

STUDI PENGARUH *PSEUDOMONAS AERUGINOSA* TERHADAP PENINGKATAN ASAM HUMAT DAN PH PADA KOMPOS LIMBAH KERTAS

Study of the Effect of Pseudomonas aeruginosa on Increasing Humic Acid and pH in Paper Waste Compost

Anita Dwy Fitria^{1*}, Leny Yuliyani² & Noor Febryani¹

¹ Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Siliwangi

² Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Siliwangi

JL. Tamansari, Mugarsari, Tamansari, Tasikmalaya, Jawa Barat

*Email korespondensi: anitadfitria@unsil.ac.id

ABSTRACT

Paper waste is an organic material that can be used as compost. Paper compost may contain humic acid. Composting paper waste, along with the addition of Pseudomonas aeruginosa at various doses, can increase the availability of humic acid and pH. This study used a Completely Randomized Design (CRD) with five treatments with different concentrations of Pseudomonas aeruginosa bacteria at 10%, 15%, 20%, and 25%. This study incubated paper compost with Pseudomonas aeruginosa bacteria for 3 weeks. The parameters in this study were humic acid, water content, organic C, Total N, C:N ratio, and pH H₂O. The results showed that the KK2 concentration treatment was significantly different ($p < 0.05$) from the other treatments. Likewise, the pH of H₂O was significantly different ($p < 0.05$) in the KK3 concentration treatment. Increasing the concentration of Pseudomonas aeruginosa increased the pH value of H₂O ($r = 0.75$). Meanwhile, the results of non-linear regression ($R^2=0.6966$) showed that increasing the concentration of Pseudomonas aeruginosa reduced the availability of humic acid in paper compost.

Keywords: Humic acid, paper waste, *Pseudomonas aeruginosa*

PENDAHULUAN

Limbah kertas merupakan limbah yang banyak dihasilkan oleh kawasan perkantoran ataupun universitas. Jumlah sampah kertas di Indonesia mencapai 9% dari total sampah di Indonesia (Safitri & Sari, 2021). Sedangkan, menurut Setiawan & Datupalinge (2023) komposisi sampah kertas di Indonesia berjumlah 10% dari keseluruhan total sampah. Kertas terdiri dari komposisi bahan organik yang berasal dari kayu berupa serat selulosa yang dilepaskan melalui pengolahan kimia mekanis. Selulosa berada di dinding sel tanaman, terdapat variasi jumlah dan komposisi dinding sel diantara spesies tanaman yang berbeda, sehingga memengaruhi karakteristik pulp akhir. Rata-rata, bahan baku berserat lignoselulosa seperti kayu mengandung sekitar 45% selulosa, 20-28% lignin, 5-10% ekstraktif, dan 5-10% bahan anorganik (Larasati et al., 2023; Sharma et al., 2020). Sehingga dapat dikatakan bahwa limbah kertas termasuk kedalam bahan organik.

Asam humat merupakan molekul organik yang berperan penting untuk meningkatkan kesuburan dan pertumbuhan tanaman. Sumber asam humat dapat berasal dari bahan organik, lignit, tanah, dan batubara. Asam humat dapat memberikan pengaruh positif terhadap perbaikan karakteristik fisik, kimia, dan biologi tanah (Ampong et al., 2022). Pemberian asam humat dapat meningkatkan stabilitas agregat dan memperbaiki kelembaban tanah. Aplikasi pemberian asam humat meningkatkan nilai carbon organik dan N Total sebesar 4% secara signifikan (Gümüş & Şeker, 2015). Penelitian lain menyebutkan bahwa pemberian asam humat meningkatkan nilai pH antara 7-8 beserta keseimbangan Kapasitas Tukar Kation (KTK) (Ali & Mindari, 2016).

Derajat kemasaman tanah (pH) merupakan indikator sifat kimia tanah yang dapat menjadi salah satu indikator kesuburan tanah dalam penyediaan unsur hara pada tanah ataupun pupuk. pH mempengaruhi pembentukan ion, adsorpsi dan mobilitas sebagian besar hara tanaman. Ketersediaan unsur hara makro dan mikro sangat berpengaruh terhadap ketersediaan pH (Hartemink & Barrow, 2023). pH mempengaruhi aktivitas mikrobiologi tanah dan mengendalikan jumlah mikrobiologi, sehingga pH memiliki hubungan erat dengan dekomposisi bahan organik karena dekomposisi bahan organik menghasilkan aktivitas enzimatis yang berasal dari mikrobiologi (Wang & Kuzyakov, 2024).

