

Potensi *electronic nose* 118 untuk mendeteksi penyakit busuk pangkal batang pada kelapa sawit

The potency of electronic nose 118 for detection of basal stem rot in oil palm

Agustin Sri MULYATNI^{1*)}, Irma KRESNAWATY¹⁾, Deden Dewantara ERIS¹⁾, Tri PANJI¹⁾, Wita KIMBERLY²⁾, Happy WIDIASTUTI¹⁾, PRIYONO¹⁾, CHOTIMAH²⁾ & Kuwat TRIYANA²⁾

¹⁾Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia, Jalan Taman Kencana No 1 Bogor, 16128

²⁾Fakultas MIPA Departemen Fisika, Universitas Gadjah Mada, Jalan Geografi, Sinduadi, Mlati, Sleman, Yogyakarta 55281

Diterima tgl 18 November 2021/ disetujui tgl 22 Maret 2022

Abstract

Basal stem rot (BSR) disease caused by Ganoderma sp. is a major disease in oil palm. One of the keys to successfully control BSR disease is to detect the pathogenic infections as early as possible. Early detection technique has been developed in this study was using volatile compounds sensors known as an electronic nose, specifically Electronic Nose 118. Plant samples were obtained from roots, stems, leaves, and soils of four plant categories, which were mildly, moderately, and severely infected by Ganoderma, and healthy plants. The test results showed that Electronic Nose was able to record the profile of volatile organic compounds (VOC) produced by Ganoderma sp. The Linear Discriminant Analysis (LDA) results showed that the root and stem samples were differentiated in fairly high level of discrimination with values of 89.66% and 94.59% respectively, while for internal validation value were 98.18% and 89.18%. However, for leaf and soil samples, Electronic Nose 118 resulted in low discriminations. The test results show that Electronic Nose 118 can distinguish samples of roots and stems of healthy plant and Ganoderma-infected plant with a high accuracy.

[Keywords: *Ganoderma*, linear discriminant analysis (LDA), pathogen infection, sensor, volatile organic compound]

*Korespondensi penulis: agustinmulyatni@gmail.com

Abstrak

Penyakit busuk pangkal batang (BPB) yang disebabkan oleh *Ganoderma* sp. merupakan penyakit utama pada kelapa sawit. Salah satu kunci keberhasilan pengendalian penyakit BPB adalah diketahuinya infeksi patogen sedini mungkin. Teknik deteksi dini yang saat ini dikembangkan dalam penelitian ini adalah menggunakan sensor senyawa volatil yang dikenal dengan *electronic nose*, khususnya *Electronic Nose* 118. Sampel tanaman diperoleh dari akar, batang, daun, dan tanah dari empat kondisi tanaman, yaitu tanaman yang terinfeksi *Ganoderma* ringan, sedang, berat dan tanaman sehat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa profil senyawa organik volatil yang dihasilkan oleh infeksi *Ganoderma* sp. dapat ditangkap oleh *Electronic Nose* 118 dengan baik. Hasil analisis *Linear Discriminant Analysis* (LDA) menunjukkan bahwa sampel akar dan batang terbedakan dengan tingkat diskriminasi yang cukup tinggi dengan nilai secara berurutan yaitu 89,66% dan 94,59%, sedangkan untuk validasi internal masing-masing 98,18% dan 89,18%. Namun demikian, untuk sampel daun dan tanah, pengujian dengan *Electronic Nose* 118 menghasilkan tingkat diskriminasi yang rendah. Hasil pengujian menunjukkan *Electronic Nose* 118 dapat membedakan sampel akar dan batang dari tanaman sehat dan tanaman terserang *Ganoderma* dengan akurasi tinggi.

[Kata kunci : *Ganoderma*, LDA, infeksi patogen, sensor, senyawa organik volatil]

Pendahuluan

Kelapa sawit merupakan komoditas utama di bidang perkebunan. Namun demikian sebagian besar budidaya kelapa sawit di Asia Tenggara terancam oleh serangan penyakit Busuk Pangkal Batang (BPB) yang disebabkan *Ganoderma boninense* (Markom et al., 2009). Penyakit BPB merupakan penyebab utama kerusakan di perkebunan kelapa sawit (Abdullah et al., 2012). Infeksi *G. boninense* dimulai dari akar dan penyebarannya dapat melalui kontak akar ke akar serta dengan spora (Fowotade et al., 2019). Di area penanaman kelapa sawit baru seperti hutan atau konversi dari karet, serangan penyakit BPB mencapai 25% setelah 25 tahun, sementara di daerah bekas penanaman pohon kelapa mencapai 60% setelah 16 tahun, dan daerah penanaman kembali mencapai 33% setelah 15 tahun. Dampak yang disebabkan oleh serangan penyakit BPB terhadap tanaman kelapa sawit adalah memperpendek umur tanaman menjadi setengah dari umur seharusnya, dan menurunkan produktifitas kelapa sawit (Chong et al., 2017). Kunci keberhasilan pengendalian penyakit ini adalah deteksi infeksi *Ganoderma* sp. pada tahap awal (dini). Hal ini disebabkan, apabila gejala terlihat, maka sudah sangat terlambat untuk disembuhkan, karena lebih dari setengah jaringan akar telah membusuk (Markom et al., 2009).

