

DOI: doi.org/10.21009/03.1301.FA35

IDENTIFIKASI TINGKAT POPULASI JAMUR *TRICHODERMA SP.* PADA BAHAN ORGANIK MENGUNAKAN ELECTRONIC NOSE (E-NOSE)

Muhamad Rizki^{1,a)}, Bambang Heru Iswanto^{1,b)}, Agustin Sri Mulyatni²⁾¹Program Studi Fisika, FMIPA Universitas Negeri Jakarta, Jl. Rawamangun Muka No. 01, Rawamangun 13220, Indonesia.²Pusat Penelitian Kelapa Sawit Unit Bogor (PPKSUB), Jl. Taman Kencana No. 01, Bogor, 16128, Indonesia.Email: ^{a)}rizki.mhd2212@gmail.com, ^{b)}bhi@unj.ac.id

Abstrak

Pengendalian hama dan penyakit tanaman dengan pestisida sintetik menimbulkan kekhawatiran kesehatan dan lingkungan. Sebagai alternatif ramah lingkungan, pengendalian hayati menggunakan biofungisida seperti *Trichoderma sp.* menjadi penting. Produksi biofungisida yang efektif memerlukan ketepatan dalam menentukan tingkat populasi *Trichoderma sp.* Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi tingkat populasi *Trichoderma sp.* (10^5 , 10^6 , dan 10^7 CFU/ml) berdasarkan data aroma dari *Electronic Nose* (E-nose). Eksperimen dimulai dengan peremajaan sampel jamur, diikuti inokulasi pada tiga bahan organik (ampas tebu, gambut, dedak). Data sensor gas dikumpulkan menggunakan E-nose setelah inkubasi 7 hari dalam botol kaca. Ekstraksi fitur statistik dan domain waktu dilakukan untuk identifikasi populasi jamur. Analisis *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Linear Discriminant Analysis* (LDA) menunjukkan respon E-nose mampu membedakan tingkat populasi *Trichoderma sp.* berdasarkan jenis bahan organik. Pada tiga jenis bahan organik, PCA menunjukkan distribusi PC1 sebesar 79,76% dan PC2 sebesar 13,49%, sedangkan LDA menunjukkan distribusi LD1 sebesar 62,54% dan LD2 sebesar 28,22%. Pada tingkat populasi di bahan organik ampas tebu, PCA menunjukkan distribusi PC1 sebesar 79,77% dan PC2 sebesar 13,49%, serta LDA pada LD1 sebesar 60,93% dan LD2 sebesar 28,58%.

Kata-kata kunci: *Electronic Nose*, Tingkat Populasi, *Trichoderma sp.*, Ekstraksi Fitur, *Principal Component Analysis* (PCA), *Linear Discriminant Analysis* (LDA).

Abstract

The use of synthetic pesticides for pest and disease control in crops raises significant health and environmental concerns. As an eco-friendly alternative, biological control using biofungicides such as *Trichoderma sp.* has become increasingly important. Effective biofungicide production necessitates precise determination of *Trichoderma sp.* population levels. This study aims to identify *Trichoderma sp.* population levels (10^5 , 10^6 , and 10^7 CFU/ml) based on aroma data from an *Electronic Nose* (E-nose). The experiment began with the rejuvenation of *Trichoderma sp.* samples, followed by inoculation on three organic materials (sugarcane bagasse, peat, and bran). Gas sensor data were collected using the E-nose after a 7-day incubation period in glass bottles. Feature extraction, using statistical and time domain methods, was performed to identify the fungal population. *Principal Component Analysis* (PCA) and *Linear Discriminant Analysis* (LDA) demonstrated that the E-nose sensor responses effectively differentiated *Trichoderma sp.* population levels based on the type of organic material. For the three organic materials, PCA revealed that PC1 accounted for 79.76% and PC2 for 13.49% of the variance, while LDA showed LD1 accounted for 62.54% and LD2 for 28.22% of the variance. Specifically, for the sugarcane bagasse, PCA indicated PC1 at 79.77% and PC2 at 13.49%, with LDA showing LD1 at 60.93% and LD2 at 28.58%.