Pseudomonas aeruginosa merupakan bakteri yang banyak ditemukan di lingkungan diantaranya pada air, tanah, dan tanaman (Lu et al., 2025). *P. aeruginosa* merupakan salah satu inokulan yang dapat digunakan sebagai biodegradasi selama proses pengomposan. Pada beberapa penelitian *P. aeruginosa* dapat meningkatkan akumulasi nutrisi pada tanah sehingga meningkatkan pertumbuhan tanaman (Al-budairy & Al-Taweel, 2025). Pengomposan merupakan penyelesaian pengelolaan sampah organik dengan memanfaatkan kembali sampah organik untuk mengurangi sampah dan di tempat pembuangan akhir (TPA) (Lu et al., 2025).

Permasalahan pada pengomposan kertas adalah rendahnya kandungan hara pada kompos apabila tidak dilakukan penambahan inoculan mikroorganisme. Penambahan inoculan mikroorganisme seperti *P. aeruginosa* dilakukan untuk meningkatkan kualitas kompos dan mempercepat waktu pengomposan (Pratiwi et al., 2021). Hal ini dikarenakan rasio C:N yang terlalu tinggi pada bahan kompos kertas, perlu diturunkan untuk meningkatkan unsur hara lainnya.

Oleh karena itu, pada penelitian ini bertujuan untuk meneliti pemanfaatan bakteri *P. aeruginosa* untuk meningkatkan kualitas kompos kertas khususnya pada pH H₂O dan asam humat. Penelitian ini diharapkan dapat mengurangi volume sampah kertas sehingga meningkatkan keberlanjutan lingkungan dan mencari alternatif pemupukan ramah lingkungan dalam manajemen kesuburan tanah dan pemupukan.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di rumah kaca Fakultas Pertanian dengan membuat kompos kertas terlebih dahulu. Dilanjutkan dengan perbanyakan *Pseudomonas aeruginosa* di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Pertanian Universitas Siliwangi. Masa inkubasi dan uji pupuk kertas dilakukan di Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian Universitas Siliwangi. Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Juni-Desember 2024.

Metode Penelitian

- a. Penelitian ini menerapkan rancangan acak lengkap (RAL) berupa konsentrasi bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Adapun konsentrasi yang digunakan pada penelitian ini seperti pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Perlakuan penelitian

C	Kontrol, Kompos kertas tanpa <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
KK1	Kompos kertas + <i>Pseudomonas aeruginosa</i> 10%
KK2	Kompos kertas + <i>Pseudomonas aeruginosa</i> 15%
KK3	Kompos kertas + <i>Pseudomonas aeruginosa</i> 20%
KK4	Kompos kertas + <i>Pseudomonas aeruginosa</i> 25%

- b. Pembuatan kompos

Penelitian ini dimulai dengan membuat kompos kertas dari limbah kertas perkantoran di Fakultas Pertanian Universitas Siliwangi. Kompos kertas dibuat dengan mencacahan kertas menjadi bagian terkecil dan merendam dengan air beserta M-bio dan molase selama 2 minggu. Setelahnya hasil campuran duhaluskan untuk kemudian dicampur dengan kompos bahan dasar sisa tanaman dengan perbandingan 2:1 dan setelahnya dilakukan pengomposan menggunakan ember komposter selama empat minggu.

- c. Perbanyakan *Pseudomonas aeruginosa*

Perbanyakan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dilakukan menggunakan metode baku dengan memanfaatkan media Nutrient Agar (NA) dan Nutrient Broth (NB). Proses inokulasi dilakukan baik pada media padat maupun media cair. Pada media padat, inokulasi dilakukan menggunakan teknik gores (streaking). Kultur bakteri kemudian diperbanyak hingga mencapai konsentrasi yang sesuai dengan perlakuan yang telah ditetapkan.

- d. Aplikasi bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* diaplikasikan pada kompos kertas dengan konsentrasi yang telah ditentukan sebelumnya. Setelahnya dilakukan inkubasi selama tiga minggu, untuk melihat pengaruh peningkatan kualitas kompos akibat kombinasi *Pseudomonas aeruginosa* dengan kompos kertas.

- e. Analisis kandungan hara kompos

Sampel kompos kertas yang telah di inkubasi selama tiga minggu selanjutnya dianalisis untuk mengetahui peningkatan ketersediaan unsur hara, meliputi kadar air, pH H₂O, C Organik, N Total, C/N, dan asam humat. Pengukuran N-total dilakukan menggunakan metode Kjeldahl, sedangkan C organik dianalisis dengan metode Walkley and Black. Pengukuran pH H₂O dilakukan mengikuti prosedur SNI 7763:2018. Sementara itu, pengukuran kadar air dan asam humat menggunakan metode gravimetri.