Dalam proses dekomposisi kayu spruce oleh jamur pelapuk putih terdapat peningkatan aktivitas enzim oksidoreduktase dan dihasilkannya senyawa organik methyl-3-furoate sebagai hasil pelapukan lignin (Mali et al., 2019). Hilmi et al (2019) mengemukakan setidaknya terdapat alkohol alkanes, asam volatil ketones, aldehides, esters, sesquiterpenes dan kelompok polycyclic aromatic hydrocarbon pada kayu kelapa sawit yang terkolonisasi *Ganoderma* sp. Sedangkan pada sample *Ganoderma* sp. dijumpai senyawa aliphatic dengan 8 atom karbon seperti 1-octen-3-ol, 3-octanone, 1-octanol dan (E)-2-octenal. Hasil penelitian Nusaibah et al (2013) menunjukkan bahwa lytic acid dan pirimidine adalah senyawa yang terdeteksi pada kelapa sawit terinfeksi *Ganoderma* sp. dan dengan GCMS ditemukan adanya senyawa 2 furancarboxaldehyde, 5-(hydroxymethyl), thiophene, 2 propyl dan 4H-Pyran-4-one. Terdapat dua fase *Ganoderma* sp. dalam interaksinya dengan kelapa sawit yaitu biotropik yaitu pada saat fase awal (3 dan 7 hari setelah inokulasi/hsi) yang dibuktikan dengan adanya upregulasi gen secara nyata yang berkaitan dengan pertahanan dan akhirnya terjadi penurunan yang nyata pada 12 hari setelah inokulasi (his) sebelum terjadi fase nekrotropik (Bahari et al.,

2018). Govender et al. (2017) mengemukakan pada 1, 2, dan 3 msi (minggu setelah infeksi) terdeteksi adanya ekspresi gen *phenylalanine ammonia lyase* (PAL), *cinnamyl alcohol dehydrogenase* (CAD), dan *peroxidase* (POD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan lignin tertinggi adalah 4 msi dan selanjutnya pada minggu ke 12 hilang. Hasil oksidasi nitrobenzen lignin akar menghasilkan syringyl dan guaiacyl monomer.

Beberapa metode deteksi infeksi *Ganoderma* sp. telah dikembangkan seperti *Enzyme-Linked Immunosorbent Assay* (ELISA) yang mencerna protein dari miselium jamur untuk menemukan protein spesifik basidiokarp, teknik serologi (Suharyanto et al. 2012) dan *Polymerase Chain Reaction* (PCR) (Mandala et al., 2003) dan lain sebagainya. Walaupun demikian teknik-teknik ini memiliki kelemahan karena memakan waktu, kurang fleksibel dalam aplikasinya, dan kurang spesifik (Fowotade et al., 2019). Oleh sebab itu, diperlukan suatu alat yang cepat dan akurat dalam mengidentifikasi penyakit BPB.

Electronic nose (*E-nose*) merupakan perangkat yang terdiri dari beberapa sensor kimia yang digunakan secara bersama dengan perangkat lunak sebagai pengenalan pola. Prinsip kerjanya meniru indera penciuman hidung (Ponzoni et al., 2017). keunggulan e-nose adalah dalam kecepatan, sensitivitas tinggi, dan dapat menganalisis sejumlah kecil sampel (Wang et al., 2019, Hushiarian et al., 2013). Penggunaan E-nose untuk membedakan tanaman sehat dengan tanaman yang terinfeksi penyakit telah banyak dikembangkan. Zhou & Wang (2011) menggunakan *E-nose* untuk membedakan profil volatil tanaman yang tidak terinfeksi dan tanaman yang telah terpapar oleh berbagai *Nilaparvata lugens* dengan nilai diskriminasi lebih dari 92,5% untuk kumpulan data pelatihan dan 70% untuk pengujian. *E-nose* juga dapat membedakan tanaman kiwifruits yang terinfeksi *Pseudomonas syringae* pv actinidae (Cellini et al., 2015). Hasil penelitian Kresnawaty et al. (2020) menunjukkan bahwa *E-nose* dapat membedakan *Ganoderma* sp. yang berasal dari beberapa lokasi serta dengan jenis jamur tanah lainnya dengan tingkat akurasi 99,64%.

Sistem E-nose terdiri dari empat komponen utama yaitu larik sensor kimia, sistem headspace, akuisisi data dan sistem pengenalan pola yang bertujuan untuk mendeteksi dan membedakan senyawa volatil/bau (Triyana et al., 2015). Senyawa volatil/bau mengakibatkan perbedaan tegangan pada permukaan sensor yang menghasilkan sinyal listrik yang berbeda-beda yang menampilkan output digital. Data yang dihasilkan oleh *E-nose* masih

berbentuk data multivarian sehingga diperlukan pengolahan data menggunakan *Linear Discriminant Analysis* (LDA) agar dihasilkan diskriminasi data yang lebih jelas. Metode analisis LDA memberikan akurasi prediksi yang unggul, sensitivitas dan spesifisitas yang baik. Menurut Suarez-Cuartin *et al.* (2018) nilai akurasi validasi internal digunakan untuk menentukan nilai pencapaian tingkat diskriminasi sampel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi *E-nose* untuk mendeteksi penyakit busuk pangkal batang yang disebabkan oleh *Ganoderma boninense*.

