

Potensi *Trichoderma harziaanum* dalam Mempercepat Proses Pembusukan Daun Pohon Saga (*Adenanthera pavonina*) pada Proses Pembuatan Kompos

Ayyu Rizkia Nasution¹ Dini Dara Arifia² Mayfa Dwi Arfi³ Sania Siregar⁴ Selfa Raya Hadi Kesuma⁵ Sanimah⁶

Program Studi Pendidikan IPA & Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Medan, Sumatera Utara, Indonesia^{1,2,3,4,5,6}

Email: ayyurzkianst@gmail.com¹ dinidara05@gmail.com² mayfadwiarvi@gmail.com³ siregarsania042@gmail.com⁴ selfarayahk@gmail.com⁵ sanimah220989@gmail.com⁶

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penambahan jamur *Trichoderma harzianum* terhadap proses pengomposan daun kering pohon saga *Adenanthera pavonina* sebagai upaya pemanfaatan limbah organik menjadi pupuk ramah lingkungan. Daun saga kering dikumpulkan dari area parkiran Auditorium Universitas Negeri Medan (Unimed) dengan total massa 2 kg, kemudian dicacah dan dicampur dengan tanah hitam dalam perbandingan 2:1. Campuran tersebut dibagi menjadi empat perlakuan, yaitu P0 (tanpa *T. harzianum*), P1 (3 g), P2 (6 g), dan P3 (9 g). Proses pengomposan dilakukan selama 15 hari dalam wadah tertutup yang diberi aerasi, dengan pengamatan suhu, pH, dan karakteristik organoleptik setiap tiga hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *T. Harzianum* mempercepat proses dekomposisi bahan organik. Perlakuan P3 dengan dosis 9 g *T. harzianum* mencapai suhu maksimum 34 °C, menandakan fase termofilik awal yang menunjukkan aktivitas mikroba tinggi. Nilai pH mengalami penurunan dari netral (pH 7) menjadi sedikit asam (pH 6), mengindikasikan terbentuknya asam organik hasil aktivitas dekomposer. Secara organoleptik, kompos menunjukkan perubahan warna dari coklat muda menjadi coklat tua hingga hampir hitam, disertai bau fermentasi khas dan tekstur lebih halus, terutama pada perlakuan dengan dosis mikroba lebih tinggi. Kesimpulannya, penambahan *T. Harzianum* terbukti efektif dalam mempercepat proses pengomposan daun saga, meningkatkan aktivitas dekomposisi, dan mempercepat pencapaian fase termofilik pada sistem berskala kecil. Kompos yang dihasilkan menunjukkan ciri kematangan yang lebih baik dibanding kontrol. Pemanfaatan daun saga sebagai bahan dasar pupuk organik dengan bantuan *T. harzianum* berpotensi mendukung pengelolaan limbah organik, mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, serta mendorong praktik pertanian berkelanjutan.

Kata Kunci: Trichoderma Harzianum; Adenanthera Pavonina; Kompos; Sampah Organik



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

INTRODUCTION

Volume sampah Universitas Negeri Medan mencapai 90 ton per tahun. Dari jumlah tersebut, sebanyak 89% atau 80 ton merupakan sampah organik berupa dedaunan, sisa makanan, dan bahan organik lainnya. Sampah organik berupa dedaunan yang banyak ditemukan di area kampus berasal dari daun pohon saga (*Adenanthera pavonina*). Karena bentuknya yang rindang, pohon saga sering ditanam sebagai peneduh, namun masalahnya adalah daunnya yang berguguran secara alami. Tumpukan daun saga, jika dibiarkan begitu saja akan menimbulkan berbagai dampak negatif diantaranya yaitu, menimbulkan bau tak sedap, mengundang hama, atau merusak estetika kampus (Pasaribu, 2021). Selain itu, ada juga beberapa dampak buruk terhadap lingkungan yang terkait dengan metode pembuangan sampah daun secara konvensional, seperti pembakaran atau pembuangan. Pembakaran sampah daun merupakan ancaman bagi lingkungan dan kesehatan. Daun yang terbakar mengeluarkan hidrokarbon, nitrogen oksida, dan karbon monoksida ke udara. Ketiga senyawa tersebut menciptakan ozon tambahan di permukaan tanah dan di atas permukaan bumi

(Pasaribu, 2021). Gas-gas beracun tersebut dapat merusak ekosistem yang sensitif dan berdampak negatif pada tanaman dan hewan di lingkungan ini.

