

## Pengaruh *Slow-Release Organic Fertilizer* Berbasis Kotoran Ayam terhadap Sifat Kimia Tanah Aluvial Masam dan Pertumbuhan Selada (*Lactuca sativa* L.)

Sri Rahayu\*, Ismail Astar, Setiawan, dan Agus Suyanto

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian,  
Sains dan Teknologi Universitas Panca Bhakti,  
Jl. Komodor Yos Sudarso, Sungai Jawi Luar, Pontianak 78244

\*Alamat korespondensi: sri.rahayu@upb.ac.id

INFO ARTIKEL	ABSTRACT/ABSTRAK
Diterima: 21-02-2026 Direvisi: 18-05-2026 Dipublikasi: 26-05-2026	<b>Effect of Chicken Manure–Based Slow-Release Organic Fertilizer on Chemical Properties of Acidic Alluvial Soil and Growth of Lettuce (<i>Lactuca sativa</i> L.)</b>
Keywords: Acidic alluvial; Biomass; Chicken manure; Slow-release fertilizer; Soil chemical properties	Acidic alluvial soils are characterized by low pH, limited cation exchange capacity, and high levels of exchangeable aluminum, which constrain nutrient availability and the growth of horticultural crops. These limitations necessitate soil management strategies that not only supply nutrients but also sustainably improve soil chemical properties. Slow-release organic fertilizers (SROFs) represent a promising approach by gradually releasing nutrients while enhancing soil conditions over time. Therefore, this study aimed to evaluate the effectiveness of a slow-release organic fertilizer formulated from chicken manure, rice husk ash, and cassava starch in improving soil properties and lettuce ( <i>Lactuca sativa</i> L.) growth. The experiment was conducted in a greenhouse of the Agriculture, Science, and Technology Faculty, Universitas Panca Bhakti Pontianak, from January to March 2025, using a completely randomized design with five fertilizer dosage levels (0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, and 12.5 g/plant), replicated four times. The observed parameters included nutrient release patterns (N, P, and K), soil chemical properties, and plant growth. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) at 1% significant level and Tukey's Honest Significant Difference (HSD) at 5% significant level. The fertilizer exhibited a controlled nutrient release for up to 60 days. The application of SROF significantly increased soil pH (from 3.57 to 5.20), reduced exchangeable Al (from 0.79 to 0.30 cmol(+) kg <sup>-1</sup> ), and improved organic carbon content, cation exchange capacity, base saturation, and nutrient availability. These improvements enhanced plant height, leaf number, stem diameter, root length, and biomass, with optimal performance observed at application dosage of 10–12.5 g/plant. This study demonstrates that chicken manure–based SROF is effective as both a soil ameliorant and a sustainable nutrient source for improving alluvial soil quality and lettuce productivity on acidic soils.
Kata Kunci: Aluvial masam; Biomassa; Kotoran ayam; Pupuk lepas lambat; Sifat Kimia tanah	Tanah aluvial masam dicirikan oleh pH rendah, kapasitas tukar kation yang terbatas, serta kandungan aluminium dapat ditukar yang tinggi, yang membatasi ketersediaan hara dan pertumbuhan tanaman hortikultura. Keterbatasan ini menuntut strategi pengelolaan tanah yang tidak hanya mampu menyediakan hara, tetapi juga meningkatkan sifat kimia tanah secara berkelanjutan. Pupuk lepas lambat ( <i>slow-release organic fertilizers</i> /SROF) merupakan pendekatan yang menjanjikan karena mampu melepaskan hara secara bertahap sekaligus memperbaiki kondisi tanah dari waktu ke waktu.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas pupuk organik lepas lambat yang diformulasikan dari kotoran ayam, abu sekam padi, dan pati singkong dalam memperbaiki sifat tanah dan pertumbuhan selada (*Lactuca sativa* L.). Percobaan dilakukan di rumah kaca Fakultas Pertanian, Sains dan Teknologi Universitas Panca Bhakti Pontianak pada bulan Januari - Maret 2025, menggunakan rancangan acak lengkap dengan lima taraf dosis SROF (0; 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; dan 12,5 g/tanaman), masing-masing dengan empat ulangan. Parameter yang diamati meliputi pola pelepasan hara (N, P, dan K), sifat kimia tanah, pertumbuhan dan biomassa tanaman. Analisis data dilakukan menggunakan analisis varians (ANOVA) taraf nyata 1% dan uji lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) taraf nyata 5%. Pupuk menunjukkan pola pelepasan hara yang terkendali hingga 60 hari. Aplikasi SROF secara signifikan meningkatkan pH tanah (dari 3,57 menjadi 5,20), menurunkan Al dapat ditukar (dari 0,79 menjadi 0,30 cmol(+) kg<sup>-1</sup>), serta meningkatkan kandungan karbon organik, kapasitas tukar kation, kejenuhan basa, dan ketersediaan hara. Perbaikan tersebut secara signifikan meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, panjang akar dan biomassa, dengan hasil optimal pada dosis 10–12,5 g/tanaman. Penelitian ini menunjukkan bahwa SROF berbasis kotoran ayam efektif sebagai amelioran tanah sekaligus sumber hara berkelanjutan untuk meningkatkan kualitas tanah aluvial dan produktivitas selada pada tanah masam.

## PENDAHULUAN

Keberlanjutan sistem pertanian di lahan suboptimal, khususnya tanah aluvial masam, menghadapi tantangan besar akibat rendahnya kesuburan tanah, keasaman tinggi, dan ketersediaan hara yang terbatas (Zhang *et al.*, 2023; Astar dkk., 2026). Tanah aluvial masam umumnya terbentuk dari proses deposisi material sedimen muda di daerah dataran banjir atau rawa yang mengalami pencucian intensif serta akumulasi bahan induk masam, sehingga menyebabkan rendahnya kejenuhan basa dan dominasi ion H<sup>+</sup> serta Al<sup>3+</sup> dalam kompleks pertukaran tanah. Keasaman tanah menyebabkan kelarutan aluminium (Al<sup>3+</sup>) meningkat, yang bersifat toksik bagi akar tanaman serta menghambat penyerapan hara esensial seperti fosfor (P), kalsium (Ca), dan magnesium (Mg) (Yin *et al.*, 2022; Nas, 2024; Malathi *et al.*, 2025). Oleh karena itu, peningkatan sifat kimia tanah menjadi langkah krusial dalam meningkatkan produktivitas tanaman pada kondisi tersebut. Salah satu strategi yang berkembang adalah aplikasi pupuk organik lepas lambat (*slow-release organic fertilizer*, SROF) sebagai amelioran dan sumber hara jangka panjang. Salah satu pupuk organik yang banyak digunakan berbahan kotoran ayam.

Pupuk organik lepas lambat berbasis bahan lokal seperti kotoran ayam, sekam padi, dan tepung

kanji menawarkan sejumlah keunggulan, seperti kemampuan meningkatkan pH tanah, kapasitas tukar kation (KTK), serta ketersediaan unsur hara makro dan mikro (Altuntaş *et al.*, 2022; Wahdah dkk., 2024). Pupuk berbasis kotoran unggas dikenal memiliki kandungan nitrogen dan fosfor yang tinggi, sementara abu sekam padi kaya akan kalsium, kalium, dan silika, yang berperan dalam peningkatan kejenuhan basa dan netralisasi ion H<sup>+</sup> dan Al<sup>3+</sup> (Boateng *et al.*, 2006; Jeje *et al.*, 2023). Kombinasi bahan-bahan ini memungkinkan formulasi pupuk organik dengan rasio C/N yang optimal untuk mendukung dekomposisi yang lebih terkendali dan pelepasan hara secara bertahap (Pattinasarany dkk., 2023).

