

OPTIMASI METODE SAMPLING *ELECTRONIC NOSE* (E-NOSE) DAN PROFILING TANAMAN YANG TERINFEKSI *GANODERMA* MENGGUNAKAN *FOURIER TRANSFORM INFRA-RED* (FT-IR) DAN *GAS CHROMATOGRAPHY MASS SPECTROPHOTOMETER* (GC-MS)

Irma Kresnawaty*, Agustin Sri Mulyatni, Mayumi Puspitasari, Galuh Wening Permatasari,
Deden Dewantara Eris, Kuwat Triyana¹, dan Happy Widiastuti

Abstrak - Keberhasilan pengendalian penyakit busuk pangkal batang (BPB) *Ganoderma* sangat ditentukan oleh keberhasilan deteksi dini infeksi *Ganoderma* sp. Oleh karena itu, deteksi dini melalui aplikasi biosensor serangan *Ganoderma* sp. diperlukan, salah satunya dengan *electronic nose* yang mengenali pola komposisi senyawa volatil yang dihasilkan oleh tanaman sawit. Penelitian ini merupakan penelitian tahun ketiga dengan fokus pada tahap validasi *electronic nose* tipe *eNose-G* generasi 3 berupa teknik sampling gas dan pengujian gas volatil menggunakan GC-MS. Hasil optimasi *Standard Operational Procedure* (SOP) sampling menunjukkan bahwa penyungkupan selama 60 menit, dengan panjang selang dari pohon ke *micropump* 60 cm dan *micropump* ke kantong 25 cm, serta teknik sampling botol vakum ke kantong *eNose-G* merupakan metode yang terbaik. Untuk validasi *eNose-G*, semua label data yang mengindikasikan tanaman sehat atau kontrol, infeksi dini, infeksi sedang, dan infeksi parah telah diverifikasi menggunakan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) dan *Gas Chromatography Mass Spectrometer* (GC-MS). Identifikasi FT-IR juga menunjukkan adanya ikatan senyawa aromatik masing-masing sampel yang berbeda pada panjang gelombang 1000 cm⁻¹. Hasil GC-MS menunjukkan perbedaan jenis senyawa volatil pada masing-masing tingkat infeksi *Ganoderma*, namun demikian senyawa volatil yang konsisten teridentifikasi pada infeksi dini di dua kebun dan tidak dijumpai pada sampel tanaman sehat adalah senyawa *hydrocarbon trimethylsilyl catechollactate tris(trimethylsilyl) ether*.

Kata kunci: akurasi, busuk pangkal batang, deteksi dini, *eNose-G* generasi 3, *Ganoderma* sp.

PENDAHULUAN

Busuk Pangkal Batang (BPB) merupakan penyakit yang paling merusak baik pada tanaman kelapa sawit dan pada tingkat 1% secara nasional dapat menyebabkan kerugian lebih dari Rp 2,5 triliun per tahun (Purnamasari et al., 2012; Priwiratama et al., 2014). Penyakit BPB saat ini mulai menyebabkan kerusakan pada tanaman generasi pertama kelapa sawit di Sulawesi dan Papua dan Potensi kerugian akibat penyakit BPB di Indonesia diperkirakan

mencapai lebih dari USD 250 juta untuk setiap 1% tingkat kejadian penyakit di lapangan. Untuk itu perlu dikembangkan metode deteksi dini infeksi *Ganoderma* sp untuk menghindari kerugian yang lebih besar di Perkebunan kelapa sawit (Priwiratama & Susanto, 2020; Darmono, 2011).

Deteksi infeksi *Ganoderma* sp. pada pohon kelapa sawit sejauh ini dilakukan secara molekuler menggunakan *quantitative polymerase chain reaction* (Real Time-qPCR) (Chong et al., 2011; Mustafa et al., 2022), *hyperspectral imaging* (Liu et al., 2022), PCR (Shokrollahi et al., 2021), *spectral infra-red* (Ahmadi et al., 2017), dan *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GC-MS) (Ismail et al., 2022). Beberapa perangkat deteksi juga telah dikembangkan yaitu *Ganoderma scanning* (*GanoSken*) (Izzuddin et al., 2017), *thermal imaging* (Ali et al., 2021), dan teknik *spectroscopy* (Tan et al., 2021). Namun, dalam penerapannya di lapangan,

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Irma Kresnawaty* (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit Unit Bogor
Jl Taman Kencana No.1 Bogor 16128, Indonesia

Email: irmakresnawati83@gmail.com

¹Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Gadjah Mada,



proses tersebut tidak selalu mudah dan memerlukan tingkat fleksibilitas yang terbatas. Salah satu alternatif untuk melakukan proses deteksi penyakit akibat infeksi atau serangan *Ganoderma* dapat menggunakan identifikasi deteksi senyawa *Volatile Organic Compound* (VOC) yaitu dengan menggunakan *elektronik nose* (E-Nose) (Hidayat et al., 2022; Pareek et al., 2022). Laporan hasil penelitian menunjukkan bahwa deteksi virus Covid-19 berhasil dibedakan dengan baik menggunakan E-Nose (Hidayat et al., 2022). Pengembangan alat deteksi dini menggunakan sensor gas telah dilakukan oleh peneliti di Malaysia seperti *Cyranose 320*. (Markom et al., 2009). Walaupun demikian, alat tersebut hanya mampu membedakan pohon kelapa sawit sehat dan terinfeksi *Ganoderma* dengan jumlah sensor 32 buah (Mota et al., 2021). Pengembangan serupa bernama *Application Specific Electronic Nose* (ASEN), hanya membedakan VOC dari jamur *Ganoderma* sp. dan udara sekitar (Mota et al., 2021). Berdasarkan kajian yang dilakukan oleh peneliti PPKS, E-Nose mampu mendeteksi infeksi *Ganoderma* sp. pada kelapa sawit (Kresnawaty et al., 2020).

Proses dekomposisi batang spruce oleh jamur pelapuk putih menyebabkan peningkatan aktivitas enzim oksidoreduktase serta menghasilkan VOC methyl-3-furoate sebagai produk degradasi lignin (Tan et al., 2021). Pada batang kelapa sawit yang terkolonisasi oleh *Ganoderma* sp., terdeteksi berbagai senyawa, termasuk alkohol, alkana, asam volatil, keton, *aldehyde*, *ester*, *sesquiterpenes* serta senyawa dari kelompok *polycyclic aromatic hydrocarbon*. Sementara itu, pada sampel *Ganoderma* sp., ditemukan senyawa alifatik dengan delapan atom karbon, seperti *1-octen-3-ol*, *3-octanone*, *1-octanol* dan *(E)-2-octenal* (Hailini et al., 2020). Senyawa VOC *lytic acid* dan *pyrimidine* terdeteksi pada kelapa sawit yang terinfeksi *Ganoderma* sp. Selain itu, berdasarkan analisis menggunakan GC-MS, teridentifikasi keberadaan senyawa *2-furancarboxaldehyde*, *5-(hydroxymethyl)*, *thiophene*, *2 propyl* dan *4H-Pyran-4-one* pada akar kelapa sawit terkolonisasi *Ganoderma* sp. (Nusaibah et al., 2016).