Selain itu, asap yang dikeluarkan oleh daun ketika terbakar dapat mempengaruhi mata, hidung, dan tenggorokan. Asap dari daun yang terbakar dapat mengandung partikel-partikel kecil yang mengendap di paru-paru dan bertahan selama bertahun-tahun. Sampah daun saga bisa dijadikan sebagai kompos yang berkualitas baik bagi kesuburan tanah dan percepatan pertumbuhan tanaman (Shari, 2024). Kompos adalah bahan organik yang difermentasikan oleh mikroorganisme untuk membuat tanah yang kekurangan unsur hara menjadi lebih produktif secara alami. Dengan menggunakan kompos, tanah menjadi lebih sehat dan ramah lingkungan dan bahan kimia yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan dapat berkurang (Pasaribu, 2021). Daun saga (*Adenanthera pavonina*) berbentuk oval, berukuran kecil, tulang daun menyirip genap, jumlah anak daun bertangkai 2-6 pasang, helai daun 6-12 pasang, panjang tangkai sekitar 25 cm, daun berwarna hijau muda atau merah kekuningan pada daerah pucuknya. Daun tanaman saga (*Adenanthera pavonina*) mengandung protein, senyawa bioaktif, dan antinutrisi. Daun tanaman saga (*Adenanthera pavonina*) menunjukkan sifat antibakteri karena adanya senyawa aktif seperti flavonoid, saponin, alkaloid, dan tanin (Edi, 2022).

Pada daun saga mengandung beberapa zat seperti tanin dan flavonoid. Kandungan tanin sendiri mencapai 0,3% pada daun saga yang segar. Tanin memiliki sifat antibakteri serta antijamur yang kuat sehingga tanin melindungi daun dari serangan mikroorganisme penyebab pembusukan. Adapun zat flavonoid pada daun saga yang memiliki sifat yang hampir sama dengan tanin namun zat ini dapat melindungi sel-sel daun dari kerusakan akibat Radikal bebas, selain itu flavonoid juga dapat menghambat pertumbuhan beberapa jenis bakteri dan jamur. Kemudian flavonoid ini juga menjadi senyawa alternatif dalam pengembangan antibiofilm untuk pengendalian infeksi *S. Aureus* (Shari, 2024). Mikroorganisme fungsional yang lebih diterima secara umum sebagai pupuk hayati tanah adalah *Trichoderma harzianum*, sebuah jamur. Selain sebagai organisme pengurai, spesies juga mampu berfungsi sebagai agen hayati dan perangsang pertumbuhan tanaman. Kultur jamur *Trichoderma* diberikan ke area tanaman dan bertindak sebagai biodekomposer, menguraikan sampah organik menjadi kompos yang berkualitas. Jamur ini juga dapat berperan sebagai biofungisida yang berperan dalam mengendalikan organisme patogen penyebab penyakit tanaman (Mendes-Pereira *et al.*, 2022). Penambahan *Trichoderma harzianum* diharapkan dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme dalam proses dekomposisi sehingga menghasilkan kompos yang lebih baik. Selain itu, *Trichoderma harzianum* juga dapat berfungsi sebagai agen antagonis terhadap beberapa jenis patogen tanaman sehingga dapat membantu meningkatkan kualitas tanah dan pertumbuhan tanaman (Utomo & Nurdiana, 2018).

