

Pemanfaatan Limbah Blotong dari Pabrik Gula sebagai Pupuk Hayati untuk Peningkatan Produktivitas Tanaman Padi

M. Rizky Aldiansyah^{a,1}, Valensi Kautsar^{a,b,2*}, Hangger Gahara Mawandha^{a,3}

^a Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, INSTIPER, Indonesia;

^b Program Studi Magister Manajemen Perkebunan, INSTIPER, Indonesia;

¹ aldiansyahm.rizky28@gmail.com; ² valkauts@instiperjogja.ac.id; ³ hangger@instiperjogja.ac.id

*Correspondent Author

Received: 15 Januray 2024

Revised: 20 February 2024

Accepted: 25 March 2024

KATAKUNCI

Blotong
Efisiensi pemupukan
Pertanian berkelanjutan
Pupuk hayati
Reduksi NPK

ABSTRAK

Sebagai limbah padat yang signifikan dari proses pembuatan gula, blotong menjadi perhatian utama karena potensi pencemarannya yang relatif tinggi, tetapi menyimpan potensi yang sangat besar. Potensi pemanfaatan blotong menjadi pupuk hayati menjadi penting untuk mengurangi dampak negatifnya dan meningkatkan produktivitas pertanian secara berkelanjutan. Tujuan studi ini adalah untuk menginvestigasi dampak aplikasi pupuk hayati yang berasal dari limbah blotong terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman padi, dengan mempertimbangkan pengurangan penggunaan pupuk kimia. Sebanyak tiga perlakuan yang berbeda, yang masing-masing adalah 100% Pupuk NPK, 25% NPK + 75% Pupuk Hayati, dan 50% NPK + 50% Pupuk Hayati, diulang empat kali, disusun menggunakan desain Rangkaian Acak Lengkap (RAL). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan 50% NPK + 50% Pupuk Hayati memberikan tinggi tanaman dan jumlah anakan yang sama dengan perlakuan 100% NPK pada usia 30 HST (hari setelah tanam) dan 72 HST. Penggunaan campuran pupuk tersebut juga tidak berbeda nyata dalam berat segar dan berat kering tanaman dibandingkan dengan pemupukan 100% NPK. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan pupuk hayati sebesar 75% yang dikombinasikan dengan pupuk kimia 25% dapat menjadi pilihan untuk mengurangi dosis pupuk kimia yang mahal dan sulit diperoleh, dengan tetap mempertahankan hasil panen.

KEYWORDS

Filter cake
Fertilization efficiency
Sustainable agriculture
Biofertilizer
NPK reduction

Abstract

As a significant solid waste from the sugar production process, filter cake (blotong) is a major concern due to its relatively high pollution potential, but it also holds great promise. The potential utilization of filter cake as a biofertilizer becomes crucial to reducing its negative impacts and enhancing sustainable agricultural productivity. The aim of this study is to investigate the effects of applying biofertilizer derived from filter cake on the growth and productivity of rice plants, with an emphasis on reducing the use of chemical fertilizers. Three different treatments, namely 100% NPK fertilizer, 25% NPK + 75% biofertilizer, and 50% NPK + 50% biofertilizer, were repeated four times, arranged using a Completely Randomized Design (CRD). The results showed that the 50% NPK + 50% biofertilizer treatment provided the same plant height and number of tillers as the 100% NPK treatment at 30 DAP (days after planting) and 72 DAP. The mixed fertilizer application also did not show significant differences in fresh and dry weight of plants compared to

100% NPK fertilization. This indicates that utilizing 75% biofertilizer combined with 25% chemical fertilizer can be an option to reduce the use of expensive and hard-to-obtain chemical fertilizers while maintaining crop yields.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](#) license.



