

# Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit yang Ditambahkan Berbagai Jenis Kotoran Hewan Ternak dan Penentuan Kualitas Kimia Bokashi Berbasis Standar Nasional Indonesia

## *(Composting of Oil Palm Empty Fruit Bunch Added with Various Types of Livestock Manure and Determination of Chemical Quality of Bokashi Based on Indonesian National Standards)*

Alifia Dearta Yunda<sup>1</sup>, Riza Adrianoor Saputra<sup>1\*</sup>, Nukhak Nufita Sari<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714, Indonesia

E-mail: ras@ulm.ac.id

### ARTICLE INFO

#### Article history

Submitted: June 4, 2023

Accepted: September 11, 2023

Published: November 1, 2023

#### Keywords:

nutrient content,  
oil palm,  
organic fertilizer,  
waste management

### ABSTRACT

Oil palm empty fruit bunch (OPEFB) is a large amount of palm oil industry waste and has the potential to be used as bokashi fertilizer with the addition of livestock manure to enrich its nutrient content. This study aims to determine the chemical quality of OPEFB bokashi by adding each chicken, cow, and goat manure based on the quality standards of organic fertilizer INS-19-7030-2004. The research was conducted from June to August 2022 in Tanah Bumbu Regency, South Kalimantan, and the Soil Laboratory of the Department of Soils, Faculty of Agriculture, Lambung Mangkurat University, Banjarbaru, South Kalimantan. This study used a quantitative method (nutrient analysis in the laboratory). The following treatments were used:  $K_0$  = OPEFB without adding livestock manure,  $K_1$  = OPEFB with adding chicken manure,  $K_2$  = OPEFB with adding cow manure, and  $K_3$  = OPEFB with the addition of goat manure. The results showed that treatment  $K_1$  (bokashi OPEFB with chicken manure) had better chemical quality than treatments  $K_0$ ,  $K_2$ , and  $K_3$ , namely parameters organic C (13,72%), total N (0,92%), C/N ratio (14,91%), total P (1,00%), total K (0,60%), total Ca (6,56%), and total Fe (0,02%). However, the total Mg parameter in the  $K_1$  treatment was 1,36% above the maximum SNI limit, and the pH parameters in all treatments ( $K_0$  4,91,  $K_1$  5,89,  $K_2$  4,59, and  $K_3$  5,05) were not in accordance with SNI-19-7030-2004.



Copyright © 2023 Author(s). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

## PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan komoditas perkebunan terbesar yang ada di Indonesia. Berdasarkan data BPS (2020), luas lahan perkebunan kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2020 mencapai 14,9 juta ha dengan produksi sebanyak 48,3 juta t, sedangkan untuk Provinsi Kalimantan Selatan mencapai 497 ribu ha dengan produksi sebesar 1,6 juta t. Data tersebut menunjukkan bahwa luas lahan dan jumlah produksi perkebunan kelapa sawit sangat tinggi, sehingga jumlah limbah yang dihasilkan juga semakin meningkat. Pengolahan kelapa sawit menjadi minyak tentu akan terdapat limbah yang dihasilkan salah satunya adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS).

TKKS merupakan limbah dari industri kelapa sawit yang dihasilkan dalam jumlah cukup banyak sekitar 23% atau sebanyak 230 kg setiap pengolahan satu ton tandan buah segar (Suherman et al., 2014). Kandungan unsur hara pada TKKS beragam diantaranya N, P, K, dan Mg serta memiliki kandungan serat yang cukup tinggi berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Okalia et al., 2018). Selama ini limbah TKKS belum dimanfaatkan dengan baik, sering kali dibiarkan menumpuk di sekitar pabrik dan perkebunan. Mengingat jumlah limbah ini akan terus bertambah dan akan menumpuk setiap tahunnya, maka perlu dilakukan pengolahan limbah TKKS (Praevia & Widayat, 2022).

