

PUPUK KANDANG DAN LARUTAN AIR KELAPA MENGUBAH NITROGEN TANAH SERTA PRODUKTIVITAS JAGUNG MANIS

ANIMAL MANURE AND COCONUT-WATER FERTILIZER ALTER SOIL NITROGEN AND SWEET CORN PRODUCTIVITY

Nurhalisa Simbaho¹, Mihwan Sataral^{1*}, Lani Pelia¹

¹(Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Tompotika Luwuk)

*Penulis korespondensi: mihwansataral87@gmail.com

ABSTRACT

Sweet corn requires a timely nitrogen (N) supply, whereas organic amendments often release nutrients more slowly than crop demand develops. This study evaluated animal-manure type, coconut-water liquid organic fertilizer (LOF) dose, and their interaction on soil N, growth, phenology, and yield. A 3 x 3 factorial randomized complete block design combined cattle, goat, or poultry manure at 12.5 kg plot⁻¹ with 200, 400, or 600 mL LOF in three blocks (27 plots). Plant height and leaf number were recorded at 2, 4, 6, and 8 weeks after planting and analyzed using rank-based longitudinal procedures. Single-time traits and Kjeldahl total soil N were analyzed by blocked factorial analysis of variance, followed by Tukey or Dunnett comparisons. Soil N relationships were examined using Spearman correlation and redundancy analysis (RDA). Poultry manure produced the highest marginal soil N (0.3233%), compared with goat (0.1966%) and cattle manure (0.1611%). The 600-mL dose produced 0.2433% soil N, and poultry manure plus 600 mL reached 0.3666%, a 358.33% descriptive increase over the 0.08% baseline. Most vegetative, phenological, and ear traits were not significantly affected, although yield per plot differed between poultry and goat manure ($p = 0.0295$). Soil N was not significantly correlated with any agronomic trait. RDA identified manure type as a significant term ($p = 0.006$), while the full model was not significant ($p = 0.301$). Poultry manure therefore strengthened the soil N pool, but short-term crop responses remained constrained by nutrient-release timing and other growth-limiting factors.

Keywords: Integrated nutrient management, nutrient mineralization, longitudinal analysis, multivariate ordination, *Zea mays saccharata*.

ABSTRAK

Jagung manis memerlukan pasokan nitrogen (N) yang tepat waktu, sedangkan pupuk organik sering melepaskan hara lebih lambat daripada perkembangan kebutuhan tanaman. Penelitian lapangan ini mengevaluasi jenis pupuk kotoran hewan, dosis pupuk organik cair (POC) air kelapa, dan interaksinya terhadap N tanah, pertumbuhan, fenologi, dan hasil. Rancangan acak kelompok faktorial 3 x 3 mengombinasikan pupuk kotoran sapi, kambing, atau ayam sebanyak 12,5 kg petak⁻¹ dengan POC 200, 400, atau 600 mL pada tiga ulangan (27 petak). Tinggi tanaman dan jumlah daun diamati pada 2, 4, 6, dan 8 minggu setelah tanam dan dianalisis dengan prosedur longitudinal berbasis peringkat. Peubah satu kali pengamatan dan N total Kjeldahl dianalisis menggunakan analisis ragam faktorial berblok, dilanjutkan uji Tukey atau Dunnett. Hubungan N tanah diuji dengan korelasi Spearman dan analisis redundansi (RDA). Pupuk ayam menghasilkan rata-rata marginal N tanah tertinggi (0,3233%), dibandingkan pupuk kambing (0,1966%) dan sapi (0,1611%). Dosis 600 mL menghasilkan 0,2433% N tanah, sedangkan kombinasi pupuk ayam dan 600 mL mencapai 0,3666%, meningkat 358,33% secara deskriptif dari baseline 0,08%. Sebagian besar karakter vegetatif, fenologi, dan tongkol tidak berbeda nyata, tetapi berat per petak berbeda antara pupuk ayam dan kambing ($p = 0,0295$). N tanah tidak berkorelasi nyata dengan parameter agronomi. RDA menunjukkan jenis pupuk kandang sebagai term nyata ($p = 0,006$), sedangkan model keseluruhan tidak nyata ($p = 0,301$). Pupuk ayam memperkuat cadangan N tanah, tetapi respons tanaman jangka pendek masih dibatasi sinkronisasi pelepasan hara dan faktor pertumbuhan lain.

Kata kunci: Pengelolaan hara terpadu, mineralisasi hara, analisis longitudinal, ordinasi multivariat, *Zea mays saccharata*.

PENDAHULUAN

Produktivitas tanaman pangan dan hortikultura sangat bergantung pada kecukupan serta keseimbangan unsur hara di zona perakaran. Pada jagung manis, kebutuhan hara berlangsung cepat karena siklus hidupnya relatif singkat dan pembentukan biomassa vegetatif segera diikuti perkembangan tongkol. Pemupukan karena itu menjadi pengungkit utama untuk mempertahankan

pertumbuhan dan hasil, terutama pada tanah dengan tingkat kesuburan awal rendah (Haryanta & Widya, 2024; Sari *et al.*, 2022; Fauzan *et al.*, 2023). Meskipun pupuk anorganik dapat menyediakan hara dalam bentuk yang cepat tersedia, penggunaan yang tidak proporsional berisiko menurunkan bahan organik, memperburuk agregasi tanah, dan mengurangi efisiensi pemupukan dalam jangka panjang (Prasetyo & Evizal, 2021; Hastanah *et al.*, 2024). Pada budidaya jagung manis, strategi pemupukan yang hanya mengejar respons sesaat juga dapat mengabaikan fungsi tanah sebagai penyangga hara dan habitat biologi tanah (Sofyan & Sara, 2018).