Pendahuluan

Indonesia, sebagai salah satu negara yang menghasilkan gula, telah mencatat peningkatan signifikan dalam produksi gula sebesar 2,42 juta ton pada tahun 2021. Kenaikan produksi gula di Indonesia berdampak pada peningkatan limbah hasil produksi, yang meliputi sekitar 31-40% ampas tebu, 4-6% tetes (molase), 2,0-3,8% blotong, dan 0,3% abu ketel (1-4). Blotong, sebagai salah satu jenis limbah padat dari proses produksi pabrik gula, terdiri dari endapan lumpur yang mengandung pasir, air, dan aroma yang tidak sedap dalam kondisi basah, hasil dari proses penyaringan menggunakan *rotary vacuum filter*. Di antara limbah-limbah yang dihasilkan oleh pabrik gula, blotong merupakan jenis limbah yang memiliki tingkat pencemaran paling tinggi dan menjadi perhatian serius bagi pabrik gula dan masyarakat sekitarnya. Limbah ini sering kali dibuang ke dalam sungai, menyebabkan pencemaran lingkungan karena kandungan bahan organiknya akan mengalami dekomposisi alami dalam air, mengurangi kadar oksigen terlarut dalam air, dan menghasilkan warna gelap serta aroma yang tidak sedap. Selain itu, tumpukan blotong di musim hujan akan menjadi basah, sehingga menyebarkan bau busuk dan mencemari lingkungan. Oleh karena itu, potensi pemanfaatan blotong menjadi sangat penting untuk mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan. Salah satu metode yang dapat dilakukan adalah dengan mengubah blotong menjadi pupuk hayati, yang dapat memiliki manfaat ganda sebagai upaya mengurangi pencemaran lingkungan dan meningkatkan produktivitas pertanian secara berkelanjutan (4-8).

Blotong memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bahan baku dalam pembuatan pupuk organik yang dapat berperan sebagai sumber nutrisi bagi tanaman atau sebagai peningkat struktur tanah, terutama pada lahan yang mengalami kekurangan unsur hara. Hal ini disebabkan oleh kandungan nutrisi yang tinggi dalam blotong, termasuk nitrogen (N), fosfor (P_2O_5), kalsium (CaO), humus, dan komponen lainnya. Penggunaan bahan organik dalam tanah memiliki implikasi yang luas terhadap sifat-sifat fisik, biologis, dan kimia tanah. Secara fisik, keberadaan bahan organik dapat merangsang granulasi tanah, meningkatkan aerasi, serta memperbaiki kemampuan tanah dalam menyimpan air. Sifat biologisnya memungkinkan peningkatan aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam proses fiksasi nitrogen dan transfer nutrisi penting seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan sulfur (S). Sementara secara kimia, bahan organik dapat meningkatkan kapasitas tukar kation tanah, yang pada gilirannya akan mempengaruhi kemampuan tanaman dalam menyerap nutrisi (5,6,9-11).

Bahan organik memegang peranan krusial dalam ekosistem pertanian, khususnya dalam konteks pertumbuhan tanaman padi. Selain berperan sebagai sumber nutrisi esensial bagi tanaman padi, bahan organik juga berkontribusi dalam perbaikan struktur tanah serta meningkatkan kapasitas retensi air dan nutrisi tanah. Misalnya, kompos dan pupuk kandang, yang merupakan jenis bahan organik yang umum digunakan, mengandung beragam nutrisi penting seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang diperlukan untuk proses pertumbuhan dan diferensiasi jaringan tanaman, termasuk pembentukan akar, batang, daun, dan struktur reproduktif (12-17). Selain itu, bahan organik juga diketahui mampu memperbaiki struktur tanah. Sebuah studi yang dilakukan oleh Ayuke et al. (18), menunjukkan bahwa kombinasi antara pupuk hayati dan pupuk anorganik dapat meningkatkan

produktivitas tanaman padi tanpa menurunkan kesuburan dan struktur fisik tanah. Penelitian lainnya, seperti yang dilakukan oleh Khairiah et al. (19), mengindikasikan bahwa aplikasi pupuk hayati dengan komposisi mikroorganisme yang beragam dapat memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan tanaman.

Tantangan utama yang dihadapi dalam pertumbuhan dan hasil panen tanaman padi adalah penurunan kesuburan tanah akibat penggunaan pupuk kimia secara terus-menerus, yang dapat mengakibatkan degradasi tanah. Selain itu, biaya pupuk kimia yang tinggi sering kali menjadi beban bagi petani kecil, mengurangi keuntungan mereka dan menyebabkan ketergantungan pada input eksternal. Penggunaan blotong sebagai pupuk hayati diharapkan dapat meningkatkan kesuburan tanah secara alami, mengurangi biaya produksi, dan meningkatkan hasil panen padi secara berkelanjutan. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemberian pupuk hayati yang berasal dari blotong terhadap pertumbuhan dan hasil panen tanaman padi yang dikombinasikan dengan pengurangan pupuk kimia.