Dalam penelitian ini pendekatan yang dilakukan adalah melalui pendeteksian senyawa volatil yang dihasilkan oleh tanaman terinfeksi *Ganoderma* sp. dengan E-Nose. Senyawa volatil yang hanya muncul

pada kondisi infeksi lanjut tidak sesuai untuk deteksi dini. Dengan demikian, perlu memilih parameter atau senyawa yang dapat digunakan sebagai *biomarker* untuk deteksi dini serangan *Ganoderma* sp. Deteksi dini diharapkan dapat dilakukan menggunakan sensor elektronik sangat mudah diterapkan dan mudah diaplikasikan di perkebunan kelapa sawit. Tujuan penelitian ini berfokus pada optimasi teknik sampling gas VOC untuk deteksi dini kelapa sawit terinfeksi *Ganoderma* sp. menggunakan E-Nose dan analisis senyawa biomarker dengan *Fourier Transform-Infrared Spectroscopy* (FT-IR) dan GC-MS. Proses klasifikasi dilakukan berdasarkan gejala serangan *Ganoderma* sp. yaitu tingkat infeksi dini, sedang, dan parah.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Percobaan dilakukan menggunakan tanaman sawit DxP di kebun Bekri dan Rejosari PT Perkebunan Nusantara I Regional VII Perangkat Electronic Nose (G-Nose) dikembangkan melalui kerja sama antara Pusat Penelitian Kelapa Sawit dan Jurusan Fisika Universitas Gadjah Mada (UGM). Perangkat ini terdiri atas beberapa komponen, termasuk micropump, selang, kantong sampel, serta instrumen analisis seperti FT-IR Thermo Scientific Nicolet dan GC-MS Agilent Technologies. Metode sampling dilakukan pada tanaman sawit variasi waktu sungkup 30, 60, 90, 120, 180 menit (S30, S60, S90, S120, S180), variasi panjang selang S6025 (jarak batang ke micropump 60 cm, jarak micropump ke kantong sampling 25 cm), S6050 (jarak batang ke micropump 60 cm, jarak micropump ke kantong sampling 50 cm), S12050 (jarak batang ke micropump 120 cm, jarak micropump ke kantong sampling 50 cm), dan variasi teknik sampling persebaran data pada KE (kantong ke eNose-G), LE (Langsung eNose-G), KENV (Kantong eNose-G Non Vacuum), KEV (Kantong eNose-G Vacuum), LENV (Langsung eNose-G Non Vacuum), dan LEV (Langsung eNose-G Vacuum. Berikut dibawah ini proses sampling E-nose pada batang sawit. Data dianalisis dengan *Random Forest* menggunakan *Principal Component Analysis*.



Gambar 1. Proses sampling E-nose pada batang sawit

Analisis FT-IR

Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah analisis menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy dengan instrumen Thermo Scientific Nicolet iS10. Proses ini diawali dengan pengambilan sejumlah kecil sampel yang kemudian dicampurkan dengan kalium bromida (KBr). Campuran tersebut digerus hingga mencapai homogenitas yang optimal. Selanjutnya, campuran padatan yang telah homogen dipadatkan melalui proses pengepresan untuk membentuk pelet yang sesuai untuk analisis. Pelet yang dihasilkan kemudian ditempatkan dalam wadah sampel dan dianalisis menggunakan instrumen FTIR Thermo Scientific Nicolet iS10 untuk memperoleh spektrum inframerah yang dapat digunakan dalam karakterisasi senyawa.

Analisis GC-MS

Analisis GC-MS menggunakan GC-MS Agilent Technologies (CA, USA) GC 7890A, dengan *inert model 5975C Triple-Axis MS detector*. VOC dipisahkan dengan *capillary column Zebtron™ ZB-5HT Inferno fused silica bound phase* dengan ukuran 30 m dan internal diameter 0.25 mm, dan ketebalan 0,25 μ m (5% fenil 95% dimetilpolisiloxane). Dalam analisis ini, helium digunakan sebagai gas pembawa (*carrier gas*) dengan laju alir sebesar 1 mL/menit.

Kondisi suhu oven yang diterapkan adalah sebagai berikut: (1) 45°C selama 1 menit; (2) peningkatan suhu sebesar 10°C/menit hingga mencapai 260°C; (3) suhu dipertahankan pada 260°C selama 30 menit, dengan suhu transfer path sebesar 280°C. Analisis dilakukan menggunakan teknik spektrometri massa (MS) dengan mode full scan pada rentang massa molekul 20–400 m/z , dengan energi ionisasi sebesar 70 eV. Kromatogram yang dihasilkan dianalisis menggunakan perangkat lunak Agilent Enhanced MSD ChemStation (versi E.02.00.493). Identifikasi senyawa volatil (VOC) dilakukan secara tentatif dengan membandingkan spektrum massa serta indeks retensi sampel dengan basis data NIST statistical analysis data library. Sampel yang dianalisis dalam penelitian ini merupakan gas yang berasal dari jaringan akar dan batang tanaman kelapa sawit, yang kemudian diuji menggunakan GC-MS.

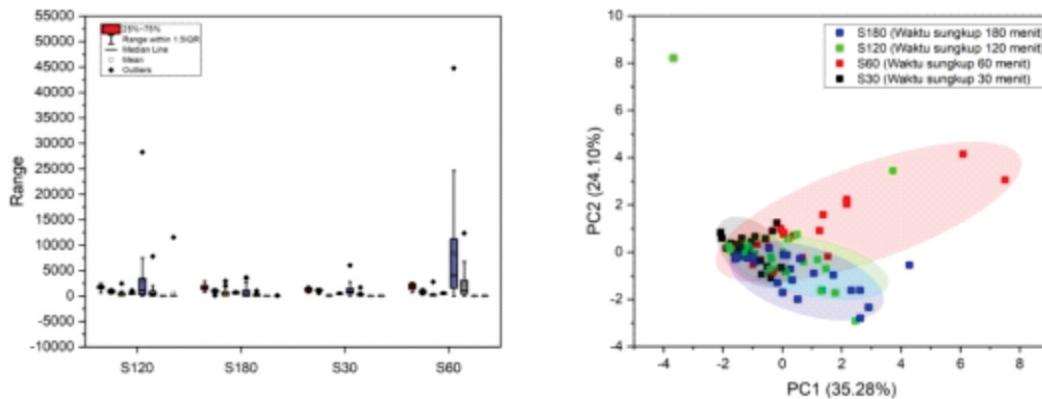
HASIL DAN PEMBAHASAN

Optimasi sampling E-nose

Optimasi metode sampling dilakukan dengan variasi waktu sungkup, panjang selang, dan teknik sampling. Berdasarkan hasil sebaran terlihat bahwa pada waktu sungkup S60, S120 memiliki jenis sebaran data yang sama dengan S30 (Gambar 1). Selain itu, pada waktu sungkup 30 menit terdapat variasi data

yang cukup tersebar. Perlakuan S60, S90, dan S120 memiliki persebaran dan *outlier* lebih rendah, namun untuk memastikan persebaran tersebut dibutuhkan data tambahan. Jika dipertimbangkan dengan efisiensi pengerjaan sampling dan hasil optimal, direkomendasikan waktu sungkup selama

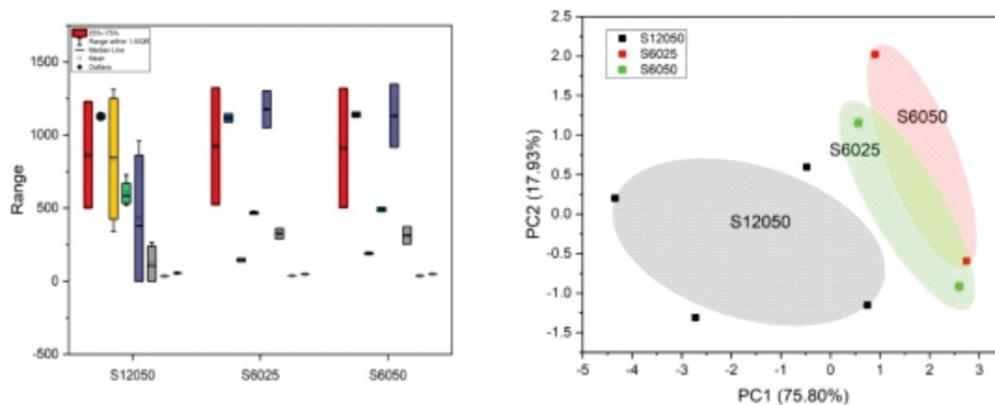
60 menit. Selain itu juga untuk memastikan volume gas yang diperlukan memenuhi jumlah gas minimal yang diperlukan untuk dianalisa oleh e-Nosem, maka inkubasi 60 menit dinilai cukup mewakili volume gas yang dikeluarkan oleh tanaman.



