

Inovasi Formula Bokashi Diperkaya Mikoriza, Lamtoro, dan Kapur untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Produksi Biomassa Sorgum Varietas -1 sebagai Hijauan Pakan Urea dan Umur Panen Berbeda

Innovative Bokashi Formulations Enriched with Mycorrhiza, Leucaena, and Lime to Enhance the Growth and Biomass Production of Samurai-1 Sorghum as Forage

P V D Wattimena¹, I Prihantoro^{1*}, P D M H Karti¹

Corresponding email:
prihantoro@apps.ipb.ac.id

¹Departemen Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, Fakultas Peternakan, IPB University, Jl. Agatis Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia, inp@apps.ipb.ac.id

ABSTRACT

This study aimed to assess the effects of different bokashi fertilizer types and application rates on vegetative growth, biomass production, and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) colonization in Samurai-1 sorghum. A factorial randomized block design was employed, involving five bokashi fertilizer types, three application rates, and four replications. The treatments included B0 (bokashi), BM (bokashi + mycorrhiza), BLM (bokashi + leucaena + mycorrhiza), BLKM (bokashi + leucaena + lime + mycorrhiza), and BLKMG (granulated bokashi + leucaena + lime + mycorrhiza), which were applied at 2, 3, and 4 ton ha⁻¹. Bokashi fertilizer type significantly affected AMF colonization and biomass production ($p < 0.01$). Significant interactions between fertilizer type and application rate were observed for plant height and leaf number ($p < 0.05$), while a highly significant interaction was found for leaf length ($p < 0.01$). B0 produced the greatest growth and biomass responses, whereas the highest AMF colonization was recorded in BLKMG. Unenriched bokashi (B0) was the most effective treatment for promoting growth and biomass production of Samurai-1 sorghum, while granulated bokashi enriched with leucaena, lime, and mycorrhiza (BLKMG) showed the greatest effectiveness in enhancing AMF colonization.

Key words: biomass, bokashi, mycorrhiza, organic fertilizer, sorghum

ABSTRAK

Tujuan penelitian adalah mengevaluasi efektivitas beberapa jenis pupuk bokashi yang diperkaya mikoriza, lamtoro, dan kapur untuk meningkatkan pertumbuhan dan produksi biomassa sorgum varietas samurai-1 sebagai hijauan pakan pada dosis berbeda. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok Faktorial (RAKF) yang terdiri atas lima jenis pupuk bokashi dan tiga dosis pupuk dengan empat ulangan. Jenis pupuk bokashi yang digunakan meliputi B0 (bokashi), BM (bokashi + mikoriza), BLM (bokashi + lamtoro + mikoriza), BLKM (bokashi + lamtoro + kapur + mikoriza), dan BLKMG (bokashi + lamtoro + kapur + mikoriza (bokashi + lamtoro + kapur + mikoriza dalam bentuk granul), sedangkan dosis pupuk yang diberikan adalah 2 ton ha⁻¹(D2), 3 ton ha⁻¹(D3) dan 4 ton ha⁻¹(D4). Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor tunggal jenis pupuk BLKMG menghasilkan kolonisasi FMA tertinggi, sedangkan produksi biomassa segar dan kering tertinggi untuk faktor tunggal B0 ($p < 0,01$). Kombinasi B0D3 dan B0D4 menghasilkan tinggi tanaman, jumlah daun, dan panjang daun terbaik. Simpulan penelitian menunjukkan jenis pupuk bokashi B0 memberikan respons terbaik terhadap produksi biomassa segar dan kering sorgum samurai-1. Kombinasi B0 pada dosis 3 dan 4 ton ha⁻¹ (B0D3 dan B0D4) mendukung pertumbuhan tinggi tanaman, jumlah daun, dan panjang daun dibandingkan jenis pupuk bokashi lainnya. Bokashi granul yang diperkaya lamtoro, kapur, dan mikoriza (BLKMG) memberikan respons terbaik terhadap kolonisasi FMA.

Kata kunci: biomassa, bokashi, mikoriza, pupuk organik, sorgum



PENDAHULUAN

Sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench) termasuk tanaman sereal yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber hijauan untuk pakan ternak. Tanaman ini mampu menghasilkan biomassa segar hingga 46,07 ton ha⁻¹ pada lahan suboptimal (Dewi et al. 2025), memiliki kemampuan ratun yang mendukung ketersediaan pakan secara berkelanjutan, serta tingkat palatabilitas yang tinggi (Dwifitri et al. 2020). Sorgum juga memiliki kandungan protein 8%–12% dan lemak 2%–6% (Prihantoro et al. 2023; Sriagtula et al. 2016). Budidaya hijauan pakan umumnya dilakukan pada lahan suboptimal dengan tingkat kesuburan yang rendah (Munir & Rinduwati 2023). Rendahnya kandungan C-organik pada lahan tersebut dapat menurunkan kualitas fisik, kimia, dan biologi tanah serta memengaruhi ketersediaan unsur hara N, P, dan K bagi tanaman (Njinju et al. 2022).

