (2021). In situ effervescence reaction-assisted mechanochemical extraction of ganoderic acids from *Ganoderma lucidum*. *Industrial Crops and Products*, 168, 113577. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113577>
- Zhou, W., Zhu, X. X., Yin, A. L., Cai, B. C., Wang, H. D., Di, L., & Shan, J. J. (2014). Effect of various absorption enhancers based on tight junctions on the intestinal absorption of forsythoside A in Shuang-Huang-Lian, application to its antiviral activity. *Pharmacognosy Magazine*, 10(37), 9. <https://doi.org/10.4103%2F0973-1296.126651>