Keywords: Electronic Nose, Population Levels, *Trichoderma sp.*, Feature Extraction, Principal Component Analysis (PCA), Linear Discriminant Analysis (LDA)

PENDAHULUAN

Upaya pengendalian terhadap hama dan penyakit tanaman masih bergantung pada penggunaan pestisida sebagai metode utama. Namun, penggunaan senyawa kimia memiliki risiko racun bagi manusia, ternak, serangga penyerbuk, dan lingkungan. Selain itu, penggunaan yang tidak bijaksana dapat menyebabkan resistensi pada hama dan penyakit serta menciptakan patogen yang resisten terhadap pestisida sintetik yang digunakan [1]. Sebagai alternatif, pengendalian hayati menawarkan solusi yang efektif dan ramah lingkungan. Salah satu metode pengendalian hayati adalah dengan menggunakan agen hayati seperti virus, jamur, atau bakteri. Jamur antagonis, misalnya, dapat berperan sebagai pupuk yang bermanfaat dalam pengendalian hayati. Jamur ini memiliki laju reproduksi yang tinggi, siklus hidup yang cepat, dan spora yang mampu bertahan lama di alam, bahkan dalam kondisi ekstrem [2]. Namun, salah satu tantangan dalam pembuatan biofungisida dengan menggunakan jamur *Trichoderma sp.* adalah kebutuhan akan ketepatan dalam variasi tingkat populasi jamur tersebut. Tingkat populasi jamur *Trichoderma sp.* yang optimal sangat penting untuk efektivitas biofungisida. Jumlah populasi jamur yang tidak tepat dapat menyebabkan ketidakefektifan dalam mengendalikan organisme pengganggu tanaman [3]. Penelitian terdahulu menunjukkan pentingnya tingkat populasi jamur dalam efektivitas pengendalian penyakit tanaman [4][5]. Namun, penghitungan tingkat populasi jamur secara tradisional masih menghadapi masalah dalam hal waktu dan efisiensi. Metode-metode seperti *Total Plate Counting* (TPC) dan penghitungan dengan *haemocytometer* telah digunakan, namun prosesnya memakan waktu dan seringkali tidak efisien [6][7].

Perkembangan teknologi dalam analisis aroma menggunakan *Electronic Nose* (E-nose) telah menghasilkan kemajuan yang signifikan. E-nose adalah alat yang meniru cara kerja penciuman manusia secara otomatis, telah sukses digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk identifikasi bahan organik dan zat kimia [8]. Penelitian terdahulu telah menunjukkan keefektifan E-nose dalam mengidentifikasi dan mengklasifikasikan bahan organik berdasarkan pola aroma. Misalnya, penelitian oleh [9] mengembangkan metode untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan konsentrasi pestisida pada sampel buah apel menggunakan E-nose. Sampel apel yang digunakan membawa berbagai konsentrasi dua pestisida, yaitu *cypermethrin* (0.2, 1, 2, 3, dan 4 ppm) dan *chlorpyrifos* (1, 2, 4, dan 8 ppm). Data dikumpulkan menggunakan hidung elektronik PEN3 yang dilengkapi dengan 10 sensor *Metal-Oxide Semiconductor* (MOS). Hasil PCA, LDA, dan *Super Vector Machine* (SVM) dikombinasikan dengan respons keluaran sensor untuk merealisasikan visualisasi data *array* sensor MOS. Hasilnya menunjukkan bahwa ketiga algoritma pengenalan pola dapat dengan akurat mengidentifikasi tingkat konsentrasi pestisida dalam sampel apel, dengan algoritma PCA menunjukkan kemampuan klasifikasi terbaik. Demikian pula, penelitian oleh [10] berhasil mengklasifikasikan sampel teh hijau dan teh hitam dengan hasil eksperimen menunjukkan bahwa E-nose dengan metode PCA dapat mengklasifikasikan data sampel teh hijau sebesar 97% dan teh hitam sebesar 100%. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan kemampuan E-nose dalam melakukan tugas klasifikasi dengan baik.