Salah satu upaya untuk meningkatkan kesuburan lahan suboptimal adalah melalui pemanfaatan bokashi sebagai sumber bahan organik yang berperan dalam meningkatkan kandungan C-organik tanah (Casanova et al. 2024). Sejalan dengan perkembangan konsep Pengelolaan Hara Tanaman Terpadu (PHHT), pemanfaatan bokashi dapat dikembangkan melalui pengayaan dengan daun lamtoro, kapur dolomit, dan mikoriza, serta melalui modifikasi bentuk fisik pupuk. Selain komposisi bahan penyusun, karakteristik fisik bokashi juga memengaruhi pola pelepasan hara; bokashi curah cenderung melepaskan hara lebih cepat, sedangkan bentuk granul memungkinkan pelepasan hara secara lebih bertahap (*slow release*). Menurut Dewi et al. (2025), penggunaan pupuk bokashi dalam bentuk granul yang dikombinasikan dengan daun lamtoro dan mikoriza dapat meningkatkan pertumbuhan serta produksi biomassa sorgum samurai-1. Namun, efektivitas beberapa formulasi bokashi berbasis mikoriza, lamtoro, dan kapur pada dosis berbeda masih perlu dievaluasi pada skala lapang. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas beberapa jenis pupuk bokashi pada dosis berbeda terhadap pertumbuhan dan produksi biomassa sorgum varietas Samurai-1.

Tabel 1 Kandungan nutrisi dan pH pupuk bokashi

Kandungan nutrisi dan pH	B0	BM	BLM	BLKM	BLKMG
C Organik (%)	36,35	35,06	35,21	28,84	31,45
pH	7,98	7,98	7,63	7,54	6,92
N Total (%)	3,49	3,21	4,38	3,18	3,25
P ₂ O ₅ Total (%)	2,23	2,31	2,75	2,37	1,81
K ₂ O Total (%)	1,31	1,37	1,54	1,24	1,39
Total NPK	7,03	6,89	8,67	6,79	6,45
C/N	10,42	10,92	8,03	9,07	9,68
Fe (mg kg ⁻¹)	7206,82	8545,37	9407,12	9467,46	8912,32
Ca (mg kg ⁻¹)	10317,68	10383,92	14231,28	41047,74	40214,14
Mg (mg kg ⁻¹)	6480,95	6473,76	7236,24	6620,80	6521,21

Hasil analisis Laboratorium ICBP PT Biodiversitas Bioteknologi Indonesia (2025). B0 : Pupuk bokashi, BM : Pupuk bokashi + Mikoriza, BLM : Pupuk bokashi + Lamtoro + Mikoriza, BLKM : Pupuk bokashi + Lamtoro + Kapur + Mikoriza, BLKMG : Pupuk bokashi + Lamtoro + Kapur + Mikoriza (Granul).

METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan terdiri atas benih sorgum varietas Samurai-1, pupuk bokashi yang tersusun atas feses sapi perah, guano, sekam bakar, dan dedak padi, daun lamtoro, kapur dolomit, mikoriza, StiQfier®, EM4, molase, air, pupuk anorganik berupa urea, SP36, dan KCl, akar tanaman sorgum, larutan KOH, larutan HCl, *trypan blue*, serta insektisida. Alat yang digunakan meliputi mesin pengayak, mesin penggiling, mesin granulator, alat pengolahan lahan, oven, mikroskop. Selain itu, digunakan alat ukur untuk mengukur peubah.

Prosedur Penelitian

Pembuatan pupuk bokashi

Komponen dasar bokashi terdiri atas feses sapi perah, guano, sekam bakar, dedak padi, dan molase. Daun lamtoro dan kapur dolomit ditambahkan sesuai formula, kemudian seluruh bahan dicampur hingga merata, diberi air untuk mencapai kelembaban yang sesuai, serta ditambahkan aktivator EM4. Bokashi diaduk setiap tiga hari selama inkubasi 14 hari, kemudian diayak hingga bertekstur remah. Selanjutnya, mikoriza ditambahkan dan bokashi digranulasi menggunakan mesin granulator sesuai perlakuan. Detail kandungan nutrisi dan pH bokashi disajikan pada Tabel 1.

Pengolahan lahan, pemupukan, penanaman, pemeliharaan dan pemanenan sorgum

Penelitian dilaksanakan pada Agustus 2025–Maret 2026. Budidaya sorgum dilakukan di Laboratorium Lapang Unit Agrostologi, Fakultas Peternakan, IPB University. Pengolahan lahan meliputi *land clearing* secara manual dan kimiawi menggunakan herbisida. Selanjutnya lahan dibajak menggunakan traktor dengan kedalaman ± 30 cm dan digemburkan. Lahan didesain menjadi 60 petak dengan ukuran 2,1 m x 3,5 m dan jarak antar petak 75 cm. Detail karakteristik media tanam disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Karakteristik media tanam penelitian

Parameter	Satuan	Nilai	Kategori
pH H ₂ O		5,2	Masam
P ₂ O ₅ tersedia	mg kg ⁻¹	1,84	Sangat Rendah
K ⁺	cmol (+) kg ⁻¹	0,08	Rendah
Na ⁺	cmol (+) kg ⁻¹	0,31	Normal
Ca ²⁺	cmol (+) kg ⁻¹	3,59	Rendah
Mg ²⁺	cmol (+) kg ⁻¹	1,17	Cukup
KTK	cmol (+) kg ⁻¹	11,1	Cukup
C-organik	%	1,34	Rendah
N Total	%	0,16	Rendah
C/N	%	8	
Tekstur (debu;pasir;liat)	%	31,1;49,1;19,8	Lempung Berpasir

Hasil analisis Laboratorium ICBB PT Biodiversitas Bioteknologi Indonesia (2026).