Metode

Penelitian ini dilaksanakan di Lahan Padi UPTD Tambangan, Kecamatan Mijen, Kota Semarang. Dosis rekomendasi yang digunakan di lokasi penelitian adalah sebanyak 330 kg/ha NPK, sementara dosis pupuk hayati yang berasal dari blotong sebanyak 1 ton/ha/tahun untuk tanaman padi sawah. Penelitian ini merupakan percobaan dengan faktor tunggal dalam Rangkaian Acak Lengkap (RAL) yang terdiri atas 3 perlakuan dan diulang sebanyak 4 kali dengan perlakuan 100% Pupuk NPK, 25 % NPK + 75% Pupuk Hayati, dan 50% NPK + 50% Pupuk Hayati. Pembuatan pupuk dilakukan dengan pemilihan bahan baku, lalu ditambahkan bahan campuran berupa kapur pertanian, *rock phosphate*, dan dolomit. Selanjutnya bahan tersebut dicampur dengan inokulum bakteri. Hasil analisis pupuk hayati dalam blotong ditampilkan pada Tabel 1. Pupuk hayati yang dihasilkan menunjukkan kandungan dari beragam mikroorganisme yang dapat membantu penyerapan unsur hara dalam tanah. Kandungan-kandungan dalam pupuk hayati juga telah memenuhi standar sebagai pupuk hayati majemuk yang ditetapkan oleh Peraturan Kepmentan no. 261/Tahun 2019 (20) mengenai Standar dan Syarat Pupuk Hayati.

Tabel 1. Hasil analisis pupuk hayati tunggal yang digunakan dalam penelitian

Parameter	Hasil	Satuan	Standar*
<i>Bacillus sp.</i>	$3,9 \times 10^7$	CFU/g	Terdiri dari dua genus, genus pertama bakteri $\geq 1 \times 10^7$, genus kedua bakteri $\geq 1 \times 10^6$
<i>Pseudomonas sp.</i>	$2,6 \times 10^8$	CFU/g	
<i>Azospirillum sp.</i>	$2,2 \times 10^5$	CFU/g	
<i>Azotobacter sp.</i>	$3,8 \times 10^6$	CFU/g	
As	< 0,001	ppm	Maksimum 10 ppm
Hg	< 0,062	ppm	Maksimum 1 ppm
Pb	7,28	ppm	Maksimum 50 ppm
Cd	< 0,002	ppm	Maksimum 2 ppm
Cr	1,01	ppm	Maksimum 180 ppm
Ni	1,89	ppm	Maksimum 50 ppm
<i>Escherichia coli</i>	< 3×10^1	MPN/g	< 1×10^3 cfu atau MPN/g
<i>Salmonella sp.</i>	< 3×10^1	MPN/g	< 1×10^3 cfu atau MPN/g

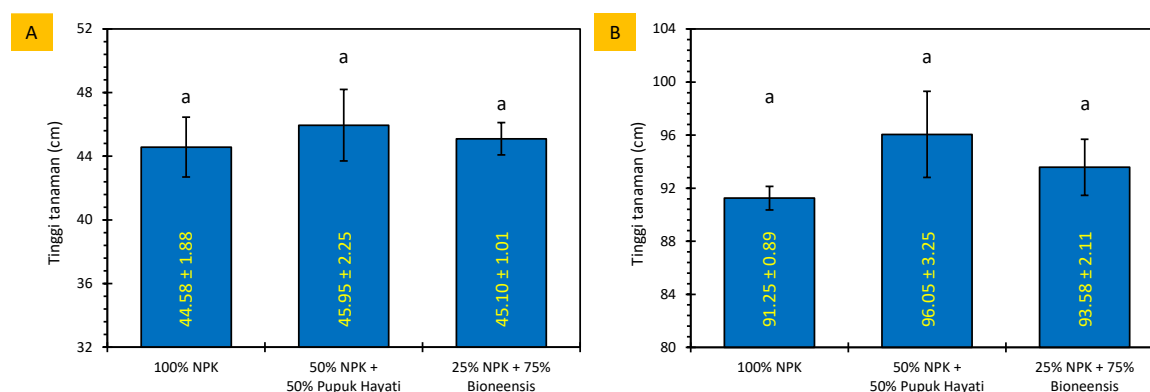
Keterangan : berdasarkan standar Kepmentan nomor 261/ Tahun 2019 (20)