Gambar 1. Optimasi waktu inkubasi : (a) Waktu inkubasi, S30 (30 menit), S60 (60 menit), S90 (90 menit) S120 (120 menit), S180 (180 menit), (b) Grafik PC1 dan PC2 pada sebaran data waktu inkubasi

Berdasarkan sebaran data dan hasil PCA terlihat bahwa panjang selang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap persebaran data. Pada S12050, persebaran data cukup beragam jika dibandingkan dengan S6025 dan S6050 yang beririsan satu sama lain (Gambar 2). Jika dipertimbangkan dari segi *cost*

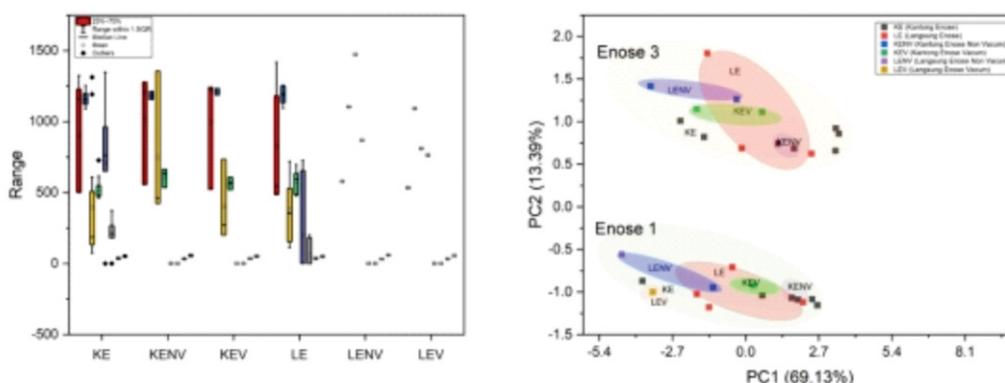
production dan hasil sebaran data, maka direkomendasikan panjang selang S6025 (60 cm dari konektor ke micropump, dan 25 cm dari micropump ke kantong eNose-G). Panjang selang yang optimal akan mengoptimalkan biaya bahan pendukung berupa selang dan efisiensi dalam pengepakan alat e-Nose nantinya.



Gambar 2. Optimasi panjang selang, (a) S6025 (jarak batang ke micropump 60 cm, jarak micropump ke kantong sampling 25 cm), S6050 (jarak batang ke micropump 60 cm, jarak micropump ke kantong sampling 50 cm), S12050 (jarak batang ke micropump 120 cm, jarak micropump ke kantong sampling 50 cm), (b) Grafik PC1 dan PC2 pada sebaran data waktu inkubasi

Berdasarkan sebaran data teknik sampling, terlihat bahwa KE dan KEV memiliki sebaran data dengan *range* data yang hampir sama. Sedangkan sebaran data KENV dan LE memiliki sebaran nilai variasi yang lebih tinggi, terlihat pada *box plot* kuning dan biru (Gambar 3). Untuk LENV dan LEV memiliki nilai variasi yang rendah. Hal ini diduga pengumpulan gas di

kantong menyebabkan adanya variasi kondisi dan komposisi gas setiap waktu sampling. Dengan mempertimbangkan perhitungan sebaran data dan hasil optimum, maka metode sampling KEV (dari pohon ke kantong *eNose* dengan perlakuan vakum sebelum sungkup) dipilih sebagai teknik yang optimum.

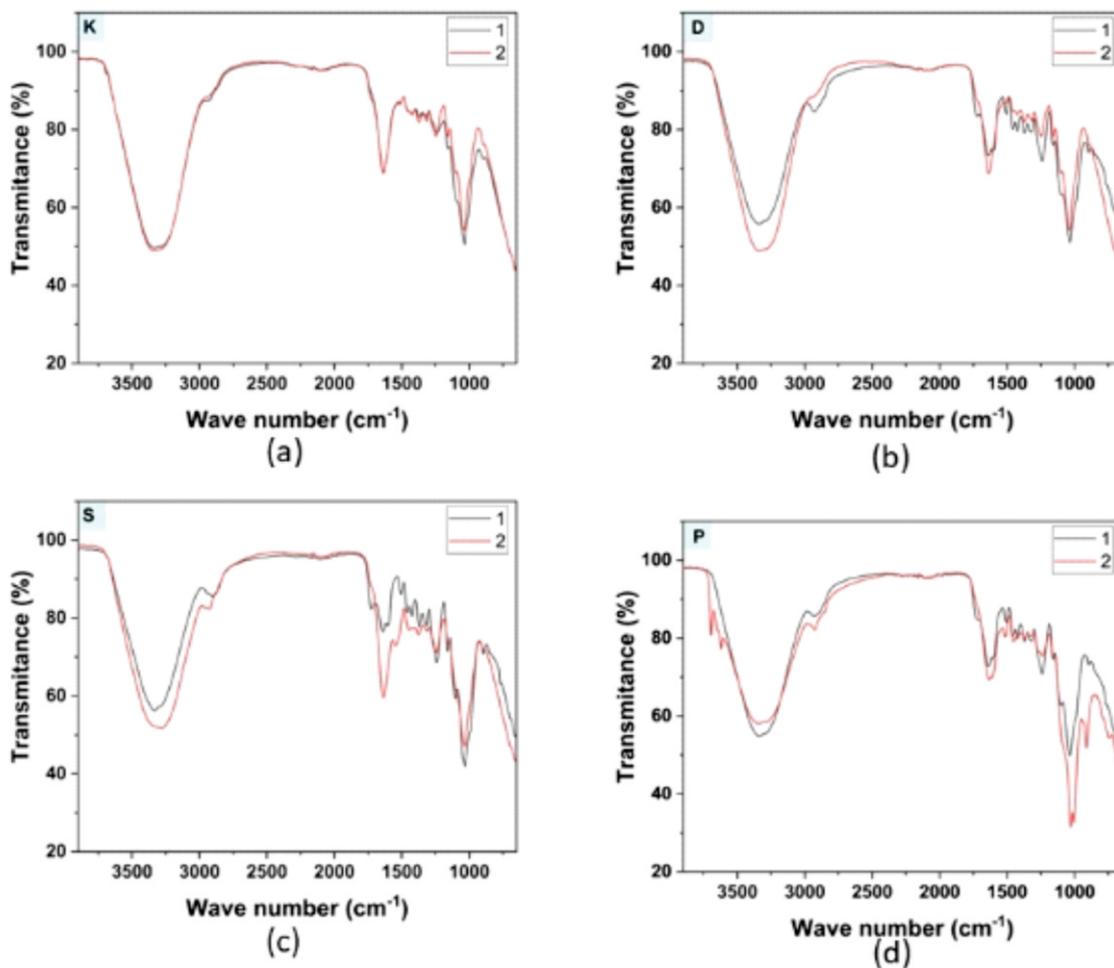


Gambar 3. Teknik sampling :, (a) Persebaran data pada KE (kantong ke *eNose-G*), LE (Langsung *eNose-G*), KENV (Kantong *eNose-G* Non Vacum), KEV (Kantong *eNose-G* Vacum), LENV (Langsung *eNose-G* Non Vacum), dan LEV (Langsung *eNose-G* Vacum), (b) Grafik PC1 dan PC2 melihat sebaran data berdasarkan metode pengambilan sampel.