Pemupukan terdiri atas pupuk anorganik berupa urea (200 kg ha⁻¹), SP36 (100 kg ha⁻¹), dan KCL (60 kg ha⁻¹), serta bokashi sesuai perlakuan. Bokashi, fosfor, dan kalium diaplikasikan saat tanam, sedangkan urea diberikan bertahap pada umur 14 HST (1/3 dosis) dan 30 HST (2/3 dosis). Penanaman benih sorgum varietas Samurai-1 dilakukan dengan jarak 15 cm pada lubang tanam sedalam ±5–6 cm, dengan lima benih pada setiap lubang.

Penyulaman dilakukan pada 7 HST, sedangkan pemeliharaan meliputi penyiraman dua kali sehari dan penyiangan gulma secara manual. Data klimatologi lokasi disajikan pada Tabel 3. Pemanenan dilakukan pada umur 80 HST dengan menyisakan batang setinggi 10 cm dari permukaan media. Batang, daun, dan malai kemudian dipisahkan untuk menentukan biomassa segar dan kering. Biomassa kering ditentukan setelah sampel dikeringkan selama dua hari menggunakan *dome dryer*, kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C sampai mencapai bobot konstan.

Kolonisasi fungi Mikoriza Arbuskula (FMA)

Pengamatan kolonisasi FMA pada akar sorgum dilakukan dengan membersihkan akar menggunakan air mengalir, kemudian direndam secara bertahap dalam larutan KOH, HCl, dan *trypan blue* masing-masing selama 24 jam. Akar dibilas setiap pergantian larutan, dipotong sepanjang 1 cm, lalu diletakkan di atas kaca preparat untuk diamati menggunakan mikroskop pada perbesaran 40×. Perhitungan kolonisasi FMA mengacu pada metode Giovannetti & Mosse (1980).

Kolonisasi Mikoriza (%) =

$$\frac{\text{Jumlah bidang pandang positif mikoriza}}{\text{Jumlah total bidang pandang yang diamati}} \times 100$$

Tabel 3 Data klimatologi wilayah Babakan, Kec. Dramaga, Kab. Bogor Jawa Barat

Bulan	Tahun	Curah Hujan (mm)	Suhu Udara (°C)	Kelembaban (%)	Radiasi Matahari (MJ m ⁻² hari ⁻¹)
Agustus	2025	5,29	27,29	87,26	7,30
September	2025	8,01	28,33	87,70	8,92
Oktober	2025	13,67	26,67	88,32	7,10
November	2025	7,95	27,95	87,94	9,57

IPB University: Stasiun Meteorologi Pendidikan dan Riset, GFM IPB University (2025)

Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Penelitian didesain menggunakan Rancangan Acak Kelompok Faktorial (RAKF) yang terdiri dari dua faktor. Faktor A adalah jenis pupuk bokashi, yaitu B0 (bokashi), BM (bokashi + mikoriza), BLM (bokashi + daun lamtoro + mikoriza), BLKM (bokashi + daun lamtoro + mikoriza + kapur dolomit), dan BLKMG (bokashi + daun lamtoro + mikoriza + kapur dolomit granul). Faktor B adalah dosis pupuk, yaitu D2 (2 ton ha⁻¹), D3 (3 ton ha⁻¹), dan D4 (4 ton ha⁻¹). Setiap kombinasi perlakuan diulang empat kali sehingga diperoleh 60 satuan percobaan. Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) mengacu pada Steel & Torrie (1995). Perlakuan yang berinteraksi atau berpengaruh nyata ($p < 0,05$) diuji lanjut menggunakan Duncan's Multiple Range Test (DMRT). Seluruh analisis dilakukan dengan IBM SPSS Statistics versi 25. Pengamatan meliputi pertumbuhan vegetatif, produksi biomassa, dan kolonisasi FMA. Peubah pertumbuhan tanaman diamati setiap minggu, meliputi tinggi tanaman ditentukan dari permukaan tanah hingga ujung daun tertinggi. Panjang dan lebar daun diukur pada daun ketiga dari pucuk, sedangkan jumlah daun dihitung berdasarkan daun yang telah membuka sempurna. Diameter batang diukur menggunakan jangka sorong pada posisi 5–10 cm dari permukaan tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kolonisasi FMA

Kolonisasi FMA pada akar sorgum merupakan indikator keberhasilan simbiosis antara FMA dan tanaman, yang diamati secara mikroskopis melalui keberadaan hifa, arbuskula, dan vesikula pada jaringan akar. Detail kolonisasi FMA pada akar tanaman sorgum disajikan pada Tabel 4.

Pada Tabel 1 terlihat tidak terdapat interaksi nyata antara jenis dan dosis pupuk terhadap kolonisasi FMA pada akar sorgum umur 80 HST. Berdasarkan faktor tunggal, jenis pupuk berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$), dengan BLKMG (bokashi + daun lamtoro + mikoriza + kapur dolomit granul) menghasilkan kolonisasi FMA tertinggi sebesar 45,15% dan termasuk kategori sedang (Rajapakse & Miller 1992). Hasil ini menunjukkan bahwa BLKMG dalam bentuk granul lebih efektif meningkatkan kolonisasi FMA dibandingkan bokashi berbentuk remahan halus. Bentuk granul berkaitan dengan mikrohabitat yang lebih stabil melalui kelembaban