Analisis data

Analisis ragam (ANOVA) dilakukan pada taraf 5% dipenelitian ini, data yang berpengaruh nyata kemudian di uji lanjut dengan Duncan antar perlakuan. Penelitian ini menguji korelasi antar parameter penelitian. Kemudian dilakukan analisis regresi untuk melihat pengaruh penambahan dosis terhadap parameter penelitian. Analisis data statistik pada penelitian ini menggunakan *software* microsoft excel dan RStudio.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh penambahan *P. aeruginosa* terhadap ketersediaan unsur hara pada kompos kertas

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa data pada Tabel 2 penambahan *P. aeruginosa* memberikan pengaruh berbeda terhadap karakteristik kimia kompos kertas. Secara umum, perlakuan *P. aeruginosa* cenderung menurunkan kadar air dibanding kontrol, meskipun perbedaannya tidak terlalu besar. Penurunan kadar air ini menunjukkan bahwa aktivitas mikroba mampu mempercepat dekomposisi sehingga menurunkan kelembaban akhir kompos. Hal ini sesuai dengan penelitian bahwa penambahan *P. aeruginosa* pada kompos secara signifikan ($p < 0.05$) menurunkan kadar air antara 31-41% (Ahmad et al., 2024). Kadar air secara signifikan ($p < 0.05$) berkorelasi ($r = 0.53$) dengan peningkatan C organik pada kompos, kadar air merupakan faktor kendali utama pada aktivitas mikroba selama pengomposan. Kadar air yang sesuai meningkatkan mobilitas enzim dan substrat, menjaga kondisi seluler optimal mikroorganisme, serta meningkatkan laju dekomposisi lignoselulosa yang secara langsung mempengaruhi akumulasi dan transformasi karbon organik dalam produk kompos (Ghanney et al., 2023; Tang et al., 2023). Pada penelitian ini penambahan *P. aeruginosa* pada kompos kertas meningkatkan kelembaban optimal sehingga diduga bakteri dapat menghasilkan enzim hidrolitik lebih efektif untuk mempercepat pelepasan fraksi larut yang mudah di humifikasi sehingga meningkatkan C organik pada kompos (Lu et al., 2025; Rastogi et al., 2020).

Parameter penelitian berupa pH H_2O (Tabel 2), terlihat bahwa semua perlakuan *P. aeruginosa* menghasilkan pH lebih tinggi dibanding kontrol (pH 7,67), hal ini menunjukkan bahwa penambahan *P. aeruginosa* berbeda nyata ($p < 0.05$). Peningkatan pH H_2O menunjukkan adanya proses mineralisasi bahan organik yang menghasilkan senyawa bersifat basa, terutama dari pelepasan ion amonium serta aktivitas enzimatik bakteri selama dekomposisi (Ortega-Torres et al., 2021; Tusar et al., 2025). Perlakuan KK3 menunjukkan pH tertinggi (8,02), mengindikasikan laju dekomposisi dan transformasi bahan organik paling intensif. Hal ini disebabkan oleh semakin matangnya kompos sehingga pH H_2O meningkat (Ahmad et al., 2024).

Kadar C organik umumnya menurun pada perlakuan bakteri dibanding kontrol (Tabel 2). Kontrol memiliki nilai tertinggi (9,19%), sedangkan perlakuan KK3 dan KK4 memiliki kadar lebih rendah. Penurunan C organik menggambarkan terdegradasinya fraksi karbon melalui respirasi mikroba menjadi CO_2 , yang menandakan terjadinya proses dekomposisi yang lebih aktif. Meski penurunan C organik tidak signifikan ($p > 0.05$) tetapi penurunan C organik akibat penambahan *P. aeruginosa* terjadi hampir pada seluruh perlakuan. Hal ini dapat disebabkan kompos kertas masih mengalami proses dekomposisi yang artinya merombak komponen kompleks menjadi lebih sederhana sehingga C terlepas menjadi CO_2 dan H_2O (Cotrufo et al., 2000). Melalui perombakan bahan organik, unsur hara, termasuk karbon, dilepaskan ke dalam kompos dalam bentuk yang lebih tersedia. Karbon dilepaskan sebagian besar sebagai CO_2 selama respirasi mikroba, sehingga kadar C organik dalam kompos matang akan menurun dibandingkan dengan bahan awal (Bernal et al., 1998).

