

Pengaruh *Co-Composting* Fly Ash Batu Bara Dengan Bahan Organik Terhadap Sifat Kimia Kompos Dan Pertumbuhan Sawi Hijau Di Ultisol

The Effect Of Co-Composting Coal Fly Ash With Organic Materials On The Chemical Properties Of Compost And The Growth Of Green Mustard On Ultisol

Dewi Jayagma Ilham^{1*}, Aulia Meyuliana¹, Friza Elinda¹ and Tri Messa Juniza Maya Putri¹

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Mahaputra Muhammad Yamin, Jl. Jendral Sudirman No.6 Solok, Sumatera Barat, Indonesia

Artikel Info

Artikel Diterima : 31-10-2025

Artikel Direvisi : 19-11-2025

Artikel Disetujui : 19-12-2025

Kata Kunci : limbah, logam berat, oksida, pengomposan

Keyword : waste, heavy metals, oxides, composting.

*Corresponding author:

*dewijayagma@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.36355/jsa.v10i2.1874>

ABSTRAK

Penelitian untuk mengetahui pengaruh *co-compost fly ash* dengan bahan organik terhadap kualitas kompos dan pertumbuhan tanaman sawi hijau. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok Faktorial dengan dua faktor yaitu *co-compost* dan dosis. Faktor I: *Co-compost* dengan 3 taraf yaitu: *fly ash*+ kotoran ayam (FA+KA), *fly ash* + limbah pasar (FA+LP), *fly ash* + biochar (FA+BS) dan Faktor II: Dosis dengan 4 taraf yaitu : A0 (0 ton/ha), A1 (10 ton/ha), A2 (20 ton/ha), A3 (30 ton/ha). Hasil penelitian menunjukkan bahwa *co-compost fly ash* dengan beberapa bahan organik dapat meningkatkan kandungan oksida Ca, Mg, K, P dan S, Mn, serta *co-compost* FA+KA, FA+ SP, dan FA+ BS memiliki standar mutu yang sesuai dengan pupuk organik, kecuali

kandungan C-organik yang masih rendah yaitu sebesar 7,71%-3,95%. *Co-compost* FA+LP dan 20 ton/ha memiliki interaksi dan berpengaruh nyata terhadap jumlah daun sawi hijau. Selain itu, pemberian *co-compost* FA+ SP dengan dosis 20 ton/ha sudah mampu berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman sawi hijau. Hal ini menunjukkan *co-compost fly ash* dengan bahan organik dapat menjadi amelioran untuk meningkatkan kesuburan tanah.

ABSTRACT

This research aims to determine the effect of fly ash compost with organic materials on the quality of compost and the growth of green mustard. This study used a Factorial Randomized Block Design with two treatments, namely co-compost and dosage. Factor I: Co-compost with 3 levels, namely: fly ash + chicken manure (FA + KA, fly ash + market waste (FA + LP), fly ash + biochar (FA + BS) and Factor II: Dosage with 4 levels, namely: A0 (0 tons / ha), A1 (10 tons / ha), A2 (20 tons / ha), A3 (30 tons / ha). The results showed that fly ash co-compost with several organic materials can increase the content of Ca, Mg, K, P, and S, Mn oxides, and co-compost FA + KA, FA + LP, and FA + BS have quality standards in accordance with organic fertilizers, except for the low C-organic content of 7.71%-3.95%. the co-compost FA + LP and a dose of 20 tons/ha was a significant interaction and effect on the number of mustard green leaves. Furthermore, the application of FA+KA co-compost at a dose of 20 tons/ha significantly increased the height of mustard green plants. This indicates that co-composting fly ash with organic matter can act as an ameliorant to increase soil fertility.

Pendahuluan

Tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.) merupakan jenis sayuran yang sangat

dikenal dan banyak dikonsumsi masyarakat Indonesia. Menurut Hermansyah et al., (2021) Estimasi konsumsi sayuran sawi dari tahun 2020 sampai 2029 akan terus meningkat

dengan rata-rata 1,14 % pertahun. Sedangkan berdasarkan data BPS Kabupaten Solok tahun 2023, terjadi penurunan produksi tanaman sawi pada tahun 2022 sebesar sekitar 2,3% dibandingkan dengan tahun 2020. Untuk memenuhi kebutuhan pasar yang terus meningkat, diperlukan peningkatan hasil tanaman sawi setiap tahunnya melalui perbaikan kesuburan tanah.

Ultisol merupakan salah satu jenis tanah sub-optimal yang sangat luas di Indonesia, mencapai 45,8 juta hektar atau 25% total daratan. Tanah ini banyak ditemui di wilayah Sumatera, Kalimantan dan Sulawesi yang memiliki potensi besar untuk perluasan wilayah pertanian. Namun, potensi tersebut terhambat oleh tingkat kesuburan tanah yang rendah. Prasetyo dan Suriadikarta, 2006; Syahputra et al., (2015) menyatakan bahwa Ultisol memiliki kemasaman tinggi, defisiensi hara, kejenuhan Al tinggi (>60%), kandungan liat tinggi, dan bahan organik rendah. Selain itu, Ultisol juga memiliki P-tersedia, kapasitas tukar kation (KTK), dan kejenuhan basa (KB) yang rendah, serta kandungan unsur mikro seperti Fe dan Mn yang cukup tinggi, yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman (Wati et al., 2025). Oleh karena itu, diperlukan teknologi pengelolaan yang efisien dan ekonomis untuk memperbaiki permasalahan pada tanah Ultisol, salah satunya melalui pemberian bahan amelioran organik maupun anorganik guna meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas pertanian secara berkelanjutan.

Fly ash batu bara adalah limbah hasil pembakaran dari batu bara. Tingkat pemanfaatan *fly ash* di Indonesia masih tergolong rendah, yaitu sekitar 1-12%, jauh di bawah beberapa negara lain seperti India yang telah memanfaatkan sekitar 67%, Denmark telah mendaur ulang *fly ash* mencapai 90%, Jerman 75% dan Prancis 65% (Ekaputri & Bari, 2020 ; Han & Wu, 2019).