RESEARCH METHODS

Pengambilan dan Pengumpulan Sampel

Pengambilan dan pengumpulan sampel berupa daun kering pohon saga (*Adenanthera pavonina*) dilakukan di area parkiran Auditorium Universitas Negeri Medan. Pengambilan sampel dilakukan pada pagi hari antara pukul 08.00–11.00 WIB untuk menghindari kelembapan berlebih akibat embun malam dan paparan sinar matahari langsung yang dapat memengaruhi kondisi fisik daun. Daun yang dikumpulkan merupakan daun yang telah gugur secara alami, dalam kondisi kering, tidak tercampur dengan sampah anorganik, serta tidak mengalami pembusukan berlebihan. Sampel daun kemudian dikumpulkan dalam satu wadah plastik bersih dan dibawa ke laboratorium untuk proses pengomposan lebih lanjut.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi wadah atau bak kompos plastik bertutup, gunting atau pisau pencacah, timbangan digital, termometer, kertas pH universal, pengaduk, gelas ukur, dan alat tulis. Bahan yang digunakan terdiri atas daun kering pohon saga (*Adenanthera pavonina*), tanah hitam, air, serta jamur *Trichoderma harzianum* sebagai bioaktivator.

Persiapan Bahan Pengomposan

Daun saga kering yang telah dikumpulkan dibersihkan dari kotoran yang menempel, kemudian dicacah menjadi ukuran lebih kecil menggunakan gunting untuk memperluas permukaan bahan dan mempercepat proses dekomposisi. Setelah itu, daun yang telah dicacah ditimbang hingga mencapai massa total 2 kg. Daun saga kemudian dicampurkan dengan tanah hitam menggunakan perbandingan 2:1 (dua bagian daun dan satu bagian tanah). Campuran tersebut diaduk hingga homogen dan ditambahkan air secukupnya sampai mencapai kondisi lembap, namun tidak tergenang.

Perlakuan Penambahan *Trichoderma harzianum*

Campuran bahan pengomposan dibagi ke dalam empat perlakuan, masing-masing dimasukkan ke dalam wadah kompos yang berbeda, yaitu:

- P0 : tanpa penambahan *Trichoderma harzianum* (kontrol)
- P1 : penambahan 3 g *Trichoderma harzianum*
- P2 : penambahan 6 g *Trichoderma harzianum*
- P3 : penambahan 9 g *Trichoderma harzianum*

Setiap wadah kompos ditutup dan diberi lubang aerasi untuk menjaga sirkulasi udara selama proses pengomposan. Seluruh perlakuan diletakkan pada tempat yang teduh dan diaduk secara berkala setiap tiga hari sekali untuk menjaga homogenitas dan mendukung aktivitas mikroorganisme.

Proses Pengomposan

Proses pengomposan dilakukan selama 15 hari. Selama periode tersebut, dilakukan pengamatan secara berkala terhadap perubahan fisik dan kimia kompos. Wadah kompos dijaga agar tetap lembap dengan penambahan air apabila diperlukan, serta dihindarkan dari paparan hujan langsung dan sinar matahari berlebihan.

Pengamatan Suhu

Pengukuran suhu kompos dilakukan setiap tiga hari sekali menggunakan termometer. Termometer dimasukkan ke bagian tengah tumpukan kompos untuk memperoleh suhu representatif yang mencerminkan aktivitas mikroba selama proses dekomposisi. Hasil pengukuran suhu dicatat dan digunakan sebagai indikator intensitas aktivitas mikroorganisme.

Pengukuran pH

Pengukuran pH dilakukan setiap tiga hari sekali menggunakan kertas pH universal. Sampel kompos diambil secukupnya, kemudian kertas pH dicelupkan ke dalam sampel yang telah dilembapkan. Perubahan warna pada kertas pH dibandingkan dengan standar warna indikator untuk menentukan nilai pH kompos.

Uji Organoleptik

Uji organoleptik dilakukan untuk mengamati perubahan fisik kompos yang meliputi warna, bau, dan tekstur. Pengamatan warna dilakukan secara visual, sedangkan bau diamati dengan mencium aroma yang dihasilkan dari masing-masing perlakuan. Tekstur kompos dinilai berdasarkan tingkat kehalusan dan kegemburannya sebagai indikator kematangan kompos.

Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengamatan suhu, pH, dan uji organoleptik dianalisis secara deskriptif dan komparatif. Analisis dilakukan dengan membandingkan setiap perlakuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *Trichoderma harzianum* terhadap kecepatan dan efektivitas proses pengomposan daun saga. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan uraian naratif untuk memperjelas perbedaan antarperlakuan.

RESEARCH RESULTS AND DISCUSSION

Sampel daun pohon saga (*Adenanthera pavonina*) yang telah dikumpulkan dengan total massa 2 kilogram dicacah menjadi potongan kecil untuk mempercepat proses dekomposisi. Sampel tersebut kemudian dibagi secara merata ke dalam empat toples plastik berukuran 5 liter. Setiap toples dilubangi pada bagian tutupnya untuk menyediakan aerasi selama proses pengomposan berlangsung. Kemudian sampel yang sudah dicacah dan ditimbang tersebut akan dicampur dengan tanah hitam dan jamur *Trichoderma harzianum* yang ditandai dengan:

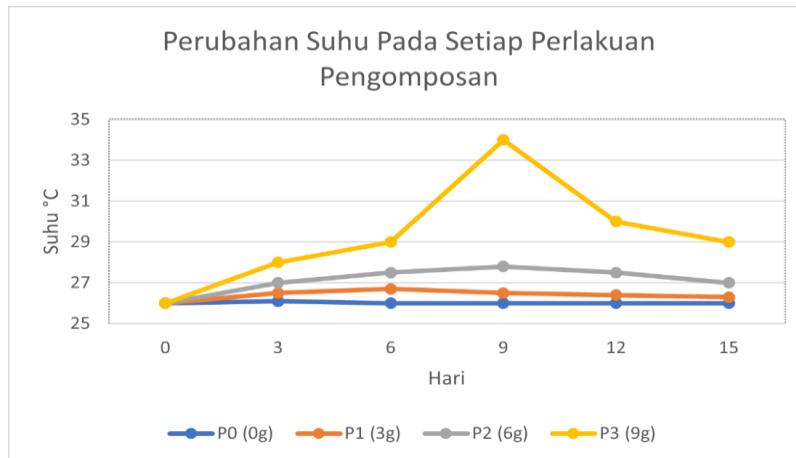
- P0 = tanpa *T. harzianum*
P1 = dengan 3 gram *T. harzianum*
P2 = dengan 6 gram *T. harzianum*
P3 = dengan 9 gram *T. Harzianum*

Daun yang telah dicacah dicampur dengan tanah hitam menggunakan perbandingan massa 2:1 (dua bagian daun dan satu bagian tanah). Setiap campuran kemudian ditambahkan air sedikit demi sedikit hingga mencapai kondisi lembap (tidak tergenang) untuk menjaga aktivitas mikroorganisme selama proses penguraian. Seluruh perlakuan diaduk secara manual setiap tiga hari sekali untuk menjaga sirkulasi udara dan homogenitas bahan. Parameter yang diamati meliputi suhu, pH, serta karakteristik organoleptik (warna, bau, dan tekstur). Pengamatan dilakukan secara berkala setiap tiga hari selama 15 hari untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada masing-masing perlakuan selama proses pengomposan.

Uji Suhu

Tabel 1. Pengamatan Suhu Kompos (°C)

Hari ke-	P0 (0g)	P1 (3g)	P2 (6g)	P3 (9g)
0	26	26	26	26
3	26.1	26.5	27.0	28.0
6	26.0	26.7	27.5	29.0
9	26.0	26.5	27.8	34.0
12	26.0	26.4	27.5	30.0
15	26.0	26.3	27.0	29.0