Sebaliknya, kandungan N total meski tidak berbeda nyata ($p > 0.05$) (Tabel 2) menunjukkan kecenderungan meningkat pada perlakuan KK3 (0,21%) dibanding kontrol (0,16%). Hal ini mengindikasikan peranan *P. aeruginosa* dalam meningkatkan ketersediaan nitrogen melalui proses amonifikasi dan fiksasi N non-simbiotik (Wei et al., 2021). Peningkatan N total menyebabkan penurunan rasio C/N secara signifikan $p < 0.01$ dengan nilai korelasi ($r = -0.65$) (Gambar 1). Pada penelitian ini menunjukkan bahwa kenaikan N total selama komposting sejalan dengan menurunnya C/N rasio, karena penurunan karbon dan peningkatan nitrogen total sebagai hasil metabolisme mikroba (Sharma & Yadav, 2017). Namun, studi ini perlu dilakukan lebih lanjut khususnya pada perbedaan waktu dan lingkungan yang berbeda. Korelasi bernilai negatif ini menunjukkan bahwa mikroorganisme selama proses pengomposan memanfaatkan karbon sebagai sumber energi (dilepaskan sebagai CO_2) sementara N diakumulasi dalam biomassa mikroba atau tersimpan dalam senyawa anorganik (amonium/nitrat) digunakan pada proses mineralisasi N sehingga memperkuat ketersediaan N total pada kompos (Cao et al., 2024). Dalam banyak studi pembuatan kompos, penurunan rasio C/N sepanjang waktu diamati sebagai indikator kematangan kompos karena karbon terdegradasi lebih cepat dibanding nitrogen. Rasio C/N menjadi paling rendah pada perlakuan KK3 (41,7), rasio C/N rendah merupakan indikator kompos matang dan memiliki kualitas nutrisi lebih baik untuk tanaman. Hal ini menunjukkan proses dekomposisi masih berlangsung bahkan hingga 40 hari sehingga menurunkan nisbah C/N (Sulistyaningsih et al., 2007). Dalam hal ini jenis lignin, selulosa mempengaruhi proses dekomposisi dan mineralisasi hara C maupun N (Jesmin et al., 2021).

Kadar asam humat meningkat pada perlakuan dengan pemberian *P. aeruginosa*, khususnya pada KK2 dan KK3 yang masing-masing mencapai 3,65% dan 2,58% (Tabel 2). Kenaikan asam humat menunjukkan peningkatan pembentukan senyawa humik selama proses pengomposan akibat aktivitas mikroba, yang berpengaruh dalam memperbaiki kualitas kesuburan tanah (Sootahar et al., 2020). Pembentukan senyawa humik diawali dengan, protein dihidrolisis menjadi zat antara yang mengandung N, yang dengan cepat berpolimerisasi dengan fenol dari biomaterial tanah humus untuk menghasilkan asam humat. Selain itu, lignin terurai menjadi fenolik dan kuinon, yang dapat berpolimerisasi dengan turunan

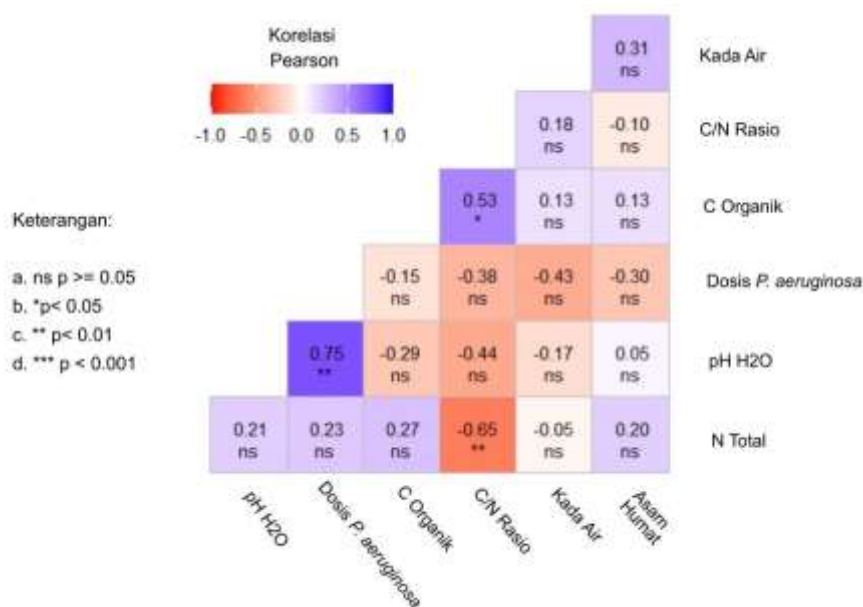
protein, yang selanjutnya berkontribusi pada pembentukan asam humat selama tahap tengah dan akhir pengomposan (Du et al., 2025). Namun perlakuan tertinggi bakteri (KK4) menghasilkan nilai asam humat jauh lebih rendah (1,18%), yang mengindikasikan bahwa dosis berlebih justru menghambat pembentukan senyawa humik. Diketahui bahwa penambahan *exogenous microorganism* seperti *P.aeruginosa* secara efektif dapat mempercepat kematangan kompos sehingga merangsang mikroorganisme fungsional untuk meningkatkan degradasi lignoselulosa dan pembentukan asam humat (Lu et al., 2024). Menurut Shamia et al. (2017) menerangkan bahwa rata-rata kompos mengandung asam humat 5-25% bergantung pada jenis kompos. Namun, meski nilainya dibawah 5% tetapi berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hartatik & Saramah, (2013) penggunaan pupuk kompos seperti kotoran ayam dan pupuk hijau menghasilkan nilai asam humat <1% namun secara signifikan ($p < 0,05$) dapat meningkatkan hasil kembang kol.