Berdasarkan karakteristiknya, *fly ash* memiliki kesamaan dengan abu vulkanis, karena keduanya termasuk dalam kelompok bahan pozzolan yang kaya akan mineral

oksida seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , dan Na_2O (Ilham et al., 2020).

Komposisi *fly ash* dapat berperan mirip dengan abu vulkanis, yaitu sebagai bahan amelioran yang mampu meningkatkan pH tanah, menurunkan kejenuhan aluminium, serta memperbaiki ketersediaan unsur hara pada tanah masam seperti Ultisol. Akan tetapi berdasarkan penelitian Skousen et al., 2013; Ram & Masto, 2014; Faoziah et al., (2022) penggunaan *fly ash* secara langsung dan tunggal berdampak negatif seperti, rendahnya ketersediaan unsur hara makro, pH tinggi, pelepasan unsur hara yang lambat meningkatkan konsentrasi logam berat pada tanah dan tanaman. Hal ini disebabkan tidak adanya aktivitas mikroba, aktivitas enzim sehingga membatasi proses mineralisasi pada pemberian *fly ash* langsung.

Bahan organik merupakan salah satu bahan amelioran tanah yang mampu menyumbangkan aktivitas mikroorganisme. Karwal & Kaushik, 2020; Mandpe et al., (2020a) menyatakan pemberian bahan organik dapat meningkatkan aktivitas mikroba karena mengandung unsur N, yang dibutuhkan untuk metabolisme dan pertumbuhan mikroba. Namun pencampuran bahan organik dengan *fly ash* tanpa dilakukan pengomposan tidak dapat menghambat ketersediaan logam berat. Pengomposan *fly ash* dengan bahan organik mampu mengendapkan logam berat dengan membuat ikatan hidroksil, sehingga ketersediaan logam berat berkurang. Oleh karena itu salah satu metode yang dapat digunakan adalah *co-composting*. Penerapan *fly ash* dalam proses *co-composting* (pengomposan) masih sedikit dilakukan, serta belum terdapat informasi yang jelas tentang jenis bahan organik yang mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara.

Selain itu, menurut Andarini et al., (2018) *fly ash* mengandung CaO sekitar 3-10%. Hal ini diharapkan dapat berperan seperti dolomit pada proses pengomposan, yaitu mampu menjaga kestabilan pH selama proses berlangsung karena sifatnya yang bersifat alkalis. Ge et al., (2022), menyatakan

bahwa selama pengomposan pH harus dijaga pada 7,5 – 8,5, karena aktivitas mikroba berada pada pH 6,7 – 9. Jika pH dalam pengomposan rendah dapat menghambat aktifitas mikroba dan temperatur kompos.

Bahan organik yang dapat dijadikan kompos yaitu kotoran ayam, limbah pasar dan Biochar. Pengomposan kotoran ayam dapat dengan teknik bokasi yang memiliki kadar C-organik 22,58%, N-total; 1,38%, fosfor 0,1% dan kalium; 2,54% (Irwan & Wahyudi, 2015). Meyuliana et al., 2024; Ilham et al., (2023) melaporkan pemberian bokasi mampu meningkatkan pertumbuhan sawi pagoda dan kacang hijau. Selain itu, kulit pisang kepok dan sawi-sawian juga dapat dijadikan bahan kompos. Setyawati et al., (2021) melaporkan limbah pasar sawi dan kubis memiliki kualitas yang baik dengan nilai pH 5-6.

Biochar merupakan bahan organik yang memiliki sifat stabil dapat dijadikan pembenah tanah lahan kering. Pemberian biochar sekam padi dengan dosis 10 t/ha meningkatkan C-organik, porositas tanah peningkatan air tanah tersedia sebesar, 1,5% sampai 15,47% (Mawardian, et al 2013). Oleh karena itu diharapkan *co-composting fly ash* dengan bahan organik mampu meningkatkan kualitas kompos dan pertumbuhan tanaman sawi hijau. Selain itu, dapat mengatasi limbah dan pencemaran lingkungan.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni hingga Agustus 2025, bertempat di Nagari Selayo, Kecamatan Kubung, Kabupaten Solok, Sumatera Barat. Bahan yang digunakan meliputi tanah Ultisol yang berasal dari Nagari Arian, Kecamatan X Koto Singkarak, Kabupaten Solok, Sumatera Barat, serta fly ash (FA) batu bara yang diperoleh dari PT PLN Indonesia Power UPB Ombilin, Sawahlunto. Bahan tambahan yang digunakan antara lain kotoran ayam, limbah pasar (seperti sayuran sawi-sawian dan kulit pisang kapok), biochar sekam padi, dan EM4 sebagai aktivator. Alat yang digunakan

polybag, pH meter, AAS, X-ray Fluorescence spectroscopy (XRF), spektrofotometer.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok Faktorial yang terdiri dari 2 faktor dengan 3 ulangan, Faktor I: *Co-compost* dengan 3 taraf yaitu: *Co-compost fly ash* dan kotoran ayam (FA +KA), *Co-compost fly ash* dan limbah pasar (FA+LP), dan *Co-compost fly ash* dan biochar (FA+BS). Faktor II: Dosis dengan 4 taraf yaitu : A0 (0 ton/ha), A1 (10 ton/ha), A2 (20 ton/ha), A3 (30 ton/ha). Analisis hasil penelitian akan dilakukan secara statistik dengan uji F apabila F hitung lebih besar dari F tabel, maka akan dilakukan dengan menggunakan uji lanjut DNMRT (Duncan New Multiple Test) pada taraf 5%.