Gambar 1. Grafik Perubahan Suhu Pada Setiap Perlakuan Pengomposan

Pengamatan suhu dilakukan untuk memantau aktivitas mikroorganisme selama proses pengomposan daun pohon saga (*Adenanthera pavonina*) dengan penambahan *Trichoderma harzianum*. Berdasarkan hasil pengamatan tabel 1, suhu awal seluruh perlakuan berada pada kisaran 26°C, kemudian meningkat secara bertahap hingga mencapai suhu maksimum 34°C pada perlakuan P3 (9g *T. harzianum*). Peningkatan suhu ini menunjukkan bahwa proses dekomposisi aktif telah berlangsung dan aktivitas mikroba berjalan efektif. Meskipun suhu maksimum belum mencapai 40°C sebagaimana pengomposan berskala besar, kondisi ini sudah menandakan awal fase termofilik mikro. Pada sistem pengomposan berskala kecil, panas yang dihasilkan seringkali cepat terdisipasi ke lingkungan sehingga suhu puncak tidak setinggi pada kompos konvensional (45–70°C) (Finore *et al.*, 2023). Fenomena ini juga dijelaskan oleh Wang *et al.* (2024) yang melaporkan bahwa peningkatan suhu pada skala kecil cenderung terbatas antara 30–38°C, namun tetap mewakili aktivitas termofilik yang signifikan secara biologis. Kenaikan suhu berhubungan erat dengan aktivitas metabolisme *T. harzianum* sebagai pengurai lignoselulosa. Enzim selulase dan liginase yang dihasilkan jamur ini bekerja optimal pada rentang suhu 30–35°C, di mana degradasi bahan organik terjadi lebih cepat (Wang *et al.*, 2024). Aktivitas tersebut menghasilkan panas eksoterm, ditandai dengan munculnya titik-titik embun pada dinding toples, terutama pada perlakuan P2 dan P3. Menurut Finore *et al.* (2023), fase termofilik sangat penting karena membantu dekomposisi senyawa kompleks seperti lignin dan hemiselulosa, sekaligus menekan mikroba patogen. Hasil ini memperlihatkan bahwa peningkatan dosis *T. harzianum* berbanding lurus dengan peningkatan suhu, menandakan keberhasilan inokulasi dalam mempercepat transisi dari fase mesofilik ke termofilik awal. Faktor lingkungan seperti kelembapan, aerasi, dan rasio C/N bahan juga berpengaruh terhadap kestabilan suhu selama pengomposan. Kelembapan di bawah 40 % dapat membatasi pertumbuhan mikroba dan memperlambat peningkatan suhu. Inokulasi *Trichoderma harzianum* terbukti meningkatkan laju degradasi bahan organik dan mendorong tercapainya fase termofilik lebih cepat dalam proses pengomposan (Zhai *et al.*, 2025). Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa *T. harzianum* mampu meningkatkan aktivitas dekomposisi daun saga dan memicu fase termofilik awal meskipun dilakukan pada sistem tertutup berskala kecil.

Uji pH

Tabel 2. Pengamatan pH (Menggunakan Indikator Universal)

Hari ke-	P0 (0g)	P1 (3g)	P2 (6g)	P3 (9g)
0	pH 7	pH 7	pH 7	pH 7

3	pH 7	pH 7	pH 7	pH 6
6	pH 7	pH 7	pH 6	pH 6
9	pH 7	pH 6	pH 6	pH 6
12	pH 7	pH 6	pH 6	pH 6
15	pH 7	pH 6	pH 6	pH 6

Pengukuran pH dilakukan setiap tiga hari sekali menggunakan kertas indikator universal, dengan setiap pengukuran diulang tiga kali, dan nilai disajikan dalam bilangan bulat. Berdasarkan tabel 2, hasil menunjukkan bahwa kontrol (P0, tanpa *T. harzianum*) mempertahankan sekitar pH 7 selama periode pengamatan, menandakan kondisi netral akibat aktivitas mikroba alami yang minimal. Sebaliknya, perlakuan dengan *T. harzianum* (P1–P3) menunjukkan penurunan pH yang sejalan dengan peningkatan dosis mikroba. P3 (9 g) mengalami penurunan pH paling cepat hingga mencapai pH 6 pada hari ke-3, sedangkan P2 (6 g) dan P1 (3 g) menurun lebih lambat, mencerminkan peningkatan aktivitas dekomposisi seiring dosis. Penurunan pH ini menunjukkan produksi asam organik dari bahan daun saga oleh aktivitas mikroba, yang menandai awal fase aktif pengomposan. Kondisi pH yang cenderung asam justru memberikan keuntungan, karena dapat meningkatkan ketersediaan unsur nitrogen serta berperan dalam menekan pertumbuhan nimfa, telur serangga, dan organisme patogen selama proses pengomposan (Wang *et al.*, 2024). Selain itu, tren pH yang lebih cepat menurun pada perlakuan dengan dosis tinggi konsisten dengan data suhu, di mana P3 menunjukkan lonjakan suhu ke 34 °C menandakan fase termofilik aktif. Dengan demikian, hasil ini menegaskan bahwa *T. harzianum* mampu mempercepat aktivitas dekomposisi daun saga dan memicu fase awal pengomposan yang aktif, meskipun dilakukan pada sistem tertutup berskala kecil.