Tabel 2. Hasil analisis pengaruh *P. aeruginosa* terhadap unsur hara

Perlakuan	Kada Air (%)	pH H ₂ O	C Organik (%)	N Total (%)	C/N	Asam Humat (%)
C	9,01 ± 0,05	7,67 ± 0,04 ^c	9,19 ± 1,41	0,16 ± 0,04	63,9 ± 21,7	2,28 ± 0,09 ^b
KK1	8,87 ± 0,16	7,86 ± 0,10 ^b	9,46 ± 1,02	0,14 ± 0,01	66,2 ± 10,4	2,94 ± 0,60 ^{ab}
KK2	8,77 ± 0,30	7,84 ± 0,01 ^b	9,21 ± 2,17	0,18 ± 0,03	49,5 ± 3,9	3,65 ± 0,43 ^a
KK3	8,88 ± 0,05	8,02 ± 0,07 ^a	8,68 ± 1,94	0,21 ± 0,04	41,7 ± 4,5	2,58 ± 0,13 ^b
KK4	8,74 ± 0,05	7,91 ± 0,04 ^{ab}	8,59 ± 0,81	0,15 ± 0,02	56,4 ± 5,6	1,18 ± 0,51 ^c

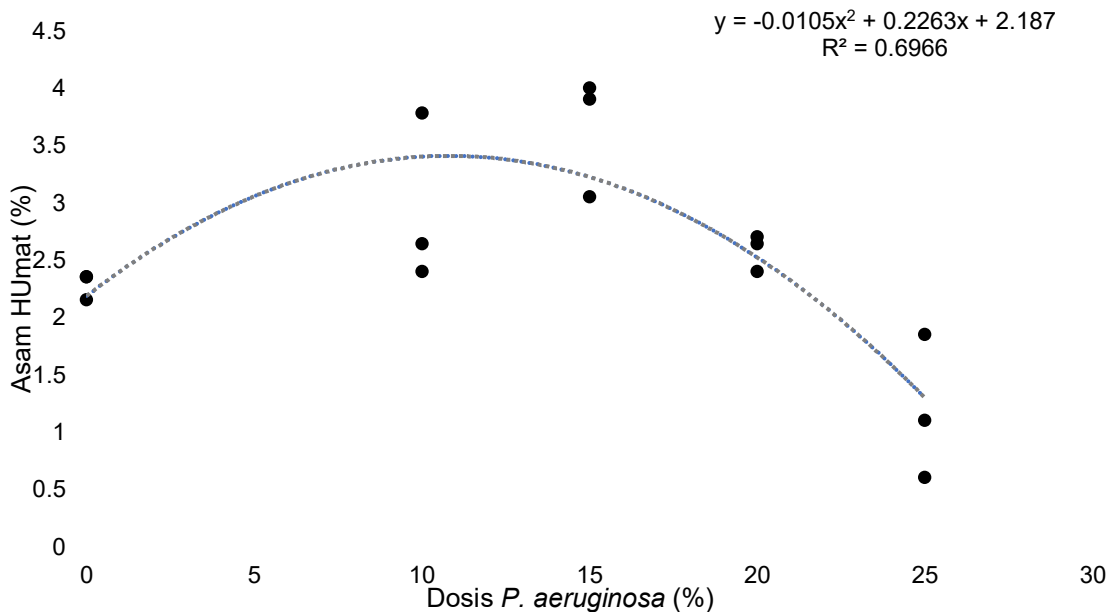
Hubungan dosis *P. aeruginosa* terhadap ketersediaan unsur hara pada kompos kertas