Di sisi lain, sistem pelepasan hara yang lambat dan berkelanjutan dari pupuk organik telah terbukti efektif dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman hortikultura, termasuk selada (*Lactuca sativa* L.), yang memiliki kebutuhan hara tinggi dan sensitif terhadap kondisi tanah masam (Cera, 2022; Sanda & Hasnelly, 2023). Selada membutuhkan kisaran pH optimal 6,0–6,8 untuk mendukung perkembangan akar dan efisiensi serapan hara (Suharjo, 2024). Oleh karena itu, aplikasi SROF pada tanah aluvial masam diharapkan tidak hanya meningkatkan sifat kimia tanah, tetapi juga mendorong pertumbuhan vegetatif dan akumulasi biomassa tanaman secara optimal.

Meskipun berbagai penelitian telah melaporkan efektivitas pupuk kandang ayam dan bahan organik lokal dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman dibandingkan dengan pupuk kimia konvensional (Adeyemo *et al.*, 2019; Agbede, 2025), kajian mengenai formulasi pupuk organik lepas lambat berbasis bahan lokal di Indonesia masih relatif terbatas dan belum terstandar, khususnya yang mengintegrasikan bahan kotoran ayam, sekam padi, dan pengikat alami seperti tepung kanji. Selain itu, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pupuk organik konvensional tanpa mempertimbangkan mekanisme pelepasan hara yang terkontrol. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Hoover *et al.* (2019) menunjukkan bahwa sistem pelepasan hara terkendali dapat meningkatkan efisiensi pemupukan dan menekan kehilangan hara, namun implementasinya pada kondisi spesifik tanah aluvial masam dan tanaman hortikultura di Indonesia masih jarang dilaporkan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara empiris pengaruh aplikasi pupuk organik lepas lambat terhadap peningkatan sifat kimia tanah aluvial masam dan pertumbuhan tanaman selada. Fokus penelitian meliputi analisis perubahan pH tanah, kejenuhan basa, kadar Al-tukar, serta ketersediaan hara, disertai evaluasi respons pertumbuhan tanaman melalui parameter tinggi tanaman, jumlah daun, bobot segar dan kering, diameter batang, serta perkembangan sistem perakaran. Melalui penggunaan tanaman selada sebagai indikator biologis dan parameter kimia tanah sebagai indikator lingkungan, penelitian ini diharapkan dapat memperkuat dasar ilmiah pengembangan teknologi pupuk organik lepas lambat berbasis sumber daya lokal untuk mendukung pertanian berkelanjutan pada lahan marginal.

## BAHAN DAN METODE

### Lokasi dan Waktu Penelitian

Percobaan dilaksanakan di rumah kaca Fakultas Pertanian, Sains dan Teknologi Universitas Panca Bhakti Pontianak, yang berada pada ketinggian  $\pm 1$  m di atas permukaan laut (mdpl) dengan menggunakan media tanam jenis tanah aluvial masam (pH < 4,5). Percobaan dilakukan selama tiga bulan pada musim kemarau (Januari-Maret 2025), yang dinilai optimal untuk pertumbuhan tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) varietas Grand Rapid. Analisis

tanah dilakukan di Laboratorium Tanah Universitas Tanjungpura, Pontianak.

### Rancangan Percobaan

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktor tunggal yaitu dosis pupuk lepas lambat organik, yang terdiri atas enam taraf perlakuan, yaitu P0: 0 g/tanaman (kontrol); P1: 2,5 g/tanaman; P2: 5,0 g/tanaman; P3: 7,5 g/tanaman; P4: 10,0 g/tanaman; dan P5: 12,5 g/tanaman. Setiap perlakuan diulang sebanyak empat kali dan setiap ulangan terdiri dari tiga tanaman, sehingga jumlah total tanaman dalam percobaan sebanyak 72 tanaman.

### Prosedur Pembuatan dan Aplikasi Pupuk

Pupuk lepas lambat berbasis organik (*slow-release organic fertilizer*, SROF) diformulasikan menggunakan kotoran ayam sebagai sumber hara utama, natrium alginat sebagai polimer enkapsulasi, dan abu sekam padi (*rice husk ash*, RHA) sebagai pembawa kaya silika sekaligus komponen pengapuran, dengan perbandingan massa 70:20:10 (kotoran ayam:RHA:natrium alginat, bobot kering). Natrium alginat terlebih dahulu dilarutkan dalam air deionisasi untuk menghasilkan larutan 2% (b/v) sebelum proses pencampuran. Kotoran ayam dikomposkan, dikeringkan pada suhu 60°C, kemudian digiling hingga lolos ayakan 1 mm sebelum digunakan. Abu sekam padi diperoleh melalui pembakaran terkendali pada suhu 500°C dan berfungsi sebagai bahan tambahan mineral sekaligus sumber kation basa (Teutscherová *et al.*, 2023; Maharani *et al.*, 2025). Proses granulasi dilakukan dengan mencampurkan kotoran ayam yang telah dihomogenkan dengan larutan natrium alginat dan RHA, kemudian dilanjutkan dengan proses *crosslinking* menggunakan larutan CaCl<sub>2</sub> 0,1 M untuk membentuk butiran hidrogel kalsium alginat. Granul yang terbentuk selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 40°C dan disimpan dalam kantong polietilena tertutup hingga digunakan. Kemudian dianalisis kandungan hara produk akhir SROF (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, dan K<sub>2</sub>O). Secara umum, proses pembuatan pupuk disajikan pada Gambar 1. Aplikasi pupuk dilakukan satu kali saat tanam, sesuai dosis perlakuan, dengan cara dicampur secara merata ke dalam media pot.



Gambar 1. Proses pembuatan dan aplikasi *slow-release organic fertilizer* (SROF).

### Parameter yang Diamati Sifat Kimia Tanah

Analisis dilakukan sebelum dan sesudah aplikasi pupuk untuk parameter pH ( $H_2O$  dan KCl), C-organik (%), N-total (%), P tersedia (Bray I, ppm), K, Ca, Mg, Na (cmol(+)/kg), Aluminium (Al-tukar), kapasitas tukar kation (KTK) dan kejenuhan basa (%). Metode analisis mengikuti prosedur standar dari SNI dan *Walkley & Black* untuk C-organik, *Kjeldahl* untuk N, *Bray I* untuk P, dan ekstraksi  $NH_4OAc$  pH 7 untuk kation basa (Yin *et al.*, 2022; Wahdah dkk., 2024).