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk memanfaatkan limbah TKKS adalah mengolahnya menjadi pupuk bokashi. Bokashi merupakan pupuk organik yang dibuat dengan proses pengomposan menggunakan aktivator seperti EM4 yang bermanfaat sebagai bahan pembenah tanah dan sumber hara bagi tanaman (Sucipto et al., 2019). Pengomposan secara alami memerlukan waktu yang lama, apalagi jika bahan organiknya mengandung serat yang cukup tinggi seperti TKKS yang sulit terurai maka diperlukan penambahan aktivator. Menurut Nur & Elma (2016), aktivator EM4 dapat berguna dalam pembuatan pupuk organik yaitu mempercepat proses penguraian bahan organik dan meningkatkan kualitas pupuk.

Bokashi yang diaplikasikan pada tanaman harus memiliki kualitas yang baik berdasarkan standar mutu pupuk organik yang telah ditetapkan baik sifat fisik maupun kimia untuk menjamin produk bokashi yang aman untuk diaplikasikan dan aman bagi lingkungan (Wahyono & Sahwan, 2010). Kualitas bokashi atau kompos ditentukan oleh kematangan bokashi atau kompos yang dapat ditunjukkan dari aroma/bau, warna, tekstur, suhu, serta sifat kimia meliputi C/N rasio, C-organik, pH, kandungan unsur hara makro dan unsur hara mikro (Jumar & Saputra, 2021). Pentingnya mengetahui kualitas bokashi akan menentukan hasil pertumbuhan tanaman, apabila bokashi yang tidak berkualitas diaplikasikan pada tanaman akan menyebabkan pertumbuhan tanaman tidak optimal karena unsur hara dalam bokashi tidak dapat memenuhi kebutuhan tanaman (Wahyono & Sahwan, 2010).

Untuk meningkatkan kualitas kimia bokashi dapat dilakukan dengan penambahan bahan-bahan organik lainnya yang kaya akan berbagai unsur hara. Semakin kaya akan unsur hara maka bokashi yang dihasilkan juga kaya kandungan unsur haranya (Rahmadanti et al., 2019). Pembuatan bokashi dapat ditambahkan bahan organik lainnya seperti kotoran hewan ternak. Menurut Fahrudin et al. (2020), kotoran ternak terdapat bakteri selulolitik yang digunakan dalam penguraian substrat selulosa pada bahan organik sehingga dapat mempercepat proses dekomposisi. Selain itu kotoran ternak juga memperkaya unsur hara pada bokashi. Menurut Hartatik & Widowati (2006), kotoran hewan adalah kotoran ternak berupa padatan yang belum ataupun sudah dikomposkan digunakan sebagai sumber hara bagi tanaman dan mampu membenahi sifat tanah secara fisik, kimia, dan biologi. Kotoran hewan ternak memiliki kadar hara yang berbeda-beda tergantung jenis hewan ternak. Pada umumnya kotoran ternak yang biasa dimanfaatkan dan ketersediaannya cukup banyak yaitu kotoran ayam, sapi, dan kambing. Hasil penelitian Rahmawati (2017), kompos TKKS dengan penambahan pupuk kandang menggunakan aktivator EM4 memiliki kandungan unsur hara N, P, dan K yang sesuai dengan SNI-19-7030-2004. Pembuatan bokashi TKKS dapat menambah nilai jual sehingga memberikan manfaat dari sisi ekonomi yaitu

menambah pendapatan petani. Oleh karena itu, bokashi harus sesuai standar yang telah ditetapkan SNI-19-7030-2004 untuk meyakinkan pengguna bahwa produk bokashi berkualitas baik. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas kimia bokashi TKKS dengan penambahan masing-masing kotoran hewan ternak ayam, sapi, dan kambing berdasarkan standar mutu pupuk organik SNI-19-7030-2004.

## METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu TKKS, kotoran ayam, kotoran sapi, kotoran kambing, EM4, dedak padi, air, gula pasir, dan kertas label, sedangkan alat yang digunakan yaitu timbangan, mesin pencacah tenaga diesel, gelas ukur, gembor, cangkul, kotak pengomposan, termometer, alat tulis, dan kamera.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni sampai Agustus 2022 di Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan untuk pembuatan bokashi, dan di Laboratorium Tanah Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru, Kalimantan Selatan untuk analisa kandungan hara bokashi.