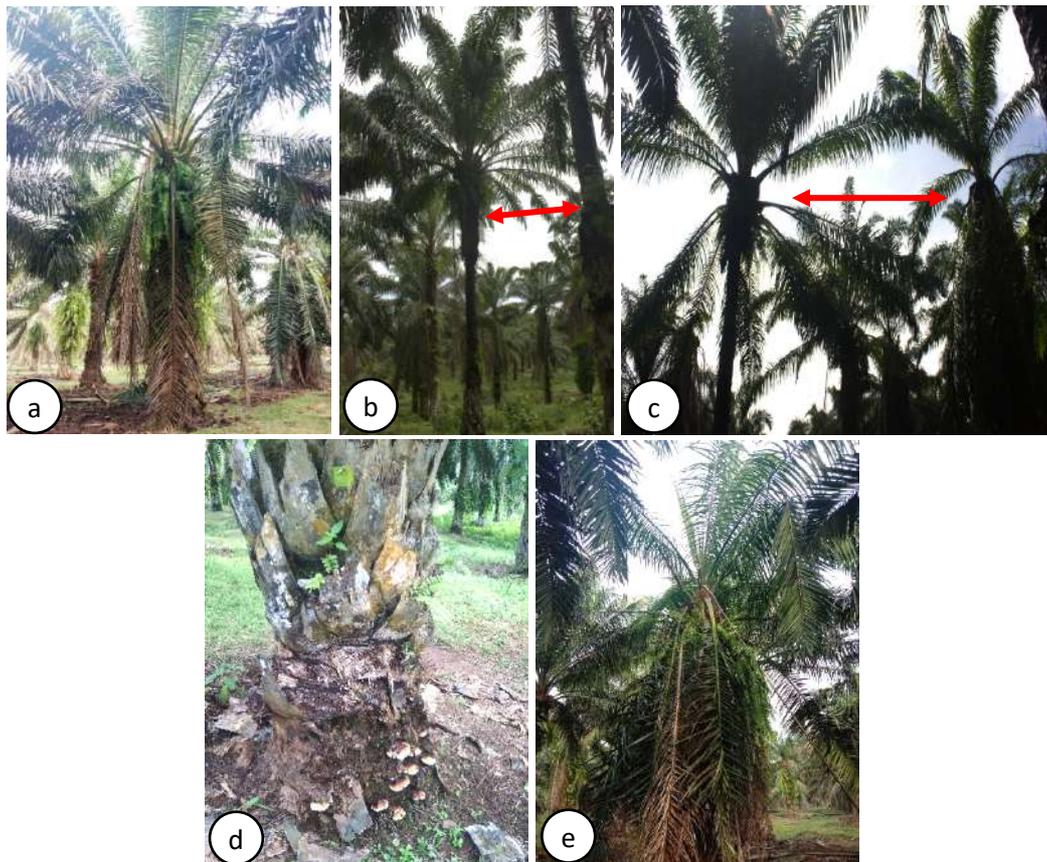
Bahan dan Metode

Bahan

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri Indonesia (PPBBI), Bogor. Bahan penelitian adalah tanaman kelapa sawit yang di kategorikan sehat dengan morfologi daun hijau dan tidak dijumpai daun tombak serta tubuh buah *Ganoderma* (Gambar 1a), sakit ringan dengan

morfologi pohon kelapa sawit terlihat sehat namun terdapat daun tombak (Gambar 1b), sakit sedang dengan morfologi terdapat daun tombak minimal 2 pelapah dan berada di dekat tanaman sakit berat (Gambar 1c), dan sakit berat dengan morfologi terdapat minimal 2 daun tombak, daun klorosis serta dijumpai tubuh buah *Ganoderma* sp. pada pangkal batang (Gambar 1d-e). Perangkat *E-nose* yang digunakan adalah *Electronic Nose* 118 dengan 8 sensor TGS (Tabel 1) dengan skema kerja seperti disampaikan dalam Gambar 2.

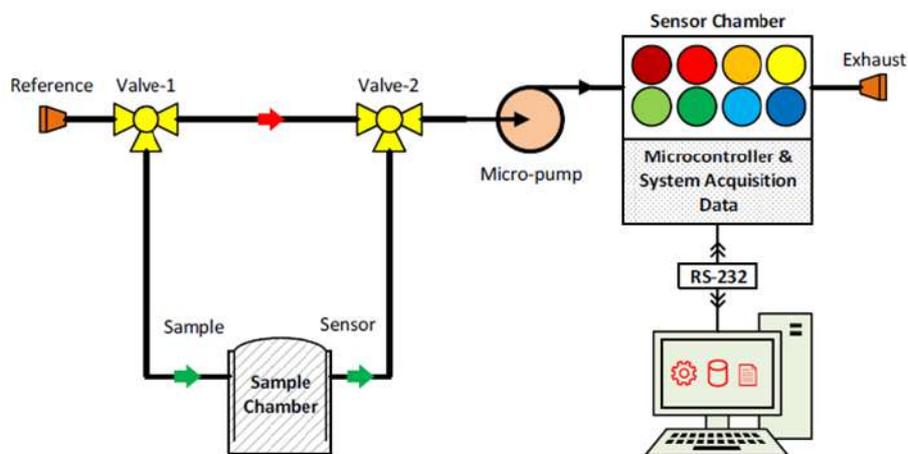
Sistem *Electronic nose* tersebut terdiri dari sistem *sampling* yang menggunakan dua buah *valve*. Aliran udara terdiri dari tiga fase yaitu fase *delay*, *sampling* dan *purging*. Saat fase *delay* dan *purging*, udara dilewatkan dari *reference* menuju ruang sensor. Saat fase *sampling*, udara dari *reference* akan dilewatkan ke dalam ruang sampel dan kemudian bercampur dengan aroma sampel, dan selanjutnya akan membawa aroma sampel menuju ruang sensor.



Gambar 1. Tanaman kelapa sawit dengan kategori sehat (a), sakit ringan (b), sakit sedang (c), sakit berat (d-e)
Figure 1. Oil palm plants with healthy (a), mild disease (b), moderate disease (c), severe disease (d-e) category

Tabel 1. Target gas masing-masing sensor TGS yang terdapat dalam *Electronic Nose 118* (www.figarosensor.com)
 Table 1. The gas target for each TGS sensor contained in *Electronic Nose 118*

Sensor TGS TGS Sensor	Target gas Gas target
813	metana, propana, dan butana
822	metana, karbon monoksida, isobutane, n-hexana, etanol, dan aston
826	amonia
832	klorofluorokarbon
2600	hidrogen dan karbon monoksida
2603	amina dan sulfur
2612	metana, propana, butana alkohol, karbon oksida, uap pelarut
2620	



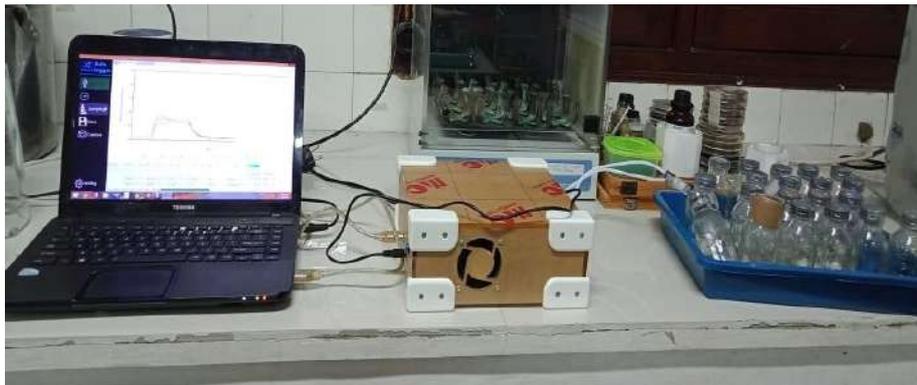
Gambar 2. Skema kerja *Electronic Nose 118*
 Figure 2. *Electronic Nose 118* working scheme