### Pertumbuhan dan Biomassa Tanaman Selada

Pengukuran parameter pertumbuhan dan biomassa tanaman selada dilakukan pada saat panen, yaitu 35 hari setelah pindah tanam (HSPT). Parameter pertumbuhan yang diamati meliputi tinggi tanaman (cm), jumlah daun (helai), diameter batang (mm), serta panjang akar (cm). Tinggi tanaman diukur dari permukaan tanah hingga ujung daun tertinggi menggunakan penggaris, sedangkan jumlah daun dihitung secara langsung pada setiap tanaman. Diameter batang diukur pada posisi 1 cm di atas permukaan tanah menggunakan jangka sorong digital. Panjang akar ditentukan sebagai panjang akar terpanjang yang diukur dari pangkal batang. Pengukuran biomassa tanaman meliputi bobot segar (g) dan bobot kering tajuk (g) serta akar (g). Tajuk dan akar dipisahkan dengan cara memotong pada bagian pertemuan akar dan tajuk. Akar yang telah dipisahkan kemudian dicuci menggunakan air mengalir untuk menghilangkan partikel tanah yang menempel, selanjutnya dikeringkan secara permukaan menggunakan kertas penyerap. Bobot segar akar ditentukan segera setelah pencucian (kurang dari lima menit) menggunakan neraca

analitik dengan ketelitian  $\pm 0,01$  g untuk meminimalkan kehilangan air akibat evaporasi. Bobot segar tajuk ditimbang segera setelah panen. Selanjutnya, sampel tajuk dikeringkan dalam oven pada suhu  $70^\circ C$  selama 48 jam hingga mencapai bobot konstan untuk memperoleh bobot kering. Seluruh parameter diamati pada empat tanaman ulangan untuk setiap perlakuan (Benjamin & Nielsen, 2004).

### Analisis Data

Data dianalisis menggunakan analisis varians (ANOVA) satu arah pada taraf kepercayaan 99% untuk melihat pengaruh dosis pupuk terhadap setiap parameter. Jika terdapat beda nyata pada perlakuan, uji lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) taraf nyata 5% digunakan untuk membandingkan antarperlakuan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pelepasan Unsur Hara Pupuk Lepas Lambat Organik Berdasarkan Metode *Water Dissolution*

Karakter utama *slow-release organic fertilizer* (SROF)/pupuk lepas lambat organik adalah pelepasan unsur hara yang berlangsung secara bertahap dalam kurun waktu tertentu, sehingga ketersediaan hara lebih sinkron dengan kebutuhan tanaman dan kehilangan hara dapat ditekan (Purnomo *et al.*, 2017; Hoover *et al.*, 2019). Hasil uji pelepasan unsur hara menggunakan metode *water dissolution* (Tabel 1) menunjukkan bahwa pupuk lepas lambat organik berbahan kotoran ayam, sekam padi, dan alginat sebagai pengikat memiliki pola pelepasan N, P, dan K yang meningkat secara bertahap seiring waktu inkubasi dan berbeda nyata antarwaktu inkubasi ( $p < 0,01$ ), mengindikasikan mekanisme pelepasan hara yang terkontrol.

Tabel 1. Pelepasan Unsur Hara dari Pupuk Lepas Lambat Organik Berdasarkan Metode *Water Dissolution*

Waktu Inkubasi (hari)	Pelepasan N (%)	Pelepasan P (%)	Pelepasan K (%)
7	44,88 ± 1,61 a	44,67 ± 1,96 a	50,30 ± 3,83 a
14	58,50 ± 2,71 b	62,36 ± 4,94 b	65,88 ± 3,20 b
28	76,66 ± 5,04 c	76,16 ± 4,93 c	76,04 ± 2,86 c
42	80,61 ± 1,81 c	84,75 ± 4,55 cd	93,60 ± 5,51 d
60	93,31 ± 4,83 d	88,02 ± 8,16 d	94,31 ± 3,95 d

Keterangan: Nilai yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNJ taraf nyata 5%.

Berdasarkan Tabel 1, pelepasan unsur hara N, P, dan K menunjukkan peningkatan seiring waktu inkubasi dan berbeda nyata antarwaktu ( $p < 0,05$ ). Hingga hari ke-28, pelepasan masih berada pada kisaran 44–76%, kemudian meningkat mendekati maksimum pada hari ke-42 hingga ke-60. Pola ini mengindikasikan bahwa pupuk tidak melepaskan hara secara instan, melainkan secara bertahap dalam periode waktu tertentu. Jika ditinjau lebih rinci, pada fase awal inkubasi (7 hari) pelepasan hara telah mencapai sekitar 44–50%. Nilai ini menunjukkan adanya pelepasan awal (*initial release*) dari fraksi hara yang mudah larut. Namun demikian, analisis kenaikan antarwaktu inkubasi memperlihatkan bahwa laju pelepasan tidak konstan. Kenaikan pelepasan nitrogen, misalnya, sebesar 13,62% pada interval 7–14 hari, meningkat menjadi 18,16% pada interval 14–28 hari, kemudian menurun menjadi 3,95% pada interval 28–42 hari. Pola serupa juga terjadi pada fosfor dan kalium. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat pelepasan awal yang relatif tinggi, fase berikutnya didominasi oleh pelepasan dengan laju yang lebih terkendali.

Secara agronomis, dinamika ini masih relevan dengan kebutuhan tanaman. Fase awal pertumbuhan memerlukan ketersediaan hara yang cukup cepat untuk mendukung pembentukan daun dan sistem perakaran, sedangkan pada fase berikutnya tanaman memerlukan suplai hara yang lebih stabil dan berkelanjutan. Oleh karena itu, kombinasi antara pelepasan awal dan pelepasan lanjutan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 justru mendukung efisiensi pemupukan dan sinkronisasi antara ketersediaan hara dan kebutuhan tanaman (Shaviv, 2001; Trenkel, 2010). Jika dilihat per unsur, nitrogen menunjukkan peningkatan bertahap dari 44,88% pada hari ke-7 menjadi 93,31% pada hari ke-60. Fosfor memiliki laju pelepasan yang relatif lebih lambat, dari 44,67% menjadi 88,02%, yang mengindikasikan adanya fraksi P yang tidak mudah larut. Sementara itu, kalium menunjukkan pelepasan yang relatif lebih cepat dibandingkan dengan N dan P, namun tetap mengikuti pola bertahap. Perbedaan ini

mencerminkan karakteristik kimia masing-masing unsur serta bentuk keberadaannya dalam formulasi pupuk (Yin *et al.*, 2022; Fahrumsyah dkk., 2023; Wahdah dkk., 2024).

Mekanisme pelepasan hara pada sistem ini dimungkinkan dikendalikan oleh kombinasi proses fisik dan biokimia. Struktur matriks pupuk berperan sebagai penghambat difusi awal, sehingga tidak seluruh hara langsung terlarut. Seiring waktu, penetrasi air ke dalam matriks meningkatkan mobilitas hara, sementara fraksi organik, khususnya nitrogen dari kotoran ayam, mengalami mineralisasi secara bertahap sebelum tersedia dalam bentuk anorganik (Mulbry *et al.*, 2005; Purnomo *et al.*, 2017). Interaksi ini menghasilkan pola pelepasan yang tidak linier, tetapi tetap terkendali sepanjang periode inkubasi.

Sebagai perbandingan, pupuk konvensional tanpa perlakuan pelapisan (*non-coated fertilizers*) umumnya menunjukkan pelepasan hara yang sangat cepat, di mana sebagian besar nitrogen dan kalium dapat terlarut dalam waktu kurang dari beberapa hari hingga dua minggu setelah aplikasi, tergantung pada kondisi lingkungan (Shaviv, 2001; Trenkel, 2010). Efisiensi penggunaan hara menjadi cenderung rendah karena tingginya potensi kehilangan melalui pencucian dan volatilisasi. Sebaliknya, hasil pengujian pada Tabel 1 menunjukkan bahwa pelepasan hara masih berlangsung hingga 60 hari, yang menandakan adanya mekanisme pelepasan tertunda meskipun periode tersebut secara agronomis masih tergolong jangka menengah. Karakter ini menjadi penting terutama pada tanah aluvial masam yang umumnya memiliki kapasitas tukar kation rendah dan kejenuhan basa yang rendah, sehingga lebih rentan terhadap kehilangan hara, khususnya nitrogen dan kalium (Yin *et al.*, 2022). Pupuk dengan pelepasan terkendali lebih mampu menjaga ketersediaan hara dalam zona perakaran dibandingkan dengan pupuk konvensional pada kondisi tersebut. Oleh karena itu, meskipun pelepasan awal relatif tinggi, keberlanjutan pelepasan hingga 60 hari tetap memberikan keuntungan dalam

meningkatkan efisiensi pemupukan pada tanah masam.