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif (analisis unsur hara di laboratorium). Perlakuan yang disusun meliputi:  $K_0$  = TKKS tanpa penambahan kotoran hewan ternak;  $K_1$  = TKKS dengan penambahan kotoran ternak ayam;  $K_2$  = TKKS dengan penambahan kotoran ternak sapi; dan  $K_3$  = TKKS dengan penambahan kotoran ternak kambing. Pengambilan sampel dilakukan dengan teknik *purposive sampling*, selanjutnya dilakukan analisis di laboratorium meliputi: pH, C-organik, N-total, C/N rasio, P-total, K-total, Ca-total, Mg-total, dan Fe-total.

Pelaksanaan penelitian dimulai dengan persiapan bahan bokashi yaitu TKKS yang telah dicacah 20 kg, kotoran hewan ternak 2 kg sesuai perlakuan (kotoran ayam/kotoran sapi/kotoran kambing), dedak padi 2 kg, EM4 20 mL, dan air yang telah dicampur gula pasir 200 mL. Komposisi bahan pembuatan bokashi diadaptasi dari penelitian Sopa *et al.* (2021) dan diperkaya dengan penambahan kotoran hewan ternak ayam, sapi, dan kambing. TKKS diambil dari perkebunan kelapa sawit di Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan yang telah ditumpuk selama  $\pm 6$  bulan. Kotoran ayam diambil dari peternakan ayam petelur di Desa Sungai Dua, Kecamatan Simpang Empat, Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan yang telah ditumpuk selama 2 bulan. Kotoran sapi dan kotoran kambing diambil di Desa Sukamaju, Kecamatan Simpang Empat, Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan yang telah ditumpuk selama 1-2 bulan.

Persiapan kotak pengomposan dibuat dari bahan kayu dengan ukuran 50 cm  $\times$  50 cm  $\times$  50 cm sebanyak 4 buah. Persiapan larutan EM4 dengan cara EM4 diukur sebanyak 20 mL dimasukkan dalam ember kemudian ditambahkan 200 mL air yang telah dicampur gula pasir, kemudian semua bahan yang telah dimasukkan dalam ember diaduk sampai rata.

Pembuatan bokashi TKKS berdasarkan Jumar & Saputra (2021) dengan menggunakan kotak pengomposan. TKKS dicacah menggunakan mesin pencacah hingga berukuran 5 cm sebanyak 20 kg, ditambahkan 2 kg kotoran hewan ternak sesuai perlakuan (kotoran ayam, kotoran sapi, dan kotoran kambing) dan 2 kg dedak padi dimasukkan ke dalam masing-masing kotak pengomposan kemudian diaduk sampai tercampur rata. Selanjutnya larutan EM4 yang sudah dipersiapkan disiramkan diatas tumpukan bahan menggunakan gembor dan diaduk lagi sampai rata. Setelah itu,

setiap kotak pengomposan pada bagian atasnya ditutup menggunakan karung dan dibiarkan selama 21 hari.

Pengukuran suhu mengacu pada Jumar & Saputra (2021) yang dilakukan setiap hari pukul 16.30 WITA selama proses pengomposan menggunakan termometer dengan satuan derajat celcius (°C). Selanjutnya dilakukan pembalikan setiap 2 hari sekali dengan cara diaduk tumpukan bokashi pada masing-masing kotak pengomposan untuk membantu penurunan suhu agar proses dekomposisi berjalan dengan baik.