Pupuk organik menawarkan jalur perbaikan yang lebih menyeluruh karena memasok bahan organik sekaligus memengaruhi sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Bahan organik dapat meningkatkan kemampuan tanah menahan air dan hara, memperbaiki porositas, serta menyediakan substrat bagi mikroorganisme yang mengatur mineralisasi unsur hara (Septiani *et al.*, 2020; Rahayu *et al.*, 2021). Namun, respons tanaman terhadap pupuk organik tidak selalu seragam. Efektivitasnya ditentukan oleh asal bahan, tingkat kematangan, rasio karbon terhadap nitrogen, dosis, kondisi tanah, dan kesesuaian waktu pelepasan hara dengan kebutuhan tanaman (Tampubolon *et al.*, 2022; Adekiya *et al.*, 2020). Perbedaan karakter tersebut penting ketika pupuk kandang sapi, kambing, dan ayam dibandingkan pada dosis yang sama, sebab masing-masing memiliki laju dekomposisi serta konsentrasi hara yang berbeda.

Pupuk organik cair (POC) sering diposisikan sebagai pelengkap pupuk padat karena unsur yang telah terlarut lebih mudah diaplikasikan dan berpotensi lebih cepat mencapai permukaan daun atau zona akar. Fermentasi memecah bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana, tetapi mutu akhir POC tetap dipengaruhi komposisi bahan, aktivator, lama fermentasi, dan pengenceran saat aplikasi (Novianto & Prihatiningrum, 2023; Prasetyo & Evizal, 2021). Kajian lintas komoditas menunjukkan rentang respons yang luas, dari peningkatan nyata hingga tidak adanya perbedaan terhadap kontrol, sehingga manfaat POC tidak dapat diasumsikan berlaku sama pada setiap formulasi (Haryanta & Widya, 2024; Mustofa *et al.*, 2022). Variasi tersebut juga terlihat ketika bahan rumah tangga atau sumber nabati dikombinasikan dengan air kelapa sebagai sumber mineral dan senyawa pemacu tumbuh (Nuraida *et al.*, 2022).

Air kelapa berpotensi digunakan sebagai bahan dasar POC karena mengandung gula, mineral, dan senyawa organik yang dapat mendukung proses fermentasi. Dalam sistem pemupukan, larutan ini diharapkan menyediakan komponen yang relatif cepat tersedia, sedangkan pupuk kandang membangun cadangan hara dan memperbaiki lingkungan tanah secara lebih bertahap. Konsep tersebut sejalan dengan pengelolaan hara terpadu yang menekankan komplementaritas antarmasukan serta sinkronisasi pelepasan nitrogen dengan fase kebutuhan tanaman (Adekiya *et al.*, 2020). Di sisi lain, perubahan komunitas rizosfer dan dinamika bahan organik dapat menghasilkan respons yang baru terlihat pada sifat tanah, sementara pemisahan fenotipe tanaman masih lemah dalam satu musim tanam (Krušić *et al.*, 2025; Hernández-Fernández *et al.*, 2021).

Sejumlah penelitian telah menguji pupuk kandang, POC, atau kombinasi pupuk organik dan anorganik pada jagung. Hasilnya umumnya menunjukkan bahwa pupuk kandang ayam dan integrasi sumber hara dapat memperbaiki kesuburan tanah serta meningkatkan hasil, tetapi besarnya pengaruh bergantung pada tanah, varietas, dan rezim pemupukan (Sofyan & Sara, 2018; Law-Ogbomo *et al.*, 2020). Namun, hanya sedikit penelitian yang secara bersamaan membandingkan tiga sumber pupuk kandang pada dosis setara, tiga dosis POC air kelapa, kandungan N total tanah, dinamika pertumbuhan berulang, komponen hasil, dan pola respons multivariat dalam satu percobaan lapangan. Sampai saat ini, belum jelas apakah peningkatan N tanah akibat kombinasi input organik tersebut segera diterjemahkan menjadi perubahan pertumbuhan dan hasil jagung manis, atau terutama mencerminkan pembentukan cadangan hara tanah.

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh jenis pupuk organik kotoran hewan, dosis POC air kelapa, dan interaksi keduanya terhadap kandungan N tanah, pertumbuhan, fenologi, serta hasil jagung manis. Penelitian juga menguji hubungan antara N tanah dan parameter agronomi melalui korelasi serta analisis redundansi. Hipotesis yang diuji adalah bahwa jenis pupuk kandang dan peningkatan dosis POC air kelapa meningkatkan N tanah dan kinerja tanaman, serta bahwa kombinasi keduanya menghasilkan respons sinergis dibandingkan pengaruh masing-masing faktor secara terpisah.

METODE PENELITIAN

Lokasi, Waktu, dan Bahan Penelitian

Percobaan lapangan dilaksanakan pada Oktober-Desember 2025 di Desa Sinorang, Kecamatan Batui Selatan, Kabupaten Banggai. Analisis N total tanah dilakukan di Universitas Hasanuddin, Makassar. Bahan utama meliputi benih jagung manis varietas Hibrida F1, kotoran sapi, kambing, dan ayam, air kelapa, molase 100 mL, EM4 100 mL, serbuk gergaji 50 kg, serta air. Peralatan lapangan mencakup alat pengolahan tanah, meteran, terpal, jeregen fermentasi, tangki semprot, timbangan, label, dan perangkat pengambilan sampel tanah.