Tabel 4 Kolonisasi FMA pada akar sorgum Samurai-1 umur 80 HST

Perlakuan	Dosis pupuk			Rataan
	D2	D3	D4	
	-----%			
B0	24,27 ± 1,74	25,39 ± 2,54	26,00 ± 2,87	25,22 ± 2,33 ^C
BM	32,04 ± 3,22	32,19 ± 4,26	33,19 ± 9,76	32,47 ± 5,84 ^B
BLM	28,03 ± 2,41	30,48 ± 1,34	32,80 ± 2,49	30,43 ± 2,81 ^B
BLKM	31,88 ± 1,24	33,30 ± 1,93	37,24 ± 3,59	34,14 ± 3,25 ^B
BLKMG	50,01 ± 2,96	44,09 ± 2,38	41,35 ± 9,37	45,15 ± 6,49 ^A
Rataan	33,24 ± 9,34	33,45 ± 6,72	34,12 ± 7,79	

Superskrip dengan huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang sangat nyata ($P < 0,01$), HST (hari setelah tanam), B0 : Pupuk bokashi, BM : Pupuk bokashi + Mikoriza, BLM : Pupuk bokashi + Lamtoro + Mikoriza, BLKM : Pupuk bokashi + Lamtoro + Kapur + Mikoriza, BLKMG : Pupuk bokashi + Lamtoro + Kapur + Mikoriza (Granul). D2: 2 ton ha⁻¹, D3: 3 ton ha⁻¹, D4: 4 ton ha⁻¹

dan aerasi yang lebih baik di rhizosfer, sehingga mendukung perkecambahan spora, pertumbuhan hifa, dan pembentukan kontak awal dengan akar. Sebaliknya, formulasi curah lebih mudah kehilangan kelembaban dan memiliki distribusi propagul yang tidak merata. Selain karakteristik fisik granul, komposisi bahan penyusun pupuk juga mendukung kondisi kolonisasi FMA.

Kualitas formulasi inokulan dan kondisi lingkungan tanah di sekitar perakaran menentukan keberhasilan kolonisasi mikoriza dengan tanaman inang (Basiru *et al.*

2021). Perlakuan bokashi yang ditambahkan FMA (BM, BLM, BLKM, dan BLKMG) menghasilkan kolonisasi akar yang lebih tinggi ($p < 0,01$) dibandingkan B0 tanpa penambahan mikoriza, yang menunjukkan bahwa isolat FMA efektif bersimbiosis dengan tanaman inang. Kolonisasi FMA pada B0 berkaitan dengan keberadaan FMA *indigenous* pada media tanam. FMA *indigenous* mampu mengkolonisasi akar, meskipun tingkat kolonisasinya lebih rendah dibandingkan tanaman yang memperoleh inokulum FMA (Conti *et al.* 2025).

Tabel 5 Pertumbuhan vegetatif sorgum Samurai-1 umur 80 HST

Jenis pupuk	Dosis pupuk			Rataan
	D2	D3	D4	
Tinggi Tanaman:	-----cm-----			
B0	215,88 ± 44,64 ^b	229,28 ± 49,75 ^{ab}	243,50 ± 20,36 ^a	228,18 ± 41,75
BM	150,33 ± 20,48 ^{ef}	152,04 ± 17,16 ^{ef}	165,63 ± 27,26 ^{cde}	156,00 ± 22,79
BLM	142,73 ± 21,11 ^f	152,58 ± 36,19 ^{ef}	159,67 ± 40,22 ^{def}	152,94 ± 35,06
BLKM	137,46 ± 13,37 ^f	146,99 ± 22,85 ^{ef}	169,17 ± 30,85 ^{cd}	151,21 ± 26,73
BLKMG	202,42 ± 36,62 ^c	182,91 ± 32,76 ^c	179,72 ± 30,50 ^c	188,35 ± 34,43
Rataan	169,76 ± 36,55	172,76 ± 34,63	183,54 ± 34,30	
Jumlah Daun:	-----helai-----			
B0	9,54 ± 1,32 ^b	9,72 ± 1,39 ^{ab}	10,50 ± 0,99 ^a	9,88 ± 1,28
BM	8,50 ± 1,32 ^d	8,58 ± 1,47 ^{cd}	9,38 ± 1,44 ^{bc}	8,82 ± 1,45
BLM	9,47 ± 1,30 ^b	9,77 ± 1,00 ^{ab}	9,81 ± 0,48 ^{ab}	9,71 ± 0,93
BLKM	7,88 ± 0,99 ^d	9,50 ± 1,14 ^{bc}	9,92 ± 1,35 ^{ab}	9,10 ± 1,46
BLKMG	10,30 ± 1,43 ^a	10,21 ± 1,86 ^{ab}	10,13 ± 1,78 ^{ab}	10,21 ± 1,68
Rataan	9,11 ± 1,53	9,55 ± 1,48	9,92 ± 1,33	
Panjang Daun:	-----cm-----			
B0	81,58 ± 2,89 ^{AB}	81,72 ± 1,81 ^{AB}	82,22 ± 2,32 ^A	81,82 ± 2,41
BM	74,29 ± 5,67 ^{EF}	75,83 ± 6,55 ^{CDEF}	79,33 ± 7,22 ^{BC}	76,49 ± 6,76
BLM	74,73 ± 6,93 ^{EF}	75,29 ± 5,77 ^{DEF}	76,25 ± 4,95 ^{CDE}	75,52 ± 5,32
BLKM	71,54 ± 2,52 ^F	76,71 ± 5,97 ^{BCDE}	80,50 ± 4,80 ^{BC}	76,25 ± 5,90
BLKMG	81,04 ± 2,56 ^{AB}	78,25 ± 6,03 ^{BCD}	76,83 ± 7,22 ^{CDE}	78,71 ± 5,83
Rataan	76,79 ± 5,63	77,34 ± 5,95	78,86 ± 6,04	
Diameter batang:	-----cm-----			
B0	1,80 ± 0,27	1,82 ± 0,25	1,84 ± 0,16	1,82 ± 0,23 ^A
BM	1,50 ± 0,28	1,52 ± 0,21	1,53 ± 0,21	1,52 ± 0,23 ^B
BLM	1,50 ± 0,18	1,60 ± 0,19	1,61 ± 0,20	1,58 ± 0,20 ^B
BLKM	1,50 ± 0,17	1,52 ± 0,16	1,62 ± 0,27	1,55 ± 0,21 ^B
BLKMG	1,82 ± 0,29	1,78 ± 0,17	1,76 ± 0,21	1,79 ± 0,22 ^A
Rataan	1,63 ± 0,29	1,64 ± 0,23	1,66 ± 0,24	