Hasil Validasi alat *eNose-G* dengan FTI-R pada tanaman sawit

Penggunaan *FT-IR* adalah untuk melihat perbedaan gugus fungsi senyawa volatil yang dihasilkan oleh jaringan kelapa sawit berdasarkan tingkat infeksi *Ganoderma* sp. sehat, dini, sedang, dan parah. Panjang *range* gelombang yang digunakan adalah 4000-650 cm^{-1} , Penggunaan *FT-IR* pada panjang *scanning area* 600 dan 4000 cm^{-1} digunakan untuk melihat perbedaan tingkat infeksi sawit terinfeksi *Ganoderma* sp. (Chow & Ting, 2019). Pengujian dilakukan dengan menggunakan *FTIR-Attenuated Total Reflectance* (FTIR-ATR).

Hasil nilai transmitansi masing-masing sampel disampaikan pada Gambar 4-7. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan *FT-IR* didapatkan nilai *transmitansi* pada beberapa bilangan gelombang. Nilai *transmitansi* menandakan adanya senyawa yang teridentifikasi. Identifikasi senyawa pada masing-masing sampel ditunjukkan pada Tabel 1 sampai Tabel 4. Gambar 4 secara berurutan menunjukkan grafik transmitansi sampel akar kontrol, terinfeksi dini, sedang, dan parah. Masing-masing sampel diwakili oleh dua pohon yaitu pohon 1 berwarna hitam dan pohon 2 berwarna merah.



Gambar 4. E-nose data : (a) Grafik *transmitansi* sampel sehat, (b) sampel terinfeksi dini, (c) sampel terinfeksi sedang, dan (d) sampel terinfeksi parah

Tabel 1. Analisa nilai transmitansi pada sampel akar pada pohon kelapa sawit Kebun Bekri, PTPN 1 Regional 7

Panjang Gelombang (cm ⁻¹)	Ikatan	Senyawa	K		D		S		P	
			1	2	1	2	1	2	1	2
3693	O=H	<i>Fenol, alkohol</i>	-	-	-	-			V	V
3619	O=H	<i>Fenol, alkohol</i>	-	-	-	-	V	V	V	V
1734	C=O	<i>Aldehydes, ketone carbocyclic acid, ester</i>	-	-	-	-	-	-	V	V
1718	C=O	<i>Aldehydes, ketone carbocyclic acid, ester</i>	V	V	-	-	-	-	-	-

(continued)

Panjang Gelombang (cm ⁻¹)	Ikatan	Senyawa	K		D		S		P	
			1	2	1	2	1	2	1	2
1645	C=O	<i>Aldehydes, ketone carbocyclic acid, ester</i>	-	-	-	-	-	-	V	V
1639	C=C	<i>Alkana</i>	V	V	-	-	-	-	-	-
1636	C=C	<i>Alkana</i>	-	-	V	V	-	-	-	-
1634	C=C	<i>Alkana</i>	V	V	-	-	-	-	-	-
1631	C=C	<i>Alkana</i>	-	-	V	V	-	-	-	-
1625	C=C	<i>Alkana</i>	-	-	V	V	-	-	-	-
1598	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	-	-	-	-	V	-
1590	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	-	-	V	V	-	-
1545	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	-	-	-	-	V	V
1506	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	-	-	-	-	V	V
1507	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	-	-	V	V	-	-
1509	C=C	<i>Aromatic ring</i>	V	V	-	-	-	-	-	-
1248	C=O	<i>Alkohol, Ether, Carbocyclic acid, ketone</i>	-	-	V	V	-	-	-	-
1163	C=O	<i>Alkohol, Ether, Carbocyclic acid, ketone</i>	-	-	-	-	-	-	V	V
1162	C=O	<i>Alkohol, Ether, Carbocyclic acid, ketone</i>	-	-	V	-	-	-	-	-
1159	C=O	<i>Alkohol, Ether, Carbocyclic acid, ketone</i>	-	-	-	-	V	V	-	-
1158	C=O	<i>Alkohol, Ether, Carbocyclic acid, ketone</i>	V	V	-	-	-	-	-	-
1037	C=O	<i>Alkohol, Ether, Carbocyclic acid, ketone</i>	-	-	V	V	-	-	-	-
1035	C=O	<i>Alkohol, Ether, Carbocyclic acid, ketone</i>	-	-	-	-	V	V	-	-
1033	C=O	<i>Alkohol, Ether, Carbocyclic acid, ketone</i>	V	V	-	-	-	-	-	-
1032	C=O	<i>Alkohol, Ether, Carbocyclic acid, ketone</i>	-	-	-	-	V	V	-	-

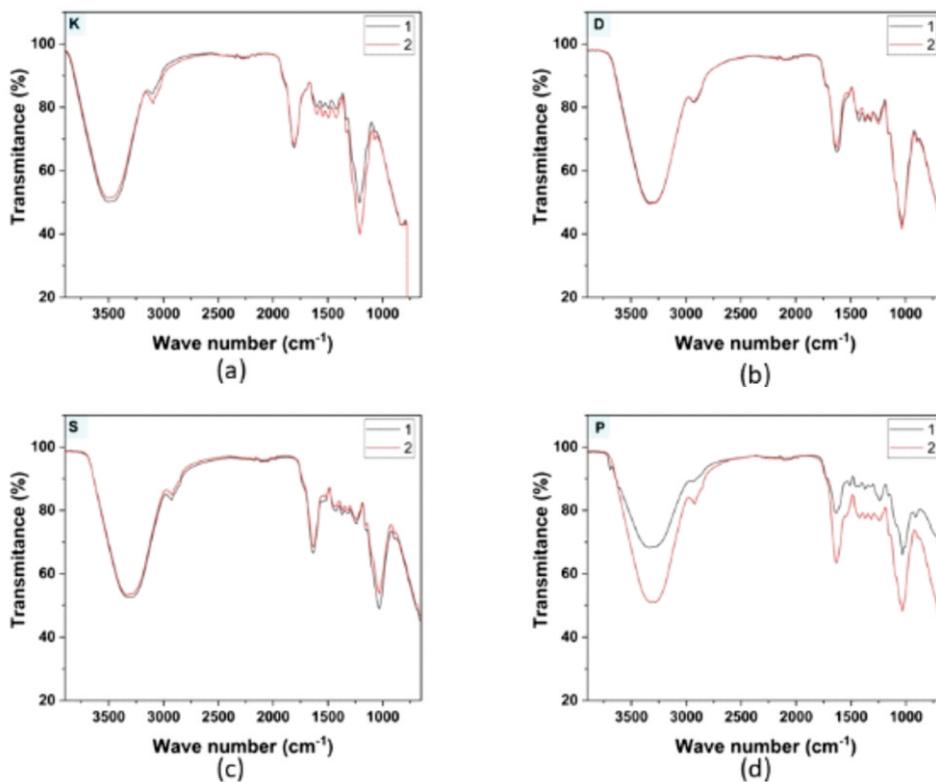
(continued)