Secara keseluruhan, hasil uji pelepasan hara melalui metode *water dissolution* menunjukkan bahwa pupuk yang digunakan memiliki karakteristik lepas lambat (*slow release*), yang ditandai oleh adanya pelepasan awal diikuti dengan fase pelepasan terkendali. Karakter ini sesuai dengan kriteria pupuk lepas lambat berbasis bahan organik dan pengikat alami yang dilaporkan dalam berbagai penelitian sebelumnya (Purnomo *et al.*, 2017; Hoover *et al.*, 2019; Putri dkk., 2023). Pola pelepasan ini tidak hanya mendukung efisiensi penggunaan hara, tetapi juga relevan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman selada pada kondisi tanah aluvial masam.

#### Perbaikan Kualitas Kimia Tanah Melalui Ameliorasi Keasaman dan Peningkatan Ketersediaan Hara

Hasil analisis sifat kimia tanah aluvial masam sebelum dan sesudah aplikasi pupuk lepas lambat organik disajikan pada Tabel 2. Secara umum, aplikasi pupuk lepas lambat organik meningkatkan kualitas kimia tanah, yang ditunjukkan oleh kenaikan pH, penurunan Al-tukar, serta peningkatan bahan organik, kapasitas tukar kation (KTK), dan ketersediaan hara. Perubahan ini menunjukkan adanya perbaikan reaksi tanah dan kapasitas retensi hara yang penting bagi produktivitas tanaman pada tanah masam (Salam, 2020; Yin *et al.*, 2022; Fahrumsyah dkk., 2023). Peningkatan pH tanah dari 3,57 menjadi 5,20 menunjukkan peran pupuk lepas lambat organik sebagai amelioran. Tanah masam umumnya didominasi oleh ion  $H^+$  dan  $Al^{3+}$  yang bersifat toksik bagi tanaman. Penambahan bahan organik dan kation basa dari pupuk mampu menetralkan  $H^+$  sehingga meningkatkan pH tanah.

Kondisi ini sejalan dengan penurunan Al-tukar dari 0,79 menjadi 0,30 cmol(+)/kg, yang menunjukkan berkurangnya toksisitas aluminium. Penurunan Al-tukar terjadi akibat berkurangnya kelarutan Al pada pH lebih tinggi serta pembentukan kompleks organik-Al yang stabil (Salam, 2020; Yin *et al.*, 2022).

Peningkatan kandungan C-organik dari 0,47% menjadi 1,92% berkontribusi terhadap kenaikan KTK dari 4,17 menjadi 15,25 cmol(+)/kg (Tabel 2). Bahan organik menyediakan gugus fungsional yang meningkatkan jumlah situs pertukaran kation, sehingga tanah lebih mampu menahan hara dan mengurangi kehilangan melalui pencucian (Weil & Brady, 2017; Hume *et al.*, 2023). Meskipun terjadi peningkatan kation basa (Ca, Mg, K, dan Na), kejenuhan basa menurun dari 52,76% menjadi 26,23%. Penurunan ini disebabkan oleh peningkatan KTK yang lebih besar dibandingkan dengan akumulasi kation basa, sehingga secara proporsional persentasenya menurun. Fenomena ini umum terjadi pada tanah dengan penambahan bahan organik tinggi (Weil & Brady, 2017).

Peningkatan ketersediaan hara juga terlihat pada N-total dan P tersedia (Tabel 2). Kandungan N-total meningkat dari 0,06% menjadi 0,18% akibat kontribusi nitrogen dari bahan organik dan mekanisme pelepasan bertahap pupuk. Pelepasan hara yang terkontrol memungkinkan sinkronisasi dengan kebutuhan tanaman dan mengurangi kehilangan (Purnomo *et al.*, 2017; Hoover *et al.*, 2019). P tersedia meningkat dari 19,33 menjadi 35,45 ppm, yang berkaitan dengan penurunan Al-tukar dan meningkatnya pH, sehingga mengurangi fiksasi fosfor oleh Al dan Fe (Yin *et al.*, 2022; Fahrumsyah dkk., 2023).

Tabel 2. Hasil Analisis Tanah Sebelum dan Sesudah Perlakuan Pupuk Lepas Lambat Organik

Parameter	Sebelum Perlakuan	Setelah Perlakuan	Satuan
pH H <sub>2</sub> O	3,57	5,20	–
pH KCl	3,38	4,80	–
C-Organik	0,47	1,92	%
N-total	0,06	0,18	%
P tersedia (Bray I)	19,33	35,45	ppm
Ca-tukar	1,14	2,10	cmol(+)/kg
Mg-tukar	0,63	1,10	cmol(+)/kg
K-tukar	0,15	0,45	cmol(+)/kg
Na-tukar	0,28	0,35	cmol(+)/kg
KTK	4,17	15,25	cmol(+)/kg
Kejenuhan basa	52,76	26,23	%
Al-tukar	0,79	0,30	cmol(+)/kg
H <sup>+</sup> -tukar	0,67	0,40	cmol(+)/kg

Perubahan sifat tanah tersebut berkaitan dengan karakteristik pupuk (Tabel 3) yang memiliki pH netral, kandungan bahan organik tinggi, serta kation basa. Selain sebagai sumber hara, pupuk juga berfungsi sebagai amelioran yang memperbaiki kondisi kimia tanah.

Meskipun rasio C/N pupuk relatif rendah ( $\pm 6-7$ ), pelepasan hara berlangsung bertahap hingga 60 hari. Hal ini menunjukkan bahwa pelepasan hara dikendalikan oleh matriks enkapsulasi, bukan hanya oleh mineralisasi. Natrium alginat yang terikat  $Ca^{2+}$  membentuk hidrogel yang mengontrol difusi air dan hara, sedangkan abu sekam meningkatkan stabilitas granula. Mekanisme ini menghasilkan pelepasan hara secara difusi-terkendali (Shaviv, 2001; Trenkel, 2010; Azeem *et al.*, 2014). Secara keseluruhan, pupuk organik lepas lambat yang diuji berperan sebagai sumber hara sekaligus amelioran tanah masam. Pupuk ini mampu meningkatkan pH, menurunkan toksisitas Al, meningkatkan bahan organik dan KTK, serta meningkatkan ketersediaan hara. Perbaikan ini mendukung kondisi perakaran yang lebih baik dan berpotensi meningkatkan produktivitas tanaman pada tanah aluvial masam.

