ABIMANYU: Journal of Community Engagement
Volume 7, Nomor 1, Tahun 2026
ISSN: 2721 – 4096
Terakreditasi Sinta 5

Pupuk Organik Cair Kombinasi Kotoran Ternak dan Batang Pisang sebagai Solusi Pengendalian Pencemaran Lingkungan Limbah Hasil Limbah Ternak

[1]Samik *
Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
Jalan Ketintang, Surabaya 60231, Indonesia
samik@unesa.ac.id

[2]Nita Kusumawati
Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
Jalan Ketintang, Surabaya 60231, Indonesia
nitakusumawati@unesa.ac.id

[3]Pirim Setiarso
Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
Jalan Ketintang, Surabaya 60231, Indonesia
pirimsetiarso@unesa.ac.id

[4]Maria Monica Sianita Basukiwardojo
Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
Jalan Ketintang, Surabaya 60231, Indonesia
mariamonica@unesa.ac.id

[5]I Gusti Made Sanjaya
Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
Jalan Ketintang, Surabaya 60231, Indonesia
igmasanjaya@unesa.ac.id

[6]Nur Hayati
Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
Jalan Ketintang, Surabaya 60231, Indonesia
nurhayati@unesa.ac.id

Abstract

Livestock manure is a resource that is rich in nutrients, but can also cause environmental pollution if not managed properly. This research aims to make liquid organic fertilizer from cow manure with the addition of banana stem. The methods used are aerobic composting and anaerobic digestion. The results show that liquid organic fertilizer has a pH of 5.9, N 4.9%, C 30.2%, P2O5 6.8%, and K2O 8.1%. Overall, the nutritional content is in accordance with the standards given and has a good impact on plant growth. Furthermore, this research also analyzed the content of heavy metals such as Cd, Pb, Hg and As in liquid organic fertilizer. The results show the respective values of Cd 1.5 mg/kg, Pb 2.1 mg/kg, Hg 0.3 mg/kg, and As 0.6 mg/kg. The heavy metal content in this liquid organic fertilizer is still below the threshold set by SNI 2803:2012 and SNI 4958:2015. This shows that liquid organic fertilizer is safe to use and has no potential to pollute the soil and plants. Apart from that, this liquid organic fertilizer can be used as an economical, environmentally friendly and efficient fertilizer to increase plant productivity.

***Keywords**: Liquid Organic Fertilizer, Animal Manure, Banana Stems, Nutrients, Heavy Metals*

Abstrak

Kotoran ternak merupakan sumber daya yang kaya akan nutrisi, namun juga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk membuat pupuk organik cair dari kotoran sapi dengan penambahan gedebok pisang. Metode yang digunakan adalah pengomposan aerobik dan pencernaan anaerobik. Hasilnya menunjukkan bahwa pupuk organik cair memiliki pH 5,9, N 4,9%, C 30,2%, P_2O_5 6,8%, dan K_2O 8,1%. Secara keseluruhan, kandungan nutrisi sesuai dengan standar yang telah diberikan dan berdampak baik pada pertumbuhan tanaman. Secara lebih lanjut, penelitian ini juga menganalisis kandungan logam berat seperti Cd, Pb, Hg, dan As dalam pupuk organik cair. Hasilnya menunjukkan nilai masing-masing berupa Cd 1,5 mg/kg, Pb 2,1 mg/kg, Hg 0,3 mg/kg, dan As 0,6 mg/kg.. Kandungan logam berat dalam pupuk organik cair ini masih di bawah ambang batas yang ditetapkan SNI 2803:2012 dan SNI 4958:2015. Hal ini menunjukkan bahwa pupuk organik cair aman untuk digunakan dan tidak berpotensi mencemari tanah dan tanaman. Selain itu, pupuk organik cair ini dapat digunakan sebagai pupuk yang ekonomis, ramah lingkungan, dan efisien untuk meningkatkan produktivitas tanaman.