Pembuatan pengomposan dengan komposisi 25 % fly ash batu bara + 75% bahan organik (Adnan *et al.*, 2025), adapun bahan utama pembuatan kompos sebagai berikut: a). *Co-compost fly ash* + limbah pasar (FA+LP), kompos ini terdiri dari *fly ash* dan limbah pasar. b). *Co-compost fly ash* + kotoran ayam (FA+KA), bahan kompos terdiri *fly ash* batu bara, kotoran ayam. c). *Co-compost fly ash* + Biocar (FA+BS) terdiri dari campuran biochar sekam padi, dan *fly ash*. Masing- masing co-compost dilakukan pengomposan dengan menambahkan dekomposer (gula dan EM4) dan dedak sambil diaduk. Terakhir, tutup campuran dengan rapat dan pastikan tidak ada udara yang masuk agar proses fermentasi berlangsung optimal. Pembalikan dilakukan setiap 2 kali seminggu sampai 4 minggu, hingga menunjukkan kompos warna coklat kehitaman, tekstur gembur, dan suhu mendekati suhu ruang 25-30°C.

Persiapan lahan dimulai dari membersihkan area yang dijadikan tempat untuk pelaksanaan penelitian dari gulma dan sisa tanaman yang sudah mati maupun yang masih hidup. Pembersihan ini bertujuan untuk menghindari serangan hama dan penyakit terhadap tanaman utama dan untuk meratakan permukaan tanah agar letak polybag tidak miring.

Pemberian perlakuan *co-compost* dicampur dengan tanah Ultisol. Setelah

tercampur merata, tanah dimasukkan ke dalam polybag, kemudian disiram air secukupnya, ditutup, dan diinkubasi. Penanaman bibit sawi hijau pada polybag dengan jarak 15 cm x 15 cm. Pemeliharaan dilaksanakan dengan penyiraman air, penyiangan gulma dan pengendalian hama penyakit.

Pengamatan terdiri dari karakteristik fly ash dan kompos, serta pertumbuhan tanaman. Kandungan komposisi kimia oksida dari fly ash dan kompos dianalisis menggunakan X-ray Fluorescence spectroscopy (XRF). Kemudian analisis kompos berupa pH H₂O (1:1), C-organik, N-total dengan metode khjedal, P-tersedian dengan metode Bray, unsur hara makro (K, Ca, Mg) dan unsur hara mikro (Fe, Mn, Zn). Metoda yang digunakan untuk analisis kompos dilakukan berdasarkan metoda petunjuk teknis analisis pupuk organik (Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk, 2023). Parameter pertumbuhan tanaman yang diamati terdiri tinggi tanaman dan jumlah daun tanaman sawi.

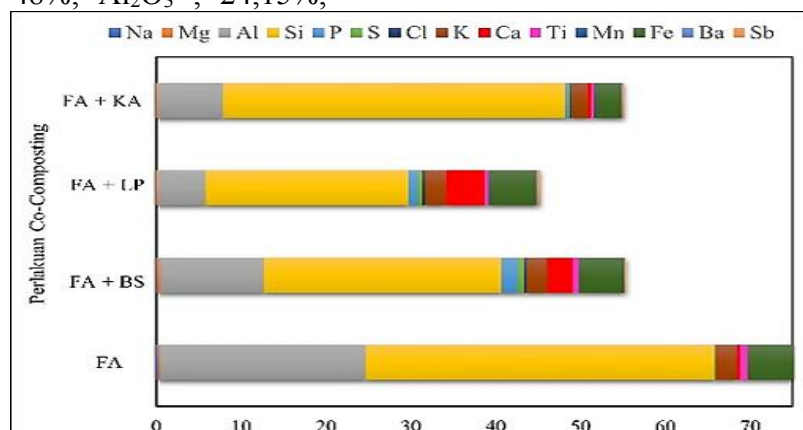
Hasil dan Pembahasan

Komposisi total oksida fly ash dan kompos

Karakteristik kandungan oksida yang terdapat pada *fly ash* dan *co-compost fly ash*+bahan organik memiliki kandungan yang berbeda. Gambar 1 menunjukkan hasil komposisi total oksida kandungan *fly ash* terdiri dari SiO₂ ; 48%, Al₂O₃ ; 24,15%,

Fe₂O₃ ; 6,01, K₂O; 2,58%, TiO₂; 0,79%, MgO; 0,26%, CaO; 0,41%, SO₃; 0,17%, BaO; 0,15%, Na₂O; 0,23%. Berdasarkan kandungan Oksida tidak terdapat logam berat (Pb, Cd, Xn, Cu, Cr) yang terkandung didalam *fly ash* yang digunakan pada penelitian. Menurut Zhang et al., 2022 bahwa Sebagian besar logam berat di Fly ash berada dalam bentuk yang tidak mudah larut, sehingga potensi pelindihan relative kecil. Selain itu, Menurut (Ahmad et al., 2024) fly ash yang digunakan tergolong fly ash kelas F karena dihasilkan dari batu bara antrasit atau bituminous dengan kandungan CaO <10%. Selain itu, Hanum et al., (2023) menyatakan fly ash didominasi oleh senyawa oksida silika, dan alumina, kemudian diikuti oleh elemen pendukung Ca, K dan P.

Setelah dilakukan *co-composting* terjadi perubahan komposisi jumlah oksida dibandingkan dengan komposisi oksida *fly ash* tunggal. Jumlah komposisi oksida *Co-compost* FA+BS, *co-compost* FA+KA dan *co-compost* FA+LP lebih rendah dibandingkan *fly ash*. Berdasarkan Gambar 1, terlihat penurunan kadar Si, Al, Fe, Na, Ti, dan Ba, yang merupakan unsur yang menghambat pertumbuhan tanaman. Sebaliknya, terjadi peningkatan oksida Ca menjadi 4,5% pada FA2 dan 2,98% pada FA1, oksida Mg menjadi 0,37% pada FA1, Akan tetapi munculnya oksida baru, seperti Mn sekitar 0,125% , dan oksida fosfor (P) sekitar 0,37% - 1,87%.