Hasil penelitian menunjukkan hubungan yang sangat signifikan ($p < 0,01$) dengan nilai korelasi ($r = 0.75$) antara peningkatan dosis *P.aeruginosa* dengan peningkatan pH H₂O pada kompos (Gambar 1), pada hubungan ini menunjukkan bahwa peningkatan dosis *P.aeruginosa* diikuti dengan peningkatan pH H₂O pada kompos kertas. Inokulan mikroba dapat mempercepat degradasi bahan organik dan memodifikasi proses mineralisasi, misalnya dengan meningkatkan amonifikasi dan reaksi yang menaikkan pH H₂O pada fase tertentu. Sehingga kompos yang diinokulasi sering menunjukkan kandungan pH berbeda dibanding dengan kontrol (tanpa inokulasi (Yang et al., 2023). Beberapa studi menerangkan bahwa strain *Pseudomonas* (sebagai agen pemecah bahan organik atau penghasil enzim) mampu mempengaruhi parameter fisikokimia kompos termasuk pH melalui mekanisme seperti pelepasan senyawa basa (amonium), perubahan laju mineralisasi, dan interaksi dengan fraksi organik humik (Mohapatra et al., 2024; de Mendonça et al., 2021).



Gambar 3. Hubungan dosis *P. aeruginosa* terhadap parameter unsur hara

Sementara itu, pada penelitian ini diteliti lebih lanjut hubungan kuadratik antara dosis *P. aeruginosa* dengan kadar asam humat, dimana sebesar 69% (Gambar 2) peningkatan dosis *P. aeruginosa* mempengaruhi ketersediaan asam humat. Hubungan peningkatan dosis *P. aeruginosa* menunjukkan adanya keadaan optimal (Gambar 2) di mana proses humifikasi paling efektif terjadi pada dosis KK2 (15%) lalu menurun bila dosis yang diberikan lebih besar lagi.



Gambar 4. Hubungan peningkatan dosis *P. aeruginosa* terhadap asam humat

Diduga terjadi konsep saturasi aktivitas mikroba dan perubahan keseimbangan substrat/oksigen pada dosis lebih dari 15 % *P. aeruginosa* (Gambar 2). Fenomena peningkatan asam humat pada rentang dosis rendah sampai menengah disebabkan oleh peningkatan aktivitas enzimatik karena terjadi degradasi lignoselulosa. Beberapa studi pengkomposan menyebutkan terjadi percepatan fase termofilik pada mikroba akibat kenaikan aktivitas enzimatik dan peningkatan persentase asam humik setelah penambahan mikroba dibanding dengan perlakuan kontrol (Zhu et al., 2023). Penurunan asam humat pada dosis yang lebih tinggi kemungkinan disebabkan oleh kompetisi intraspesifik, kejenuhan substrat, penurunan aerasi lokal (hipoksia mikro) atau pergeseran aktivitas mikroba ke mineralisasi non-humifikasi (Liu et al., 2018; Gao et al., 2024) .

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan *P. aeruginosa* berpengaruh terhadap karakteristik kimia kompos limbah kertas. Aplikasi bakteri mampu meningkatkan pH H₂O secara signifikan dengan korelasi sangat kuat ($r = 0,75$), serta meningkatkan pembentukan asam humat pada dosis optimum. Selain itu, terdapat kecenderungan peningkatan N total yang diikuti penurunan rasio C/N, mengindikasikan berlangsungnya proses dekomposisi dan pematangan kompos. Secara keseluruhan, penggunaan *P. aeruginosa* mampu memperbaiki kualitas kimia kompos kertas melalui mineralisasi bahan organik dan peningkatan fraksi humifikasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana atas hibah pendanaan penelitian oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Siliwangi dengan skema “Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., Zafar, U., Haq, T., & Ul Qader, S. A. (2024). Physicochemical and Biological Changes of Compost Inoculated with *Pseudomonas Aeruginosa* AAC1 and Rock Phosphate: Implications for P Availability. *Geomicrobiology Journal*, 41(8), 844–855. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/01490451.2024.2395356>
- Al-budairy, Z. J., & Al-Taweel, L. S. (2025). Impact of *Pseudomonas aeruginosa*, white fungus waste, and nano fertilizer on pyrophosphatase activity, growth characteristics, and yield of stevia plant. *Scientia Agropecuaria*, 16(3), 359–373. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2025.027>
- Ali, M., & Mindari, W. (2016). Effect of humic acid on soil chemical and physical characteristics of embankment.