Rancangan Percobaan dan Perlakuan

Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok faktorial 3 x 3 dengan tiga ulangan, sehingga terdapat 27 petak percobaan. Faktor pertama adalah jenis pupuk organik kotoran hewan pada dosis 12,5 kg petak-1: pupuk kotoran sapi (P1), kambing (P2), dan ayam (P3). Faktor kedua adalah dosis POC air kelapa: 200 mL (D1), 400 mL (D2), dan 600 mL (D3). Sembilan kombinasi perlakuan disajikan pada Tabel 1. Setiap petak berukuran 5 x 5 m dengan jarak tanam 75 x 25 cm, berisi 35 tanaman, dan 15 tanaman dipilih sebagai sampel pengamatan. Ulangan diperlakukan sebagai blok untuk mengendalikan heterogenitas spasial lahan.

Sampel tanah diambil sebelum aplikasi perlakuan untuk memperoleh nilai awal dan setelah perlakuan untuk mengukur N total. Permukaan tanah dibersihkan sebelum pengambilan contoh, dan contoh pascaperlakuan ditautkan dengan kode kombinasi perlakuan dan ulangan. Pupuk kandang difermentasi menggunakan serbuk gergaji, molase, dan EM4 sebelum aplikasi. POC air kelapa disiapkan melalui fermentasi tertutup, kemudian diaplikasikan menurut dosis perlakuan. Seluruh petak memperoleh pemeliharaan budidaya yang sama, meliputi penyiraman, penyiangan, dan pengendalian organisme pengganggu secara seragam.

Pengamatan Pertumbuhan, Fenologi, Hasil, dan Nitrogen Tanah

Tinggi tanaman dan jumlah daun diamati pada 2, 4, 6, dan 8 minggu setelah tanam (MST). Tinggi diukur dari pangkal batang sampai titik tertinggi tanaman, sedangkan jumlah daun dihitung pada daun yang telah membuka sempurna. Fase tasseling dan silking dicatat sebagai umur tanaman ketika bunga jantan dan rambut tongkol muncul. Pada saat panen diukur berat tongkol, jumlah baris per tongkol, panjang tongkol, dan berat hasil per petak. N total tanah ditetapkan dengan metode Kjeldahl dan dinyatakan dalam persen. Nilai N tanah awal sebesar 0,08% digunakan sebagai baseline deskriptif, sedangkan sampel tanpa pemupukan P0D0 digunakan sebagai kontrol pembandingan pada uji Dunnett.

Analisis statistik

Analisis dilakukan dalam lingkungan R menggunakan alur yang terdokumentasi pada script penelitian. Data tinggi tanaman dan jumlah daun merupakan pengukuran berulang; keduanya dianalisis dengan prosedur longitudinal nonparametrik berbasis peringkat melalui fungsi `f2.ld.fl` pada paket `npard`. Model memasukkan jenis pupuk kandang, dosis POC, waktu pengamatan, serta interaksi antarfaktor. Efek dilaporkan melalui relative treatment effect, Wald-type statistic, dan ANOVA-type statistic. Perbandingan antarperlakuan pada setiap MST dilakukan dengan uji Dunn dan koreksi Holm melalui `rstatix`; notasi kelompok dibentuk dengan `multcompView` (Kassambara, 2025; Graves *et al.*, 2026).

Peubah yang diamati satu kali diuji normalitasnya menggunakan Shapiro-Wilk dan homogenitas ragamnya menggunakan uji Levene. Data yang memenuhi asumsi dianalisis menggunakan analisis ragam dua arah berblok, dengan ulangan sebagai blok. Apabila pengaruh utama atau interaksi nyata pada taraf $\alpha = 0,05$, rerata marginal dibandingkan dengan uji Tukey berbasis estimated marginal means melalui paket `emmeans` (Lenth *et al.*, 2026). Analisis N tanah mengikuti model faktorial yang sama; selain uji Tukey, setiap kombinasi dibandingkan dengan kontrol P0D0 menggunakan uji Dunnett.

Untuk merangkum dinamika vegetatif, area under the curve (AUC) tinggi tanaman dan jumlah daun dihitung dengan metode trapesium dari pengamatan 2-8 MST. Hubungan N tanah dengan AUC, pengamatan akhir 8 MST, fenologi, dan komponen hasil diuji menggunakan korelasi Spearman.

Struktur respons multivariat dianalisis menggunakan redundancy analysis (RDA) pada paket vegan. Seluruh peubah respons distandardisasi; jenis pupuk kandang, dosis POC, dan interaksinya digunakan sebagai peubah penjelas, sedangkan ulangan dikendalikan sebagai peubah pengondisi. Signifikansi model, tiap term, dan sumbu ordinasi diuji dengan 999 permutasi. Nilai R² dan R² terkoreksi digunakan untuk menilai proporsi keragaman yang dijelaskan model (Legendre & Legendre, 2012).

Tabel 1. Kombinasi perlakuan pupuk kandang dan POC air kelapa.