Gambar 1. Komposisi Total Oksida, FA= Fly Ash, FA +BS=*Co-compost Fly ash* + Biochar, FA+LP= *Co-compost Fly ash* + Limbah Pasar, FA+KA= *Co-compost Fly ash* + Kotoran Ayam.

Fly ash dikomposkan bersama bahan organik, terjadi serangkaian proses biokimia dan fisikokimia yang memengaruhi penurunan serta transformasi kandungan oksidanya. Manyapu et al., 2018; Mandpe et al., 2020; Dede et al., (2023) menyatakan pengomposan *fly ash* dan bahan organik menimbulkan efek pengenceran, sehingga proporsi oksida anorganik seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , dan MgO berkurang akibat meningkatnya fraksi organik.

Selama proses pengomposan, asam organik dan metabolit mikroba dapat bereaksi dengan oksida *fly ash*, sehingga menyebabkan transformasi oksida tersebut menjadi bentuk yang lebih mudah diserap atau terikat secara organik. Menurut Qu et al., 2019; Dede et al., (2023) senyawa humat dari bahan organik dapat mengikat unsur logam hasil pelarutan oksida fly ash, membentuk kompleks organo-mineral yang lebih stabil. Di sisi lain, aktivitas mikroba dan kondisi kelembapan yang tinggi selama pengomposan dapat memicu proses pelindihan dan pelarutan sebagian oksida, sehingga menyebabkan penurunan konsentrasi oksida dalam fase padat pada produk akhir kompos berbasis fly ash.

Kandungan unsur hara kompos

Karakteristik kompos campuran *fly ash* dengan bahan organik (KA, LP, BS) dan fly ash disajikan pada Tabel 1, yang menunjukkan pH, dan unsur hara makro (N,P,K), serta konsentrasi Fe, Zn dan Mn sudah memenuhi standar mutu permentan 2019. Manyapu et al., (2018) menyatakan penambahan *fly ash* kedalam pengomposan dapat meningkatkan pH kompos. Namun, kandungan C-organik *co-compost* sekitar 3,89% sampai 7,71% masih rendah dari standar. Hal ini karena *fly ash* memiliki kandungan C organik yang rendah karena karbon dalam *fly ash* sebagian besar sudah terbakar dan terdekomposisi selama proses pembakaran batubara.

Saat *fly ash* dicampur dalam kompos, kandungan C-organik total kompos seringkali menjadi kurang dari standar kualitas kompos yang ideal. Aktivitas mikroorganisme selama proses pengomposan menggunakan karbon organik sebagai sumber energi dan mengoksidasi menjadi CO_2 sehingga kandungan C organik menurun. Menurut Putri et al., (2023) kandungan C-organik pada kompos+*FABA* lebih rendah dibanding kompos. kandungan C-organik setelah dilakukan pengomposan dengan *FABA* sekitar 3,42% sampai 6,02% (Adnan et al., 2025).

Rendahnya kandungan C-organik diduga dipengaruhi oleh lama waktu pembuatan pengomposan. Penelitian ini melakukan pengomposan sekitar 30 hari, dengan waktu ini diduga proses pengomposan masih aktif dengan tingginya aktivitas enzim dan mikroba, mulai meningkatnya nutrisi, serta bahan organik belum sepenuhnya stabil. Sesuai dengan penelitian Karwal et al., (2020) pengomposan vermikompos fly ash dan press mud membutuhkan waktu 90 hari untuk mencapai kematangan maksimal, meskipun perubahan signifikan sudah terlihat pada 30 dan 60 hari.

Pengomposan ini terlihat terjadi perubahan peningkatan unsur hara. *Co-compost* FA+ KA menghasilkan konsentrasi unsur P total lebih tinggi dibandingkan FA+LP dan FA+BS. Aktivitas mikroba selama dekomposisi menghasilkan asam organik yang dapat melarutkan mineral yang terkait dengan fosfat dalam abu terbang, sehingga meningkatkan ketersediaan P dan Ca, Mg terhadap kompos. Mupambwa et al., (2015) melaporkan selama pengomposan aktivitas mikroba menghasilkan asam organik mengikat kation yang terikat pada mineral fosfat, Proses ini menyebabkan fosfat yang semula tidak tersedia menjadi larut dan tersedia bagi tanaman.

Tabel 1. Hasil analisis kandungan hara pada kompos fly ash dengan beberapa bahan organik

Parameter	Co-compost			Standar mutu *
	FA+KA	FA+LP	FA+BS	
pH	7,79	7,81	7,58	
C-organik (%)	6,73	7,71	3,89	
N-total (%)	0,92	1,43	0,71	N+P+K = min
P ₂ O ₅ (%)	4,45	3,82	0,51	2%
K ₂ O (%)	0,95	1,19	0,55	
Mg-total (%)	0,32	0,33	0,12	
Ca-total (%)	1,22	1,08	0,31	
Na-total (%)	0,17	0,11	0,06	
Fe-Total (ppm)	4468	1178	4176	max 15000
Zn-total (ppm)	266,05	236,35	103,22	max 5000
Mn-total (ppm)	485,17	545,99	354,83	max 5000

Keterangan: FA= Fly Ash, FA +BS= *co-compost Fly ash*+Biochar, FA+LP= *compost Fly ash*+Limbah Pasar, FA+KA= *compost Fly ash* +Kotoran Ayam. *:Standar mutu mengacu pada Peraturan Menteri Pertanian No. 261 tahun 2019 tentang Persyaratan teknis minimal pupuk organik, pupuk hayati, dan pembenah tanah.