Preparasi sampel

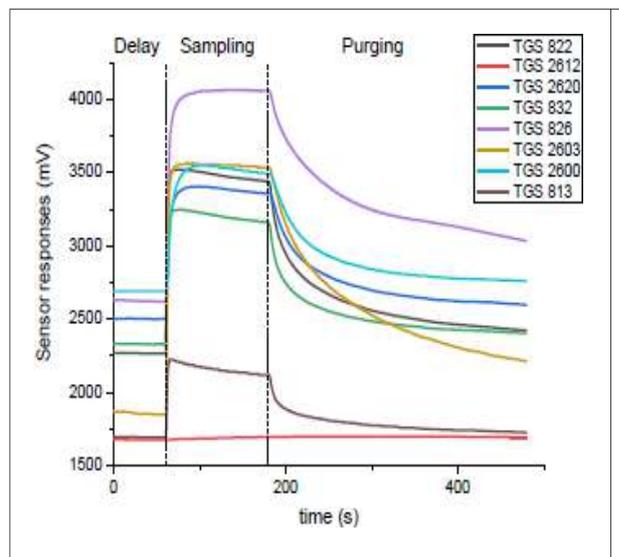
Sampel tanah, batang, dan daun tanaman kelapa sawit sehat dan yang terserang *Ganoderma* sp. (kategori sakit) dimasukkan ke dalam botol kaca. Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengambilan data adalah stabilisasi sensor selama 30 menit hingga 60 menit untuk mencapai suhu kerja sensor dan kestabilan dengan udara lingkungan dan optimalisasi waktu pengujian. Waktu pengujian *Electronic Nose 118* diatur sebagai berikut: persiapan (*delay*) selama 30 detik, sampling 6 menit, dan pembersihan (*purging*) selama 120 detik. Jumlah data yang digunakan 112 data yang terdiri dari 4 bagian tanaman (tanah, akar, batang dan daun), 4 kategori tanaman yaitu 1 kategori sehat, 3 kategori sakit (ringan, sedang dan parah) dengan masing-masing 7 ulangan.

Analisis data

Karakteristik respons sinyal *E-nose* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4 respons sinyal *E-nose* berupa data *delay*, *sampling*, dan *purging*. Respons sinyal berupa data *delay*, *sampling*, dan *purging* untuk masing-masing sampel akan diekstrak ke dalam nilai *mean* atau rata-rata menggunakan ekstraksi ciri. Dalam penelitian ini, radar plot digunakan untuk melihat respons *E-nose* terhadap sampel. Hasil ekstraksi ciri dianalisis menggunakan sistem pengenalan pola *Linier Discriminant Analysis* (LDA) dan bahasa pemrograman R. LDA merupakan sistem pengenalan pola terbimbing (*supervised*) yang menghasilkan plot data terpisah yang terdiri dari sumbu berbeda. Dari metode LDA ini akan diperoleh nilai parameter-parameter terukur yakni akurasi, sensitivitas, dan spesifikasi sensor membaca input.



Gambar 3. Perangkat *electronic nose* 118
Figure 3. *Electronic nose* 118 device



Gambar 4. Karakteristik respons sinyal elektronik nose 118
Figure 4. *Electronic nose* 118 signal response characteristics

Hasil dan Pembahasan

Sinyal respons *E-nose* dihasilkan dari delapan sensor gas yang menyusun *Electronic Nose* 118 (Gambar 5). Setiap kurva mewakili variasi dalam konduktivitas masing-masing sensor terhadap waktu. Plot radar, digunakan sebagai metode untuk menampilkan data dan melihat perbedaan pola antara berbagai jenis sampel (Haddi *et al.*, 2011). Respons sensor berdasarkan senyawa yang dihasilkan dari masing-masing sampel. Profil senyawa organik rata-rata (terpusat dan diskalakan) diperoleh dari analisis *Electronic Nose* 118 untuk masing-masing sampel tanaman (akar, batang, daun, dan tanah). Variabilitas profil senyawa yang

direkam oleh masing-masing sensor *Electronic Nose* 118 untuk sampel yang diuji terlihat pada Gambar 5a-d. Variabilitas ini dikaitkan dengan perbedaan gas yang dihasilkan dari kategori tanaman sehat dan yang sakit (ringan, sedang dan berat) untuk mengkonfirmasi hipotesis ini maka perlu mengetahui perbedaan pola LDA yang ditangkap oleh *Electronic Nose* 118. Nilai akurasi *E-nose* 118 dalam membedakan infeksi serangan *Ganoderma* pada beberapa macam sampel bervariasi untuk data validasi internal antara 29,13% - 89,18%, validasi data pelatihan antara 25%-95% dan validasi data pelatihan antara 62,07%-94,59%. Nilai akurasi tertinggi pada sampel batang yang diikuti sampel akar.

Tabel 2. Nilai akurasi electronic nose pada berbagai sampel pengujian
 Table 2. Electronic nose accuracy values on various test sampels

Jenis sampel <i>Samples</i>	Data validasi internal/ <i>Internal data validation</i>	Validasi data testing/ <i>Data testing validation</i>	Validasi data training/ <i>Data training validation</i>
Akar/ <i>Root</i>	85,57%	76,92%	89,66%
Batang/ <i>Trunk</i>	89,18%	95,65%	94,59%
Daun/ <i>Leaves</i>	29,13%	50,00%	62,07%
Tanah/ <i>Soil</i>	37,71%	25,00%	67,74%