- In *MATEC Web of Conferences: EDP Sciences.*, 58, 6.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1051/mateconf/20165801028>
- Ampong, K., Thilakarathna, M. S., & Gorim, L. Y. (2022). Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy*, 4, 848621.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fagro.2022.848621>
- Bernal, M. P., Sanchez-Monedero, M. A., Paredes, C., & Roig, A. (1998). Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 69(3), 175–189. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(98\)00106-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-8809(98)00106-6)
- Cao, R., Huang, Y., Li, R., Li, K., Ren, Z., & Wu, J. (2024). Regulation of nitrogen transformation and microbial community by inoculation during livestock manure composting. *Environmental Microbiology Reports*, 16(2), 13256. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1758-2229.13256>
- Cotrufo, M. M. & B. Z. (2000). Litter Decomposition: Carbon and Nitrogen Cycling in European Forest Ecosystems. In *Carbon and Nitrogen Cycling in European Forest Ecosystems* (pp. 276–296). https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-642-57219-7_13
- Du, Z., Fu, Q., Liu, J., Chai, X., & Wu, B. (2025). Molecular Humification Mechanisms of Dissolved Organic Matter during Maize Straw Composting Enhanced by Humus Soil Biomaterial: Paired-Molecule Mass Difference Reactomics Analysis Based on FT-ICR MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 73(34). <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5c05559>
- Gao, Y., Liu, S., Wang, N., & Wang, Y. Z. (2024). Humic acid biosynthesis and bacterial community evolution during aerobic composting of rice straw. *Humic Acid Biosynthesis and Bacterial Community Evolution during Aerobic Composting of Rice Straw*, 108(1), 177. <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12994-3>
- Ghanney, P., Yeboah, S., Anning, D. K., Yang, H., Wang, Y., & Qiu, H. (2023). Moisture-induced effects on lignocellulosic and humification fractions in aerobically composted straw and manure. *Fermentation*, 9(6), 551. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/fermentation9060551>
- Gümüş, İ., & Şeker, C. (2015). Influence of humic acid applications on soil physicochemical properties. *Solid Earth*, 7, 2481–5000.
- Hartatik, W. & S. (2013). Pengaruh Pemberian Pupuk Organik pada Kadar Asam Humat dan Asam Fulvat Tanah di Lahan Pertanian Organik. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 37(2), 79–86.
- Hartemink, A. E., & Barrow, N. J. (2023). Soil pH-nutrient relationships: the diagram. *Plant and Soil*, 486(1), 209–215. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11104-022-05861-z>
- Jesmin, T., Mitchell, D. T., & Mulvaney, R. L. (2021). Short-Term Effect of Nitrogen Fertilization on Carbon Mineralization during Corn Residue Decomposition in Soil. *Nitrogen*, 2(4), 444–460. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nitrogen2040030>
- Larasati, E. D., Dewi, R. D. T., Zahirah, A., Rahmatullah, O. N., & Herawati, N. (2023). SELULOSA DAN GLUKOSA. *Indonesian Chemistry and Application Journal*, 6(1), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.26740/icaj.v6i1.31844>
- Liu, J., Gao, G., Wang, S., Jiao, L., Wu, X., & Fu, B. (2018). The effects of vegetation on runoff and soil loss: Multidimensional structure analysis and scale characteristics. *Journal of Geographical Sciences*, 28(1), 59–78. <https://doi.org/10.1007/s11442-018-1459-z>
- Lu, M., Lin, B., Zhang, Y., Hao, Y., Li, K., Huang, Z., & Li, J. (2024). Insight into the molecular transformation pathways of humic acid in the co-composting of bagasse and cow manure after adding compound microorganisms. *Process Biochemistry*, 143, 23–33. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procbio.2024.04.029>
- Lu, Y., Yan, J., Peng, X., Fu, Q., Yuan, J., Jiang, J., & Tang, L. (2025). Dynamics of organic matter and bacterial community during the composting process of food waste rich in oil with the amendment of *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of Cleaner Production*, 506, 145456. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145456>
- Mendonça d.C., L. A., Damaceno, F. M., Chiarello, M., Bofinger, J., & Gazzola, W. (2021). Bioaugmentation as a strategy to improve the compost quality in the composting process of agro-industrial wastes. *Environmental Technology & Innovation*, 22, 101478.
- Mohapatra, M., Sahoo, R. K., & Tuteja, N. (2024). Phosphate solubilizing bacteria, *Pseudomonas aeruginosa*, improve the growth and yield of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 30(7), 1099–1111. <https://doi.org/10.1007/s12298-024-01478-x>
- Ortega-Torres, A. E., Rico-Garcia, E., Guzman-Cruz, R., Torres-Pacheco, I., Tovar-Perez, E. G., & Guevara-Gonzalez, R. (2021). Addition of Phosphatases and Phytases to Mature Compost to Increase Available Phosphorus: A Short Study. *Agronomy*, 11(12), 2555. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy11122555>
- Pratiwi, V., Oktarina, H., & Sriwati, R. (2021). The potential of *Trichoderma* spp. and *Pseudomonas auregenosa* as patchouli waste decomposer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 667(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/667/1/012019>
- Rastogi, M., Nandal, M., & Khosla, B. (2020). Microbes as vital additives for solid waste composting. *Heliyon*,