Tabel 3. Hasil Analisis Kimia Pupuk Lepas Lambat Organik

Parameter	Nilai	Keterangan
Total Nitrogen (N)	3.21 % (b/b)	Tinggi
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Fosfor tersedia)	2.03 % (b/b)	Cukup tinggi
K <sub>2</sub> O (Kalium tersedia)	1.90 % (b/b)	Cukup tinggi
C-Organik	21.72 % (b/b)	Tinggi (bahan organik stabil)
Rasio C/N	6,7	Ideal untuk dekomposisi cepat
pH	6.7	Netral, membantu ameliorasi tanah masam
Kadar air	12.53 % (b/b)	Stabil
Kadar abu	27.02 % (b/b)	Mengandung mineral makro (Ca, Mg, K)

#### Pengaruh Dosis Pupuk Lepas Lambat pada Pertumbuhan dan Biomassa Tanaman Selada

Analisis statistik secara konsisten menunjukkan bahwa aplikasi pupuk organik lepas lambat memberikan pengaruh yang sangat nyata ( $p < 0,01$ ) terhadap seluruh parameter pertumbuhan dan biomassa tanaman selada yang diamati (Tabel 4).

Nilai koefisien variasi (CV) yang rendah (kisaran 6,4 – 9,1 %) mengindikasikan keandalan data yang diperoleh. Secara umum, terdapat tren peningkatan yang jelas pada semua parameter seiring dengan peningkatan dosis pupuk, dari perlakuan tanpa pupuk (kontrol) hingga dosis tertinggi (12,5 g/tanaman).

Tabel 4. Hasil Analisis ANOVA terhadap Pertumbuhan Selada

Parameter	KV (%)	F Hitung	F Tabel (5%)	F Tabel (1%)
Tinggi tanaman (cm)	7,2	13,40**		
Jumlah daun (helai)	6,4	12,65**		
Diameter batang (mm)	8,3	11,44**		
Panjang akar (cm)	6,8	10,89**	2,90	4,56
Bobot segar tanaman (g)	9,1	15,48**		
Bobot segar akar (g)	7,1	13,46**		
Bobot kering tanaman (g)	7,5	14,61**		

Keterangan: \* = nyata ( $p < 0,05$ ), \*\* = sangat nyata ( $p < 0,01$ ) berdasarkan analisis varians (ANOVA).

#### Respons Pertumbuhan Tanaman Selada Terhadap Perlakuan Pupuk Lepas Lambat Organik

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa aplikasi pupuk lepas lambat berpengaruh sangat nyata ( $p < 0,01$ ) terhadap parameter pertumbuhan tanaman selada yang diamati, meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, dan panjang akar (Tabel 4). Nilai koefisien variasi (KV) yang relatif rendah

(kisaran 6,4 – 8,3 %) menunjukkan data yang diperoleh cukup konsisten. Secara umum, rerata masing-masing parameter pertumbuhan meningkat seiring peningkatan dosis pupuk, dan dosis pupuk sebesar 5 – 12,5 g/tanaman secara signifikan meningkatkan seluruh parameter yang diamati dibandingkan dengan perlakuan kontrol (Tabel 5). Perbedaan pertumbuhan tanaman selada pada setiap

perlakuan dosis pupuk lepas lambat organik disajikan pada Gambar 2.

Perlakuan dosis pupuk sebesar 5 – 12,5 g/tanaman secara signifikan meningkatkan tinggi tanaman selada sebesar 40,2 – 81,37 % dibandingkan dengan perlakuan kontrol (Tabel 5). Peningkatan tinggi tanaman ini berkaitan dengan perbaikan sifat kimia tanah dan meningkatnya ketersediaan hara setelah aplikasi pupuk. Berdasarkan Tabel 2, kenaikan pH tanah (3,57 menjadi 5,20) serta penurunan Al-tukar (0,79 menjadi 0,30 cmol(+)/kg) mengurangi

hambatan toksisitas aluminium, sehingga meningkatkan pertumbuhan akar dan efisiensi serapan hara. Selain itu, peningkatan kandungan nitrogen dan kation basa seperti Ca dan Mg mendukung proses pembelahan dan pemanjangan sel, yang berperan dalam pertumbuhan tinggi tanaman. Hasil ini sejalan dengan Adeyemo *et al.* (2019) dan Jeje *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa ketersediaan nitrogen dan perbaikan kondisi tanah berkontribusi terhadap peningkatan pertumbuhan vegetatif tanaman.

Tabel 5. Pengaruh Perlakuan Pupuk Lepas Lambat Organik Terhadap Parameter Pertumbuhan Tanaman Selada

Perlakuan	Parameter Pertumbuhan Tanaman			
	Tinggi Tanaman (cm)	Jumlah Daun (helai)	Diameter Batang (mm)	Panjang Akar (cm)
P0 (0 g)	10,2 a	8,3 a	4,1 a	5,5 a
P1 (2,5 g)	12,4 ab	9,7 ab	4,5 ab	6,2 ab
P2 (5,0 g)	14,3 b	11,2 b	5,0 b	6,8 b
P3 (7,5 g)	16,1 bc	12,8 bc	5,6 bc	7,3 bc
P4 (10,0 g)	18,5 c	14,1 c	6,0 c	7,8 c
P5 (12,5 g)	17,6 c	14,7 c	5,6 bc	7,7 c
BNJ 5%	2,5	1,4	0,5	0,6

Keterangan: Angka rerata yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama berbeda tidak nyata berdasarkan uji BNJ taraf nyata 5%.

Perlakuan dosis pupuk lepas lambat organik sebesar 5 – 12,5 g/tanaman secara signifikan meningkatkan jumlah daun selada sebesar 34,94 – 77,11 % dibandingkan dengan perlakuan kontrol (Tabel 5). Peningkatan jumlah daun ini berkaitan dengan meningkatnya ketersediaan hara, terutama nitrogen, serta perbaikan sifat tanah setelah aplikasi pupuk. Data pada Tabel 2 menunjukkan peningkatan N-total (0,06% menjadi 0,18%), C-organik (0,47% menjadi 1,92%), serta ketersediaan fosfor yang lebih tinggi. Kondisi ini mendukung pembentukan daun sebagai organ utama fotosintesis yang memerlukan nitrogen dalam sintesis klorofil dan protein (Jeje *et al.*, 2023). Selain itu, perbaikan sifat fisik dan kimia tanah akibat bahan organik turut meningkatkan efisiensi penyerapan hara oleh tanaman (Mpanga *et al.*, 2021). Hasil ini sejalan dengan penelitian Altuntaş *et al.* (2022) yang menunjukkan bahwa aplikasi pupuk organik berbasis kotoran ayam meningkatkan jumlah daun selada secara signifikan dibandingkan dengan pupuk anorganik. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Saragih *et al.* (2025) yang menyatakan bahwa peningkatan kandungan N, P, Ca, dan Mg serta penurunan keasaman tanah berkontribusi terhadap peningkatan produksi daun.

Variasi dosis pupuk juga berpengaruh sangat nyata terhadap diameter batang. Perlakuan dosis pupuk lepas lambat organik sebesar 5 – 12,5 g/tanaman secara signifikan meningkatkan diameter batang selada sebesar 21,95 – 31,67 % dibandingkan dengan perlakuan kontrol (Tabel 5). Peningkatan ini menunjukkan bahwa aplikasi pupuk tidak hanya mendorong pemanjangan batang, tetapi juga memperkuat struktur tanaman. Pembesaran diameter batang dipengaruhi oleh ketersediaan hara makro (N, P, K) yang mendukung pertumbuhan vegetatif, serta peningkatan kalsium yang berperan dalam pembentukan dan kekuatan dinding sel. Data analisis tanah menunjukkan adanya peningkatan Ca-tukar dari 1,14 menjadi 2,10 cmol(+)/kg setelah perlakuan, yang berkontribusi terhadap kekokohan jaringan batang. Selain itu, perbaikan pH tanah turut meningkatkan ketersediaan unsur hara esensial, sehingga mendukung pertumbuhan batang yang lebih optimal. Temuan ini konsisten dengan laporan Adekiya *et al.* (2019) dan Saragih *et al.* (2025) yang menyatakan bahwa pupuk organik berbasis kotoran unggas dapat meningkatkan ketersediaan hara dan memperbaiki sifat tanah, sehingga menghasilkan batang tanaman yang lebih kuat dan besar.