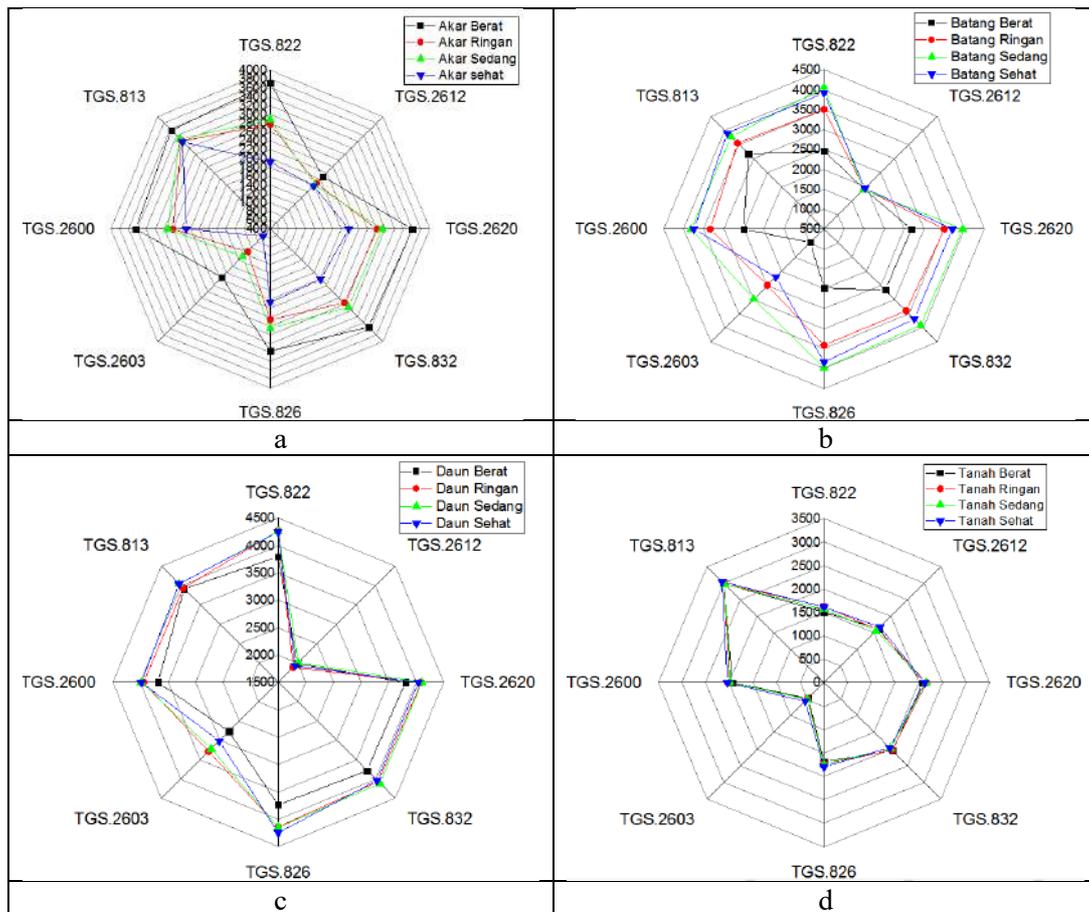
Analisis infeksi Ganoderma sp. pada tanaman kelapa sawit

Gambar 5a menunjukkan respons sensor-sensor yang menyusun *Electronic Nose 118* terhadap tingkat serangan penyakit BPB pada tanaman kelapa sawit khususnya dari sampel akar. Terlihat bahwa respons sensor dari *Electronic Nose 118* pada kategori tanaman sehat, sakit ringan, sakit sedang, dan sakit berat berbeda. Respons terbesar berada pada tingkat serangan penyakit berat dan respons terkecil berada pada kategori sehat. Untuk tingkat serangan *Ganoderma sp.* kategori ringan dan sedang, terlihat sangat kecil perbedaannya. Hasil ini menunjukkan bahwa akar merupakan sampel yang dapat digunakan untuk analisis senyawa menggunakan *Electronic Nose 118*. Gambar 5b merupakan tampilan respons sensor-sensor *Electronic Nose 118* untuk sampel jaringan batang tanaman kelapa sawit. Hasil yang diperoleh menunjukkan perbedaan yang jelas khususnya pada kategori sakit berat. Kategori yang lain seperti sehat, sakit ringan dan sakit sedang hanya memiliki sedikit perbedaan. Gambar 5c menunjukkan respons sensor-sensor *Electronic Nose 118* untuk sampel daun tanaman kelapa sawit. Hasil yang diperoleh hanya menunjukkan perbedaan terhadap kategori serangan berat saja, sedangkan ketiga kategori lainnya memiliki respons yang hampir sama. Hal ini karena tidak terdeteksinya senyawa organik yang terbentuk sebagai respons infeksi *Ganoderma sp.* di daun yang disebabkan belum terjadinya translokasi senyawa ke bagian daun karena jarak dari akar tempat terjadinya infeksi *Ganoderma sp* cukup jauh.

Dari tiga jenis sampel ini ditunjukkan bahwa akar merupakan jenis sampel yang lebih baik dibandingkan dengan batang dan daun. Hal ini disebabkan akar merupakan jaringan tanaman tempat terjadinya infeksi *Ganoderma sp.* Infeksi *Ganoderma sp.* pada kelapa sawit diawali dengan

kolonisasi hifa intraseluler yang tumbuh cepat dan lebat pada jaringan korteks kemudian diikuti produksi metabolit sekunder dan enzim-enzim ligninolitik (Gorea, 2016). Beberapa senyawa yang dihasilkan tanaman akibat adanya infeksi *Ganoderma sp.* seperti jasmonic acid, fatty acid dll. Menurut Nusaibah et al. (2016) pada akar bibit kelapa sawit yang terinfeksi *Ganoderma sp.* menghasilkan senyawa aromatik heterosiklik seperti benzo [h] quinoline, pyridin, pyrimidine. Sebaliknya batang bukan merupakan awal terjadinya infeksi *Ganoderma sp.* walaupun kolonisasi hifa *Ganoderma sp.* pada kondisi serangan yang berat juga menyerang batang tanaman.