Sebelum dilakukan penanaman, lahan yang akan digunakan diolah terlebih dahulu. Pengolahan tanah dilakukan dengan pembajakan menggunakan *hand tractor*. Setelah dilakukan pengolahan lahan, selanjutnya lahan ditanam bibit varietas unggul M70D. Varietas unggul M70D memiliki kelebihan berupa ketahanan yang tinggi terhadap hama dan penyakit serta kemampuan adaptasi yang baik terhadap berbagai kondisi lingkungan, dengan produktivitas dan stabilitas hasil panen padi yang cukup baik. Penggunaan varietas yang memiliki produktivitas tinggi diharapkan dapat menjadi indikator lebih nyata terkait dengan aplikasi pupuk hayati. Aplikasi pupuk NPK dilakukan dengan interval waktu 3-5 hari setelah pemberian pupuk hayati, dikarenakan untuk menjaga mikroorganisme dalam pupuk hayati agar tetap hidup dan berkembang sehingga penyerapan unsur hara lebih efisien. Penanaman dilakukan satu minggu setelah pemupukan dilakukan, menggunakan bibit yang telah membuka tiga helai daunnya. Setelah 30 HST (hari setelah tanam) dan 72 HST dilakukan pengamatan tinggi dan jumlah anakan tanaman padi. Kedua periode pengamatan didasarkan pada pertengahan musim dan akhir sebelum panen, mengingat varietas M70D dapat dipanen pada umur sekitar 70 hari. Sedangkan untuk parameter lain seperti berat basah, berat kering dan berat 1000 butir dilakukan pengamatan setelah panen. Data yang diperoleh akan dianalisis dengan analisis one-way Anova dan jika terdapat perbedaan yang nyata maka dilanjut dengan melihat hasil post hoc Tukey HSD (*Honestly Significant Difference*). Analisis statistik dilakukan dengan software IBM SPSS Statistics version 26 (IBM Corp., Armonk, New York, USA).

Hasil dan Pembahasan

1. Tinggi Tanaman

Hasil pengamatan terhadap tinggi tanaman padi varietas M70D umur 30 HST menunjukkan bahwa menggunakan 50% NPK + 50% Pupuk Hayati menghasilkan tinggi tanaman rata-rata sekitar 46 cm. Meskipun demikian, perbedaan tersebut tidak signifikan jika dibandingkan dengan penggunaan 100% NPK yang menghasilkan tinggi tanaman sekitar 44,6 cm (Gambar 1A). Selain itu pengamatan terhadap tinggi tanaman padi saat umur 72 HST menunjukkan bahwa menggunakan 50% NPK dan 50% Pupuk Hayati menghasilkan tinggi tanaman rata-rata sekitar 96,1 cm. Namun, perbedaan tersebut tidak signifikan jika dibandingkan dengan penggunaan 100% NPK yang menghasilkan tinggi tanaman sekitar 91,3 cm (Gambar 1B).

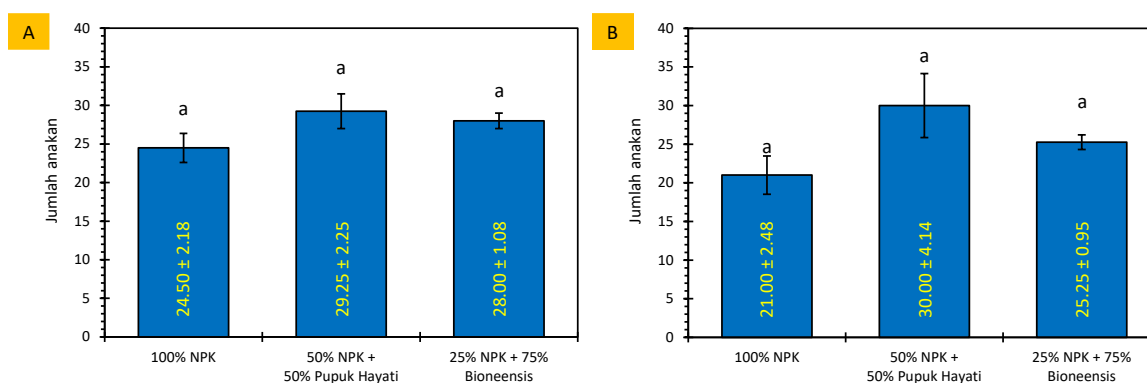


Gambar 1. Pengaruh aplikasi pupuk hayati terhadap tinggi tanaman padi pada umur (a) 30 hst dan (b) 72 hst. Bar menunjukkan standar error. Huruf yang berbeda diatas histogram menunjukkan berbeda nyata pada uji hsd taraf 5%.