Kata Kunci: Pupuk Organik Cair, Kotoran Ternak, Batang Pisang, Nutrisi, Logam Berat

©Authors

PENDAHULUAN

Kurangnya sumber daya telah menjadi masalah standar yang tidak dapat dihindari bagi umat manusia di era pertumbuhan populasi, ekonomi, dan teknis yang cepat saat ini. Karbon, nitrogen, fosfat, dan kalium adalah sumber nutrisi penting untuk aktivitas kehidupan organisme. Semua nutrisi tersebut adalah sumber daya tak terbarukan yang dapat habis dalam beberapa dekade mendatang seiring dengan peningkatan kebutuhan manusia [2]. Dengan pengembangan skala dan intensifikasi ternak dan pupuk kandang, sejumlah besar kotoran ternak diproduksi. Produksi sapi di Jawa Timur termasuk Desa Brau, Kota Batu berkontribusi sebesar 26,5% di Indonesia, yang memiliki kandungan nutrisi yang tinggi serta dapat menimbulkan ancaman bagi lingkungan dan menyebabkan eutrofikasi apabila mengalami penumpukan. Oleh karena itu, pengolahan nutrisi dari kotoran sapi menjadi sangat penting untuk mengendalikan pencemaran lingkungan [10].

Proses konversi utama yang digunakan saat ini untuk mengolah kotoran ternak adalah proses biologis. Konversi biologis didasarkan pada pengomposan aerobik dan pencernaan anaerobik. Dalam beberapa tahun terakhir, kotoran sapi telah mendapatkan perhatian luas dalam pengolahan kotoran ternak karena dapat diolah langsung dalam bentuk biomassa limbah basah [3]. Namun, konsumsi energi telah menjadi faktor pembatas utama dalam penerapan teknologi. Menurut beberapa penelitian, penambahan bahan biologis lainnya dapat membantu proses pembuatan pupuk secara optimal dengan menambahkan gedebok pisang menjadi bagian darinya [7].

Pupuk organik cair merupakan pupuk yang ekonomis, ramah lingkungan, dan efisien. Pupuk ini memiliki karakteristik biaya produksi yang rendah, proses produksi yang bebas polusi, aplikasi yang mudah, efisiensi pemupukan yang tinggi, serta kemudahan penyerapan dan pemanfaatan oleh tanaman. Oleh karena itu, dengan peningkatan teknologi produksi, pupuk cair memiliki prospek luas untuk pengembangan dan aplikasi.

METODE

Bahan Pupuk Organik Cair

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PT. Songgolangit Persada yaitu tangki komposter, karung bekas, botol kemasan, tetes tebu, dan EM4. Bahan lain yang digunakan diperoleh langsung dari Dusun Brau berupa kotoran ternak, gedebok pisang, dan air.

Pembuatan Pupuk Organik Cair

Sebanyak 1 karung bekas disiapkan untuk membuat bahan yang kemudian dimasukkan ke dalam 1 kg gedebok pisang yang telah dipotong kecil-kecil dan juga 2 kg kotoran ternak. Karung berisi hijauan dan kotoran ternak dimasukkan ke dalam bak komposter. Kemudian 5 liter air dalam bak komposter ditambahkan 100 ml tetes tebu, dan 50 ml EM4 ke dalam karung berisi pupuk organik, setelah itu diaduk dan ditutup rapat untuk disimpan selama 15 hari. Setiap 2 hari sekali pupuk cair diaduk untuk memastikan semua bahan tercampur rata. Setelah 15 hari komposter dapat digunakan dengan perbandingan 1:10 liter komposter dan air.

Analisis pH

Tingkat pH adalah ukuran seberapa asam atau basa suatu larutan. Kisarannya berkisar dari 0 hingga 14, dengan 7 netral. Nilai pH kurang dari 7 menunjukkan keasaman, sedangkan nilai pH lebih besar dari 7 menunjukkan basa. Untuk mengukur tingkat pH, pH meter digunakan. Metode ini melibatkan memasukkan elektroda kaca ke dalam larutan dan membaca nilai pH yang ditampilkan pada layar digital. Sepasang elektroda ditempatkan dalam larutan sampel atau analit yang akan menunjukkan perbedaan potensial antara dua elektroda dengan penambahan titran atau dengan perubahan konsentrasi ion. Kedua elektroda tersebut dinamakan elektroda referensi dan elektroda indikator. Perbedaan potensial sebanding dengan nilai pH. Nilai pH pupuk organik cair tergantung pada standar dan umumnya berada pada kisaran 4,0-7,0.