Co-compost FA+LP memiliki kandungan unsur hara makro yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lain, hal ini diduga karena bahan baku yang digunakan juga mengandung unsur hara N, P, K yang cukup tinggi. Kandungan N, P, dan K pada pupuk cair dari limbah pasar bervariasi, misalnya N: 0,08–0,95%, P: 0,07–0,31%, K: 0,21–1,68% (Mangera & Ekowati, 2022; Ramarao et al., 2024). Menurut Nwajiaku et al., (2018) Biochar sekam merupakan bahan ameliorant organik kandungan karbon total berkisar 31–54%, nitrogen 0,6–4,9 g/kg, fosfor tersedia 0,01–1,19 g/kg, kalium 1,9–2,4 g/kg. Sebaliknya bokasi kotoran ayam memiliki kadar C-organik 22,58%, N-total; 1,38%, fosfor 0,1% dan kalium; 2,54% (Irwan & Wahyudi, 2015)

Hasil analisis oksida logam dalam penelitian ini menunjukan bahwa pengomposan bahan organik yang ditambahkan fly ash dengan takaran yang sesuai tidak menyebabkan peningkatan konsentrasi logam berat dalam kompos. Selain itu konsentrasi logam yang tercatat di semua perlakuan pengomposan berada dalam batas yang diizinkan Permentan 2019. Sehingga dapat menjadi pupuk organik bagi tanaman, meskipun memiliki kandungan C-organik yang rendah. Sesuai dengan penelitian

(Mandpe et al., 2020b) bahwa pengomposan fly ash sebanyak 200 g dengan 500 g daun kering, dan 300 g sampah organik mampu memiliki kandungan logam berat yang rendah dengan urutan Cu > Mn > Zn. Selain itu, Dede et al., (2023) menyatakan *fly ash* dapat membantu menstabilkan atau mengurangi ketersediaan logam berat Fe, Mn Cd, Cu, Pb, dan Zn, jika dikombinasikan dengan bahan organik (kompos dan biochar).

Pengaruh *Co-Compost Fly Ash* Dengan Beberapa Bahan Organik Terhadap Pertumbuhan Sawi Hijau

Tinggi tanaman sawi hijau

Hasil Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa interaksi aplikasi *co-compost* dan dosis tidak memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, terlihat pada Tabel 2. Pemberian perlakuan *co-compost* FA+KA atau *co-compost* FA+LP berpengaruh sangat nyata terhadap tinggi tanaman dibandingkan perlakuan *co-compost* +BS. Hal ini disebabkan oleh kandungan N-total pada *co-compost* FA+KA yang mencapai sekitar 0,92% dan pada *co-compost* FA+LP sekitar 1,43%, lebih tinggi dibandingkan *co-compost* FA+BS yang hanya mengandung sekitar 0,51%.

Tabel 2. Rataan Tinggi Tanaman Sawi saat 4 Minggu Setelah Tanam

<i>Co-composting fly ash</i> dengan bahan organik	Tinggi Tanaman Sawi Hijau (cm)				Rataan
	A0 (0 ton/ha)	A1 (10 ton/ha)	A2 (20 ton/ha)	A3 (30 ton/ha)	
FA+KA	18,3 tn	27,5	29,3	31,2	26,6a
FA+SP	17,4	26,2	29,7	29,5	26,2 a
FA+BS	15,7	21	25,1	25,5	21,8 b
Rataan	17,1 c	25,6 b	28,0 a	28,7 a	

Keterangan: FA= Fly Ash; FA+BS=*Co-compost fly ash* + Biochar; FA+LP=*Co-compost fly ash* + Limbah Pasar; FA+KA= *Co-compost fly ash* + Kotoran Ayam

Pemberian berbagai dosis pupuk co-compost berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman sawi hijau. Dosis 30 ton ha⁻¹ menghasilkan tinggi tanaman tertinggi, yaitu sekitar 28,7 cm, diikuti oleh dosis 20 ton ha⁻¹ dengan tinggi tanaman sekitar 28,0 cm. Kedua dosis tersebut tidak menunjukkan perbedaan yang nyata secara statistik, namun berbeda nyata dibandingkan dengan dosis 10 ton ha⁻¹ dan tanpa pemberian pupuk (0 ton ha⁻¹) yang hanya menghasilkan tinggi tanaman sekitar 17,1 cm.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Leten et al. (2023) yang melaporkan bahwa aplikasi kotoran ayam pada dosis 20 ton ha⁻¹ mampu menghasilkan tinggi tanaman sawi pada kisaran 25–29 cm. Selain itu, Ilham et al. (2025) juga menyatakan bahwa pemberian bokashi kotoran ayam pada dosis 20 ton ha⁻¹ secara nyata meningkatkan tinggi tanaman sawi hingga 28,17 cm, yang mengindikasikan bahwa dosis *co-compost* FA+KA 20 ton ha⁻¹ cukup mencukupi untuk mendukung pertumbuhan vegetatif optimal tanaman sawi. Namun demikian, tinggi tanaman sawi perlakuan *co-compost fly ash* dengan biochar dalam penelitian ini lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian sebelumnya yang hanya mencapai 19,75 cm (Jehada et al., 2022).

Meskipun memiliki kandungan c-organik yang rendah dibandingkan kompos umumnya sebesar 15%. Peningkatan tinggi tanaman sawi, ini diduga berkaitan dengan bertambahnya ketersediaan unsur Ca dan Mg

yang berperan penting dalam pembentukan klorofil daun. Shakeel et al. (2019) melaporkan bahwa aplikasi fly ash pada kisaran konsentrasi 10–30% mampu meningkatkan kandungan klorofil daun sawi dibandingkan perlakuan tanpa fly ash (0%).

Sesuai dengan penelitian Shakeel et al. (2019); (Yu et al., 2019) menyatakan akumulasi logam berat pada tanaman berada pada konsentrasi fly ash yang diatas 30% yang dapat menurunkan biomassa tanaman serta meningkatkan akumulasi logam berat seperti Cd dan Ni (Yu et al., 2019). Oleh karena itu, pengomposan bahan organik yang diperkaya fly ash dengan pemberian 25% fly ash masih dalam batas aman terhadap tanaman sawi hijau, meskipun perlu dilakukan uji lanjut terhadap kandungan oksida logam pada tanaman sawi.