2. Jumlah Anakan

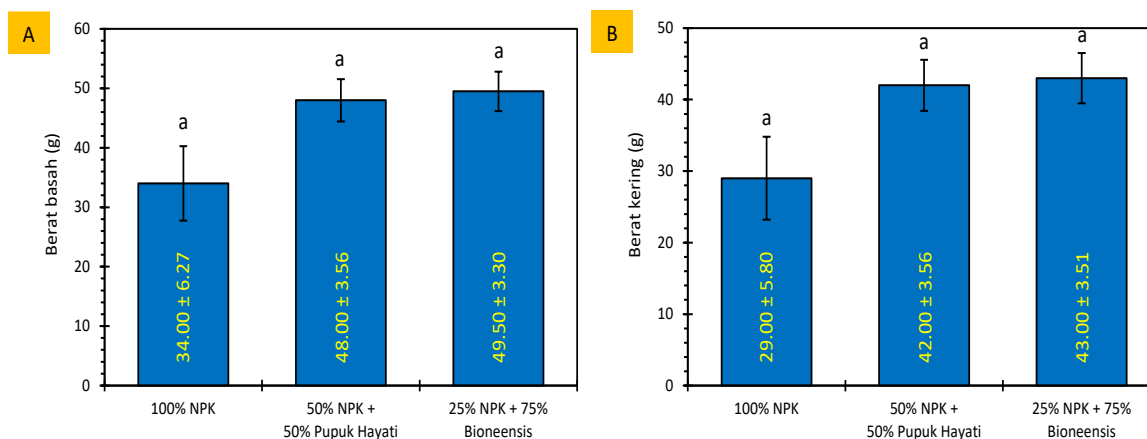
Pada usia 30 HST, pengamatan terhadap jumlah anakan tanaman padi varietas M70D

menunjukkan bahwa penggunaan 100% NPK menghasilkan rata-rata 25 anakan per rumpun, yang tidak berbeda signifikan dengan penggunaan campuran 50% NPK + 50% Pupuk Hayati yang menghasilkan rata-rata 29 anakan per rumpun (Gambar 2A). Pada usia 72 hari setelah tanam, penggunaan 100% NPK menghasilkan rata-rata 21 anakan per rumpun, sementara campuran 50% NPK + 50% Pupuk Hayati menghasilkan rata-rata 30 anakan per rumpun (Gambar 2B). Hasil ini menunjukkan bahwa pemberian pupuk NPK dan pupuk hayati dari blotong cocok untuk lahan sawah karena tanaman padi membutuhkan nitrogen yang tinggi selama fase pertumbuhan vegetatif. Pupuk hayati berkontribusi dalam meningkatkan ketersediaan nutrisi dan memperbaiki kondisi tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman.



Gambar 2. Pengaruh aplikasi pupuk hayati terhadap jumlah anakan tanaman padi pada umur (a) 30 hst dan (b) 72 hst. Bar menunjukkan standar error. Huruf yang berbeda di atas histogram menunjukkan berbeda nyata pada uji hsd taraf 5%.

3. Berat Basah tanaman, berat kering tanaman, dan 1000 butir



Gambar 3. Pengaruh aplikasi pupuk hayati terhadap (a) berat segar dan (b) berat kering tanaman padi. Bar menunjukkan standar error. Huruf yang berbeda di atas histogram menunjukkan berbeda nyata pada uji hsd taraf 5%.

Perlakuan aplikasi NPK 100% menunjukkan rata-rata berat segar sebesar 34 g, tidak berbeda nyata dengan 25% NPK + 75% Pupuk Hayati yang menunjukkan nilai 49,5 g serta tidak berbeda nyata dengan perlakuan 50% NPK + 50% Pupuk Hayati yang menunjukkan nilai sebesar 48 g (Gambar 3A). Berdasarkan hasil pengamatan pada tanaman padi varietas M70D

diketahui bahwa perlakuan pemupukan NPK 100% menunjukkan berat kering tanaman rata-rata sebesar 29 g, tidak berbeda nyata dibandingkan perlakuan NPK 50% + Pupuk hayati 25% menunjukkan nilai rata-rata berat kering sebesar 43 g. Berat per-1000 butir padi pada masing-masing perlakuan, diketahui bahwa perlakuan pemupukan NPK 100% menunjukkan berat 1000 butir padi sebesar 80 g. Sementara perlakuan NPK 50% dan Pupuk Hayati 50% menunjukkan berat 1000 butir padi sebesar 78 g, serta perlakuan NPK 25% + Pupuk Hayati 75% menunjukkan berat 1000 butir sebesar 83 g (Tabel 2).