Kode	Jenis pupuk organik kotoran hewan	Dosis POC air kelapa
P1D1	Kotoran sapi 12,5 kg petak-1	200 mL
P1D2	Kotoran sapi 12,5 kg petak-1	400 mL
P1D3	Kotoran sapi 12,5 kg petak-1	600 mL
P2D1	Kotoran kambing 12,5 kg petak-1	200 mL
P2D2	Kotoran kambing 12,5 kg petak-1	400 mL
P2D3	Kotoran kambing 12,5 kg petak-1	600 mL
P3D1	Kotoran ayam 12,5 kg petak-1	200 mL
P3D2	Kotoran ayam 12,5 kg petak-1	400 mL
P3D3	Kotoran ayam 12,5 kg petak-1	600 mL

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pertumbuhan vegetatif

Tinggi tanaman dan jumlah daun meningkat konsisten dari 2 sampai 8 MST, yang menegaskan adanya efek waktu yang kuat ($p < 0,001$). Sebaliknya, jenis pupuk kandang, dosis POC air kelapa, dan interaksinya tidak menghasilkan pemisahan yang konsisten pada kedua peubah tersebut (seluruh $p > 0,05$). Uji Dunn per MST juga menempatkan sebagian besar taraf perlakuan pada kelompok huruf yang sama. Pada jumlah daun, misalnya, seluruh perbandingan antarjenis pupuk kandang pada 2-6 MST memiliki p tersesuaian = 1,000, sedangkan pada 8 MST nilai p tersesuaian berkisar 0,8310-0,9623. Ringkasan pengujian seluruh peubah disajikan pada Tabel 2.

Fenologi dan komponen hasil

Perlakuan tidak mengubah waktu tasseling. Pengaruh jenis pupuk kandang, dosis POC, dan interaksi masing-masing menghasilkan $F = 0,1243$ ($p = 0,8839$), $F = 0,1548$ ($p = 0,8578$), dan $F = 0,3489$ ($p = 0,8408$). Fase silking juga tidak menunjukkan perbedaan nyata antarfaktor. Pola serupa ditemukan pada berat tongkol, jumlah baris per tongkol, dan panjang tongkol. Untuk berat tongkol, p masing-masing faktor adalah 0,5952, 0,9321, dan 0,8444; untuk panjang tongkol, p masing-masing 0,7568, 0,5834, dan 0,4362 (Tabel 2).

Berat hasil per petak merupakan peubah hasil yang paling responsif terhadap jenis pupuk kandang. Uji lanjut menunjukkan bahwa P3 berbeda dari P2 ($p = 0,0295$), sedangkan P1 berada pada kelompok antara keduanya. Dosis POC dan interaksi tidak memberikan perbedaan nyata. Dengan demikian, keunggulan hasil petak terutama terkait sumber pupuk padat, bukan peningkatan dosis POC.

Kandungan nitrogen tanah

Kandungan N tanah memperlihatkan kontras yang jauh lebih jelas daripada sebagian besar peubah tanaman. Rataan marginal meningkat dari P1 sebesar 0,1611% menjadi P2 sebesar 0,1966% dan P3 sebesar 0,3233%; ketiga sumber pupuk berada pada kelompok Tukey yang berbeda (Tabel 3; Gambar 1). Perbandingan P1-P2 menghasilkan $p = 0,0023$, sedangkan perbandingan yang melibatkan P3 sangat nyata ($p < 0,001$).

Peningkatan dosis POC air kelapa juga menaikkan rata-rata N tanah secara bertahap, dari 0,2122% pada D1 menjadi 0,2255% pada D2 dan 0,2433% pada D3. D1 dan D3 berada pada kelompok berbeda, sedangkan D2 menempati kelompok antara keduanya (Tabel 3; Gambar 2). Interaksi kedua

faktor terdeteksi pada analisis N tanah ($p = 0,0033$), tetapi arah respons terutama didorong oleh tingginya nilai pada seluruh kombinasi yang melibatkan pupuk ayam.

Dibandingkan baseline 0,08%, seluruh kombinasi menunjukkan kenaikan deskriptif. Kombinasi P3D3 mencapai 0,3666%, setara kenaikan 358,33% dari kondisi awal, diikuti P3D2 sebesar 0,3233% dan P3D1 sebesar 0,2800% (Gambar 3; Tabel S1). Kontrol P0D0 memiliki rata-rata 0,1100%. Uji Dunnett menunjukkan bahwa beberapa kombinasi berbeda dari kontrol; P1D1, P1D3, P2D1, P2D2, dan P2D3 memiliki p antara 0,0001 dan 0,0125, sedangkan kombinasi P3 menunjukkan perbedaan yang sangat kuat (seluruh $p < 0,001$).

Hubungan nitrogen tanah dan respons multivariat

Kenaikan N tanah tidak diikuti hubungan linier-monoton yang kuat dengan peubah agronomi. Seluruh korelasi Spearman tidak nyata pada taraf 5% (Tabel 4). Koefisien positif terbesar terdapat pada berat per petak ($\rho = 0,333$; $p = 0,0888$) dan fase silking ($\rho = 0,310$; $p = 0,2785$), sedangkan korelasi negatif terbesar terdapat pada panjang tongkol ($\rho = -0,334$; $p = 0,0884$).

RDA menjelaskan 32,85% keragaman respons, tetapi setelah koreksi jumlah peubah, R^2 terkoreksi hanya 2,99%. Model keseluruhan tidak nyata ($F = 1,091$; $p = 0,301$), sedangkan term jenis pupuk kandang tetap nyata ($p = 0,006$). Dosis POC dan interaksi tidak nyata, masing-masing $p = 0,601$ dan $p = 0,969$. Sumbu RDA1 nyata ($p = 0,033$), sementara RDA2 tidak nyata ($p = 0,990$), yang menunjukkan bahwa pola utama terutama memisahkan respons berdasarkan sumber pupuk kandang (Tabel 5).

Tabel 2. Ringkasan signifikansi pengaruh perlakuan terhadap pertumbuhan, fenologi, hasil, dan N tanah.