Panjang Gelombang (cm ⁻¹)	Ikatan	Senyawa	K		D		S		P	
			1	2	1	2	1	2	1	2
1031	C=O	Alkohol, Ether, Carbocyclic acid, ketone	-	-	-	-	-	-	V	V
1029	C=O	Alkohol, Ether, Carbocyclic acid, ketone	-	-	V	V	-	-	-	-
1001	C=O	Alkohol, Ether, Carbocyclic acid, ketone	-	-	-	-	-	-	V	V
909	C-H	Aromatic ring	-	-	-	-	-	-	-	V
901	C-H	Aromatic ring	-	-	-	-	-	-	-	V

Keterangan : K = Kontrol, D = Serangan Dini, S = Serangan Sedang, P = Serangan Parah

Berdasarkan hasil nilai *transmitansi* pada sampel akar kebun Bekri memiliki perbedaan antara sampel sehat, terinfeksi dini, sedang, dan parah. Nilai *transmitansi* pada sampel batang ditunjukkan pada Gambar 5a-d secara berurutan yaitu sampel batang

sehat, terinfeksi dini, sedang, dan parah. Sampel akar pada pohon kontrol baik pohon 1 maupun pohon 2 pada kebun Bekri ditemukan ikatan C=O dan C=C, ikatan tersebut ditemukan pada bilangan gelombang yang sama.



Gambar 5. Grafik *transmitansi* sampel batang kebun Bekri, (a) Grafik *transmitansi* sampel sehat, (b) sampel terinfeksi dini, (c) sampel terinfeksi sedang, dan (d) sampel terinfeksi parah

Hasil analisis menunjukkan adanya konsistensi antara pohon 1 dan pohon 2, Ikatan O=H, C=C, dan C=O ditemukan pada sampel akar yang terinfeksi sedang dan parah. Pada sampel akar terinfeksi parah memiliki ikatan yang sama O=H pada nilai panjang gelombang 3619 cm^{-1} , sedangkan ikatan yang lain memiliki nilai panjang gelombang yang berbeda. Sampel terinfeksi ini memiliki ikatan C=C yang berada pada bilangan

gelombang 1637 cm^{-1} dan 1509 cm^{-1} yang merupakan senyawa *Alkana* dan *aromatic ring*. Ikatan C=O ditemukan pada sampel terinfeksi ini dengan Bilangan gelombang 1248 cm^{-1} , 1037 cm^{-1} , dan 1029 cm^{-1} . Masing-masing diambil dari dua pohon yaitu pohon 1 dengan spectra FT-IR berwarna hitam dan pohon 2 dengan spectra FT-IR berwarna merah. Adapun hasil analisis nilai *transmitansi* disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisa nilai transmitansi pada sampel batang pada pohon kelapa sawit Kebun Bekri PTPN 1 Regional 7

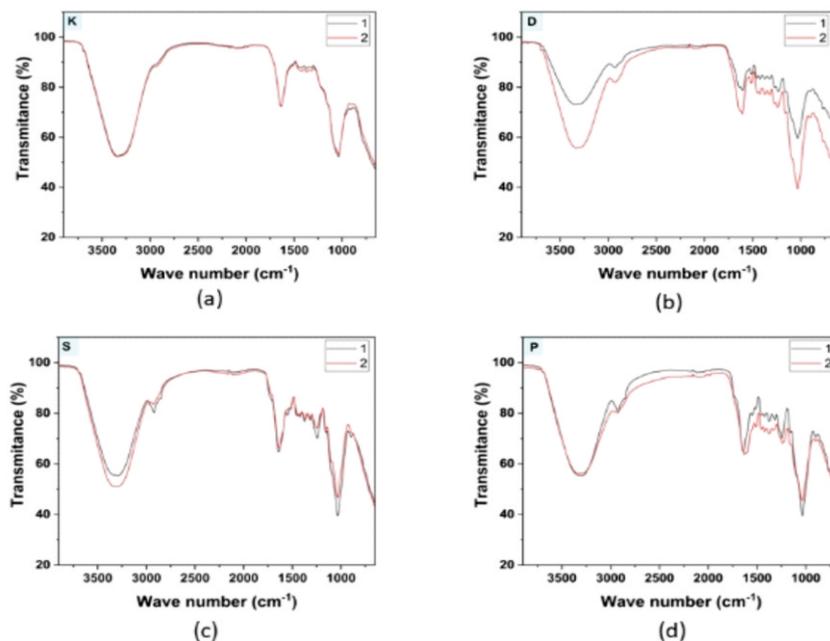
Panjang Gelombang (cm^{-1})	Ikatan	Senyawa	K		D		S		P	
			1	2	1	2	1	2	1	2
3694	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	-	-	-	-	V	V
3490	N-H	<i>Amina</i>	V	V	-	-	-	-	-	-
3325	N-H	<i>Amina</i>	-	-	-	-	-	-	V	-
3320	N-H	<i>Amina</i>	-	-	V	V	-	-	-	-
3309	N-H	<i>Amina</i>	-	-	-	-	V	V	V	V
3293	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	V	-	-	-	-	-
3108	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	V	-	-	-	-	-	-
2927	C-H	<i>Alkana</i>	-	-	-	-	-	V	-	-
2922	C-H	<i>Alkana</i>	-	-	-	V	-	-	-	-
1803	C=C	<i>Alkana</i>	V	V	-	-	-	-	-	-
1810	C=C	<i>Alkana</i>	V	V	-	-	-	-	-	-
1636	C=C	<i>Alkana</i>	-	-	-	-	V	V	V	V
1634	C=C	<i>Alkana</i>	-	-	V	V	V	V	-	-
1624	C=C	<i>Alkana</i>	-	-	V	-	-	-	-	-
1331	N ₂ O	<i>Nitro compound</i>	-	V	-	-	-	-	-	-
1212	C-N	<i>Amina</i>	V	V	-	-	-	-	-	-
1208	C-N	<i>Amina</i>	V	V	V	V	V	V	V	V
1155	C-N	<i>Amina</i>	-	-	-	-	-	V	-	-
1157	C-N	<i>Amina</i>	-	-	-	V	V	-	-	-
1103	C-N	<i>Amina</i>	-	-	-	V	-	-	-	-
1102	C-N	<i>Amina</i>	-	-	-	-	-	V	V	-
1099	C-N	<i>Amina</i>	-	-	-	-	-	-	-	V
1071	C-N	<i>Amina</i>	V	V	-	-	-	-	-	-

(continued)

Panjang Gelombang (cm ⁻¹)	Ikatan	Senyawa	K		D		S		P	
			1	2	1	2	1	2	1	2
1032	C=O	<i>Alkohol, Ether, Carbocyclic acid, ketone</i>	-	-	V	V	V	V	V	V
1027	C-N	<i>Amina</i>	-	-	-	-	-	V	-	-
1022	C-N	<i>Amina</i>	-	-	-	-	-	-	-	V
998	C-H	<i>Alkana</i>	-	-	-	-	-	-	V	-
956	C-H	<i>Alkana</i>	-	-	-	-	-	-	-	V
890	C-H	<i>Aromatic ring</i>	-	-	-	-	-	V	V	V
894	C-H	<i>Aromatic ring</i>	-	-	V	V	-	-	-	-
834	C-H	<i>Aromatic ring</i>	V	V	-	-	-	-	-	-