Gambar 2. Tanaman selada varietas Grand Rapid hasil perlakuan pupuk lepas lambat organik pada 35 HSPT.

Perlakuan dosis pupuk lepas lambat organik sebesar 5 – 12,5 g/tanaman secara signifikan meningkatkan panjang akar selada yang diamati pada 35 HSPT sebesar 23,64 – 41,82 % dibandingkan dengan perlakuan kontrol (Tabel 5). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan dosis pupuk memberikan perbedaan nyata terhadap perkembangan sistem perakaran. Peningkatan panjang akar berkaitan erat dengan perbaikan kondisi kimia tanah setelah aplikasi pupuk. Kenaikan pH tanah dari 3,57 menjadi 5,20 serta penurunan Al-tukar dari 0,79 menjadi 0,30 cmol(+)/kg mengurangi hambatan toksisitas aluminium, sehingga akar dapat tumbuh lebih optimal. Selain itu, peningkatan kandungan bahan organik (0,47% menjadi 1,92%) memperbaiki struktur tanah, aerasi, dan retensi air, yang mendukung perpanjangan dan percabangan akar.

Perbaikan lingkungan perakaran tersebut meningkatkan efisiensi penyerapan hara, sehingga mendukung pertumbuhan akar yang lebih panjang. Hasil ini konsisten dengan Yin *et al.* (2022) yang melaporkan bahwa bahan amelioran seperti abu sekam mampu menurunkan keasaman tanah dan meningkatkan ketersediaan hara, sehingga mendukung perkembangan akar. Selain itu, Boateng *et al.* (2006) dan Wang *et al.* (2023) menunjukkan bahwa peningkatan kation basa seperti Ca dan Mg melalui aplikasi pupuk organik berkontribusi terhadap perkembangan sistem perakaran. Temuan ini juga didukung oleh Altuntaş *et al.* (2022) yang melaporkan peningkatan pertumbuhan akar pada tanaman selada dengan aplikasi pupuk organik, serta Jeje *et al.* (2023) yang menegaskan bahwa perbaikan kesuburan tanah berperan penting dalam

meningkatkan pertumbuhan tanaman pada kondisi tanah masam.

#### **Respons Biomassa Tanaman Selada Terhadap Perlakuan Pupuk Lepas Lambat Organik**

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa aplikasi pupuk lepas lambat berpengaruh sangat nyata ( $p < 0,01$ ) terhadap parameter biomassa tanaman selada yang diamati, meliputi bobot segar tanaman, bobot segar akar, dan bobot kering tanaman (Tabel 4). Nilai koefisien variasi (KV) pada ketiga pengamatan biomassa juga relatif rendah (kisaran 7,1 – 9,1 %) yang menunjukkan bahwa data yang diperoleh cukup konsisten. Secara umum, rerata masing-masing parameter biomassa meningkat seiring peningkatan dosis pupuk lepas lambat organik yang diberikan (Tabel 6). Peningkatan ini menunjukkan adanya respons yang kuat terhadap peningkatan dosis pupuk.

Perlakuan dosis pupuk lepas lambat organik sebesar 5 – 12,5 g/tanaman secara signifikan meningkatkan bobot segar tanaman selada yang diamati pada 35 HSPT sebesar 59,17 – 132,11 % dibandingkan dengan perlakuan kontrol (Tabel 6). Kenaikan bobot segar tanaman mencerminkan peningkatan akumulasi biomassa vegetatif yang dipengaruhi oleh ketersediaan hara dan perbaikan sifat tanah. Peningkatan kandungan N-total serta ketersediaan P dan K mendukung proses fotosintesis dan pembentukan jaringan tanaman. Selain itu, peningkatan kapasitas tukar kation (KTK) dari 4,17 menjadi 15,25 cmol(+)/kg meningkatkan kemampuan tanah dalam menahan dan menyediakan hara secara lebih stabil. Kondisi ini, bersama dengan peningkatan pH tanah dan penurunan Al-tukar, menciptakan lingkungan yang lebih kondusif bagi pertumbuhan tanaman. Hasil ini sejalan dengan Jeje *et al.* (2023)

yang menyatakan bahwa pemupukan organik meningkatkan produktivitas tanaman melalui perbaikan kesuburan tanah, serta didukung oleh Cera (2022) dan Adeyemo *et al.* (2019) yang melaporkan peningkatan hasil segar tanaman akibat aplikasi pupuk organik berbasis kotoran ternak (Agbede, 2025). Temuan ini juga konsisten dengan Altuntaş *et al.* (2022) yang menunjukkan bahwa pupuk organik mampu meningkatkan biomassa vegetatif tanaman daun.

Perlakuan dosis pupuk lepas lambat organik sebesar 5 – 12,5 g/tanaman juga secara signifikan meningkatkan bobot segar akar selada (35 HSPT) sebesar 57,14 – 126,57 % dibandingkan dengan perlakuan kontrol (Tabel 6). Peningkatan ini menunjukkan perbaikan pertumbuhan sistem perakaran yang sejalan dengan kondisi tanah yang lebih baik. Peningkatan bobot segar akar berkaitan dengan perbaikan lingkungan perakaran akibat aplikasi pupuk. Peningkatan pH tanah dan

penurunan toksisitas Al memungkinkan akar berkembang lebih optimal tanpa hambatan kimia. Selain itu, peningkatan bahan organik dan ketersediaan kation basa (Ca, Mg, K) memperbaiki struktur tanah, aerasi, dan kapasitas retensi air, sehingga mendukung penyerapan hara yang lebih efisien. Kondisi ini mendorong pembentukan jaringan akar dan akumulasi biomassa akar yang lebih besar. Hasil ini sejalan dengan Altuntaş *et al.* (2022) yang melaporkan peningkatan berat akar pada tanaman selada dengan aplikasi pupuk organik, serta didukung oleh Adekiya *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa pupuk organik memperbaiki sifat fisik tanah dan meningkatkan efisiensi penyerapan hara. Temuan ini juga diperkuat oleh hasil penelitian Gunes *et al.* (2014) dan Putri dkk. (2023) yang menunjukkan bahwa kombinasi perbaikan sifat tanah dan suplai hara berkelanjutan meningkatkan pertumbuhan akar dan vigor tanaman secara keseluruhan.

Tabel 6. Pengaruh Perlakuan Pupuk Lepas Lambat Organik Terhadap Parameter Biomassa Tanaman Selada

Perlakuan	Parameter Biomassa Tanaman		
	Bobot segar tanaman (g)	Bobot segar akar (g)	Bobot kering tanaman (g)
P0 (0 g)	43,6 a	2,1 a	3,8 a
P1 (2,5 g)	57,2 ab	2,8 ab	4,6 ab
P2 (5,0 g)	69,4 b	3,3 b	5,4 b
P3 (7,5 g)	78,3 b	3,7 b	6,1 bc
P4 (10,0 g)	99,6 c	4,8 c	6,9 c
P5 (12,5 g)	101,2 c	4,6 c	6,8 c
BNJ 5%	12,4	0,5	1,0

Keterangan: Angka rerata yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama berbeda tidak nyata berdasarkan uji BNJ taraf nyata 5%.