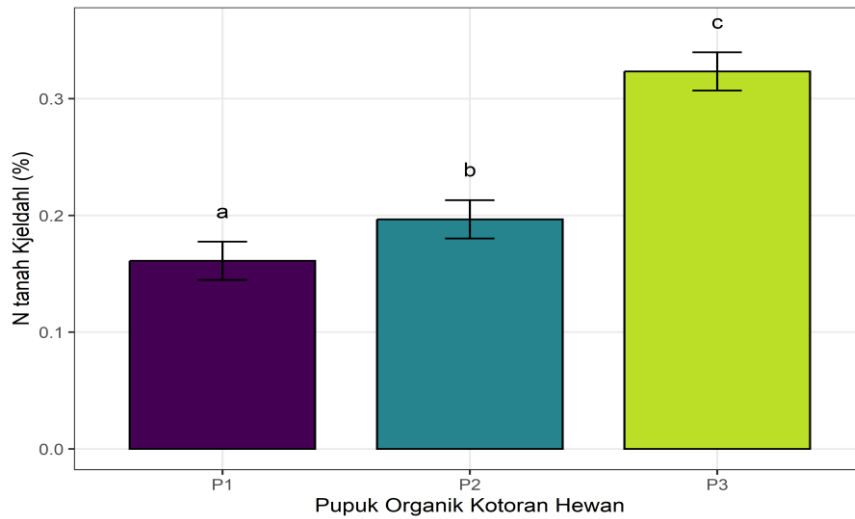
Peubah	p POK	p POC	p POK x POC	Keterangan
Tinggi tanaman (2-8 MST)	>0,05	>0,05	>0,05	Waktu $p < 0,001$
Jumlah daun (2-8 MST)	>0,05	>0,05	>0,05	Waktu $p < 0,001$
Fase tasseling	0,8839	0,8578	0,8408	Tidak nyata
Fase silking	>0,05	>0,05	>0,05	Tidak nyata
Berat tongkol	0,5952	0,9321	0,8444	Tidak nyata
Jumlah baris per tongkol	>0,05	>0,05	>0,05	Tidak nyata
Panjang tongkol	0,7568	0,5834	0,4362	Tidak nyata
Berat per petak	<0,05	>0,05	>0,05	P3-P2: $p = 0,0295$
N total tanah	<0,001	<0,05	0,0033	P3 tertinggi

Keterangan: POK = pupuk organik kotoran hewan; POC = pupuk organik cair; MST = minggu setelah tanam. Tanda >0,05 digunakan apabila ringkasan hasil menyatakan tidak nyata tanpa angka p terperinci pada bagian utama.

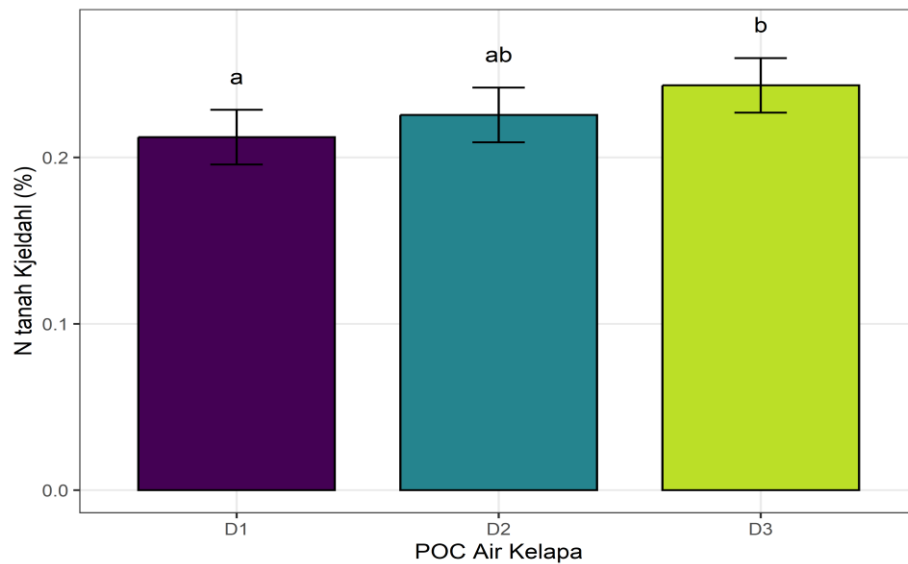
Tabel 3. Rataan marginal kandungan N tanah berdasarkan jenis pupuk kandang dan dosis POC air kelapa.

Faktor	Taraf	Rataan N (%)	SE	IK 95%	Kelompok
POK	P1 - sapi	0,1611	0,0061	0,1447-0,1775	a
POK	P2 - kambing	0,1966	0,0061	0,1802-0,2130	b
POK	P3 - ayam	0,3233	0,0061	0,3069-0,3397	c
POC	D1 - 200 mL	0,2122	0,0061	0,1958-0,2286	a
POC	D2 - 400 mL	0,2255	0,0061	0,2091-0,2419	ab
POC	D3 - 600 mL	0,2433	0,0061	0,2269-0,2597	b