- 6(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03343>
- Safitri, H. F. D., & Sari, Y. P. (2021). Studi Komparasi Metode 3R (Reduce, Reuse, Recycle) Pada Pengolahan Sampah Di Indonesia. *The 13 Th University Research Colloquium 2021 In Prosiding University Research Colloquium*, 552–558. [https://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=3030430&val=27441&title=Studi Komparasi Metode 3R Reduce Reuse Recycle Pada Pengolahan Sampah Di Indonesia](https://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=3030430&val=27441&title=Studi%20Komparasi%20Metode%203R%20Reduce%20Reuse%20Recycle%20Pada%20Pengolahan%20Sampah%20Di%20Indonesia)
- Setiawan, I., & Datupalinge, B. A. (2023). Inovasi Pengurangan Sampah Perkotaan Dalam Mewujudkan Sustainable Development Goals Di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Administrasi Pemerintahan Daerah*, 15(2), 165–180. <https://doi.org/https://doi.org/10.33701/jiapd.v15i2.3822>
- Shamia, I. S., Halabi, M. N., & El-Ashgar, N. M. (2017). Humic acid determination in some compost and fertilizer samples. *UG Journal of Natural Studies*, 25(2), 42–50.
- Sharma, D., & Yadav, K. D. (2017). Bioconversion of flowers waste: Composing using dry leaves as bulking agent. *Environmental Engineering Research*, 22(3), 237–244. <https://doi.org/https://doi.org/10.4491/eer.2016.126>
- Sharma, N., Bhawana, Godiyal, R. D., & Thapliyal, B. P. (2020). A Review on Pulping, Bleaching and Papermaking Processes. *Journal of Graphic Era University*, 8(2), 95–112.
- Sootahar, M.K.; Zeng, X.; Wang, Y.; Su, S.; Soothar, P.; Bai, L.; Kumar, M.; Zhang, Y.; Mustafa, A.; Ye, N. (2020). The Short-Term Effects of Mineral-and Plant-Derived Fulvic Acids on Some Selected Soil Properties: Improvement in the Growth, Yield, and Mineral Nutritional Status of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Soils of Contrasting Textures. *Plants*, 9, 205.
- Sulistyaningsih, N., Wahyuni, W., & Mudjiharjati, A. (2007). Potensi *Pseudomonas aeruginosa* Dalam Ekstrak Pupuk Kompos Limbah Sayuran Sebagai Biofertilizer Tembakau Cerutu. *Jurnal Pertanian Mapeta*, 10(1), 42–50.
- Tang, Ruolan, Yan Liu, Ruonan Ma, Lanxia Zhang, Yanming Li, Guoxue Li, Dingmei Wang, Jiacong Lin, Qinfen Li, and J. Y. (2023). Effect of moisture content, aeration rate, and C/N on maturity and gaseous emissions during kitchen waste rapid composting. *Journal of Environmental Management*, 326, 116662. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116662>
- Tusar, H. M., Tusar, H. M., Mia, S., Kasim, S., Wahid, S., Sairi, N., & Komariah, K. (2025). Oxidized Acidic Biochar and *Pseudomonas aeruginosa* Enhanced Phosphorus Availability and Growth Performance of Transplanted Maize in Acid Soil. *Nature Environment and Pollution Technology*, 24(3), 1729. <https://doi.org/https://doi.org/10.46488/nept.2025.v24i03.d1729>
- Wang, C., & Kuzyakov, Y. (2024). Soil organic matter priming: The pH effects. *Global Change Biology*, 30(6). <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gcb.17349>
- Wei, R., Hui, C., Zhang, Y., Jiang, H., Zhao, Y., & Du, L.-N. (2021). Nitrogen removal characteristics and predicted conversion pathways of a heterotrophic nitrification–aerobic denitrification bacterium, *Pseudomonas aeruginosa* P-1. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(6), 7503–7514. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/S11356-020-11066-7>
- Yang, Q., Zhang, S., Li, X., Rong, K., Li, J., & Jiang, L. (2023). Effects of microbial inoculant and additives on pile composting of cow manure. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1084171. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1084171>
- Zhu, L., Zhao, Y., Yao, X., Zhou, M., Li, W., Liu, Z., & Hu, B. (2023). Inoculation enhances directional humification by increasing microbial interaction intensity in food waste composting. *Chemosphere*, 322, 138191. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138191>