Ketersediaan unsur hara P, K, Ca, dan Mg juga berpengaruh terhadap tinggi tanaman. Hal ini terlihat pada Tabel 1, yang menunjukkan bahwa *co-compost* FA+KA dan *co-compost* FA+LP memiliki kandungan unsur hara makro lebih tinggi dibandingkan *co-compost* FA+BS. Menurut Chen et al., 2018; Syamsiyah et al., (2024) bahwa Fosfor (P), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan kalium (K) berperan penting dalam meningkatkan tinggi tanaman melalui dukungannya terhadap pembelahan dan pemanjangan sel, pembentukan dinding sel, fotosintesis, serta keseimbangan air dan transpor nutrisi.

Jumlah daun sawi hijau

Hasil Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa interaksi *co-compost*

dan dosis pemberian berpengaruh sangat nyata terhadap jumlah daun tanaman sawi. Pengaruh pemberian kompos fly ash + bahan

organik dengan beberapa dosis terhadap jumlah daun tanaman dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rataan Jumlah daun Tanaman Sawi saat 4 Minggu Setelah Tanam

<i>Co-composting fly ash</i> dengan bahan organik	Jumlah Daun Tanaman Sawi Hijau (helai)				Rataan
	A0 (0 ton/ha)	A1 (10 ton/ha)	A2 (20 ton/ha)	A3 (30 ton/ha)	
FA+KA	6,58 c	8,5 b	8,92 a	9 a	8,25 a
FA+SP	6,42 d	9,58 a	9,88 a	10,08 a	8,99 a
FA+BS	6,67 c	6,75 c	7,75 c	8,17 b	7,34 b
Rataan	6,56 c	8,28 b	8,85 a	9,08 a	

Keterangan: FA= Fly Ash, FA +BS= Kompos Fly ash+Biochar, FA+LP= Kompos Fly Ash+Limbah Pasar, FA+KA= Kompos Fly Ash+Kotoran Ayam.

Pemberian perlakuan *co-compost* FA+LP dengan dosis 30 ton/ha dan 20 to/ha berbeda nyata terhadap jumlah daun tanaman, sekitar 10,08 helai dan 9,88 helai. Jumlah daun terendah terdapat pada perlakuan *co-compost* FA+LP dengan dosis 0 ton/ha, sekitar 6,42 helai. hal ini menunjukkan pemberian bahan organik yang telah di *co-compost* dengan fly ash dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman sawi.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Leten et al. (2023) yang melaporkan bahwa jumlah daun tanaman sawi hijau pada umur panen berada pada kisaran 9–12 helai per tanaman pada aplikasi kotoran ayam 20 ton ha⁻¹, dan lebih tinggi dibandingkan perlakuan tanpa pupuk organik. Demikian pula, Ardhayani et al. (2023) melaporkan bahwa pemberian pupuk NPK dan pupuk daun mampu meningkatkan jumlah daun sawi hingga 8,56 helai sampai 10,67 helai. Selain itu, Dahlianah (2019) melaporkan bahwa kompos sampah memiliki jumlah daun 7,25 - 8,75 helai per tanaman, yang relatif sama dengan hasil perlakuan FA+SP dan FA+LP pada dosis 20–30 ton ha⁻¹ dalam penelitian ini..

Jumlah daun tanaman sangat dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). *co-compost* FA+LP memiliki kandungan hara N,P,K lebih tinggi dibandingkan *co-compost* FA+KA dan FA+BS. Terdapatnya unsur hara pada

kompos ini dapat membantu dalam proses pembentukan klorofil, asam aminom dan pembukaan stoma. Nitrogen berperan utama dalam pembentukan klorofil, protein, dan asam amino yang menunjang proses fotosintesis dan pertumbuhan vegetative, sehingga meningkatkan jumlah daun tanaman, (Jiang et al., 2024). Sedangkan Kalium merangsang pertumbuhan daun dengan meningkatkan aktivitas enzim fotosintesis (misal Rubisco), memperbaiki transportasi hasil fotosintesis, dan menjaga keseimbangan air di jaringan daun (Xu et al., 2020).

Terjadinya interaksi antara jenis kompos dan dosis menunjukkan bahwa setiap kombinasi *co-compost* (FA+KA, FA+LP, dan FA+BS) memiliki perbedaan dalam kandungan pH, unsur hara, serta sifat dekomposisinya. Perbedaan tersebut menyebabkan respon pertumbuhan tanaman tidak hanya dipengaruhi oleh dosis yang diberikan, tetapi juga oleh karakteristik masing-masing jenis kompos yang digunakan.

Co-compost fly ash dengan bahan organik dapat meningkatkan jumlah daun tanaman karena kombinasi ini mampu memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi Ultisol. Menurut Karwal & Kaushik, 2020; Mupambwa et al., (2015) penambahan fly ash pada kompos dapat meningkatkan porositas, kapasitas menahan air, unsur hara K, P, Ca, Mg, Fe dan meningkatkan aktivitas mikroba dan enzim didalam tanah. Maulida & Hidayat, (2023) melaporkan bahwa aplikasi kompos dan biochar dari kotoran

burung puyuh dengan dosis 10, 15, dan 20 ton/ha secara signifikan meningkatkan pertumbuhan sawi (*Brassica juncea* L.) pada tanah ultisol, termasuk peningkatan jumlah daun dibandingkan kontrol. Hal ini karena biochar kompos membantu menstabilkan fosfor yang dilepaskan dan memperbaiki struktur tanah sehingga akar dapat menyerap lebih baik