©Authors

Analisis Total Organik Karbon

Sampel 10 mg ditimbang dan dimasukkan ke dalam 500 ml erlenmeyer. 1 N larutan $K_2Cr_2O_7$ kemudian ditambahkan menjadi 10 ml dengan 20 ml H_2SO_4 pekat. Erlenmeyer kemudian dikocok selama 1 menit agar larutan tercampur rata dan didiamkan selama 30 menit. 200 ml air suling ditambahkan dengan 10 ml 85% H_3PO_4 dan 0,5 ml indikator *barium diphenylamine sulfonate*. Kemudian larutan dikocok dan ditunggu sampai dingin. Titrasi dilakukan dengan $FeSO_4$ 1 N sampai titik akhir ditandai dengan warna hijau terang. Jika 1 N $FeSO_4$ digunakan untuk mengurangi lebih dari 8 ml, pengulangan dilakukan dengan sampel di bawah 10 mg. Total organik karbon (TOC) dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$TOC = \frac{(V2 - V1) \times N \times 3}{W} \times 100\%$$

Keterangan:

TOC = Totak kandungan karbon (%)
V2 = Volume titrasi sampel (mL)
V1 = Volume titrasi blanko (mL)
N = Normalitas $FeSO_4$ (N)
W = Massa sampel (mg)

Analisis Total Nitrogen

Sampel 0,5 gram ditimbang dan dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl. Larutan asam sulfat-salisilat sebanyak 25 mL ditambahkan dan kemudian dikocok secara menyeluruh. $Na_2S_2O_3.5H_2O$ sebanyak 4 gram dan 2 tablet "kjeltabs" ditambahkan, kemudian dipanaskan pada suhu rendah sampai gelembung habis. Suhu ditingkatkan secara bertahap hingga maksimum 300 ^oC selama 2 jam dan kemudian dibiarkan dingin. Larutan diencerkan dengan akuabides, kemudian dipindahkan ke labu ukur 500 mL, didinginkan, dan disesuaikan dengan akuabides sampai tanda batas, kemudian dikocok sampai homogen. Larutan dipipet sebanyak 25 mL dan masukkan ke dalam labu Kjeldahl dengan penambahan 3 tetes indikator PP 1%, kemudian labu dipasang pada alat distilasi. Alat distilat berupa erlenmeyer yang berisi 3 tetes indikator Conway dipasang di peralatan distilasi, ujung pendingin harus terendam dalam larutan. Setelah perangkat distilasi beroperasi, 150 mL akuabides akan secara otomatis ditambahkan ke labu Kjeldahl dan 20 mL asam borat 1% (H_3BO_3) akan ditambahkan ke erlenmeyer. Distilasi larutan dilakukan dalam suasana basa dengan penambahan 40% NaOH dalam labu Kjeldahl sampai larutan berubah menjadi merah. Distilat dihentikan ketika distilat mencapai ± 100 mL. Larutan 0,05 N H_2SO_4 digunakan untuk titrasi sampai tercapai titik akhir titrasi yang ditandai dengan warna hijau berubah menjadi merah muda, kemudian volume larutan 0,05 N H_2SO_4 dicatat. Larutan blanko kemudian diuji. Volume sampel dan blanko digunakan untuk menghitung kandungan nitrogen total dalam sampel. Kandungan nitrogen total dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$C = \frac{(Vs - Vb) \times N \times 14.008 \times p \times 100 \times fk}{W}$$

Keterangan:
C = Total kandungan nitrogen (%)
Vs = volume titrasi sampel (mL)
Vb = volume titrasi blanko (mL)
N = normalitas H_2SO_4 (N)
14,008 = berat atom nitrogen
W = berat sampel
P = faktor pengenceran
Fk = faktor koreksi kelembaban