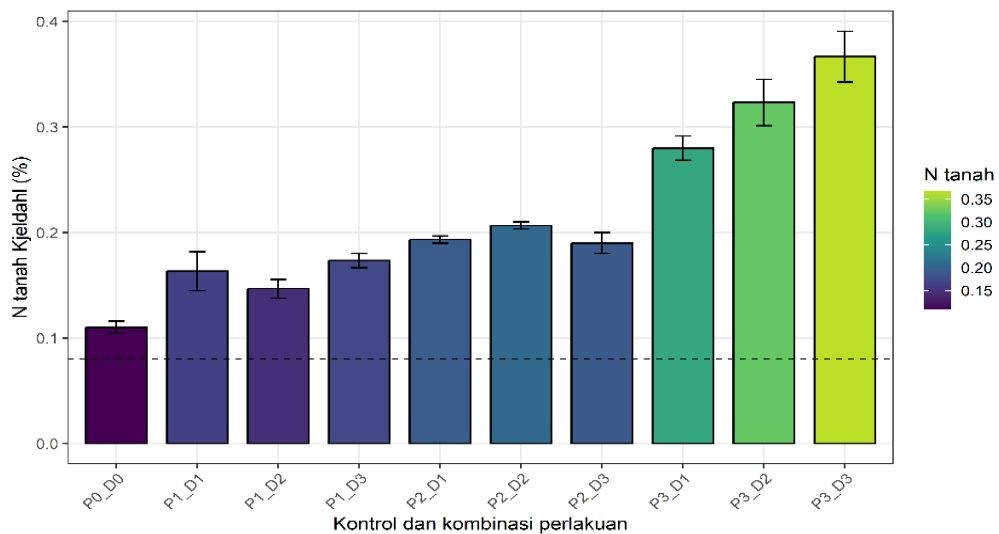
Keterangan: huruf berbeda pada faktor yang sama menunjukkan perbedaan menurut uji Tukey pada taraf 5%.



Gambar 1. Rataan kandungan N tanah berdasarkan jenis pupuk organik kotoran hewan. Batang menunjukkan rata-rata $\pm$ galat baku; huruf berbeda menunjukkan perbedaan Tukey pada taraf 5%.



Gambar 2. Rataan kandungan N tanah berdasarkan dosis POC air kelapa. Batang menunjukkan rata-rata $\pm$ galat baku; huruf berbeda menunjukkan perbedaan Tukey pada taraf 5%.



Gambar 3. Kandungan N tanah pada kontrol dan kombinasi perlakuan. Garis putus-putus menunjukkan N tanah awal sebesar 0,08%.

Tabel 4. Korelasi Spearman antara kandungan N tanah dan parameter agronomi jagung manis.

Parameter agronomi	rho Spearman	p	Keterangan
AUC jumlah daun	-0,079	0,6945	Tidak nyata
AUC tinggi tanaman	0,093	0,6435	Tidak nyata
Berat tongkol	0,125	0,5343	Tidak nyata
Jumlah daun 8 MST	-0,226	0,2569	Tidak nyata
Jumlah baris per tongkol	-0,237	0,2321	Tidak nyata
Fase tasseling	0,028	0,8888	Tidak nyata
Tinggi tanaman 8 MST	-0,216	0,2785	Tidak nyata
Fase silking	0,310	0,2785	Tidak nyata
Panjang tongkol	-0,334	0,0884	Tidak nyata
Berat per petak	0,333	0,0888	Tidak nyata

Tabel 5. Ringkasan analisis redundansi hubungan perlakuan, N tanah, dan parameter agronomi.

Komponen	Nilai
R2	0,3285
R2 terkoreksi	0,0299
F model	1,091
p model	0,301
p POK	0,006
p POC	0,601
p interaksi POK x POC	0,969
p RDA1	0,033
p RDA2	0,990

Keterangan:signifikansi diuji dengan 999 permutasi; ulangan dikendalikan sebagai peubah pengondisi.

Pembahasan

Temuan utama penelitian ini adalah adanya ketidaksejajaran antara respons tanah dan respons tanaman dalam satu musim tanam. Jenis pupuk kandang, khususnya kotoran ayam, meningkatkan N total tanah secara tajam dan memperbaiki berat hasil per petak, tetapi tidak memisahkan tinggi tanaman, jumlah daun, fenologi, maupun sebagian besar komponen tongkol. Hipotesis bahwa sumber pupuk padat memengaruhi N tanah karena itu didukung, sedangkan hipotesis mengenai respons menyeluruh tanaman dan sinergi konsisten dengan POC hanya didukung sebagian.

Keunggulan pupuk ayam pada N tanah dapat dijelaskan oleh kandungan hara yang umumnya lebih pekat dan rasio C/N yang lebih rendah dibandingkan kotoran sapi atau kambing. Bahan dengan rasio C/N lebih rendah cenderung mengalami mineralisasi lebih cepat, sehingga N organik lebih mudah masuk ke cadangan N tanah. Pupuk kandang juga meningkatkan bahan organik, kapasitas menahan hara, dan aktivitas mikroba yang mengendalikan transformasi N (Hartatik & Widowati, 2010; Hardjowigeno, 2010). Hasil ini searah dengan penelitian yang menunjukkan bahwa pupuk ayam memperbaiki sifat kimia tanah dan kinerja jagung, terutama pada tanah dengan kesuburan rendah (Adekiya *et al.*, 2020; Law-Ogbomo *et al.*, 2020). Perubahan komunitas rizosfer akibat pupuk kandang dan inokulan juga dapat mengubah pola pemanfaatan hara selama musim tanam (Krušćić *et al.*, 2025).

Kenaikan N tanah yang tidak segera menghasilkan perbedaan tinggi dan jumlah daun tidak berarti pupuk organik tidak berfungsi. N total mencakup fraksi yang belum seluruhnya tersedia bagi akar. Pelepasan N organik bergantung pada kelembapan, suhu, aerasi, aktivitas mikroba, dan rasio C/N, sedangkan kebutuhan jagung meningkat tajam pada fase tertentu. Ketika mineralisasi tidak sinkron dengan permintaan tanaman, cadangan N dapat meningkat tanpa menghasilkan kontras vegetatif yang kuat. Adekiya *et al* (2020) menunjukkan bahwa pemisahan waktu aplikasi N dan penggabungan pupuk ayam dengan urea meningkatkan ketersediaan hara pada fase kritis; temuan tersebut menegaskan pentingnya sinkronisasi, bukan sekadar besarnya total N. Kajian POC juga melaporkan hasil yang sangat kontekstual, dari respons nyata hingga tidak nyata, bergantung pada bahan, konsentrasi, dan cara aplikasi (Haryanta & Widya, 2024; Mustofa *et al.*, 2022).