Berdasarkan hasil analisa *headspace solid-phase microextraction* (HS-SPME) dengan kombinasi analisa GC-MS pada batang kelapa sawit yang terkolonisasi *Ganoderma sp.* ditemukan senyawa aliphatik delapan atom karbon, 1-octen-3-ol (69.43%) and 3-octanone (10.34%) (Hailini et al., 2020). Gambar 5d merupakan respons sensor-sensor *Electronic Nose 118* untuk sampel tanah di sekitar tanaman kelapa sawit. Hasil yang didapatkan tidak menunjukkan perbedaan, walaupun tanah tersebut berasal dari lingkungan di sekitar tanaman yang terkategori sehat, sakit ringan, sakit sedang, dan sakit berat. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh rendahnya aktivitas degradasi lignin oleh jamur *Ganoderma sp.* di tanah yang disebabkan kandungannya yang rendah sehingga sensor tidak mendeteksi senyawa hasil aktivitas *Ganoderma*. Datta et al. (2017) mengemukakan bahwa lignin merupakan komponen utama bahan organik tanah yang sulit didegradasi. Oksidasi lignin tanah melalui CuO menghasilkan senyawa fenolik vanillyl, syringil, cinamyl yang menggambarkan keberadaan lignin. Sedangkan rasio asam karboksilat dan aldehid menggambarkan besarnya dekomposisi.

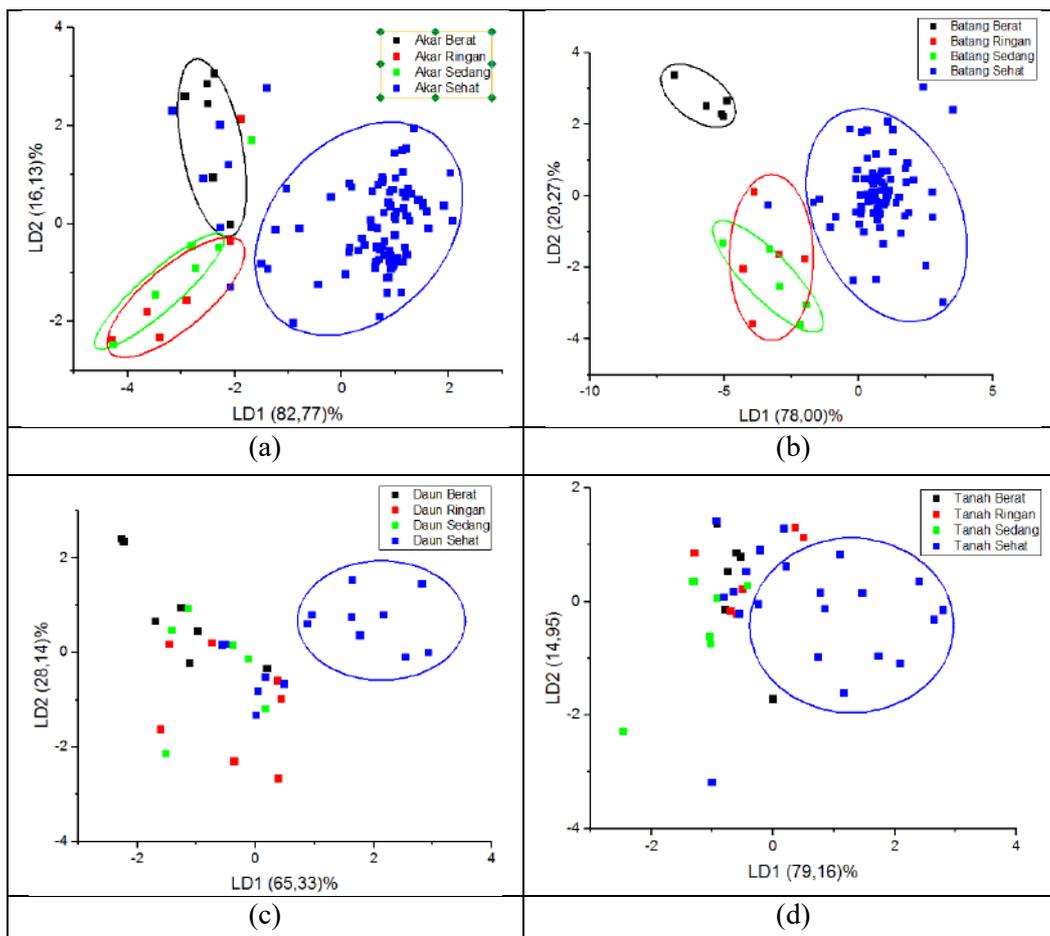


Gambar 5. Respons sensor *Electronic Nose* 118 terhadap tingkat serangan penyakit Busuk Pangkal Batang pada sampel akar (A), batang (B), daun (C), dan tanah (D) tanaman kelapa sawit
 Figure 5. The response of the *Electronic Nose* 118 sensor to the level of Basal Stem Rot diseases attack on samples of roots (A), stems (B), leaves (C), and soil (D) of oil palm plants.

Analisis Linear Discriminant Analysis (LDA)

Untuk memverifikasi kemampuan *E-nose* dalam mengklasifikasikan sampel tanaman kelapa sawit menurut kategori tingkat serangan sakit dan sehat, diterapkan suatu sistem pengenalan pola LDA. Hasil analisis *E-nose* yang dianalisis menggunakan sistem pengenalan pola LDA terhadap sampel akar, batang, daun tanaman kelapa sawit dan tanah di sekitar tanaman kelapa sawit disajikan pada Gambar 6. Hasil yang diperoleh untuk set data pelatihan pada Gambar 6a menunjukkan bahwa *Electronic Nose* 118 dapat membedakan kategori tingkat serangan pada akar dengan akurasi sebesar 89,66% yang ditetapkan pada evaluasi validasi internal. Model

LDA pada Gambar 6a memiliki dua fungsi diskriminan yang signifikan menjelaskan 98,90% dari variabilitas data asli. Model ini memungkinkan diperolehnya lebih dari 95% nilai sensitivitas dan spesifisitas pada kategori sehat dan sakit sedang, yang mencerminkan prediksi kinerja rata-rata untuk mencapai validasi internal. Nilai akurasi data validasi internal *Electronic Nose* 118 terhadap tingkat serangan penyakit BPB pada bagian akar tanaman kelapa sawit adalah sebesar 85,57%. Hasil yang diperoleh ini cukup baik, akan tetapi karena sensitivitas terhadap kategori serangan ringan dan berat yang cukup rendah mengakibatkan hanya 85,57% data yang terklasifikasi dengan benar.