Kesimpulan

Co-compost Fly ash dengan beberapa bahan organik dapat meningkatkan kandungan oksida, seperti Ca, Mg, K dan S dan dapat menurunkan kandungan logam berat (Mn, Fe dan Zn). Kualitas kompos yang dihasilkan sesuai dengan mutu pupuk organik kecuali C-organik yang masih rendah. Tinggi tanaman sawi dan jumlah daun terbaik menggunakan *co-compost* Fly ash + limbah pasar dengan dosis 20 ton/ha. Penggunaan fly ash dengan konsentrasi 25% mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman sawi, namun perlu dilakukan uji lebih lanjut kandungan oksida pada tanaman sawi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang kepada Kemendikbudristek atas kepercayaan dalam memberikan dana Hibah Penelitian Dosen Pemula Tahun 2025. Serta PT PLN Indonesia Power UPB Ombilin, Sawahlunto, atas dukungan dan penyediaan bahan fly ash. Selain itu, terima kasih kami tujukan kepada keluarga besar akademisi Universitas Mahaputra Muhammad Yamin, Solok, atas dan kontribusinya dalam penyelesaian penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Adnan, D. O., Saragih, G. M., & Auzana, A. (2025). Pemanfaatan Fly Ash Dan Bottom Ash Menjadi Kompos Untuk Ruang Terbuka Hijau. *Jurnal Daur Lingkungan*, 8(1), 7–10.
- Ahmad, S., Ghazi, M. S. A., Syed, M., & Al-Osta, M. A. (2024). Utilization of fly ash with and without secondary additives for stabilizing expansive soils: a review, *Results Eng.* 22 (2024) 102079.
- Andarini, N., Haryati, T., & Lutfia, Z. (2018). Sintesis zeolit A dari abu terbang (fly ash) batubara variasi rasio molar Si/Al. *Jurnal Ilmu Dasar*, 19(2), 105–110.
- Ardhayani, I., Syafi, M., & Rahayu, Y. S. (2023). Pengaruh Pemberian Kombinasi Pupuk NPK Majemuk Dan Pupuk Daun Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi Hijau (*Brassica juncea* Var. Shinta). *Jurnal Agroplasma*, 10(2), 612-620.
- Chen, C., Lee, C.-L., & Yeh, D. M. (2018). Effects of Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Calcium, or Magnesium Deficiency on Growth and Photosynthesis of *Eustoma*. *HortScience*, 53(6), 795-798.
- Dede, G., Sasmaz, B., Ozdemir, S., Caner, C., & Dede, C. (2023). Investigation of heavy metal and micro-macro element speciation in biomass ash enriched sewage sludge compost. *Journal of Environmental Management*, 344, 118330.
- Ekaputri, J. J., & Bari, M. S. Al. (2020). Perbandingan Regulasi Fly Ash sebagai Limbah B3 di Indonesia dan Beberapa Negara. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26(2), 150–162.
- Faoziah, N., Iskandar, & Djajakirana, G. (2022). Pengaruh Penambahan Kompos Kotoran Sapi dan FABA Terhadap Karakteristik Kimia pada Tanah Berpasir dan Pertumbuhan Tanaman Tomat. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 24(1), 1–5.
- Ge, M., Shen, Y., Ding, J., Meng, H., Zhou, H., Zhou, J., Cheng, H., Zhang, X., Wang, J., & Wang, H. (2022). New insight into the impact of moisture content and pH on dissolved organic matter and microbial dynamics during cattle manure composting. *Bioresource Technology*, 344, 126236.
- Han, F., & Wu, L. (2019). Industrial Solid Waste Recycling in Western China; 2019. *Springer Nature Singapore*.
- Hanum, F., Pramudya, Y., Chusna, F.,

- Desfitri, E. R., Hapsauqi, I., & Amrillah, N. A. Z. (2023). Analysis of Coal Fly Ashes from Different Combustion Processes for The Agricultural Utilization. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, 7(2), : 73–81.
- Hermansyah, D., Patiung, M., & Wisnujati, N. S. (2021). Analisis Trend dan Prediksi Produksi dan Konsumsi Komoditas Sayuran Sawi (*Brassica Juncea L*) di Indonesia Tahun 2020 s/d 2029. *Jurnal Ilmiah Sosio Agribis*, 21(2).
- Ilham, D. J., Elinda, F., Septiwahyuni, W., Yeni, M. S., Sari, D. P., Yonanda, G., & Hendri, M. (2023). Pengaruh Pemberian Bokasi Kotoran Ayam Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata*). *Jurnal Ilmiah Barih Solok*, 9(2), 19–28.
- Ilham, D. J., Kautsar, F. R., Januarti, J., Anggarini, U., Fiantis, D., & Fiantis, D. (2020). The potential use of volcanic deposits for geopolymer materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 497(1).
- Ilham, D. J., Meyuliana, A., Elinda, F., & Sumbari, A. I. (2025). Application of Rice Husk Biochar and Chicken Manure Bokashi on the Growth of Mustard Greens (*Brassica juncea L.*). *Agrotekma: Jurnal Agroteknologi Dan Ilmu Pertanian*, 9(2), 69–79.
- Irwan, H., & Wahyudi, I. (2015). *Pengaruh Beberapa Jenis Bokashi Terhadap Serapan Nitrogen Tanaman Jagung Manis (Zea Mays Saccharata) Pada Entisols Sidera*. Tadulako University.
- Jiang, K., Peng, S., Yin, Z., Li, X., Xie, L., Shen, M., Li, D., & Gao, J. (2024). Effects of N, P, K nutrition levels on the growth, flowering attributes and functional components in *Chrysanthemum morifolium*. *Horticulturae*, 10(3), 226.
- Karwal, M., & Kaushik, A. (2020). Co-composting and vermicomposting of coal fly-ash with press mud: changes in nutrients, micro-nutrients and enzyme activities. *Environmental Technology & Innovation*, 18, 100708.
- Leten, Y. S., Sujana, I. P., Raka, I. D. N., & Widyastuti, L. P. Y. (2023). Pengaruh Beberapa Jenis Pupuk Organik Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Sawi Hijau (*Brassica juncea L.*). *AGRIMETA*, 13(25), 38-43.
- Mandpe, A., Yadav, N., Paliya, S., Tyagi, L., Yadav, B. R., Singh, L., Kumar, S., & Kumar, R. (2020a). Exploring the synergic effect of fly ash and garbage enzymes on biotransformation of organic wastes in in-vessel composting system. *Bioresource Technology*, 322, 124557.
- Mandpe, A., Yadav, N., Paliya, S., Tyagi, L., Yadav, B. R., Singh, L., Kumar, S., & Kumar, R. (2020b). Exploring the synergic effect of fly ash and garbage enzymes on biotransformation of organic wastes in in-vessel composting system. *Bioresource Technology*, 322, 124557.
- Mangera, Y., & Ekowati, N. Y. (2022). Analysis of the Nutrient Content of Liquid Organic Fertilizer (POC) Household Organic Waste in Rimba Jaya Village, Merauke Regency Using the Stacked Bucket Method. *JURNAL Agronomi Tanaman Tropika (Juatika)*, 4(1), 206–214.
- Manyapu, V., Mandpe, A., & Kumar, S. (2018). Synergistic effect of fly ash in in-vessel composting of biomass and kitchen waste. *Bioresource Technology*, 251, 114–120.
- Maulida, D., & Hidayat, B. (2023). Peran Kotoran Burung Puyuh dalam bentuk kompos dan biochar pada Berapa Sifat Kimia Tanah dan Pertumbuhan Sawi (*Brassica juncea L.*) di Tanah Ultisol. *JURNAL AGROTEKNOLOGI*, 11(2), 18–26.
- Meyuliana, A., Yora, M., Elinda, F., Miranda, C. N. D., & Sihotang, S. (2024). The Combination of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) Paitan Root with Several Types of Bokashi and Its Effect on Tatsoi. *Agrotekma: Jurnal Agroteknologi Dan Ilmu Pertanian*, 9(1).