Respons POC air kelapa yang lebih kecil daripada pupuk kandang menunjukkan bahwa larutan fermentasi pada dosis 200-600 mL lebih tepat dipandang sebagai input pendamping. POC dapat mempercepat suplai senyawa terlarut, tetapi konsentrasi unsur hara aktualnya belum tentu cukup untuk mengubah pertumbuhan jagung pada lahan terbuka. Mutu POC sangat bergantung pada fermentasi dan komposisi bahan awal; proses yang sama tidak selalu menghasilkan konsentrasi hara yang identik (Prasetyo & Evizal, 2021; Novianto & Prihatiningrum, 2023). Pada bawang merah, konsentrasi POC batang pisang memengaruhi sebagian peubah tetapi tidak menghasilkan interaksi konsisten dengan interval aplikasi (Novianto & Prihatiningrum, 2023). Temuan tersebut serupa dengan penelitian ini, yakni pengaruh dosis dapat terlihat pada indikator tertentu, tetapi tidak otomatis meluas ke seluruh karakter tanaman.

Tidak berubahnya tasseling dan silking menunjukkan bahwa perkembangan reproduktif lebih kuat dikendalikan oleh umur genetik tanaman dan kondisi lingkungan dibandingkan variasi input organik yang diuji. Fenologi jagung sensitif terhadap air dan suhu; variasi stres dapat meningkatkan keragaman dalam perlakuan dan menutupi sinyal pemupukan. Law-Ogbomo *et al* (2020) memperlihatkan bahwa varietas dan kondisi lahan memengaruhi pertumbuhan serta hasil jagung secara bermakna. Penelitian mikrobioma jagung juga menunjukkan bahwa genotipe dapat berinteraksi dengan lingkungan bawah tanah, sehingga respons tanaman tidak hanya ditentukan oleh jumlah hara yang ditambahkan (Wagner *et al.*, 2021).

Sebagian besar karakter tongkol yang tidak berbeda nyata menunjukkan bahwa peningkatan satu unsur tidak cukup apabila fosfor, kalium, air, radiasi, dan kapasitas source-sink tetap membatasi. Dalam percobaan sweet corn, integrasi pupuk organik dengan pupuk anorganik mampu meningkatkan serapan N, P, K dan berat tongkol karena pasokan hara lebih lengkap dan lebih sinkron (Sofyan & Sara, 2018). Demikian pula, Adekiya *et al.* (2020) melaporkan bahwa kombinasi pupuk ayam dan urea lebih efektif daripada penggunaan tunggal. Perbandingan ini menjelaskan mengapa input organik tunggal dalam penelitian sekarang lebih jelas memperbaiki cadangan N tanah daripada karakter hasil individual. Meskipun demikian, perbedaan berat per petak antara P3 dan P2 mengindikasikan bahwa keuntungan kecil per tanaman dapat terakumulasi pada skala petak, sehingga indikator hasil agregat lebih peka daripada satu komponen tongkol.

Korelasi N tanah yang tidak nyata dengan seluruh peubah agronomi memperkuat gagasan bahwa N total bukan proksi langsung untuk N tersedia. Arah positif pada berat per petak tetap relevan secara biologis, tetapi kekuatannya belum cukup untuk menyimpulkan hubungan pada ukuran sampel 27 petak. RDA memberi konteks tambahan: jenis pupuk kandang nyata sebagai term, namun model keseluruhan dan R² terkoreksi rendah. Ini berarti sumber pupuk padat membentuk pola respons, tetapi sebagian besar variasi tanaman masih dijelaskan oleh faktor lain yang tidak dimasukkan. RDA memang berguna untuk menguraikan respons multivariat, tetapi interpretasinya harus mempertimbangkan jumlah sampel, kolinearitas, dan besarnya keragaman residual (Ramette, 2007; Legendre & Legendre, 2012).

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Percobaan dilakukan pada satu lokasi dan satu musim dengan tiga blok, sehingga daya generalisasi terhadap musim dan tipe tanah lain masih terbatas. Kandungan N, P, K, karbon organik, rasio C/N, pH, dan tingkat kematangan setiap pupuk belum dianalisis secara langsung. Pengukuran tanah berfokus pada N total setelah perlakuan dan belum memisahkan nitrat, amonium, atau laju mineralisasi pada beberapa waktu. Selain itu, formulasi POC tidak dievaluasi berdasarkan populasi mikroba dan kestabilan kimianya. Keterbatasan tersebut tidak mengurangi bukti bahwa pupuk ayam meningkatkan cadangan N tanah, tetapi membatasi penjelasan mekanistik mengenai kapan N dilepas dan berapa bagian yang diserap tanaman.

Secara praktis, pupuk kotoran ayam pada dosis 12,5 kg petak-1 dapat diprioritaskan untuk membangun N tanah dan mendukung hasil petak. POC air kelapa dapat dipertahankan sebagai pelengkap, tetapi peningkatan dosisnya perlu didasarkan pada analisis mutu larutan dan kebutuhan tanaman. Penelitian lanjutan sebaiknya menguji kombinasi organik-mineral dengan aplikasi N bertahap, mengukur nitrat dan amonium sepanjang musim, serta mengulang percobaan pada lokasi dan musim berbeda. Pendekatan tersebut akan menunjukkan apakah cadangan N yang terbentuk dapat dikonversi menjadi hasil yang lebih stabil tanpa meningkatkan kehilangan N ke lingkungan.