©Authors

Analisis Fosfor sebagai P_2O_5

Sebanyak 40 mg amonium molibdat tetrahidrat ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$) dilarutkan dalam 400 mL air suling panas, kemudian didinginkan. Sebanyak 2 gram amonium metavanadat (NH_4VO_3) dilarutkan dalam 250 mL air suling panas, kemudian didinginkan dan sebanyak 450 mL $HClO_4$ 70% ditambahkan. Larutan amonium molibdat ditambahkan sedikit demi sedikit ke dalam larutan amonium metavanadat sambil diaduk dan diencerkan hingga 2 liter dengan air suling, lalu dihomogenkan.

Larutan standar P_2O_5 (10, 20, 30, 40 dan 50 ppm) dibuat dari larutan induk P_2O_5 0,5 mg/mL. Masing-masing volume (1, 2, 3, 4 dan 5) dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dengan menggunakan buret makro. Sebanyak 20 mL amonium molibdovanadat ditambahkan dan encerkan dengan akuabides sampai tanda batas, kemudian dihomogenkan.

Sampel halus sebanyak 5 gram ditimbang dengan teliti, kemudian dimasukkan dalam gelas kimia 250 mL. Sebanyak 10 mL $HClO_4$ ditambahkan dengan konsentrasi 70%. Kemudian HNO_3 65% sebanyak 20 mL ditambahkan dan ditutup dengan kaca arloji. Larutan dididihkan perlahan-lahan sampai tidak berwarna dan timbul asap putih pada gelas kimia, kemudian didinginkan. Larutan yang sudah mendidih dipindahkan ke dalam labu ukur 250 mL dan ditepatkan dengan akuabides sampai tanda batas, kemudian dihomogenkan. Setelah itu, larutan disaring dengan kertas saring Whatman No. 40. Larutan ditampung dalam erlenmeyer yang kering.

Larutan sampel sebanyak 50 mL dipipet ke dalam labu ukur 100 mL. Peraksi amonium molibdovanadat ditambahkan 20 mL dan diencerkan dengan akuabides sampai tanda batas, kemudian dikocok. Warna dibiarkan selama 10 menit. Larutan blanko dilakukan pengujian pada spektrofotometer dan dioptimasi pada panjang gelombang 400 nm. Absorbansi larutan sampel dan standar dibaca pada spektrofotometer. Kurva standar dibuat dan kemudian dilakukan pengulangan pengujian pada P_2O_5 dalam sampel sehingga hasil kadar dapat dihitung.

Analisis Kalium sebagai K_2O

Sebanyak 10 mL larutan kalium induk K_2O 1000 ppm dipipet, kemudian masukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Akuabides ditambahkan sampai tanda batas. Larutan induk 100 ppm dipipet sebanyak 0,5, 1, 2, 5, dan 10 mL. Kemudian masing-masing dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Sesium klorida (CsCl) sebanyak 25,34 gram dilarutkan dengan air suling hingga 1 liter sebagai surpresor kalium. Sebanyak 5 mL larutan supresor ditambahkan. Akuabides kemudian ditambahkan sampai tanda batas. Deret standar ini mengandung 0,5, 1, 2, 5, 10 ppm.

Sampel sebanyak 5 gram yang halus ditimbang dengan teliti, kemudian dimasukkan dalam gelas kimia 250 mL. $HClO_4$ sebanyak 10 mL ditambahkan dengan konsentrasi 70%. Kemudian HNO_3 65% sebanyak 20 mL ditambahkan dan ditutup dengan kaca arloji. Larutan dididihkan perlahan-lahan sampai tidak berwarna dan timbul asap putih pada gelas kimia, kemudian didinginkan. Larutan yang sudah mendidih dipindahkan ke dalam labu ukur 250 mL dan ditepatkan dengan akuabides sampai tanda batas, kemudian dihomogenkan. Larutan disaring dengan kertas saring Whatman No. 40. Setelah itu, larutan ditampung dalam erlenmeyer.