Superskrip dengan huruf yang berbeda pada baris dan kolom yang sama menunjukkan hasil yang sangat nyata ($p < 0,01$), HST (hari setelah tanam), B0 : Pupuk bokashi, BM : Pupuk bokashi + Mikoriza, BLM : Pupuk bokashi + Lamtoro + Mikoriza, BLKM : Pupuk bokashi + Lamtoro + Kapur + Mikoriza, BLKMG : Pupuk bokashi + Lamtoro + Kapur + Mikoriza (Granul). D2: 2 ton ha⁻¹, D3: 3 ton ha⁻¹, D4: 4 ton ha⁻¹

Pertumbuhan Vegetatif

Pertumbuhan vegetatif merupakan indikator yang mencerminkan perkembangan organ vegetatif tanaman, yang dapat diamati melalui tinggi tanaman, jumlah daun, panjang daun, dan diameter batang. Detail pertumbuhan vegetatif tanaman sorgum berdasarkan jenis pupuk bokashi dengan dosis berbeda pada umur 80 HST disajikan pada Tabel 5.

Tinggi Tanaman

Kombinasi jenis dan dosis pupuk bokashi menunjukkan interaksi nyata ($p < 0,05$) terhadap tinggi tanaman, dengan kombinasi terbaik pada B0D4, meskipun tidak berbeda nyata dengan B0D3. Hasil ini menunjukkan bahwa bokashi tanpa pengayaan (B0) memiliki karakteristik dan kandungan hara yang memadai dalam mendukung pertumbuhan tinggi tanaman dibandingkan formulasi bokashi lainnya.

Kandungan nitrogen pada B0 lebih efektif mendukung pertumbuhan tinggi tanaman karena N berperan penting dalam mendukung fotosintesis, sintesis protein, dan pertumbuhan tanaman (Hu *et al.* 2025). Kombinasi B0D4 yang lebih baik dibandingkan B0D2 menunjukkan bahwa peningkatan dosis bokashi mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara selama fase pertumbuhan vegetatif (Kawaty *et al.* 2023). Namun, B0D4 yang tidak berbeda nyata dengan B0D3 mengindikasikan bahwa dosis 3 ton ha^{-1} telah mampu menyediakan hara yang hampir mencukupi untuk mendukung pertumbuhan tinggi tanaman.

Menurunnya respons tinggi tanaman pada BLM menunjukkan bahwa pengayaan daun lamtoro belum memberikan peningkatan pertumbuhan tanaman. Meskipun lamtoro ditambahkan sebagai sumber nitrogen, N yang berasal dari bahan organik perlu mengalami proses mineralisasi terlebih dahulu sebelum tersedia bagi tanaman. Pelepasan N dari lamtoro belum optimal selama periode pertumbuhan yang diamati karena proses dekomposisinya berlangsung secara bertahap serta dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan karakteristik bahan organik (Tzec-Gamboa *et al.* 2023). Sementara itu, menurunnya tinggi tanaman pada kelompok BLKM dan BLKMG berkaitan dengan tingginya kadar Ca pada produk bokashi (Tabel 1), yang diduga memengaruhi keseimbangan dan ketersediaan unsur hara. Kandungan Ca yang tinggi berpotensi menurunkan ketersediaan P melalui interaksi antara Ca dan P yang membentuk senyawa kalsium-fosfat, sehingga P menjadi relatif kurang tersedia bagi tanaman. Kondisi tersebut juga berpotensi memengaruhi keseimbangan penyerapan K dan Mg. Menurut Adnan *et al.* (2025) bahwa tingginya ketersediaan Ca pada media tanam dapat mendorong pembentukan senyawa Ca-P yang menyebabkan P menjadi lebih terbatas untuk dimanfaatkan oleh tanaman.