KESIMPULAN

Jenis pupuk organik kotoran hewan merupakan penentu utama perubahan N tanah dan hasil agregat jagung manis. Pupuk kotoran ayam menghasilkan N tanah tertinggi dan memberikan berat hasil per petak yang lebih baik daripada pupuk kambing, sedangkan peningkatan dosis POC air kelapa hanya memberi kenaikan N tanah yang lebih kecil. Sebagian besar karakter pertumbuhan, fenologi, dan komponen tongkol tidak berubah nyata, sehingga peningkatan N total tanah pada satu musim belum secara langsung diterjemahkan menjadi respons tanaman yang seragam. Hipotesis pengaruh jenis pupuk kandang terhadap N tanah didukung, tetapi hipotesis sinergi menyeluruh antara pupuk kandang dan POC hanya didukung secara terbatas. Dalam praktik budidaya, pupuk kotoran ayam 12,5 kg petak-1 dapat diprioritaskan sebagai sumber organik utama, sementara POC air kelapa digunakan sebagai pendamping setelah mutu dan konsentrasi haranya diverifikasi. Penelitian berikutnya perlu mengukur N mineral secara berkala, menganalisis komposisi pupuk, menguji aplikasi bertahap serta integrasi organik-mineral, dan melakukan validasi lintas musim serta lokasi agar rekomendasi pemupukan lebih presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adekiya AO, Ogunboye OI, Ewulo BS & Olayanju A. 2020. Effects of different rates of poultry manure and split applications of urea fertilizer on soil chemical properties, growth, and yield of maize. *The Scientific World Journal*. 2020:4610515. doi:10.1155/2020/4610515.
- Fox J & Weisberg S. 2019. *An R Companion to Applied Regression*. 3rd ed. Sage, Thousand Oaks.
- Graves S, Piepho HP & Selzer L. 2026. multcompView: Visualizations of paired comparisons. R package documentation.
- Hardjowigeno S. 2010. *Ilmu Tanah*. Akademika Pressindo, Jakarta.
- Hartatik W & Widowati LR. 2010. Pupuk kandang. Dalam: *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Haryanta D & Widya SA. 2024. Liquid organic fertilizer (LOF) as a waste processing strategy to support increasing crop production: a review. *Journal of Applied Plant Technology*. 3(2):106-119. doi:10.30742/65vpgp22.
- Hernández-Fernández M, Cordero-Bueso G, Ruiz-Muñoz M & Cantoral JM. 2021. Culturable yeasts as biofertilizers and biopesticides for a sustainable agriculture: a comprehensive review. *Plants*. 10(5):822. doi:10.3390/plants10050822.
- Kassambara A. 2025. rstatix: Pipe-friendly framework for basic statistical tests. R package documentation.
- Krušćić K, Jelušić A, Hladnik M, Janakiev T, Anđelković J, Bandelj D & Dimkić I. 2025. The influence of bacterial inoculants and a biofertilizer on maize cultivation and the associated shift in microbiota during the growing season. *Plants*. 14(12):1753. doi:10.3390/plants14121753.
- Law-Ogbomo KE, Ahmadu R & Ogedegbe SA. 2020. Comparative effects of some soil amendments on the agronomic performance of maize varieties in a low fertile soil. *Notulae Scientiae Biologicae*. 12(1). doi:10.15835/nsb12110529.
- Legendre P & Legendre L. 2012. *Numerical Ecology*. 3rd English ed. Elsevier, Amsterdam.
- Lenth RV. 2026. emmeans: Estimated marginal means, aka least-squares means. R package documentation.
- Mustofa M, Prihatiningrum AE & Nurmallasari I. 2022. Effect of types and concentration of liquid organic fertilizer on the growth and production of pakcoy plants (*Brassica rapa* L.). *IOP*

- Conference Series: Earth and Environmental Science. 1104(1):012010. doi:10.1088/1755-1315/1104/1/012010.
- Noguchi K, Gel YR, Brunner E & Konietzschke F. 2012. nparLD: An R software package for the nonparametric analysis of longitudinal data in factorial experiments. *Journal of Statistical Software*. 50(12):1-23. doi:10.18637/jss.v050.i12.
- Novianto W & Prihatiningrum AE. 2023. Effect of banana stem liquid organic fertilizer on shallot growth and production (*Allium ascalonicum* L.). *Procedia of Engineering and Life Science*. 4. doi:10.21070/pels.v4i0.1437.
- Prasetyo D & Evizal R. 2021. Pembuatan dan upaya peningkatan kualitas pupuk organik cair. *Jurnal Agrotropika*. 20(2):68. doi:10.23960/ja.v20i2.5054.
- Ramette A. 2007. Multivariate analyses in microbial ecology. *FEMS Microbiology Ecology*. 62(2):142-160. doi:10.1111/j.1574-6941.2007.00375.x.
- Simanungkalit RDM, Suriadikarta DA, Saraswati R, Setyorini D & Hartatik W. 2006. Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Sofyan ET & Sara DS. 2018. The effect of organic and inorganic fertilizer applications on N, P and K uptake and yield of sweet corn (*Zea mays saccharata* Sturt). *Journal of Tropical Soils*. 23(3):111-116. doi:10.5400/jts.2018.v23i3.111-116.
- Wagner MR, Tang C, Salvato F, Clouse KM, Bartlett A, Vintila S, Phillips L, Sermons S, Hoffmann M, Balint-Kurti PJ & Kleiner M. 2021. Microbe-dependent heterosis in maize. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 118(30):e2021965118. doi:10.1073/pnas.2021965118.