Ikatan C=C ditemukan pada bilangan gelombang 3694 cm⁻¹ sampel terinfeksi parah yang merupakan senyawa *aromatic ring*. Pada sampel kontrol pada panjang gelombang 3490 cm⁻¹ ditemukan ikatan N-H *amina*, ikatan C=C *alkana* pada panjang gelombang 1810 cm⁻¹, dan ikatan C-N *amina* pada panjang gelombang 1212 cm⁻¹. Sampel terinfeksi dini ditemukan ikatan N-H *amina* pada bilangan gelombang 3320 cm⁻¹, C-H *aromatic ring* pada bilangan gelombang 834 cm⁻¹, ikatan N-H *amina*, C-N

amina, C=C *aromatic ring* terdapat pada sampel pohon sehat, terinfeksi dini, sedang, dan parah, ikatan tersebut ditemukan pada bilangan gelombang yang berbeda. Pada masing-masing sampel setiap pohon memiliki ikatan yang sama antara pohon 1 dan pohon 2. Berdasarkan nilai panjang gelombang pada masing-masing sampel sehat, terinfeksi dini, sedang, dan parah memiliki perbedaan nilai *transmitansi*, sehingga dapat dikatakan adanya perbedaan pada masing-masing sampel.



Gambar 6. Grafik transmitansi sampel akar kebun Rejosari, (a) Grafik transmitansi sampel sehat, (b) sampel terinfeksi dini, (c) sampel terinfeksi sedang, dan (d) sampel terinfeksi parah

Sampel kebun Rejosari juga dilakukan proses karakterisasi sampel akar dan batang pada pohon kelapa sawit sehat, terinfeksi dini, sedang, dan parah di tunjukkan secara berurutan pada Gambar 3(a-d) dan Gambar 4(a-d). Masing-

masing diambil dari dua pohon yaitu pohon 1 berwarna hitam dan pohon 2 berwarna merah. Hasil analisis nilai *transmitansi* pada Tabel 17 untuk sampel akar dan Tabel 18 untuk sampel batang.

Tabel 3. Analisa nilai transmitansi pada sampel akar pada pohon kelapa sawit Kebun Rejosari PTPN 1 Regional 7

Panjang Gelombang (cm^{-1})	Ikatan	Senyawa	K		D		S		P	
			1	2	1	2	1	2	1	2
3693	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	-	-	-	-	V	V
3619	O-H	<i>Monomeric alkohol, phenol</i>	-	-	-	-	-	-	V	V
2938	C-H	<i>Alkena</i>	-	-	-	-	-	-	V	V
2919	C-H	<i>Alkena</i>	-	-	-	-	-	V	-	-
2910	C-H	<i>Alkena</i>	-	-	V	V	-	-	-	-
1692	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	-	-	-	-	V	V
1643	C=C	<i>Aromatic ring</i>	V	V	-	-	-	-		
1638	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	-	-	-	-	V	V
1639	C=C	<i>Aromatic ring</i>	V	V	-	-	-	-	-	-
1637	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	-	-	V	V	-	-
1636	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	-	-	V	V	-	-
1634	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	V	V	-	-	-	-
1626	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	-	-	V	V	-	-
1621	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	-	-	-	-	V	V
1606	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	V	V	-	-	-	-
1603	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	-	V	-	-	-	-
1602	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	-	-	-	-	V	V
1509	C=C	<i>Aromatic ring</i>	-	-	-	-	-	-	V	V
1248	C-N	<i>Amina</i>	-	-	V	-	-	-	-	-
1244	C-N	<i>Amina</i>	-	-	-	-	V	-	-	-
1243	C-N	<i>Amina</i>	-	-	-	-	-	-	-	V
1240	C-N	<i>Amina</i>	-	-	-	V	-	-	-	-
1038	C-N	<i>Amina</i>	-	-	V	V	V	V	V	V
1035	C-N	<i>Amina</i>	V	V	-	-	-	-	-	-

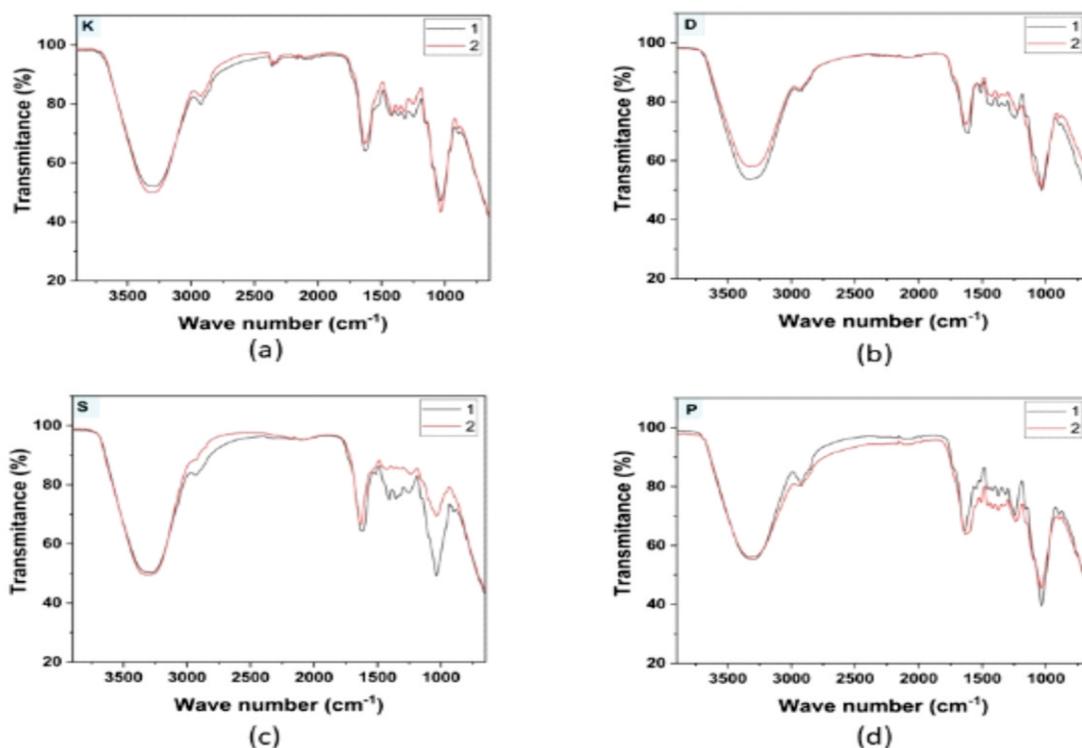
(continued)

Panjang Gelombang (cm^{-1})	Ikatan	Senyawa	K		D		S		P	
			1	2	1	2	1	2	1	2
1033	C-N	Amina	-	-	V	V	-	-	-	-
1037	C-N	Amina	-	-	-	-	V	-	-	-
1031	C-N	Amina	-	-	V	V			V	V
1011	C-N	Amina	-	-	-	-	-	-	V	V
910	C-H	Alkohol, Ether, Carbocyclic acid, ketone	-	-	-	-	-	-	V	V
909	C-H	Alkohol, Ether, Carbocyclic acid, ketone	-	-	-	-	-	-	V	-