Bobot kering tanaman juga dipengaruhi sangat nyata oleh dosis pupuk (Tabel 4). Sejalan dengan respons pada parameter pertumbuhan dan biomassa tanaman lainnya, rerata bobot kering tanaman selada meningkat seiring peningkatan dosis pupuk (Tabel 6). Perlakuan dosis pupuk lepas lambat organik sebesar 5 – 12,5 g/tanaman secara signifikan meningkatkan bobot kering sebesar 42,11 – 81,58 % dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Peningkatan bobot kering mencerminkan akumulasi biomassa hasil fotosintesis yang lebih tinggi, yang didukung oleh ketersediaan hara yang memadai dan kondisi tanah yang lebih baik. Kenaikan pH tanah serta penurunan Al-tukar meningkatkan efisiensi serapan hara, sehingga tanaman mampu mengalokasikan lebih banyak energi untuk pembentukan jaringan struktural.

Selain itu, peningkatan kapasitas tukar kation (KTK) dan bahan organik tanah meningkatkan

kemampuan tanah dalam menahan dan menyediakan hara secara berkelanjutan. Kondisi ini mendukung proses asimilasi karbohidrat, protein, dan senyawa struktural lainnya, sehingga bobot kering tanaman meningkat. Hasil ini konsisten dengan Cera (2022) yang melaporkan peningkatan biomassa kering tanaman pada aplikasi pupuk organik, serta didukung oleh hasil penelitian Wahdah dkk. (2024) yang menunjukkan bahwa perbaikan kesuburan tanah meningkatkan akumulasi bahan kering tanaman. Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan bobot kering tanaman memperkuat peran pupuk organik lepas lambat dalam meningkatkan efisiensi pertumbuhan tanaman melalui kombinasi suplai hara dan perbaikan sifat tanah (Putri dkk., 2023; Agbede, 2025).

### Mekanisme Kerja Pupuk Organik Lepas Lambat dan Implikasinya

Peningkatan pertumbuhan tanaman selada akibat aplikasi pupuk organik lepas lambat (SROF) merupakan hasil interaksi antara mekanisme pelepasan hara yang terkontrol dan perbaikan sifat kimia tanah. Berdasarkan karakteristik pupuk (Tabel 3), SROF mengandung unsur hara makro (N, P, K) serta kation basa (Ca, Mg) dalam jumlah yang cukup, yang dilepaskan secara bertahap melalui matriks enkapsulasi. Sistem pelepasan ini memungkinkan ketersediaan hara lebih sinkron dengan kebutuhan tanaman, sehingga meningkatkan efisiensi pemanfaatan hara dan mengurangi kehilangan akibat pencucian atau volatilisasi (Shaviv, 2001; Trenkel, 2010; Azeem *et al.*, 2014). Selain sebagai sumber hara, SROF juga berperan sebagai amelioran tanah masam. Aplikasi pupuk meningkatkan pH tanah (3,57 menjadi 5,20) dan menurunkan Al-tukar (0,79 menjadi 0,30 cmol(+)/kg), sehingga mengurangi toksisitas aluminium dan meningkatkan ketersediaan unsur hara esensial. Peningkatan kandungan bahan organik (0,47% menjadi 1,92%) turut meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), yang berperan dalam meningkatkan kemampuan tanah menahan dan menyediakan hara secara lebih stabil (Weil & Brady, 2017; Yin *et al.*, 2022; Fahrunsyah dkk., 2023).

Perbaikan sifat kimia tanah tersebut menciptakan lingkungan perakaran yang lebih kondusif, yang ditunjukkan oleh peningkatan panjang dan bobot akar. Kondisi ini memungkinkan tanaman menyerap hara dan air secara lebih efisien, sehingga mendukung peningkatan pertumbuhan vegetatif dan akumulasi biomassa. Ketersediaan nitrogen yang lebih stabil berperan dalam sintesis klorofil dan protein, sedangkan fosfor dan kalium mendukung proses metabolisme energi dan pembentukan jaringan tanaman (Adeyemo *et al.*, 2019; Jeje *et al.*, 2023). Secara keseluruhan, mekanisme kerja SROF tidak hanya bergantung pada kandungan hara, tetapi juga pada kemampuan pupuk dalam memperbaiki kondisi tanah dan mengendalikan laju pelepasan hara. Sinergi antara pelepasan hara yang bertahap dan peningkatan kualitas tanah menghasilkan peningkatan efisiensi pertumbuhan tanaman, sebagaimana ditunjukkan oleh peningkatan parameter vegetatif dan biomassa tanaman selada dalam penelitian ini. Temuan ini memperkuat bahwa pupuk organik lepas lambat berbasis bahan organik lokal memiliki potensi sebagai teknologi pemupukan yang efisien dan berkelanjutan

untuk pengelolaan lahan aluvial masam (Hoover *et al.*, 2019; Wahdah dkk., 2024).

### SIMPULAN

Aplikasi pupuk organik lepas lambat terbukti meningkatkan sifat kimia tanah aluvial masam melalui kenaikan pH, penurunan Al-tukar, serta peningkatan bahan organik dan kapasitas tukar kation, yang selanjutnya meningkatkan pertumbuhan dan biomassa tanaman selada. Respons pertumbuhan yang konsisten hingga dosis optimum (10–12,5 g/tanaman) menunjukkan bahwa pupuk organik lepas lambat tidak hanya berfungsi menahan nutrisi, tetapi mampu melepaskan hara secara bertahap sehingga lebih sinkron dengan kebutuhan tanaman. Pupuk yang dikembangkan telah memenuhi fungsi sebagai pupuk lepas lambat sekaligus berperan sebagai amelioran tanah masam, serta berpotensi sebagai teknologi pemupukan yang efisien dan berkelanjutan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Universitas Panca Bhakti melalui LPPM Universitas Panca Bhakti yang telah mendanai penelitian ini dengan skema Pendanaan Penelitian Dasar dan Pembinaan/Kapasitas DIPA Universitas Panca Bhakti tahun anggaran 2024.

### DAFTAR PUSTAKA

- Adekiya, AO, TM Agbede, CM Aboyeji, O Dunsin, and VT Simeon. 2019. Effects of biochar and poultry manure on soil characteristics and the yield of radish. *Scientia Horticulturae*. 243: 457–463.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.048>.
- Adeyemo, AJ, OO Akingbola, and SO Ojeniyi. 2019. Effects of poultry manure on soil infiltration, organic matter contents and maize performance on two contrasting degraded alfisols in southwestern Nigeria. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 8(4): 73–80.  
<https://doi.org/10.1007/s40093-019-0273-7>.
- Agbede, TM. 2025. Poultry manure improves soil properties and grain mineral composition, maize productivity and economic profitability. *Scientific Reports*. 15, 16501.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-00394-8>.