Larutan sampel sebanyak 2 mL dipipet kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL. Sebanyak 5 mL larutan supresor kemudian ditambahkan beserta akuabides sampai tanda batas yang kemudian dihomogenkan. Konsentrasi kalium diukur dengan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) pada panjang gelombang 766,5 nm.

Analisis Logam Berat

Sampel ditambahkan dengan HCl pekat 30 mL dan kemudian didestruksi selama 30 menit sampai sampel kering. Selanjutnya HCl pekat ditambahkan lagi dan dipanaskan lagi sampai semua larut. Larutan sampel dipindahkan dan diencerkan ke dalam labu ukur 100 mL. Larutan Cd, Pb, Hg, As disiapkan sebanyak 10 mL dengan konsentrasi 0, 1, 5, 10, 15, dan 20 mg/L. Larutan sampel dan standar kerja kemudian dianalisis menggunakan instrumentasi AAS yang dioptimalkan.

©Authors

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Nutrisi

Berdasarkan tabel 1 hasil pH sampel didapatkan sebesar 5,9. Nilai pH pada pupuk organik cair dipengaruhi oleh nutrisi. Nutrisi dengan kelebihan muatan positif akan menyebabkan pupuk organik cair bersifat asam. Nutrisi dengan kelebihan muatan negatif akan menghasilkan pH netral. Secara molekuler, nitrogen diserap lebih dari nutrisi lainnya. Oleh karena itu, bentuk nitrogen memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap pH media dibandingkan nutrisi lainnya [8]. Kotoran hewan sendiri memiliki banyak nitrogen di dalamnya sehingga menambah massa kotoran hewan dalam pembuatan pupuk cair tentu akan mempengaruhi pH hasil akhirnya [4].

Kandungan karbon (C) pada sampel pupuk cair didapatkan sebesar 30,2%. Adanya kandungan karbon pada pupuk organik cair menandakan seberapa baik proses dekomposisi yang dilakukan mikroorganisme selama proses pengomposan. Kandungan karbon yang tinggi akan mengakibatkan proses dekomposisi yang dilakukan mikroorganisme tidak berjalan dengan maksimal [11]. Kandungan karbon sendiri dapat dipengaruhi oleh kandungan nitrogen pada sampel. Kandungan pada pupuk cair didapatkan dengan konsentrasi sebesar 4.9%. Hal ini kemudian disebut sebagai rasio C/N yang menunjukkan kebutuhan kadar dalam proses fermentasi. Berdasarkan komposisi sampel, kandungan karbon (C) didapatkan pada kotoran ternak dan kandungan nitrogen (N) terdapat di batang bisang. Semakin besar rasio C/N menunjukkan bahwa bahan organik belum terdekomposisi sempurna [5]. Rasio C/N pada sampel diketahui sebesar 6.16:1. Nilai ini lebih rendah dibandingkna yang dikemukakan oleh Thomas et al. (2020). Rasio C/N yang lebih rendah ini menujukkan bahwa kotoran ternak dan batang pisang merupakan bahan yang optimal sebagai bahan baku pupuk organik cair [6].