Uji Organoleptik

Tabel 3. Uji Organoleptik (Warna, Bau, Tekstur)

Hari ke-	Perlakuan	Warna	Bau	Tekstur
0	P0–P3	Hijau coklatan	Daun mentah	Kasar
6	P0	Coklat muda	Bau daun khas	Masih kasar
6	P1	Coklat muda	Bau agak menyengat	Kasar & agak kaku
6	P2	Coklat muda	Bau agak busuk	Kering & keras
6	P3	Coklat tua	Bau tajam menyengat	Kering, belum rata
15	P0	Tidak berubah	Bau daun kering	Kering dan keras
15	P1	Coklat muda	Menyengat	Tidak gembur
15	P2	Coklat muda	Bau fermentasi tajam	Masih kasar
15	P3	Coklat gelap	Bau busuk menyengat	Tidak merata

Berdasarkan tabel 3, hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada kontrol (P0) yang tidak dicampur dengan *Trichoderma harzianum*, daun masih mempertahankan aroma khas daun segar dan warna tetap lebih terang selama periode pengamatan. Hal ini menandakan bahwa aktivitas penguraian bahan organik berlangsung lambat, karena tidak ada mikroba tambahan untuk mempercepat dekomposisi (Lončarić *et al.*, 2024). Sebaliknya, perlakuan P1, P2, dan P3 menunjukkan aroma yang lebih menyengat atau fermentasi, terutama pada P3 sejak hari ke-6. Fenomena ini menunjukkan produksi senyawa organik volatil yang tinggi akibat aktivitas mikroba, yang mempercepat penguraian bahan organik menjadi senyawa lebih stabil (Tsivas *et al.*, 2024). Perubahan warna menjadi lebih gelap, khususnya pada P3, merupakan indikator kematangan kompos. Warna coklat tua hingga hampir hitam terbentuk akibat degradasi pigmen daun dan pembentukan senyawa humus. Hal ini konsisten dengan temuan Tsivas *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa “color change to dark brown is a reliable indicator of compost

stability and maturity." Selain warna, tekstur kompos juga berubah. Perlakuan P3 menunjukkan tekstur lebih kering dan belum rata pada hari ke-6, sedangkan P1-P2 tetap agak kasar atau kaku, dan P0 tetap keras. Hal ini menunjukkan bahwa dosis mikroba yang lebih tinggi mempercepat dehidrasi dan penguraian fisik bahan organik, sehingga kompos menjadi lebih stabil secara mekanik (Lončarić *et al.*, 2024). Aroma akhir yang menyerupai tanah (*earthy smell*) juga merupakan karakteristik kompos matang, karena bahan organik telah mengalami stabilisasi menjadi senyawa yang menyerupai tanah alami (Lončarić *et al.*, 2024). Dengan demikian, hasil pengamatan ini menegaskan bahwa *T. harzianum* efektif mempercepat aktivitas dekomposisi daun saga, sehingga kompos pada perlakuan P1-P3 mencapai kematangan lebih cepat dibanding kontrol, baik dari sisi bau, warna, maupun tekstur.