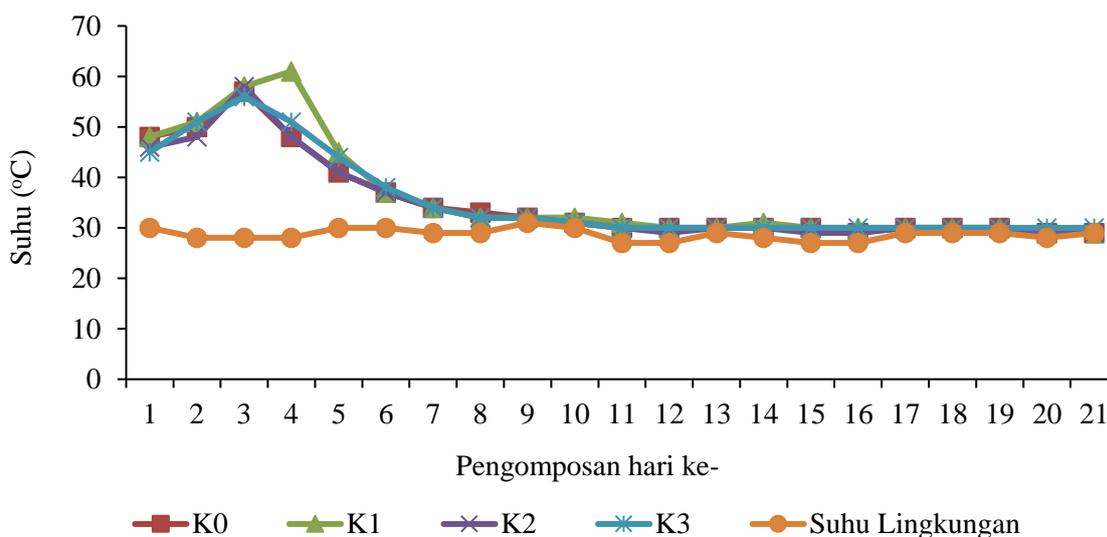
Pengamatan dalam penelitian ini adalah pH menggunakan alat pH meter elektroda (Neves et al., 2021), C-organik metode Walkley & Black (Shamshuddin et al., 1994), N-total metode Kjeldahl (Miller & Horneck, 1997), P-total metode *Ascorbic acid* (Raun et al., 1987), K-total metode *Flame Photometry* (Juo, 1978), Ca-total metode *Flame Photometry* (Juo, 1978), Mg-total metode *Flame Photometry* (Juo, 1978), dan Fe-total metode *Ammonium acetate* (Ure et al, 1993) dianalisis di laboratorium pada akhir pengomposan. Pengukuran C/N rasio bokashi dilakukan dengan menggunakan hasil analisis dari C-organik dan N-total bokasi dirasiokan sehingga didapatkan C/N rasio bokashi.

Data kuantitatif yang telah diperoleh dari analisa laboratorium meliputi; pH, C-organik, N-total, C/N rasio, P-total, K-total, Ca-total, Mg-total, dan Fe-total. Data yang diperoleh dibandingkan dengan standar mutu pupuk organik SNI-19-7030-2004 untuk mengetahui apakah kualitas kimia bokashi TKKS sesuai dengan standar mutu pupuk organik SNI-19-7030-2004.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Suhu Pengomposan

Hasil pengukuran suhu pengomposan pada perlakuan K<sub>0</sub>, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, dan K<sub>3</sub> memperlihatkan selama proses pengomposan 21 hari suhu mengalami peningkatan dan penurunan hingga stabil. Suhu yang stabil ini menandakan proses pengomposan sudah masuk fase matang (Gambar 1).



Keterangan: K<sub>0</sub> = TKKS tanpa penambahan kotoran hewan ternak; K<sub>1</sub> = TKKS dengan penambahan kotoran ternak ayam; K<sub>2</sub> = TKKS dengan penambahan kotoran ternak sapi; K<sub>3</sub> = TKKS dengan penambahan kotoran ternak kambing.

Gambar 1. Suhu pengomposan TKKS dengan penambahan kotoran hewan ternak yang berbeda

Gambar 1 menunjukkan pada awal pengomposan, semua perlakuan memasuki fase termofilik terlihat bahwa suhu pengomposan pada hari ke-1 yaitu K<sub>0</sub> (48 °C), K<sub>1</sub> (48 °C), K<sub>2</sub> (46 °C), dan K<sub>3</sub> (45 °C) kemudian suhu pengomposan mencapai puncak tertinggi pada perlakuan K<sub>0</sub>, K<sub>2</sub>, dan K<sub>3</sub> yaitu pada hari ke-3 dengan suhu K<sub>0</sub> (57 °C), K<sub>2</sub> (58 °C), dan K<sub>3</sub> (56 °C), sedangkan suhu puncak tertinggi perlakuan K<sub>1</sub> yaitu pada hari ke-4 sebesar 61 °C. Menurut Ho et al. (2022), pada fase termofilik mikroorganisme hidup pada suhu 45–65 °C, mikroorganisme termofilik ini sangat aktif memecah bahan organik seperti protein, lemak, karbohidrat, selulosa, dan hemiselulosa.