Kandungan fosfor (P) yang terdapat pada pupuk cair sebesar 6,8%. Semakin tinggi kandungan nitrogen yang terkandung, semakin cepat proliferasi mikroorganisme pendegradasi fosfor, sehingga kandungan fosfor dalam pupuk meningkat [12]. Sampel yang telah diujikan menghasilkan kandungan N rendah, sehingga mikroorganisme pengurai fosfor sedikit dan kandungan fosfor dalam pupuk organik cair juga rendah. Fermentasi menentukan tingginya kadar P [13]. Namun, semakin lama waktu fermentasi bukan berarti kandungan P juga meningkat karena proses fermentasi berhubungan langsung dengan mikroorganisme yang memiliki fase diam. Pada fase ini, mikroorganisme mengalami pertumbuhan yang sangat signifikan, dan jika fermentasi dilanjutkan mikroorganisme akan mati sehingga fosfor menjadi lebih sedikit dari sebelumnya [9]. Kandungan kalium (K) pada pupuk cair dihasilkan sebesar 8,1%. Kalium digunakan oleh mikroorganisme pada bahan substrat sebagai katalis [1]. Kehadiran bakteri dan aktivitasnya secara signifikan mempengaruhi peningkatan kandungan kalium. Kalium dapat diikat dan disimpan dalam sel oleh bakteri dan jamur. Kalium diperlukan untuk mempercepat proses asimilasi karbohidrat, serta pertumbuhan akar dan batang. Kekurangan nutrisi kalium dapat menyebabkan bintik-bintik atau keriput pada daun dan akhirnya, daun mengering. Secara umum, kalium memiliki fungsi antara lain sebagai katalis dalam pembentukan protein, mengatur aktivitas berbagai unsur mineral, meningkatkan pertumbuhan jaringan meristem, mengatur pergerakan stomata, dan memperkuat batang (akibat turgor), sehingga tanaman tidak mudah roboh [14].

Tabel 1. Hasil Analisis Nutrisi pada Pupuk Organik Cair

Parameter	Standar		Sampel
	SNI 4958:2015	SNI 2803:2012	
pH	4,0 - 7,0	-	5,9
C (%)	≥ 4,5	-	30,2
N (%)	≥ 4	≥ 6	4,9
P2O5 (%)	-	≥ 6	6,8
K2O (%)	-	≥ 6	8,1

©Authors

Analisis Logam Berat

Berdasarkan table 2, pengujian yang telah dilakukan pupuk cair memiliki kadar logam Cd, Pb, Hg, dan As dengan masing-masing sebesar 1,3 mg/kg, 2,1 mg/kg, 0,3 mg/kg, 0,6 mg/kg. Teridentifikasinya kadar logam pada sampel dapat disebabkan oleh adanya cemaran logam pada limbah kotoran ternak dan gedebog pisang yang telah tercemar logam berat. Lebih lanjut dijelaskan bahwa adanya unsur logam berat pada sampel dapat terjadi karena pencemaran saat proses pengambilan bahan baku [14]. Walaupun demikian, akumulasi logam berat yang ditemukan pada sampel dinyatakan masih aman dibawah standart SNI 2803:2012 dan SNI 4958:2015. Dengan demikian, sampel dapat dinyatakan tidak beracun dan memenuhi standar kualitas yang ditetapkan.

Tabel 2. Hasil Analisis Logam Berat pada Pupuk Organik Cair

Parameter	Standar		Sampel
	SNI 4958:2015	SNI 2803-2012	
Cd (mg/kg)	≤ 5	≤ 100	1,5
Pb (mg/kg)	≤ 25	≤ 500	2,1
Hg (mg/kg)	≤ 0.5	≤ 10	0,3
As (mg/kg)	≤ 5	≤ 100	0,6

Secara teoritis, logam berat dapat terakumulasi pada bahan organik apabila bahan tersebut berasal dari lingkungan yang telah mengalami kontaminasi. Kotoran ternak, misalnya, dapat mengandung residu logam berat yang berasal dari pakan, air minum, maupun lingkungan tempat ternak dipelihara. Demikian pula, tanaman pisang dapat menyerap unsur logam dari tanah dan air sehingga memungkinkan logam tersebut terbawa ke dalam bahan baku gedebog pisang.

PENUTUP

Kesimpulan dari penelitian ini adalah pupuk organik cair dari kotoran ternak dengan penambahan batang pisang mendapatkan hasil optimal. Kandungan nutrisi telah sesuai dengan standar yang telah diberikan dan berdampak baik pada pertumbuhan tanaman. Adapun kandungan logam berat dalam pupuk organik cair juga masih di bawah ambang batas yang ditetapkan standar. Hal ini menunjukkan bahwa pupuk organik cair aman untuk digunakan dan tidak berpotensi mencemari tanah dan tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