CONCLUSION

Berdasarkan hasil penelitian, penambahan *Trichoderma harzianum* terbukti memberikan pengaruh nyata terhadap proses pengomposan daun saga (*Adenanthera pavonina*). Peningkatan dosis *T. harzianum* berbanding lurus dengan meningkatnya aktivitas mikroba selama dekomposisi, yang ditunjukkan oleh kenaikan suhu pengomposan dari 26 °C pada awal proses menjadi suhu maksimum 34 °C pada perlakuan P3 (9 g *T. harzianum*). Kenaikan suhu ini menandakan terjadinya fase termofilik awal dan menunjukkan bahwa proses penguraian bahan organik berlangsung aktif. Selain itu, penurunan pH dari 7 menjadi 6 pada perlakuan dengan *T. harzianum* menunjukkan pembentukan asam organik hasil aktivitas mikroba yang berperan penting dalam tahap fermentasi awal. Perubahan organoleptik berupa warna daun yang berubah menjadi coklat gelap, bau yang menyengat atau fermentatif, serta tekstur yang semakin kering menegaskan bahwa proses penguraian terjadi lebih cepat dan bahan organik mulai mengalami stabilisasi. Sebaliknya, pada kontrol tanpa penambahan *T. harzianum*, suhu, pH, dan karakter fisik daun relatif tidak berubah, menandakan proses dekomposisi berlangsung lambat. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa *Trichoderma harzianum* efektif sebagai bioaktivator dalam mempercepat proses dekomposisi daun saga dan meningkatkan aktivitas biologis selama pengomposan, meskipun pada sistem berskala kecil belum sepenuhnya mencapai fase termofilik penuh. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa daun saga kering berpotensi besar dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik ramah lingkungan dengan bantuan bioaktivator *T. harzianum* untuk mendukung sistem pertanian yang berkelanjutan.

BIBLIOGRAPHY

- Agustina, R., Rahma, S., & Sandhira, A. C. (2022). Karakteristik trayek pH indikator alami dan aplikasinya pada titrasi asam dan basa. *Bivalen: Chemical Studies Journal*, 5(2), 51–56.
<http://jurnal.fkip.unmul.ac.id/index.php/bivalen>
- Agustinus Mangungsong, Soemarsono, & Zudri, F. (2020). Pemanfaatan mikroba tanah dalam pembuatan pupuk organik serta perannya terhadap tanah aluvial dan pertumbuhan bibit tanaman kakao. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 47(3), 318–325.
<https://doi.org/10.24831/jai.v47i3.24721>
- Akmal, A., Sapareng, S., & AR, T. S. A. (2021). Pengaruh dekomposer *Trichoderma harzianum* dan *Pleurotus ostreatus* (Tri-Po) terhadap pengomposan tandan kosong kelapa sawit. *Journal TABARO Agriculture Science*, 5(2), 610–618.
- Damayanti, R., & Riyanto, R. (2019). Analisis pengaruh kelembaban terhadap aktivitas mikroba dalam proses pengomposan limbah organik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 55–62.
<https://doi.org/10.14710/jil.17.2.55-62>