Meningkatnya suhu dihasilkan dari metabolisme mikroba dan energi panas tersebut dapat ditahan oleh material yang dikomposkan (Sahwan, 2010). Metabolisme mikroba melepaskan sejumlah energi dalam bentuk panas, semakin meningkat aktifitas mikroba semakin tinggi panas yang dihasilkan. Selain itu, suhu yang tinggi di awal pengomposan juga diduga karena ukuran bahan yang telah dilakukan pencacahan sehingga memudahkan mikroorganisme menguraikan bahan lebih cepat dan akan menghasilkan energi berupa panas. Okalia et al. (2018) menyatakan bahwa ukuran cacahan TKKS yang baik dalam pengomposan adalah 1–5 cm akan menghasilkan tekstur halus, warna hitam, dan proses pengomposan berlangsung lebih cepat. Latifah et al. (2014) melaporkan bahwa dengan memperkecil ukuran bahan baku akan memiliki permukaan yang lebih luas sehingga meningkatkan kontak antara mikroorganisme dengan bahan dan proses menguraikan bahan lebih cepat. Pada penelitian ini suhu meningkat dengan cepat dan telah mencapai suhu yang optimum pada semua perlakuan berkisar 46–61 °C. Aktivitas pengomposan yang cepat memerlukan suhu optimal berkisar antara 30–60 °C (Latifah et al., 2014).

Berdasarkan Gambar 1, memperlihatkan bahwa waktu mencapai suhu puncak tidak sama yaitu perlakuan K<sub>0</sub>, K<sub>2</sub>, dan K<sub>3</sub> mencapai suhu puncak pada hari ke-3 sedangkan perlakuan K<sub>1</sub> suhu puncak pada hari ke-4 hal ini diduga karena kandungan nitrogen yang tinggi pada kotoran ayam. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Parakhasi (2000) dalam Sofa et al. (2022), kotoran ayam mempunyai feses dan urin yang mengandung N tinggi dibandingkan kotoran hewan ternak lainnya. Kandungan nitrogen digunakan mikroorganisme untuk sintesis protein dan pembentukan sel-sel tubuh (Pitoyo, 2016). Oleh karena itu, semakin tinggi kandungan nitrogen dalam kotoran hewan ternak maka jumlah mikroorganisme semakin banyak dan aktivitas mikroorganisme merombak bahan organik semakin meningkat sehingga suhu pengomposan pada perlakuan K<sub>1</sub> (penambahan kotoran ternak ayam) mencapai suhu termofilik lebih tinggi dibandingkan perlakuan K<sub>0</sub>, K<sub>2</sub>, dan K<sub>3</sub>.

Setelah suhu puncak tercapai, pengomposan memasuki fase pendinginan dimana suhu bokashi berangsur mengalami penurunan pada hari ke-5 sampai hari ke-10 untuk perlakuan K<sub>0</sub> dan K<sub>2</sub> (41–31 °C), perlakuan K<sub>1</sub> (45–31 °C), dan perlakuan K<sub>3</sub> (44–31 °C). Pada fase ini, bahan organik telah berkurang sehingga aktivitas mikroorganisme menurun yang ditandai dengan penurunan suhu pengomposan. Pada kondisi suhu menurun, mikroorganisme mesofilik mulai tumbuh dan bertugas menguraikan sisa bahan organik. Ho et al. (2022) berpendapat bahwa mikroorganisme mesofilik mulai tumbuh pada suhu turun di bawah 45 °C yang mendominasi pada fase pendinginan dan pematangan, mikroorganisme ini akan menguraikan senyawa organik yang lebih tahan seperti lignin.