Jumlah Daun

Kombinasi jenis dan dosis pupuk bokashi menunjukkan interaksi nyata ($p < 0,05$) terhadap jumlah daun, dengan B0D4 dan BLKMGD2 menghasilkan jumlah daun terbanyak. Hasil ini menunjukkan bahwa BLKMG pada dosis 2 ton ha^{-1} lebih efisien dalam mendukung pertambahan jumlah daun sorgum hingga akhir penelitian (80 HST) dengan respons yang setara dengan B0 dosis 4 ton ha^{-1} . Efektivitas BLKMG diduga berkaitan dengan bentuk granul yang dapat menjaga kestabilan pupuk serta mengatur pelepasan unsur hara secara bertahap (slow release), sehingga kondisi fisik dan kimia tanah di sekitar perakaran dapat dipertahankan hingga akhir penelitian. Pelepasan hara secara terkendali memungkinkan N, P, dan K dimanfaatkan tanaman secara lebih efisien untuk mendukung pembentukan jaringan baru dan perkembangan daun (Zhou *et al.* 2022). Pupuk bokashi yang diperkaya lamtoro (BLM, BLKM, dan BLKMG) cenderung meningkatkan jumlah daun sorgum pada dosis ≥ 3 ton ha^{-1} dibandingkan bokashi yang diperkaya mikoriza tanpa lamtoro (BM). Hasil ini menunjukkan bahwa pengayaan bokashi dengan mikoriza memerlukan penambahan lamtoro untuk menjaga kualitas dan efektivitas bokashi dalam mendukung pertumbuhan jumlah daun. Kandungan N yang tinggi dan rasio C/N yang rendah pada daun lamtoro mendukung proses dekomposisi yang lebih cepat sehingga N menjadi lebih tersedia. Unsur tersebut berperan dalam pembentukan klorofil, protein, dan enzim, serta mendukung proses pembelahan dan pembesaran sel. Penambahan mikoriza tanpa lamtoro berpotensi menimbulkan carbon drain karena sebagian fotosintat tanaman inang digunakan untuk mendukung pertumbuhan mikoriza, meskipun simbiosis tersebut memberikan manfaat dalam pemanfaatan P. Menurut Chen *et al.* (2021) pengayaan bokashi dengan daun lamtoro mampu mendukung kebutuhan hara tanaman sekaligus mempertahankan hubungan simbiosis mikoriza sehingga pertumbuhan daun tetap optimal.

Panjang Daun

Kombinasi jenis dan dosis pupuk bokashi menunjukkan interaksi sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap panjang daun sorgum. B0D4 menghasilkan panjang daun tertinggi dan tidak berbeda nyata dengan B0D2, B0D3, dan BLKMGD2. Hasil ini menunjukkan bahwa B0 pada dosis 2–4 ton ha^{-1} memberikan respons yang sama baik dalam mendukung panjang daun. Demikian pula, BLKMG dosis 2 ton ha^{-1} mampu menghasilkan panjang daun yang setara dengan B0 dosis 4 ton ha^{-1} , sehingga menunjukkan efisiensi penggunaan pupuk yang lebih tinggi. Efektivitas BLKMG diduga berkaitan dengan bentuk granul yang mampu menjaga kestabilan pupuk dan pelepasan unsur hara secara bertahap hingga akhir penelitian (80 HST).

Efektivitas B0 dalam meningkatkan panjang daun berkaitan dengan kandungan N yang cukup tinggi

Tabel 6 Produksi biomassa sorgum Samurai-1 umur 80 HST

Jenis pupuk	Dosis pupuk			Rataan
	D2	D3	D4	
<u>Biomassa Segar:</u>	-----ton ha ⁻¹ -----			
B0	40,99 ± 10,55	42,95 ± 19,62	45,00 ± 8,14	42,98 ± 2,01 ^A
BM	20,01 ± 2,05	22,48 ± 0,56	23,93 ± 3,07	22,14 ± 2,54 ^C
BLM	21,10 ± 1,23	22,43 ± 1,12	22,70 ± 1,07	22,08 ± 1,24 ^C
BLKM	22,20 ± 1,00	22,76 ± 2,81	24,77 ± 6,54	23,25 ± 3,78 ^{BC}
BLKMG	36,49 ± 2,98	27,24 ± 9,45	22,75 ± 1,98	28,97 ± 7,79 ^B
Rataan	28,16 ± 9,82	26,47 ± 9,87	27,51 ± 9,62	
<u>Biomassa Kering:</u>	-----ton ha ⁻¹ -----			
B0	15,15 ± 2,99	15,87 ± 3,54	16,30 ± 1,47	15,77 ± 2,48 ^A
BM	6,99 ± 0,76	7,49 ± 0,44	7,56 ± 0,18	7,35 ± 0,52 ^C
BLM	7,56 ± 0,28	7,61 ± 0,15	7,64 ± 0,17	7,60 ± 0,19 ^C
BLKM	7,69 ± 0,23	8,28 ± 1,17	8,78 ± 2,69	8,25 ± 1,61 ^{BC}
BLKMG	10,36 ± 3,06	9,18 ± 2,11	7,54 ± 0,27	9,16 ± 2,35 ^B
Rataan	9,38 ± 3,37	9,46 ± 3,41	9,52 ± 3,65	

Superskrip dengan huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang sangat nyata ($p < 0,01$), HST (hari setelah tanam), B0 : Pupuk bokashi, BM : Pupuk bokashi + Mikoriza, BLM : Pupuk bokashi + Lamtoro + Mikoriza, BLKM : Pupuk bokashi + Lamtoro + Kapur + Mikoriza, BLKMG : Pupuk bokashi + Lamtoro + Kapur + Mikoriza (Granul). D2: 2 ton ha⁻¹, D3: 3 ton ha⁻¹, D4: 4 ton ha⁻¹

(Tabel 1). Nitrogen mendukung perkembangan daun melalui perannya dalam pembentukan klorofil dan protein serta proses pembelahan dan pemanjangan sel yang berkaitan dengan aktivitas fotosintesis. Sementara itu, kombinasi lamtoro, kapur dolomit, mikoriza, dan bentuk granul pada BLKMG diduga mendukung efisiensi pemanfaatan hara melalui pelepasan hara secara bertahap, perbaikan kondisi kimia tanah, serta aktivitas mikroorganisme di sekitar perakaran. Kondisi tersebut memungkinkan tanaman mempertahankan pertumbuhan panjang daun pada dosis pupuk yang lebih rendah (Shaji *et al.* 2021).