[1] AlKahtani, M. D. F., Hafez, Y. M., Attia, K., Rashwan, E., Husnain, L. A., AlGwaiz, H. I. M., & Abdelaal, K. A. A. (2021). Evaluation of silicon and proline application on the oxidative machinery in drought-stressed sugar beet. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, *10*(3), 398. doi:10.3390/antiox10030398

[2] Das, S. K., Mondal, B., Sarkar, U. K., Das, B. K., & Borah, S. (2023). Understanding and approaches towards circular bio-economy of wastewater reuse in fisheries and aquaculture in India: An overview. *Reviews in Aquaculture*, *15*(3), 1100–1114. doi:10.1111/raq.12758

[3] Dhanya, B. S., Mishra, A., Chandel, A. K., & Verma, M. L. (2020). Development of sustainable approaches for converting the organic waste to bioenergy. *The Science of the Total Environment*, *723*(138109), 138109. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138109

 ©Authors

[4] Guilayn, F., Rouez, M., Crest, M., Patureau, D., & Jimenez, J. (2020). Valorization of digestates from urban or centralized biogas plants: a critical review. *Re/Views in Environmental Science and Bio/Technology*, *19*(2), 419–462. doi:10.1007/s11157-020-09531-3

[5] Joshi, H., Isar, J., Jain, D. A., Badle, S. S., Dhoot, S. B., & Rangaswamy, V. (2021). C/N ratio and specific growth rate plays important role on enhancing isoprene production in recombinant Escherichia coli. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *193*(8), 2403–2419. doi:10.1007/s12010-021-03545-5

[6] Li, M., Wang, J., Yao, T., Wang, Z., Zhang, H., & Li, C. (2021). Isolation and characterization of cold-adapted PGPB and their effect on plant growth promotion. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, *31*(9), 1218–1230. doi:10.4014/jmb.2105.05012

[7] Nasution, H., Ubaidillah, U., Yusfaneti, Y., & Saat, A. (2022). Using liquid Organic Fertilizer for banana stems for bean plants of farmers group at mendalo darat muaro jambi regency. *Bulletin of Community Engagement*, *2*(1), 52. doi:10.51278/bce.v2i1.291

[8] Neina, D. (2019). The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, *2019*, 1–9. doi:10.1155/2019/5794869

[9] Obileke, K., Onyeaka, H., Meyer, E. L., & Nwokolo, N. (2021). Microbial fuel cells, a renewable energy technology for bio-electricity generation: A mini-review. *Electrochemistry Communications*, *125*(107003), 107003. doi:10.1016/j.elecom.2021.107003

[10] Semenov, V. M., Lebedeva, T. N., Zinyakova, N. B., Sokolov, D. A., & Semenov, M. V. (2023). Eutrophication of arable soil: A comparative effect of mineral and organic fertilizers systems. *Eurasian Soil Science*, *56*(1), 49–62. doi:10.1134/s1064229322601627

[11] Soffritti, D'Accolti, Lanzoni, Volta, Bisi, Mazzacane, & Caselli. (2019). The potential use of microorganisms as restorative agents: An update. *Sustainability*, *11*(14), 3853. doi:10.3390/su11143853

[12] Wang, H., Hu, B., Liu, J., Qian, H., Xu, J., & Zhang, W. (2020). Co-production of lipid, exopolysaccharide and single-cell protein by Sporidiobolus pararoseus under ammonia nitrogen-limited conditions. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, *43*(8), 1403–1414. doi:10.1007/s00449-020-02335-3

[13] Wang, S., Zhao, J., Dong, Z., Li, J., Kaka, N. A., & Shao, T. (2020). Sequencing and microbiota transplantation to determine the role of microbiota on the fermentation type of oat silage. *Bioresource Technology*, *309*(123371), 123371. doi:10.1016/j.biortech.2020.123371

[14] Wu, T., Qin, Y., & Li, M. (2021). Intercropping of tea (camellia sinensis L.) and Chinese chestnut: Variation in the structure of rhizosphere bacterial communities. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *21*(3), 2178–2190. doi:10.1007/s42729-021-00513-0

 ©Authors