- Edi, D. N. (2022). Potensi biji dan daun saga pohon (*Adenanthera pavonina* L.) sebagai alternatif bahan pakan ternak unggas dan ruminansia (ulasan). *Briliant: Jurnal Riset dan Konseptual*, 7(2), 489–502.
- Finore, I., Feola, A., Russo, L., Cattaneo, A., Di Donato, P., Nicolaus, B., Poli, A., & Romano, I. (2023). Thermophilic bacteria and their thermozymes in composting processes: A review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(7). <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00381-z>
- Fitria, E., Kesumawaty, E., Basyah, B., & Asis. (2021). Peran *Trichoderma harzianum* sebagai penghasil zat pengatur tumbuh terhadap pertumbuhan dan produktivitas varietas cabai (*Capsicum annuum* L.). *Jurnal Agronomi Indonesia*, 49(1), 45–52. <https://doi.org/10.24831/jai.v49i1.34341>
- Gajalakshmi, S., & Abbasi, S. A. (2008). Solid waste management by composting: State of the art. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 38(5), 311–400.
- Hariri, A. M., et al. (2016). Pengaruh suhu terhadap kematangan kompos. *Jurnal Agrotek Tropika*, 12(2), 259–269.
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species—Opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43–56.
- Imas, S., & Munir, A. (2017). Pengaruh pemberian pupuk kompos terhadap produktivitas tanaman cabai merah (*Capsicum annuum* L.). *Jurnal AMPIBI*, 2(1), 57–64.
- Kakabouki, I., Efthimiadou, A., Folina, A., Zisi, C., & Karydogianni, S. (2020). Effect of different tomato pomace compost as organic fertilizer in sweet maize crop. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(22), 2858–2872.
- Lončarić, Z., Galić, V., Nemet, F., Perić, K., Galić, L., Ragályi, P., Uzinger, N., & Rékási, M. (2024). The evaluation of compost maturity and ammonium toxicity using different plant species in a germination test. *Agronomy*, 14(11), 2636. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112636>
- Mendes-Pereira, T., et al. (2022). Fungus-insect symbiosis: Diversity and negative ecological role of *Trichoderma harzianum*. *Fungal Ecology*, 57–58, 101152. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2022.101152>
- Nandung, E., Suswanto, I., & Ramadhan, T. H. (2018). Karakterisasi *Trichoderma harzianum* asal lahan gambut sebagai agens antagonis terhadap penyakit busuk pangkal batang sawit secara in vitro. *Perkebunan dan Lahan Tropika*, 8(2), 54–60.
- Oktafiyanto, F., et al. (2020). Uji empat isolat *Trichoderma harzianum* pada pengomposan kotoran sapi dan ayam. *Agro Bali*, 3(1), 52–66. <https://doi.org/10.37637/ab.v3i1.424>
- Santoso, H., & Nurhayati, I. (2020). Studi suhu dan pH sebagai indikator keberhasilan dekomposisi pada kompos jerami. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 21(1), 22–30. <https://doi.org/10.25077/jtp.21.1.22-30.2020>
- Siagian, S. W., Yuriandala, Y., & Maziya, F. B. (2021). Analisis suhu, pH, dan kuantitas kompos hasil pengomposan reaktor aerob termodifikasi dari sampah sisa makanan dan buah. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 13(2), 166–176.
- Susanti, R., & Kurniawan, D. (2021). Studi karakteristik bau selama pengomposan sebagai indikator kondisi anaerobik. *Jurnal Ilmu Lingkungan dan Kesehatan*, 19(2), 105–114. <https://doi.org/10.33369/jilk.19.2.105>
- Tiquia, S. M., & Tam, N. F. Y. (2000). Microbial activities during composting of spent pig-manure sawdust litter at different moisture contents. *Bioresource Technology*, 75(3), 149–156.
- Utomo, P. B., & Nurdiana, J. (2018). Evaluasi pembuatan kompos organik dengan metode hot composting. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 2(1), 28–32.

- Wang, L., Li, Y., & Li, X. (2024). Microbe-aided thermophilic composting accelerates manure fermentation. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1472922. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1472922>
- Wijayanti, F., & Subekti, H. (2023). Kandungan lignin tinggi sebagai faktor pembatas pengomposan daun keras. *Jurnal Riset Biologi Terapan*, 10(1), 45–53. <https://doi.org/10.21776/bioapplres.2023.10.1.5>
- Zhai, S., Wang, K., Yu, F., Gao, Z., Yang, X., Cao, X., Shaghaleh, H., & Hamoud, Y. A. (2025). Effects of *Trichoderma harzianum* combined with *Phanerochaete chrysosporium* on lignin degradation and humification during chicken manure and rice husk composting. *Frontiers in Microbiology*, 16, 1515931. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2025.1515931/full>
- Zhang, L., & Sun, X. (2016). Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during composting of spent mushroom substrate and chicken manure. *Environmental Technology*, 37(7), 836–844.
- Zulkarnain, M., & Hidayat, A. (2018). Penurunan efektivitas *Trichoderma* akibat suhu rendah dan rasio C/N tidak seimbang. *Jurnal Mikrobiologi Indonesia*, 16(3), 88–96.