Dalam penelitian ini, diusulkan penggunaan E-nose dengan PCA dan LDA untuk mengidentifikasi tingkat populasi jamur *Trichoderma sp.* berdasarkan pola aroma. Proses ekstraksi fitur dilakukan untuk mendapatkan fitur terbaik yang dapat mengklasifikasikan tingkat populasi jamur *Trichoderma sp.* Ekstraksi fitur yang digunakan dalam penelitian ini adalah fitur statistik dan domain waktu. Pendekatan ini diharapkan dapat mempercepat proses produksi biofungisida, meningkatkan efisiensi dalam pengendalian hama tanaman, serta mengatasi masalah penghitungan populasi jamur yang lambat dan tidak efisien. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat berdampak pada proses *quality control* (QC) produk biofungisida dapat dilakukan dengan lebih efisien, memungkinkan pemantauan yang lebih tepat terhadap kualitas produk dan potensi dampak positifnya dalam pengendalian hama di bidang pertanian.

METODOLOGI

Penelitian ini merupakan *Research and Development* (R&D) yang bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat populasi jamur *Trichoderma sp.* pada bahan organik menggunakan E-nose. Data primer dikumpulkan langsung oleh peneliti dari sampel bahan organik (ampas tebu) di Pusat Penelitian Kelapa Sawit Unit Bogor (PPKS UB). Sebanyak 30 sampel jamur *Trichoderma sp.* diinokulasikan pada bahan organik untuk menghasilkan variasi tingkat populasi (10^5 , 10^6 , dan 10^7 CFU/ml). Populasi jamur *Trichoderma sp.* dihitung dengan alat *haemocytometer* menggunakan rumus berikut [11]:

$$\text{Populasi} = \frac{\text{jumlah sel} \cdot \text{FP} \cdot 10^4}{\text{jumlah kotak yang dihitung}} \text{ CFU/ml} \quad (1)$$

dimana, FP adalah faktor pengenceran.

Sampel kemudian diuapkan menggunakan E-nose untuk mendapatkan data pola aroma. Setelah persiapan sampel, perangkat E-nose dirangkai dan diuji hingga mencapai kondisi *baseline* yang optimal. Proses pengambilan data dilakukan dengan menghubungkan sampel yang berada di dalam botol kaca dengan E-nose. Data direkam menggunakan *data logger* dan dikonversi ke format .csv. Penelitian ini menggunakan E-nose yang dilengkapi dengan 16 sensor tipe *Metal Oxide Semiconductor* (MOS), dengan rincian sebagai berikut:

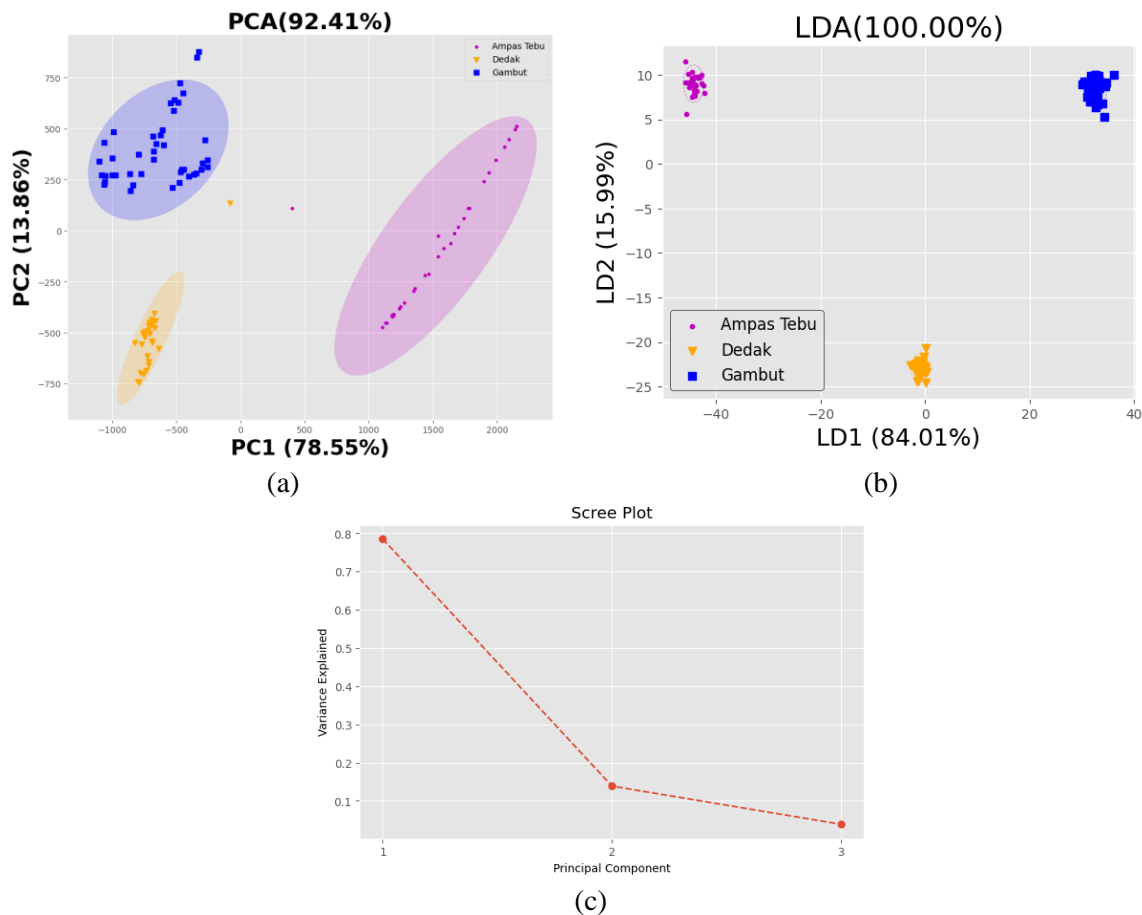
TABEL 1. Jenis sensor gas dan target gasnya (sumber: Pusat Penelitian Kelapa Sawit Unit Bogor)

Jenis Sensor	Gas Target
S1	Amonia
S2	Kontaminan Udara
S3	Kontaminan Udara
S4	Bau dan Kontaminan Udara
S5	Hidrogen
S6	Gas Mudah Terbakar
S7	Hidrogen
S8	Amonia
S9	Metana
S10	Metana dan LPG
S11	Uap Pelarut
S12	Gas Pendingin
S13	Gas Kimia Organik
S14	Gas Mudah Terbakar
S15	Uap Pelarut Organik
S16	Klorofluorokarbon

Kemudian dilakukan ekstraksi fitur statistik dan domain waktu untuk mendapatkan fitur yang paling optimal dalam mengidentifikasi variasi tingkat populasi jamur pada bahan organik. Kemudian, analisis dengan LDA dilakukan untuk memaksimalkan keterpisahan antar kelas pada variasi populasi jamur pada bahan organik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini melibatkan beberapa tahap pra-pemrosesan data, termasuk normalisasi data, pemeriksaan nilai yang kosong, dan ekstraksi fitur. Selanjutnya, data dianalisis menggunakan PCA dan LDA untuk melihat distribusi pola aroma dari data enose. Analisis PCA bertujuan untuk mengidentifikasi komponen utama yang menjelaskan proporsi terbesar dari variasi dalam data, sedangkan LDA digunakan untuk memaksimalkan pemisahan antar kelas berdasarkan pola aroma yang terdeteksi. Selain itu, *scree plot* digunakan untuk memvisualisasikan kontribusi masing-masing komponen utama terhadap total variansi.