Gambar 6. Hasil plot *Linear Discriminant Analysis* (LDA) tingkat serangan penyakit Busuk Pangkal Batang pada sampel akar (a), batang (b), daun (c), dan tanah (d).

Figure 6. Results of *Linear Discriminat Analysis* (LDA) plots of Basal Stem Rot diseases attack levels on root (a), stems (b), leaves (c), and soil (d)

Gambar 6b menunjukkan model LDA terhadap tingkat serangan penyakit BPB pada batang tanaman kelapa sawit. Hasil yang diperoleh untuk data pelatihan menunjukkan bahwa *Electronic Nose* 118 dapat membedakan kategori tingkat serangan dengan akurasi sebesar 94,59% menggunakan model LDA yang ditetapkan pada evaluasi validasi internal. Model LDA pada Gambar 6b memiliki dua fungsi diskriminan yang signifikan menjelaskan 98,27% dari variabilitas data asli. Model ini memungkinkan diperolehnya lebih dari 95% nilai sensitivitas pada kategori sehat dan sakit berat, sedangkan lebih dari 95% untuk spesifisitas pada semua kategori tingkat serangan. Nilai sensitivitas dan spesifisitas ini mencerminkan prediksi kinerja rata-rata untuk mencapai validasi internal. Nilai akurasi data validasi internal *Electronic Nose* 118 terhadap tingkat serangan penyakit BPB pada bagian batang tanaman kelapa sawit adalah sebesar 86,39%.

Hasil yang diperoleh ini cukup memuaskan, akan tetapi karena sensitivitas terhadap kategori serangan sakit ringan dan sakit berat yang cukup rendah mengakibatkan hanya 86,39% data yang terklasifikasi dengan benar.

Gambar 6c menunjukkan model LDA terhadap tingkat serangan BPB pada daun tanaman kelapa sawit. Hasil yang diperoleh untuk set data pelatihan menunjukkan bahwa *Electronic Nose* 118 dapat membedakan kategori tingkat serangan pada daun dengan akurasi sebesar 62,07% menggunakan model LDA yang ditetapkan pada evaluasi validasi internal. Model LDA pada Gambar 6c memiliki dua fungsi diskriminan yang signifikan menjelaskan 93,47% dari variabilitas data asli. Model ini memungkinkan diperolehnya kurang dari 75% nilai sensitivitas pada semua kategori serangan, sedangkan lebih dari 75% untuk spesifisitas pada semua kategori tingkat serangan. Nilai sensitivitas

dan spesifisitas ini mencerminkan prediksi kinerja rata-rata untuk mencapai validasi internal. Nilai akurasi data validasi internal *Electronic Nose* 118 terhadap tingkat serangan BPB pada bagian daun tanaman kelapa sawit adalah sebesar 29,13%. Hasil yang diperoleh ini tidak memuaskan, karena nilai sensitivitas terhadap semua kategori serangan cukup rendah. Dari hasil ini mengakibatkan hanya 29,13% data saja yang terklasifikasi dengan benar.

Gambar 6d menunjukkan model LDA terhadap tingkat serangan penyakit BPB pada sampel tanah di sekitar tanaman kelapa sawit. Hasil yang diperoleh untuk data pelatihan menunjukkan bahwa *Electronic Nose* 118 membedakan kategori tingkat serangan pada tanah dengan akurasi sebesar 67,74% menggunakan model LDA yang ditetapkan pada evaluasi validasi internal. Model LDA pada Gambar 6d memiliki dua fungsi diskriminan yang signifikan menjelaskan 94,11% dari variabilitas data asli. Model ini memungkinkan diperolehnya lebih dari 90% nilai sensitivitas pada kategori sehat, sedangkan lebih dari 80% untuk spesifisitas ada semua kategori tingkat serangan. Nilai sensitivitas dan spesifisitas ini mencerminkan prediksi kinerja rata-rata untuk mencapai validasi internal. Nilai akurasi data validasi internal *Electronic Nose* 118 terhadap tingkat serangan penyakit BPB pada tanah yang berada di sekitar tanaman kelapa sawit adalah sebesar 37,71%. Hasil yang diperoleh ini tidak memuaskan, karena nilai sensitivitas terhadap kategori serangan sakit ringan dan sakit berat cukup rendah, dan itu mengakibatkan hanya 37,71% data saja yang terklasifikasi dengan benar.

Keseluruhan hasil yang didapatkan menunjukkan potensi penggunaan *Electronic Nose* 118 sebagai alat analisis praktis untuk mendeteksi penyakit BPB dengan benar. Akan tetapi, *Electronic Nose* 118 hanya mampu membedakan tingkat serangan sakit dan sehat saja. Untuk kategori sakit ringan, sakit sedang, dan sakit berat masih mengalami *overlapping* dan nilai akurasi validasi internalnya juga rendah.

Kesimpulan

Electronic Nose 118 dapat mendeteksi serangan penyakit BPB pada tingkat infeksi parah. Berdasarkan hasil analisis LDA, sampel batang menghasilkan nilai akurasi tertinggi, sedangkan untuk sensitivitas dan nilai spesifisitas tertinggi diperoleh dari sampel akar dan batang.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dilaksanakan dengan dukungan Badan Pengelola Dana Perkebunan-Kelapa Sawit

tahun 2018. Kami haturkan juga terima kasih kepada seluruh Komite Riset BPDP-KS khususnya Prof. Didiek Hadjar Gonadi dan Dr. Arief Akbar atas saran dan masukannya selama kegiatan riset berlangsung.