Penggunaan pupuk hayati diharapkan mampu mengurangi dosis penggunaan pupuk kimia yang semakin hari terbilang semakin mahal dan sulit didapatkan, serta mampu mengurangi biaya produksi petani dan mampu memperbaiki lingkungan akibat penggunaan senyawa sintetis dalam pupuk kimia. Pupuk hayati merupakan unsur penting dalam pertanian modern karena memperkaya tanah dengan mikroorganisme yang menguntungkan. Pupuk hayati membantu meningkatkan kesuburan tanah, meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tanaman, serta mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang berpotensi merusak lingkungan. Dengan memanfaatkan pupuk hayati, hasil panen diharapkan tercapai lebih tinggi dengan menjaga keseimbangan ekosistem pertanian.

Tabel 2. Pengaruh aplikasi pupuk hayati terhadap berat 1000 butir

Perlakuan	Berat 1000 butir (g)
Kontrol (100% NPK)	80
50% NPK+ 50% Pupuk Hayati	78
25% NPK + 75% Pupuk Hayati	83

Penelitian ini menunjukkan potensi pemanfaatan pupuk hayati dalam penurunan dosis pupuk kimia, dimana dengan penambahan 75% pupuk hayati mampu mengurangi dosis pupuk kimia hanya menjadi 25% dari rekomendasi. Hal ini menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan penelitian Rose et al. (21) yang menunjukkan bahwa penggunaan pupuk hayati mampu mengurangi pupuk kimia sebesar 52%. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan penelitian Khan (22), yang menunjukkan penggunaan pupuk hayati dari *Trichoderma* mampu mengurangi penggunaan pupuk nitrogen sebesar 25%. Dalam penelitian ini, pertumbuhan tanaman padi dapat dipertahankan meskipun pupuk NPK dikurangi hingga 50%, digantikan dengan pupuk hayati. Hal ini dimungkinkan karena pupuk hayati mengandung beragam mikroorganisme yang dapat membantu penyerapan unsur hara dalam tanah.

Simpulan

Hasil pengamatan pada pertumbuhan dan hasil panen tanaman padi varietas M70D menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati dari blotong sebesar 50% atau 75% dengan pupuk NPK, menghasilkan respons yang tidak berbeda nyata dengan pemberian pupuk NPK secara penuh. Pada umur 30 hari setelah tanam, tinggi tanaman dan jumlah anakan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antara perlakuan penggunaan campuran pupuk hayati dan NPK dibandingkan dengan penggunaan NPK saja. Pada umur 72 hari setelah tanam, tinggi tanaman juga tidak berbeda signifikan antara kedua perlakuan. Selain itu, penggunaan campuran pupuk hayati dan NPK menunjukkan hasil yang serupa dengan penggunaan NPK saja pada parameter berat segar, berat kering tanaman, dan berat per-1000 butir padi. Penggunaan pupuk hayati dari blotong memiliki potensi untuk mengurangi ketergantungan hingga 75% pupuk kimia sintetis, sehingga mengurangi biaya produksi, dan diharapkan memberikan dampak positif terhadap lingkungan pertanian.