- Altuntaş, Ö, R Küçük, and L Ersoy. 2022. The effect of chicken manure on plant growth nutrient content and yield of lettuce. *Biological and Chemical Research*. 9: 9–18.
- Astar, I, S Rahayu, S Setiawan, S Oktarianty, dan A Suyanto. 2026. Perbaikan tanah sulfat masam melalui aplikasi biochar diperkaya daun kelor dan kalium untuk produksi terong. *Teknotan*. 20(1): 107–116. <https://doi.org/10.24198/jt.vol20n1.12>
- Azeem, B, K Kushaari, ZB Man, A Basit, and TH Thanh, 2014. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. *Journal of Controlled Release*. 181: 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.02.020>.
- Benjamin, JG, and DC Nielsen. 2004. A method to separate plant roots from soil and analyze root surface area. *Plant and Soil*. 267: 225–234. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-4887-3>.
- Boateng, SA, J Zickermann, and M Kornahrens. 2006. Poultry manure effect on growth and yield of maize. *West Africa Journal of Applied Ecology*. 9(1): 1–11. <https://doi.org/10.4314/wajae.v9i1.45682>.
- Cera, LB. 2022. Growth and yield performance of lettuce (*Lactuca sativa* L.) fertilized with varying levels of compost. *International Journal of Advances in Social and Economics*. 4(2): 50–56. <https://doi.org/10.33122/ijase.v4i2.233>.
- Fahrunsyah, R Jannah, dan AA Utama. 2023. Perubahan pH, aluminium dapat tukar dan fosfor tersedia Ultisol karena pemberian pupuk organik batang pisang dan abu terbang batubara. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*. 6 (1): 1–6. <http://dx.doi.org/10.30872/jatl.6.1.2023.11679>.
- Gunes, A, A Inal, MB Taskin, O Sahin, EC Kaya, and A Atakol. 2014. Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. *Soil Use Manage*. 30(2): 182–188. <https://doi.org/10.1111/sum.12114>.
- Hoover, NL, JY Law, LAM Long, RS Kanwar, and ML Soupir. 2019. Long-term impact of poultry manure on crop yield, soil and water quality, and crop revenue. *Journal of Environmental Management*. 252, 109582. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109582>.
- Hume, R, P Marschner, S Mason, RK Schilling, B Hughes, and LM Mosley. 2023. Measurement of lime movement and dissolution in acidic soils using mid-infrared spectroscopy. *Soil and Tillage Research*, 233: 105807. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105807>.
- Jeje, YN, MT Abduel, S Chakeredza, J Tabarira, and M Kurehwatira. 2023. Growth and development of lettuce as influenced by different rates of chicken manure. *International Journal of Plant Pathology and Microbiology*. 3(2): 44–47. <https://www.plantpathologyjournal.com/article/59/3-2-22-111.pdf>.
- Maharani, PH, E Maftu'ah, Y Sulaeman, K Napisah, M Masganti, M Mukhlis, K Anwar, RD Ningsih, and N Chairuman. 2025. Integrated rice husk biochar and compost to improve acid sulfate soil properties and corn growth. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 12(4): 8097–8106. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2025.124.8097>.
- Malathi, P, K Preetha, D Selvi, E Parameswari, SP Thamaraiselvi, and KM Sellamuthu. 2025. Eco-friendly utilization of rice husk ash for amending acid soils. *Plant Science Today*. 12(1). <https://doi.org/10.14719/pst.6514>.
- Mpanga, IK, E Adjei, HK Dapaah, and KG Santo. 2021. Poultry manure induced garden eggs yield and soil fertility in tropical and semi-arid sandy-loam soils. *Nitrogen*. 2(3): 321–331. <https://doi.org/10.3390/nitrogen2030022>.
- Mulbry, W, EK Westhead, C Pizarro, and L Sikora. 2005. Recycling of manure nutrients: Use of algal biomass from dairy manure treatment as a slow release fertilizer. *Bioresource Technology*. 96(4): 451–458. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.05.026>.
- Nas, Y. 2024. Influence of different organic fertilizers on growth, yield, quality, and element content in lettuce (*Lactuca sativa* var. *Longifolia*). *Black Sea Journal of Agriculture*. 7(5): 505–514. <https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1517294>.
- Pattinasarany, AC, L Siahaya, dan FF Tetelay. 2023. Laju dekomposisi limbah daun kayu putih sebagai bahan baku kompos pada KPH Buru. *Jurnal Ilmu-Ilmu Kehutanan dan Pertanian*.

- 7(1): 43–53.  
<https://doi.org/10.30598/jhppk.v7i1.9009>.
- Purnomo, CW, S Indarti, C Wulandari, H Hinode, and K Nakasaki. 2017. Slow release fertiliser production from poultry manure. *Chemical Engineering Transactions*. 56: 1531–1536. <https://doi.org/10.3303/CET1756256>.
- Putri, AR, JS Hamdani, Drikarsa, dan S Mubarak. 2023. Pengaruh pupuk controlled release fertilizer terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman cabai merah besar (*Capsicum annum L.*). *Jurnal Agrikultura*. 34(3): 509–518. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v34i3.46560>.
- Salam, AK. 2020. *Ilmu Tanah*. 2nd edition. Global Mandiri Press. Bandar Lampung.
- Sanda, U, dan Hasnelly. 2023. Respon tanaman selada (*Lactuca sativa L.*) terhadap pupuk kandang sapi dan konsentrasi pupuk organik cair (POC). *Jurnal Sains Agro*. 8(1): 13–25. <https://doi.org/10.36355/jsa.v8i1.1000>.
- Saragih, MK, LR Panataria, E Sitorus, and ALDS Gohan. 2025. The effect of potassium fertilizer and chicken manure on the growth and production and potassium absorption of sweet corn plants (*Zea mays saccharata Sturt*). *Tumbuhan: Publikasi Ilmu Sosiologi Pertanian dan Ilmu Kehutanan*. 2(3): 52–66. <https://doi.org/10.62951/tumbuhan.v2i2.324>.
- Shaviv, A. 2001. Advances in controlled-release fertilizers. *Advances in Agronomy*. 71: 1–49. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(01\)71011-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(01)71011-5).
- Suharjo. 2024. Pengaruh konsentrasi hara terhadap pertumbuhan selada (*Lactuca sativa L.*) pada media rockwool. *Jurnal Agrikultura*. 35(1): 39–45. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v35i1.40779>.
- Teutscherová, N, E Vázquez, O Drábek, P Hutla, M Kolaříková, and J Banout. 2023. Disentangling the effects of rice husk ash on increased plant growth and nitrogen recovery. *Geoderma*. 437: 116577. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116577>.
- Trenkel, MET. 2010. *Slow-and Controlled-release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use efficiency in Agriculture*. Second Edition. International Fertilizer Industry Association (IFA). Paris. ISBN 978-2-9523139-7-1.
- Wahdah, R, A Rizali, dan J Jumiati. 2024. Pengaruh pemberian abu sekam padi dan POC urine kelinci terhadap pH tanah dan pertumbuhan tanaman sawi di tanah gambut. *Vegetalika*. 13(1): 74–89. <https://doi.org/10.22146/veg.84921>.
- Wang, T, X Chen, C Ju, and C Wang. 2023. Calcium signaling in plant mineral nutrition: From uptake to transport. *Plant Communications*. 4(6), 100678. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2023.100678>.
- Weil, RR, and NC Brady. 2017. *The Nature and Properties of Soils*. Pearson Press, Upper Saddle River NJ. 1086 p.
- Yin, M, X Li, Q Liu, and F Tang. 2022. Rice husk ash addition to acid red soil improves the soil property and cotton seedling growth. *Scientific Reports*. 12, 1704. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05199-7>.
- Zhang, S, Q Zhu, W de Vries, GH Ros, X Chen, MA Muneer, F Zhang, and L Wu. 2023. Effects of soil amendments on soil acidity and crop yields in acidic soils: A world-wide meta-analysis. *Journal of Environmental Management*. 345, 118531. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118531>.