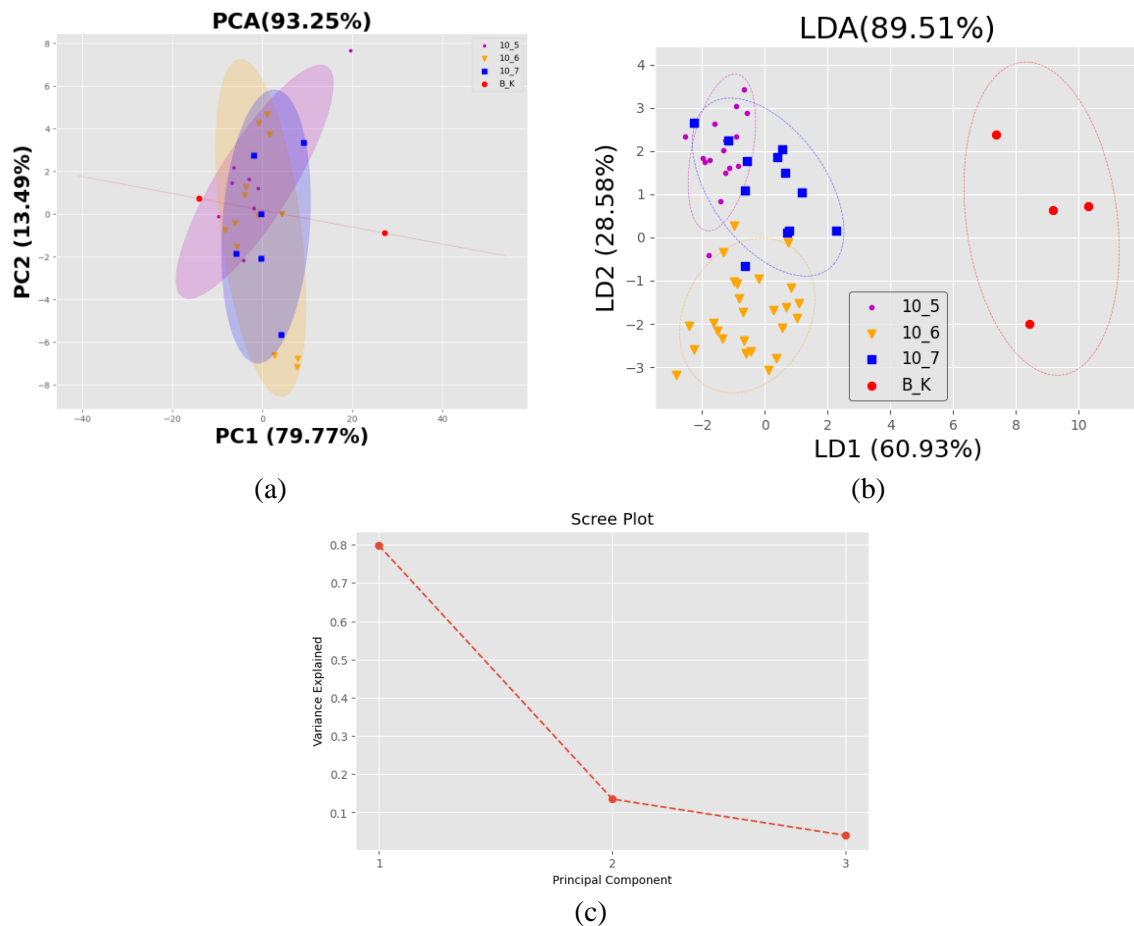


GAMBAR 1. Distribusi data pada 3 bahan organik: (a) Plot PCA; (b) Plot LDA; (c) *scree plot*

Dalam plot PCA di atas, terlihat bahwa dua komponen utama (PC1 dan PC2) menjelaskan 92.41% dari total variansi dalam data, dengan PC1 menjelaskan 78.55% dan PC2 menjelaskan 13.86%. Hasil plot PCA menunjukkan bahwa ketiga kelas bahan organik (Ampas Tebu, Dedak, dan Gambut) terpisah dengan jelas dalam ruang dua dimensi yang dibentuk oleh PC1 dan PC2. Hal ini mengindikasikan bahwa variabel-variabel dalam dataset memberikan kontribusi yang berbeda terhadap variasi dalam setiap kelas, dengan PC1 sebagai komponen yang paling informatif.