Daftar Pustaka

1. Dharma US, Rajabiah N, Setyadi C. Pemanfaatan limbah blotong dan bagase menjadi biobriket dengan perekat berbahan baku tetes tebu dan setilage. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*. 2017;6(1).
2. Firmansyah AH, Zamrudly W, Naryono E. Studi kelayakan pemanfaatan limbah (blotong, ampas tebu, tetes) sebagai biobriket. *Distilat: J Tekn Sep*. 2023;9(3):303–17.
3. Harjanti RS. Pupuk organik dari limbah Pabrik Gula Madukismo dengan starter mikrobia pengurai untuk menambah kandungan N, P, K. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*. 2017;4(1):1–7.
4. Ramadhani FL, Wahyudi L. Laporan Kerja Praktik proses produksi gula PTPN XI, PG Jatiroto, Lumajang. Gresik: Jurusan Teknik Kimia. Universitas Internasional Semen Indonesia.; 2021 p. 1–58.
5. Helena L. Pemanfaatan blotong pada budidaya tebu (*Saccharum officinarum* L.) di lahan kering. In: *Makalah Seminar Umum*, Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada; 2012.
6. Kurniasari HD, Fatma RA, R JAS. Analisis karakteristik limbah pabrik gula (blotong) dalam produksi Bahan Bakar Gas (BBG) dengan teknologi anaerob biodigester sebagai sumber energi alternatif nasional. *J Sains Tek Ling*. 2019;11(2):102–13.
7. Pratama L, Ali M, Destiana. Pengaruh berbagai aktivator terhadap perubahan suhu pada proses pengomposan blotong. *SIMBIOSIS: Jurnal Sains Pertanian*. 2024;1(1):14–8.
8. Pratiwi SSD. Analisis dampak sumber air sungai akibat pencemaran pabrik gula dan pabrik pembuatan sosis. *Journal of Research and Education Chemistry*. 2021;3(2):122–122.
9. Dotaniya ML, Datta SC, Biswas DR, Dotaniya CK, Meena BL, Rajendiran S, et al. Use of sugarcane industrial by-products for improving sugarcane productivity and soil health. *Int J Recycl Org Waste Agricult*. 2016;5(3):185–94.
10. Kusumawati A. Potensi peningkatan produktivitas tebu di lahan pasiran dengan pemberian blotong basah. *Agrifor : Jurnal Ilmu Pertanian dan Kehutanan*. 2023;22(2):223–32.
11. Septyani IAP, Yasin S, Gusmini G. Pemanfaatan blotong dan pupuk sintetis dalam memperbaiki sifat kimia Ultisol dan pertumbuhan bibit kelapa sawit. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 2020;7(1):21–30.
12. Hoffland E, Kuyper TW, Comans RNJ, Creamer RE. Eco-functionality of organic matter in soils. *Plant Soil*. 2020;455(1):1–22.
13. Kautsar V, Cheng W, Tawaraya K, Yamada S, Toriyama K, Kobayashi K. Carbon and nitrogen stocks and their mineralization potentials are higher under organic than conventional farming practices in Japanese Andosols. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2020;66(1):144–51.
14. Kautsar V, Ismawanto D, Parwati WDU. The response of oil palm seedlings' growth to vermicompost and water stress under the main nursery stage. *Jurnal Pertanian Tropik*. 2022;9(3, Dec):232–9.
15. Kimani SM, Bimantara PO, Kautsar V, Tawaraya K, Cheng W. Poultry litter biochar application in combination with chemical fertilizer and Azolla green manure improves rice grain yield and nitrogen use efficiency in paddy soil. *Biochar*. 2021;3(4):591–602.
16. Kögel-Knabner I, Amelung W. Soil organic matter in major pedogenic soil groups. *Geoderma*. 2021;384:114785.
17. Utami AI, Bimantara PO, Umemoto R, Sabri RK, Kautsar V, Tawaraya K, et al. Incorporation of winter grasses suppresses summer weed germination and affects inorganic nitrogen in flooded paddy soil. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2020;66(2):389–97.
18. Ayuke FO, Brussaard L, Vanlauwe B, Six J, Lelei DK, Kibunja CN, et al. Soil fertility management: Impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation. *Applied Soil Ecology*. 2011;48(1):53–62.
19. Khairiah A, Sulyanah S, Dasumiati D. Respon Pertumbuhan dan Produksi Padi (*Oryza sativa* L.) Pada Kombinasi Pupuk Organik Granular dan Anorganik. *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi*. 2024;17(1):220–9.
20. Kementerian Pertanian. Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenh Tanah. Jakarta: Kementrian Pertanian Republik Indonesia; 2019.
21. Rose MT, Phuong TL, Nhan DK, Cong PT, Hien NT, Kennedy IR. Up to 52% N fertilizer replaced by biofertilizer in lowland rice via farmer participatory research. *Agron Sustain Dev*. 2014;34(4):857–68.
22. Khan HI. Appraisal of Biofertilizers in Rice: To Supplement Inorganic Chemical Fertilizer. *Rice Science*. 2018;25(6):357–62.