Diameter Batang

Kombinasi jenis dan dosis pupuk bokashi tidak menunjukkan interaksi nyata terhadap diameter batang sorgum. Berdasarkan faktor tunggal jenis pupuk, B0 dan BLKMG menghasilkan diameter batang terbaik dibandingkan perlakuan lainnya. Hasil ini menunjukkan bahwa B0 dan bokashi granul BLKMG lebih efektif dalam mendukung pertumbuhan diameter batang sorgum.

Peningkatan diameter batang pada B0 berkaitan dengan pertumbuhan vegetatif yang baik dan kandungan hara yang cukup. Pertumbuhan daun mendukung pembentukan fotosintat yang selanjutnya ditranslokasikan ke batang untuk mendukung pembelahan dan pembesaran sel. Ketersediaan nitrogen yang mencukupi turut mendukung akumulasi biomassa dan perkembangan organ vegetatif tanaman, termasuk batang (Feng *et al.* 2023). Sementara itu, diameter batang yang tinggi pada BLKMG diduga berkaitan dengan karakteristik granul yang mampu melepaskan unsur hara secara bertahap (*slow release*), sehingga ketersediaan hara lebih stabil hingga akhir penelitian (80 HST). Pupuk *slow-release* memungkinkan unsur hara tersedia secara bertahap dan berkelanjutan sehingga dapat mendukung kebutuhan tanaman selama fase pertumbuhan (Luo *et al.* 2024).

Produksi Biomassa

Produksi biomassa merupakan indikator yang mencerminkan akumulasi hasil fotosintesis pada organ vegetatif tanaman terutama batang dan daun, yang diperoleh melalui penimbangan biomassa segar saat panen dan biomassa kering setelah proses pengeringan hingga mencapai berat konstan. Detail produksi biomassa sorgum samurai-1 berdasarkan jenis pupuk bokashi dan dosis berbeda pada umur 80 HST disajikan pada Tabel 6.

Kombinasi jenis dan dosis pupuk bokashi tidak menunjukkan interaksi nyata terhadap biomassa segar sorgum samurai-1. Berdasarkan faktor tunggal jenis pupuk, B0 menghasilkan biomassa segar tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Hasil serupa diperoleh pada biomassa kering, dengan B0 menghasilkan biomassa kering tertinggi ($p < 0,01$). Hasil ini menunjukkan bahwa B0 lebih efektif dalam meningkatkan produksi biomassa sorgum. Produksi biomassa yang tinggi pada B0 berkaitan dengan pertumbuhan vegetatif yang lebih baik, yang ditunjukkan oleh tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, dan panjang daun. Kumulasi pertumbuhan vegetatif tersebut menghasilkan tajuk yang lebih berkembang sehingga meningkatkan intersepsi cahaya, kapasitas fotosintesis, dan akumulasi bahan kering. Biomassa tanaman meningkat seiring dengan perkembangan organ vegetatif, terutama daun dan batang, yang mendukung kapasitas fotosintesis dan akumulasi bahan kering selama periode pertumbuhan (Ngidi *et al.* 2024).

Peningkatan kapasitas fotosintesis menghasilkan fotosintat yang selanjutnya diakumulasi menjadi senyawa organik penyusun jaringan tanaman sehingga meningkatkan biomassa. Peningkatan jumlah daun juga mendukung kapasitas fotosintesis dan akumulasi biomassa serta bobot segar tanaman (Kurniasari *et al.* 2023). Selain akumulasi hasil fotosintesis, biomassa segar dipengaruhi oleh kandungan air dalam jaringan

tanaman. Aplikasi bokashi mampu memperbaiki kondisi fisik tanah sehingga meningkatkan kemampuan tanah menyimpan dan menyediakan air bagi tanaman. Kondisi tersebut mendukung penyerapan air oleh akar, mempertahankan tekanan turgor sel, serta menunjang pembentukan dan pembesaran sel yang turut berkontribusi terhadap biomassa segar tanaman.