Plot LDA menunjukkan bahwa dua komponen linear diskriminan (LD1 dan LD2) mampu menjelaskan 100% dari total variansi, dengan LD1 menjelaskan 84.01% dan LD2 menjelaskan 15.99%. Dalam plot LDA, ketiga kelas terpisah dengan baik dalam ruang dua dimensi yang dibentuk oleh LD1 dan LD2, di mana Ampas Tebu, Dedak, dan Gambut masing-masing membentuk cluster yang terpisah dan tidak tumpang tindih. Ini menunjukkan bahwa LDA sangat efektif dalam memisahkan kelas-kelas bahan organik berdasarkan pola aroma yang terdeteksi oleh enose.

Scree plot menunjukkan bahwa variansi yang dijelaskan oleh komponen utama pertama sangat tinggi, yaitu sekitar 78%. Setelah komponen utama pertama, terdapat penurunan signifikan pada komponen kedua, yang hanya menjelaskan sekitar 13.86% dari total variansi. Komponen ketiga dan seterusnya menjelaskan variansi yang jauh lebih kecil dan cenderung mendatar.



GAMBAR 2. Distribusi data populasi jamur *Trichoderma sp.* pada bahan organik ampas tebu: (a) Plot PCA; (b) Plot LDA; (c) scree plot

Plot PCA menunjukkan bahwa dua komponen utama (PC1 dan PC2) berhasil menjelaskan 93.25% variansi. Komponen utama pertama (PC1) menjelaskan 79.77% dari total variansi, sedangkan komponen utama kedua (PC2) menjelaskan 13.49%. Plot PCA mengindikasikan bahwa data dari kelas 10_5, 10_6, dan 10_7 memiliki tumpang tindih yang signifikan, seperti yang ditunjukkan oleh overlap antar elips yang mewakili distribusi masing-masing kelas. Sementara itu, kelas B_K (kontrol) tampak terpisah dari ketiga kelas lainnya, menunjukkan bahwa pola aroma dari kontrol berbeda secara signifikan dari yang memiliki populasi jamur.

Plot LDA menunjukkan bahwa dua komponen linear diskriminan (LD1 dan LD2) menjelaskan 89.51% variansi data. Komponen diskriminan pertama (LD1) menjelaskan 60.93% variansi, sedangkan komponen diskriminan kedua (LD2) menjelaskan 28.58%. LDA bertujuan untuk memaksimalkan pemisahan antar kelas, dan hasil plot menunjukkan bahwa kelas B_K (kontrol) dapat dipisahkan dengan jelas dari ketiga kelas lainnya, sejalan dengan hasil PCA. Selain itu, terdapat pemisahan yang lebih jelas antara kelas 10_6 dan kelas lainnya dibandingkan dengan hasil PCA, menunjukkan bahwa LDA lebih efektif dalam membedakan kelas berdasarkan pola aroma yang dihasilkan.

Scree plot menunjukkan proporsi variansi yang dijelaskan oleh masing-masing komponen utama. Dari scree plot, terlihat bahwa komponen utama pertama (PC1) memiliki kontribusi yang sangat dominan dalam menjelaskan variansi data, diikuti oleh penurunan tajam pada komponen utama kedua (PC2) dan seterusnya. Hal ini mendukung penggunaan dua komponen utama dalam analisis PCA, karena dua komponen tersebut sudah cukup untuk menangkap sebagian besar variansi dalam data.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Principal Component Analysis (PCA) dan Linear Discriminant Analysis (LDA) efektif dalam mengidentifikasi dan memvisualisasikan pola-pola dalam data enose. Analisis PCA pada 3 bahan organik menunjukkan bahwa dua komponen utama, PC1 dan PC2, dapat menjelaskan 92.41% dan PCA pada populasi jamur *Trichoderma sp.* di bahan organik ampas tebu menjelaskan 93,25% dari total variansi dalam data, dengan PC1 sebagai komponen yang paling informatif.