Berdasarkan nilai transmitansi pada sampel akar kebun Rejosari ditemukan ikatan C-H, C=C *aromatic ring*, C-N *amina*, pada masing-masing sampel sehat, terinfeksi dini, sedang, dan parah dengan nilai bilangan gelombang yang berbeda. Sampel terinfeksi dini memiliki ikatan C-H pada bilangan gelombang 2910 cm^{-1} , sedangkan untuk sampel parah ikatan C-H pada 2938 cm^{-1} dan 2919 cm^{-1} , ikatan C=C hanya ditemukan pada sampel terinfeksi parah yaitu pada 3693 cm^{-1} , ikatan O-H pada bilangan gelombang 3619 cm^{-1} . Sampel sedang dan parah memiliki kemiripan pada bilangan gelombang 1038 cm^{-1} yang merupakan gugus fungsi dari C-N *amina*. Sampel kontrol C=C *aromatic ring* pada 1643 cm^{-1} dan 1639 cm^{-1} , Sedangkan pada sampel terinfeksi dini pada 1634 cm^{-1} dan 1606 cm^{-1} ditemukan ikatan C=C yang merupakan senyawa aromatik. Sedangkan pada 1602 cm^{-1} dan 1509 cm^{-1} merupakan senyawa *aromatic* ikatan C=C pada sampel parah. Konsistensi terlihat antara pohon 1 dan pohon 2 yang terlihat dari adanya nilai panjang gelombang dan komponen pada masing-masing sampel. Perbedaan antara sampel kontrol, terinfeksi dini, sedang dan parah ditandai dari nilai transmitansi

antara sampel yang berbeda. Grafik transmitansi sampel batang pohon kelapa sawit kebun Rejosari ditunjukkan pada Gambar 24a-d) secara berurutan untuk batang sehat, terinfeksi dini, sedang dan parah. Analisa hasil dari grafik ditunjukkan pada Tabel 4.

Berdasarkan nilai transmitansi pada sampel batang kebun Rejosari ditemukan ikatan C-H, C=C *aromatic ring*, C-N *amina*, pada masing-masing sampel sehat, terinfeksi dini, sedang, dan parah dengan nilai bilangan gelombang yang berbeda. Sampel sehat ditemukan ikatan N-H *amine* pada bilangan gelombang 3325 cm^{-1} , C-H *alkane* pada bilangan gelombang 2911 cm^{-1} dan 2363 cm^{-1} , C=C *alkane* pada bilangan gelombang 1636 cm^{-1} , C-N *amine* pada bilangan gelombang 1035 cm^{-1} , dan C-H *aromatic ring* pada bilangan gelombang 894 cm^{-1} . Sampel terinfeksi dini memiliki ikatan C-N *amina* pada bilangan gelombang 1041 cm^{-1} . Untuk sampel terinfeksi dini, parah dan sedang memiliki ikatan yang sejenis pada bilangan gelombang 1151 cm^{-1} yaitu C-N *amina* dan pada bilangan gelombang 892 cm^{-1} yang merupakan ikatan C-H *aromatic ring*.



Gambar 7. Grafik transmittansi sampel batang kebun Rejosari, (a) Grafik transmittansi sampel sehat, (b) sampel terinfeksi dini, (c) sampel terinfeksi sedang, dan (d) sampel terinfeksi parah

Tabel 4. Analisa nilai transmittansi pada sampel batang pada pohon kelapa sawit Kebun Rejosari PTPN 1 Regional 7

Wave number (cm ⁻¹)	Bond	Compound	K		D		S		P	
			1	2	1	2	1	2	1	2
3325	N-H	Amina	-	-	V	-	-	-	-	-
3320	N-H	Amina	V	V	-	-	-	-	-	-
3317	N-H	Amina	-	-	-	-	V	V	-	-
3301	N-H	Amina	-	-	-	-	-	-	V	V
2934	C-H	Alkana	V	V	V	V	-	-	-	-
2930	C-H	Alkana	-	-	-	V	-	-	-	-
2928	C-H	Alkana	-	-	-	-	V	V	V	V
2927	C-H	Alkana	-	-	-	-	V	V	V	V

(continued)

Wave number (cm ⁻¹)	Bond	Compound	K		D		S		P	
			1	2	1	2	1	2	1	2
2911	C-H	Alkana	V	V	-	-	-	-	-	-
2363	C-H	Alkana	V	V	-	-	-	-	-	-
1640	C=C	Alkana	-	-	-	-	-	-	V	V
1636	C=C	Alkana	-	-	-	-	-	-	V	V
1633	C=C	Alkana	-	-	-	-	-	-	V	V
1625	C=C	Alkana	V	V	V	V	-	-	-	-
1618	C=C	Alkana	-	-	V	-	-	-	-	-
1613	C=C	Alkana	-	-	-	-	V	-	-	-
1419	C-H	Aromatic ring	-	V	-	-	-	-	-	-
1151	C-N	Amina	-	-	V	V	V	V	V	V
1158	C-N	Amina	V	V	-	-	-	-	-	-
1041	C-N	Amina	-	-	V	V	-	-	-	-
1037	C-N	Amina	-	-	-	-	V	V	-	-
1035	C-N	Amina	V	V	-	-	-	-	-	-
1031	C-N	Amina	-	-	-	-	-	-	V	V
1030	C-N	Amina	-	-	-	-	-	-	V	-
1034	C-N	Amina	-	-	-	-	V	-	-	-
890	C-H	Aromatic ring	-	-	-	-	V	V	V	V
894	C-H	Aromatic ring	V	V	-	-	-	-	-	-

Hasil Validasi alat eNose-G dengan FT-IR pada tanaman sawit

Hasil validasi dengan GC-MS menunjukkan senyawa pada tanaman sehat senyawa *metil alkohol (metanol)* dan *hidrazin*. Hal tersebut juga diamati pada botol vakum yang dianggap sebagai kontrol negatif. Sementara untuk tanaman terinfeksi *Ganoderma* sp. level dini dan parah, senyawa yang terdeteksi mayoritas adalah oksigen (Tabel 5 dan 6). Berdasarkan hasil yang diperoleh yakni adanya VOC

terdeteksi yang sama antara sampel dan botol vakum sebagai kontrol negatif, diduga hal ini disebabkan terjadinya kehilangan gas VOC saat dilakukan pemindahan gas VOC dari botol sampling ke wadah GC-MS. Selain itu, terdapat kendala terhadap waktu analisa. Analisis GC-MS dilakukan ±2 minggu setelah sampel dikirimkan ke laboratorium. Untuk mengatasi kemungkinan hal ini maka sampling akan dilakukan menggunakan botol GC-MS dan sampel langsung di analisa maksimal 1 hari setelah sampling.

Tabel 5. Hasil Analisis GC-MS pada Sampel Tanaman Sehat dengan Ulangan Dibandingkan dengan Kontrol Negatif (Botol Vakum).

Senyawa	RT	VOC	% Relative Area		
			Sehat 1	Sehat 2	Vakum
<i>Methyl Alcohol</i>	0,12	<i>Alkohol</i>	0	0,58	0
<i>Methyl Alcohol</i>	1,36	<i>Alkohol</i>	35,54	35,41	35,50
<i>Methylamine</i>	1,39	<i>Hydrocarbon</i>	0,46	0,40	0,52
<i>Hydrazine</i>	1,43	<i>Hydrocarbon</i>	64,00	63,62	63,98

Tabel 6. Hasil Analisis GC-MS pada Sampel Tanaman yang Terinfeksi *Ganoderma* sp. dengan Beberapa Ulangan Dibandingkan dengan Kontrol Negatif (Botol Vakum).