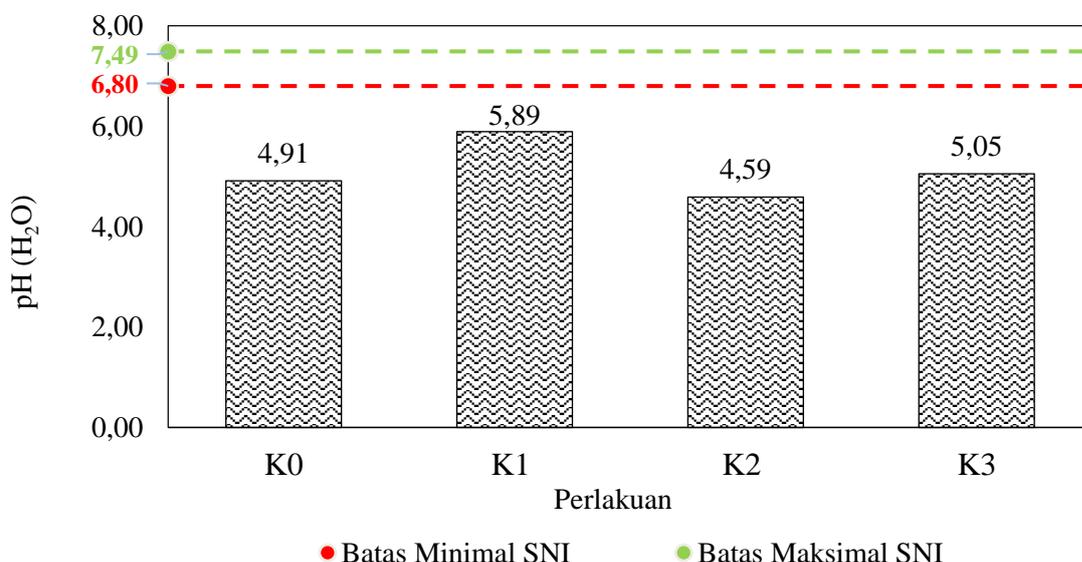
Selanjutnya suhu mulai stabil pada semua perlakuan (K<sub>0</sub>, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, dan K<sub>3</sub>) di hari ke-11 sampai hari ke-21 berkisar antara 29–30 °C, fase ini memasuki pematangan yang dimana suhu

pengomposan mengalami kestabilan. Menurut Setyorini et al. (2006), pada tahap pematangan ini suhu menjadi stabil dan bahan organik telah terurai membentuk senyawa humus. Berdasarkan hasil pengukuran suhu pengomposan TKKS menunjukkan bahwa suhu akhir pengomposan pada hari ke-21 untuk perlakuan K<sub>0</sub>, K<sub>1</sub>, dan K<sub>2</sub> suhu akhir 29 °C, sedangkan K<sub>3</sub> suhu akhir 30 °C. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) -19-7030-2004, suhu pupuk organik yang telah matang melalui proses pengomposan yaitu suhu sesuai dengan suhu air tanah. Okalia et al. (2018) menyatakan bahwa suhu dalam air tanah yang dapat diserap akar tanaman dalam kondisi aerob dan tidak lebih dari 30 °C.

Hasil penelitian Chasanah et al. (2013) dan Jaya et al. (2014) menunjukkan bahwa pengomposan TKKS mengalami suhu stabil rata-rata selama 5 hari. Oleh karena itu, pada penelitian ini jika dilihat dari waktu suhu stabil pengomposan bokashi TKKS pada semua perlakuan (K<sub>0</sub>, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, dan K<sub>3</sub>), suhu mulai stabil pada hari ke-11 sehingga pada hari ke-15 (suhu berkisar 30–31 °C) sudah dapat dikatakan proses pengomposan telah selesai. Penelitian bokashi TKKS ini dapat dilakukan selama 15 hari dengan menunjukkan bentuk yang sudah remah, berwarna kehitaman, dan aromanya seperti tanah.

### pH Bokashi

Hasil analisa pH bokashi TKKS dengan penambahan kotoran hewan ternak yang berbeda memperlihatkan semua perlakuan (K<sub>0</sub>, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, dan K<sub>3</sub>) menghasilkan nilai pH berkisar antara 4,59–5,89 yang disajikan pada Gambar 2.