SIMPULAN

Jenis pupuk bokashi (B0) memberikan respons terbaik terhadap produksi biomassa segar dan kering sorgum samurai-1. Kombinasi B0 pada dosis 3 dan 4 ton ha⁻¹ (B0D3 dan B0D4) mendukung pertumbuhan tinggi tanaman, jumlah daun, dan panjang daun dibandingkan jenis pupuk bokashi lainnya. Bokashi granul yang diperkaya lamtoro, kapur, dan mikoriza (BLKMG) memberikan respons terbaik terhadap kolonisasi FMA.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan M, Fahad S, Saleem MH & Lal R. 2025. Sustainable phosphorus management in calcareous soils: problems and prospects. *Journal of Plant Nutrition*. 48(13):2179–2200. doi:10.1080/01904167.2025.2477269.
- Basiru S, Mwanza HP & Hijiri M. 2021. Analysis of arbuscular mycorrhizal fungal inoculant benchmarks. *Microorganisms*. 9(1):81. doi:10.3390/microorganisms9010081
- Casanova-Lugo F, Cetzal-Ix WR, Escobedo-Cabrera A, Estrada-Medina H, Aryal DR & Villanueva-López G. 2024. Decomposition and nutrient release of leaves of tree legumes with agroforestry potential in the sub-humid tropic. *Agroforestry Systems*. 98(8):3165–3177. doi:10.1007/s10457-024-01080-w
- Chen J, Wang Y, Qin M, Zhang T, Liu X, Wang J, Zhou T & Xin X. 2021. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation under drought stress. *Frontiers in Plant Science*. 12:705912. doi:10.3389/fpls.2021.705912
- Conti G, Urcelay C, Gundel PE & Piñeiro G. 2025. The potential of arbuscular mycorrhizal fungi to improve soil organic carbon in agricultural ecosystems: a meta-analytical approach. *Functional Ecology*. 39(4):1016–1030. doi:10.1111/1365-2435.14753
- Dewi AP, Karti PDMH & Prihantoro I. 2025. Efektivitas pupuk organik granul diperkaya mikoriza dan lamtoro terhadap pertumbuhan dan produksi Sorghum bicolor varietas Samurui-1. *Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan*. 23(2):90–96.
- Dwifitri N, Suherman D & Apriyanto E. 2020. Pengaruh pupuk organik dan umur potong terhadap produksi hijauan pakan ternak sorgum di daerah pesisir. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 9(1):21–29.
- Feng H, Guo J, Peng C, Kneeshaw D, Roberge G, Pan C, Ma X, Zhou D & Wang W. 2023. Nitrogen addition promotes terrestrial plants to allocate more biomass to aboveground organs: a global meta-analysis. *Global Change Biology*. 29(14):3970–3989. doi:10.1111/gcb.16731
- Giovannetti, M. & Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84(3), 489–500.
- Hu X, Liu S, Gu W, Shi X, Liu C, Liu C & Zhou Y. 2025. Exogenous brassinolide improves the low nitrogen tolerance of sorghum seedling by increasing the photosynthetic capacity. *South African Journal of Botany*. 178:89–100. doi:10.1016/j.sajb.2025.01.023.
- Kawaty RR, Mukminah F & Utami A. 2023. Growth and production of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) to bokashi application in dryland of South Sumatra. *Journal of Agriculture*. 2(1):8–15. doi:10.47709/joa.v2i01.2291
- Kurniasari R, Suwanto & Sulistyono E. 2023. Pertumbuhan dan produksi tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) varietas numbu dengan pemupukan organik yang berbeda. *Buletin Agrohorti*. 11(1):69–78. doi:10.29244/agrob.v11i1.46616
- Luo Z, Li Y, Pei X, Woon KS, Liu M, Lin X, Hu Z, Li Y & Zhang Z. 2024. A potential slow-release fertilizer based on biogas residue biochar: nutrient release patterns and synergistic mechanism for improving soil fertility. *Environmental Research*. 252 (Part 4):119076. doi:10.1016/j.envres.2024.119076
- Munir N & Rinduwati. 2023. Analisis lahan kritis dalam mendukung ketersediaan hijauan pakan: review. *Buletin Nutrisi dan Makanan Ternak*. 17(2):93–103.
- Njinju SM, Gweyi JO & Mayoli RN. 2022. Drought-resilient climate smart sorghum varieties for food and industrial use in marginal frontier areas of Kenya. In: *Agriculture, Livestock Production and Aquaculture: Advances for Smallholder Farming Systems*. 2: 33–44. doi:10.1007/978-3-030-93262-6_3
- Ngidi A, Shimelis H, Abady S, Figlan S & Chaplot V. 2024. Response of Sorghum bicolor genotypes for yield and yield components and organic carbon storage in the shoot and root systems. *Science Report*. 14:9499. doi:10.1038/s41598-024-59956-x.
- Prihantoro I, Permana AT, Suwanto S, Aditia EL & Waruwu Y. 2023. Efektivitas pengapuran dalam meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) sebagai hijauan pakan ternak. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 28(2):297–304. doi:10.18343/jipi.28.2.297
- Rajapakse S & Miller JC Jr. 1992. Methods for studying vesicular-arbuscular mycorrhizal root colonization and related root physical properties. In: Norris JR, Read DJ, Varma AK, editor. *Methods in Microbiology*. 24: 301–316. doi:10.1016/S0580-9517(08)70098-9
- Shaji H, Chandran V & Mathew L. 2021. Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients. In: *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture*. p231–245. doi:10.1016/B978-0-12-819555-0.00013-3
- Sriagtula R, Karti PDMH, Abdullah L, Supriyanto & Astuti DA. 2016. Growth, biomass and nutrient production of brown midrib sorghum mutant lines at different harvest times. *Pakistan Journal of Nutrition*. 15(6):524–531. doi:10.3923/pjn.2016.524.531
- Steel RGD & Torrie JH. 1995. *Prinsip dan Prosedur Statistika: Suatu Pendekatan Biometrik*. Sumantri B, penerjemah. Jakarta (ID): PT Gramedia Pustaka Utama.
- Tzec-Gamboa MC, Álvarez-Rivera OO, Ramírez y Avilés L & Solorio-Sánchez FJ. 2023. Decomposition and nitrogen release rates of foliar litter from single and mixed agroforestry species under field conditions. *Agriculture*. 13(1):222. doi:10.3390/agriculture13010222.
- Zhou Z, Zhang S, Jiang N, Xiu W, Zhao J & Yang D. 2022. Effects of organic fertilizer incorporation practices on crops yield, soil quality, and soil fauna feeding activity in the wheat-maize rotation system. *Frontiers in Environmental Science*. 10:1058071. doi:10.3389/fenvs.2022.1058071