Senyawa	RT	VOC	% Relative Area				
			D1	D2	K	P1	S1
<i>Benzeneethanamine, 2,5-difluoro-β,3,4-trihydroxy-N-methyl-</i>	0,29	<i>Hydrocarbon</i>	0,20	0	0	0	0
<i>Hydrazine</i>	1,36	<i>Hydrocarbon</i>	30,17	0	0	0	0
<i>Oxygen</i>	1,36	<i>Oxygen</i>	0,00	26,03	30,70	26,70	24,88
<i>Oxygen</i>	1,43	<i>Oxygen</i>	69,63	0	0	0	0
<i>Oxygen</i>	1,44	<i>Oxygen</i>	0	73,97	69,30	73,3	75,12

Keterangan : D : serangan ringan/light infection, K : kontrol/control, P : serangan berat dan S1 : serangan moderat

KESIMPULAN

Hasil optimasi *Standard Operational Procedure* (SOP) sampling menunjukkan bahwa penyungkupan selama 60 menit, dengan panjang selang dari pohon ke *micropump* 60 cm dan *micropump* ke kantong 25 cm, serta teknik sampling botol vakum ke kantong *eNose-G* merupakan metode yang terbaik.

Identifikasi FTIR juga menunjukkan adanya ikatan senyawa aromatik masing-masing sampel yang berbeda pada panjang gelombang 1000 cm⁻¹. Hasil GC-MS menunjukkan perbedaan jenis senyawa volatil pada masing-masing tingkat infeksi *Ganoderma* sp., namun demikian senyawa volatil yang konsisten teridentifikasi pada infeksi dini di dua kebun dan tidak dijumpai pada sampel tanaman sehat adalah senyawa *hydrocarbon trimethylsilyl catechollactate tris(trimethylsilyl) ether*.

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

- Ahmadi, P., Muharam, F. M., Ahmad, K., Mansor, S., & Abu Seman, I. (2017). Early detection of *Ganoderma* basal stem rot of oil palms using artificial neural network spectral analysis. *Plant disease*, 101(6), 1009-1016. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/PDIS-12-16-1699-RE>

- Ali, M. M., Hashim, N., & Shahamshah, M. I. (2021). Durian (*Durio zibethinus*) ripeness detection using thermal imaging with multivariate analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 176, 111517. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521421000569>
- Chong, K. P., Lum, M. S., Foong, C. P., Wong, C. M. V. L., Atong, M., & Rossall, S. (2011). First identification of *Ganoderma boninense* isolated from Sabah based on PCR and sequence homology. *African Journal of Biotechnology*, 10(66), 14718-14723. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/97194>
- Chow, Y. Y., & Ting, A. S. Y. (2019). Influence of fungal infection on plant tissues: FTIR detects compositional changes to plant cell walls. *Fungal Ecology*, 37, 38-47. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1754504818300527>
- Darmono, T. (2011). Strategi berperang melawan *Ganoderma* pada perkebunan kelapa sawit. Paper presented at the Symp. Nasional & Lokakarya *Ganoderma* "Sebagai Patogen Penyakit Tanaman & Bahan Baku Obat Tradisional", Bogor
- Hailini, Z. H. N., Seman, I. A., Noor, M. A. M., & Aripin, S. M. S. (2020). A Feasibility Study on Volatile Organic Compounds Profiling of Oil Palm-*Ganoderma* Infected Wood for Basal Stem Rot Detection. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 24(4), 599-614. https://mjas.analis.com.my/mjas/v24_n4/pdf/Hilmi_24_4_14.pdf
- Hidayat, S. N., Julian, T., Dharmawan, A. B., Puspita, M., Chandra, L., Rohman, A., ... & Wasisto, H. S. (2022). Hybrid learning method based on feature clustering and scoring for enhanced COVID-19 breath analysis by an electronic nose. *Artificial Intelligence in Medicine*, 129, 102323. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0933365722000884>
- Ismail, M. F., Nulit, R., Abu Seman, I., Ibrahim, M. H., & Ramli, N. (2022). Metabolite profile and gene expression of the roots of oil palm seedlings treated with *Hendersonia GanoEF1* and infected with *Ganoderma boninense*. *Journal of Plant Pathology*, 1-13. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42161-021-01006-w>
- Izzuddin, M. A., Seman Idris, A., Nisfariza, M. N., Nordiana, A. A., Shafri, H. Z. M., & Ezzati, B. (2017). The development of spectral indices for early detection of *Ganoderma* disease in oil palm seedlings. *International Journal of Remote Sensing*, 38(23), 6505-6527. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431161.2017.1335908>
- Kresnawaty, I., Mulyatni, A. S., Eris, D. D., Prakoso, H. T., Triyana, K., & Widiastuti, H. (2020, March). Electronic nose for early detection of basal stem rot caused by *Ganoderma* in oil palm. In *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 468, No. 1, p. 012029). IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/468/1/012029/meta>
- Liu, Y., Hu, J., Kang, X., Luo, J., & Fan, S. (2022). Interactformer: Interactive transformer and CNN for hyperspectral image super-resolution. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 60, 1-15. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9796466>
- Markom, M. A., Shakaff, A. M., Adom, A. H., Ahmad, M. N., Hidayat, W., Abdullah, A. H., & Fikri, N. A. (2009). Intelligent electronic nose system for basal stem rot disease detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 66(2), 140-146. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169909000064>
- Mota, I., Teixeira-Santos, R., & Rufo, J. C. (2021). Detection and identification of fungal species by electronic nose technology: A systematic review. *Fungal Biology Reviews*, 37, 59-70. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1749461321000142>
- Tan, M. I. S., Jamlos, M. F., Omar, A. F., Dzaharudin, F., Chalermwisutkul, S., & Akkaraekthalin, P. (2021). *Ganoderma boninense* disease detection by near-infrared spectroscopy classification: a review. *Sensors*, 21(9), 3052.

- <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/9/3052>
- Mustafa, I. F., Hussein, M. Z., Idris, A. S., Hilmi, N. H. Z., Ramli, N. R., & Fakurazi, S. (2022). The effect of surfactant type on the physico-chemical properties of hexaconazole/dazomet-micelle nanodelivery system and its biofungicidal activity against Ganoderma boninense. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 640, 128402. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092777572200156X>
- 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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0981942816303709>
- Pareek, V., Chaudhury, S., & Singh, S. (2021). Handling non-stationarity in E-nose design: a review. *Sensor Review*, 42(1), 39-61. https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/SR-02-2021-0038/full/html?utm_campaign=Emerald_Engineering_PPV_Dec22_RoN
- Priwiratama, Hari, and Agus Susanto. "Utilization of fungi for the biological control of insect pests and Ganoderma disease in the Indonesian oil palm industry." *Journal of Agricultural Science and Technology*. A 4.2A (2014). https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33698756/1_3-libre.pdf?1400062572=&response-content-
- Priwiratama, H., & Susanto, A. (2020). Kejadian penyakit busuk pangkal batang pada tanaman belum menghasilkan varietas toleran Ganoderma dengan sistem lubang tanam standar. *WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 25(3), 115-122. <http://warta.iopri.org/index.php/Warta/article/view/20>
- Purnamasari MI, C Prihatna, AW Gunawan & A Suwanto (2012). Isolasi dan identifikasi secara molekuler Ganoderma spp. yang berasosiasi dengan penyakit busuk pangkal batang di kelapa sawit. *J Fitopatol Ind*8(1), 9-11. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jfiti/article/view/6767>
- Shokrollahi, N., Ho, C. L., Zainudin, N. A. I. M., Wahab, M. A. W. B. A., & Wong, M. Y. (2021). Identification of non-ribosomal peptide synthetase in *Ganoderma boninense* Pat. that was expressed during the interaction with oil palm. *Scientific reports*, 11(1), 16330. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-95549-8>