Daftar Pustaka

- Abdullah AH, AH Adom, AYM Shakaff, MN Ahmad, A Zakaria, FSA Saad & LM Kamarudin (2012). *Hand-held Electronic Nose sensor selection system for Basal Stamp Rot (BPB) disease detection. Proceedings - 3rd International Conference on Intelligent Systems Modelling and Simulation, ISMS 2012*, 737-742. <https://doi.org/10.1109/ISMS.2012.139>
- Bahari MNA, NM Sakeh, SNA Abdullah, R R Ramli & R Khadkhodaei (2018). *Transcriptome profiling at early infection of Elaeis guineensis by Ganoderma boninense provides novel insight on fungal transition from biotrophic to necrotrophic phase. BMC Plant Biology*. 18 (377), doi.org/10.1186/s12870-018-1594-9
- Cellini A, E Biondi, G Buriani, B Farneti, M T Rodriguez-Estrada, I Braschi, S Savioli, S Blasioli, L Rocchi, F Biasoli, G Costa & F Spinell (2015). *Characterization of volatile organic compounds emitted by kiwifruit plants infected with Pseudomonas syringae pv. actinidiae and their effects on host defences. Trees* 30(3), DOI:10.3390/s17112596
- Chong KP, J Dayou & A Alexander (2017). *Detection and control of Ganoderma boninense in oil palm crop*. Springer International Publishing, Switzerland. DOI 10.1007/978-3-319-54969-9
- Datta R, A Kelkar, D Baraniya, A Molaci, A Moulick, R S Meena & P Formanek (2017) *Enzymatic degradation of lignin in soil: A Review. Sustainability* 9(7), 1163
- Fowotade SA, NA Yusof, J Abdullah, Y Sulaiman & SF Abd Rahman (2019). *Enhanced electrochemical sensing of secondary metabolites in oil palms for early detection of Ganoderma boninense based on novel nanoparticle-chitosan functionalized multi-walled carbon nanotube platform*. *Sensing and Bio-Sensing Research* 23, 100274. <https://doi.org/10.1016/j.sBPB.2019.100274>
- Gorea EA (2017). *Microscopic analysis of oil palm (Elaeis guineensis) infection by Ganoderma boninense*. 79. [Thesis] School of Agriculture

- and Food Sciences, The University of Queensland
- Govender NT, M Mahmood, IA Seman & MY Wong (2017). The phenylpropanoid pathway and lignin in defense against *Ganoderma boninense* colonized root tissue in oil palm (*Elaeis guineensis*, Jacq.). *Front Plant Sci.* 8:1395. doi: 10.3389/fpls.2017.01395
- Haddi Z, A Amari, H Alami, N El Bari, E Llobet & B Bouchikhi (2011). A portable electronic nose system for the identification of cannabis-based drugs. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 155(2), 456–463. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2010.12.047>
- Hailini ZHN, IA Seman, MAM Noor & SA SMS Aripin (2020). A Feasibility study of volatile organic compounds profiling of oil palm-Ganoderma infected wood basal stem rot detection. *Malaysian Journal of Analytical Science* 24(4), 599-614.
- Hilmi NHZ, AS Idris & MNM Azmil (2019). Headspace solid-phase microextraction gas chromatography–mass spectrometry for the detection of volatile organic compounds released from *Ganoderma boninense* and oil palm wood. *Forest Pathology* 49(4), e12531. doi:10.1111/efp.12531
- Hushiarian R, NA Yusof & SW Dutse (2013). Detection and control of *Ganoderma boninense*: strategies and perspective. *Springerplus* 2, 555
- Kresnawaty I, A S Mulyatni, DD Eris, H T, Prakoso, Tri-Panji, K Tri & H Widiastuti (2020) Electronic nose for early detection of basal stem rot caused ganoderma in oil palm. *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science* 468. doi:10.1088/1755-1315/468/1/012029
- Mali T, M Mäki, H Hellén, J Heinonsalo, J Bäck & T Lundell (2019). Decomposition of spruce wood and release of volatile organic compounds depend on decay type, fungal interactions and enzyme production patterns. *FEMS Microbiol Ecol* 95(9).1-13.
- Markom MA, AYM Shakaff, AH Adom, MN Ahmad, W Hidayat, AH Abdullah & NA Fikri (2009). Intelligent electronic nose system for basal stem rot disease detection. *Computers and Electronics in Agriculture* 66(2), 140–146. doi:10.1016/j.compag.2009.01.006
- Mandala, P, M K, Babu, M Jayanthi & V Satyavani (2014). PCR based early detection of *Ganoderma sp.* causing basal stem rot of oil palm in India. *Journal of Plantation Crops* 42(3),392-394.
- Nusaibah SA, AS Idris, SN Akmar & M Sariah (2013). Determination of ganoderma volatile organic compounds in oil palm. *MPOB information series* ISSN 1511-7871. Selangor, Malaysia.
- Nusaibah SA, SNA Akmar, AS Idris, M Sariah & Z Mohamad Pauzi (2016). Involvement of metabolite in early defense mechanism of oil palm (*Elaeis Guineensis* Jacq) against ganoderma diseases. *Plant Physiology and Biochemistry* 109,156-165.
- Suarez-Cuartin G, J Giner, JL Merino, A Rodrigo-Troyano, A Feliu, L Perea & O Sibila (2018). Identification of *Pseudomonas aeruginosa* and airway bacterial colonization by an electronic nose in bronchiectasis. *Respiratory Medicine* 136, 111–117. doi: 10.1016/j.rmed.2018.02.008
- Suharyanto, D D Eris, H T Prakoso, A H Saragih & TW Darmono (2012). Perangkat serologi untuk deteksi dini infeksi *Ganoderma sp.* pada Kelapa Sawit. *Menara Perkebunan* 80(1),8-16.
- Triyana K, M Taukid Subekti, P Aji, S Nur Hidayat & A Rohman (2015). Development of electronic nose with low-cost dynamic headspace for classifying vegetable oils and animal Fats. *Appl Mech Mater* 771,50-54 doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.771.50
- Wang Q, L Li, W Ding, D Zhang, J Wang, K Reed & B Zhang (2019). Adulterant identification in mutton by electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry. *Food Control* 98, 431–438. doi:10.1016/j.foodcont.2018.11.038
- Zhou B & J Wang (2011). Use of electronic nose technology for identifying rice infestation by *Nilaparvata lugens*. *Sensors and Actuators B Chemical* 160(1), 15–21.