Sebaliknya, LDA menunjukkan bahwa dua komponen diskriminan, LD1 dan LD2, mampu menjelaskan 100% dari total variansi, dengan pemisahan yang sangat efektif antara kelas-kelas bahan organik (Ampas Tebu, Dedak, dan Gambut). Kelas-kelas tersebut membentuk *cluster* yang terpisah dan tidak tumpang tindih, menunjukkan kemampuan LDA untuk memaksimalkan separasi antar kelas berdasarkan pola aroma. Sedangkan, pada populasi jamur di bahan organik ampas tebu, LDA berhasil menjelaskan 89.51% dari total variansi. Hasil plot menunjukkan bahwa kelas B_K (kontrol) dapat dipisahkan dengan jelas dari ketiga kelas lainnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Saya mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala, karena dengan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan paper ini. Ucapan terima kasih yang tulus saya sampaikan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan bantuan dalam penyusunan paper ini. Saya juga menyampaikan terima kasih yang mendalam kepada orang tua, sahabat-sahabat, teman-teman Fisika, serta pihak Pusat Penelitian Kelapa Sawit Unit Bogor (PPKSUB) yang telah memberikan dukungan dan memfasilitasi penelitian ini. Saya memohon maaf jika terdapat kesalahan dan kekurangan dalam penulisan paper ini.

REFERENSI

- [1] P. Lestari, S. Helina, C. Ginting, dan T. Maryono, "Pemanfaatan Agensia Hayati Untuk Mengendalikan Hama dan Penyakit Jagung Di Desa Rejo Mulyo, Lampung Selatan," Jurnal Pengabdian Fakultas Pertanian Universitas Lampung, vol. 2, no. 1, hal. 68-79, 2023.
- [2] S. Purwantisari, S. Parman, dan H. Sitepu, "Peningkatan Pertumbuhan dan Hasil Panen Kentang Oleh Aplikasi Biofungisida Tricho Powder Produk Lokal Temanggung," BIOMA, vol. 7, no. 4, hal. 28-31, 2018.
- [3] W. Amaria, R. Harni, dan E. Wardiana, "Pengaruh dosis dan frekuensi aplikasi biofungisida *Trichoderma* terhadap infeksi *Rigidiporus microporus* pada benih karet," Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar, vol. 5, no. 2, hal. 49-58, 2018.
- [4] T. T. Nabila, I. A. Nugraheni, R. S. Widiyatmoko, dan W. Probowati, "An in vitro study of the spore densities effect of *Trichoderma sp.p.* As biocontrol agent for fusarium wilt in cayenne pepper (*Capsicum sp.*)," International Journal of Health Science and Technology, vol. 3, no. 1, hal. 117-129, 2021.
- [5] N. Farida, S. Sudiono, T. N. Aeny, K. F. Hidayat, dan R. Suharjo, "Pengaruh Kerapatan Spora *Trichoderma sp...* Dan Konsentrasi Molase Terhadap Intensitas Penyakit Bulai Dan Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea Mays L.*)," Jurnal Agrotek Tropika, vol. 10, no. 1, hal. 35-42, 2022.
- [6] N. Stolze et al., "Automated image analysis with ImageJ of yeast colony forming units from cannabis flowers," Journal of microbiological methods, vol. 164, 105681, 2019.
- [7] R. R. Waghunde et al., "Optical density-a tool for the estimation of spore count of *Trichoderma viride*," Journal of Biopesticides, vol. 3, no. 3, hal. 624, 2010.
- [8] M. Telaumbanua et al., "Tipe chamber dan posisi sensor E-nose untuk mendeteksi aroma biji kopi robusta menggunakan mikrokontroler," Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem, vol. 9, no. 1, hal. 84-95, 2021.

- [9] Y. Tang et al., "A novel elektronik nose for the detection and classification of pesticide residue on apples," RSC advances, vol. 11, no. 34, hal. 20874-20883, 2021.
- [10] I. Inca, T. W. Widodo, dan D. Lelono, "Klasifikasi Teh Hijau dan Teh Hitam Tambi-Pagilaran dengan Metode Principal Component Analysis (PCA) Menggunakan E-nose," IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems), vol. 8, no. 1, hal. 61-72, 2018.
- [11] A. Vembadi, A. Menachery, dan M. A. Qasaimeh, "Cell cytometry: Review and perspective on biotechnological advances," Frontiers in bioengineering and biotechnology, vol. 7, 147, 2019.