- Mupambwa, H., Dube, E., & Mnkeni, P. (2015). Fly ash composting to improve fertiliser value - A review. *South African Journal of Science*, 111, 1–6.
- Nwajiaku, I., Olanrewaju, J., Sato, K., Tokunari, T., Kitano, S., & Masunaga, T. (2018). Change in nutrient composition of biochar from rice husk and sugarcane bagasse at varying pyrolytic temperatures. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 7, 269–276.
- Prasetyo, B. H., dan Suriadikarta, D. A. (2006). Karakteristik, potensi, dan teknologi pengelolaan tanah ultisol untuk pengembangan pertanian lahan kering di indonesia. *Balai Penelitian Tanah. Bogor. Jurnal Litbang Pertanian*, 2, 39–47.
- Putri, A., Iskandar, I., Oktariani, P., & Limin, A. (2023). Effect of Coal Ash Enriched Compost on Soil Chemical Properties of Ultisols. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1266.
- Qu, C., Chen, W., Hu, X., Cai, P., Chen, C., & Yu, X. (2019). *Heavy metal behaviour at mineral-organo interfaces : Mechanisms , modelling and in fl uence factors*. 131(1).
- Ram, L. C., & Masto, R. E. (2014). Fly ash for soil amelioration: a review on the influence of ash blending with inorganic and organic amendments. *Earth-Science Reviews*, 128, 52–74.
- Ramarao, S., Azman, E. A., Tajidin, N., Ismail, R., & Yahya, B. (2024). Characterization of Liquid Organic Fertilizer (LOF) Derived from Unmarketable Vegetables and Fruits. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 47(2).
- Shakeel, A., Khan, A. A., & Ahmad, G. (2019). The potential of thermal power plant fly ash to promote the growth of Indian mustard (*Brassica juncea*) in agricultural soils. *SN Applied Sciences*, 1(4), 375.
- Setyawati, H., Sari, S. A., Nathania, D., & Zahwa, N. (2021). Pengaruh variasi jenis limbah sayuran (kubis, sawi, selada) dan kadar EM4 pada pembuatan pupuk kompos dengan proses fermentasi. *Jurnal Atmosphere*, 2(2), 1–7.
- Skousen, J., Yang, J. E., Lee, J. S., & Ziemkiewicz, P. (2013). Review of fly ash as a soil amendment. *Geosyst Eng*, 16.
- Syahputra, E., Fauzi, & Razali. (2015). Karakteristik Sifat Kimia Sub Grup Tanah Ultisol di Beberapa Wilayah Sumatera Utara. *Jurnal Agroekoteknologi*, 4(1), 1796–1803.
- Syamsiyah, J., Hartati, S., Rahmanisa, L., Maro'ah, S., & Herdiansyah, G. (2024). The effect of balanced N, P, K, Ca, Mg fertilizer on soil and leaf nutrient and its correlation with growth and corn yield (*Zea mays* L.). *Journal of Aridland Agriculture*, 10(58–64).
- Wati, K. R., Hazriani, R., & Manurung, R. (2025). Evaluasi Status Kesuburan Tanah Ultisol Pada Dua Penggunaan Lahan Di Desa Pak Bulu Kecamatan Anjongan Kabupaten Mempawah. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 12(1), 107–116.
- Xu, X., Du, X., Wang, F., Sha, J., Chen, Q., Tian, G., Zhu, Z., Ge, S., & Jiang, Y. (2020). Effects of Potassium Levels on Plant Growth, Accumulation and Distribution of Carbon, and Nitrate Metabolism in Apple Dwarf Rootstock Seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 11.
- Yu, C. L., Deng, Q., Jian, S., Li, J., Dzanter, E. K., & Hui, D. (2019). Effects of fly ash application on plant biomass and element accumulations: a meta-analysis. *Environmental pollution*, 250, 137–142.
- Zhang, Z., Cai, W., Hu, Y., Yang, K., Zheng, Y., Fang, C., , C., & Tan, Y. (2022). Ecological Risk Assessment and Influencing Factors of Heavy-Metal Leaching From Coal-Based Solid Waste Fly Ash. *Frontiers in Chemistry*, 10.