Keterangan: K<sub>0</sub> = bokashi TKKS tanpa penambahan kotoran hewan ternak; K<sub>1</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak ayam; K<sub>2</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak sapi; K<sub>3</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak kambing.

Gambar 2. pH bokashi TKKS dengan penambahan kotoran hewan ternak yang berbeda

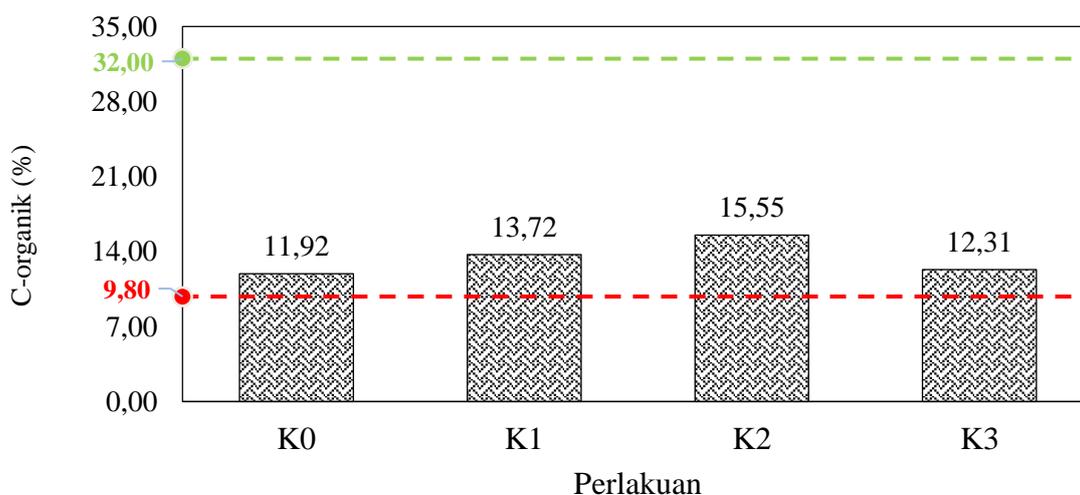
Berdasarkan Gambar 2, apabila dibandingkan dengan standar mutu pupuk organik berdasarkan SNI-19-7030-2004, kisaran pH bokashi sesuai SNI berkisar antara 6,80–7,49 yang artinya pH semua perlakuan (K<sub>0</sub>, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, dan K<sub>3</sub>) belum memenuhi standar karena pH lebih rendah dari batas minimum SNI dan dalam kategori pH masam. Menurut Rahmadanti et al. (2019), pH bokashi yang rendah dikarenakan banyaknya TKKS yang melepaskan asam-asam organik (asam

laktat dan asam asetat) yang dapat menyumbangkan keasaman dalam proses dekomposisi, sehingga pH yang dihasilkan lebih rendah. Ho et al. (2022) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa pH bokashi turun di bawah netral disebabkan terjadinya aktivitas mikroorganisme degradasi protein, asam lemak, dan senyawa asam menguap membentuk asam organik. Kondisi asam akan memicu pertumbuhan jamur dan akan merombak senyawa lignin dan selulosa pada bahan organik yang akan menjadi pupuk (Gustiar et al., 2020).

Menurut Widiyani et al. (2022), penggunaan kapur tohor dalam pembuatan pupuk organik berperan sebagai penyangga asam sehingga perubahan pH akibat adanya asam organik dapat dinetralkan. Berdasarkan penelitian Saputra dan Sari (2021), bahan amelioran berupa abu sekam padi dan arang sekam padi dapat digunakan untuk membantu meningkatkan pH. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kualitas bokashi ini perlu diberi bahan tambahan kapur tohor atau bahan amelioran diantaranya abu sekam padi dan arang sekam padi pada saat pembuatan bokashi sehingga dapat meningkatkan pH bokashi menjadi netral.

### C-Organik Bokashi

Hasil analisa C-organik bokashi TKKS dengan penambahan kotoran hewan ternak yang berbeda memperlihatkan perlakuan K<sub>0</sub>, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, dan K<sub>3</sub> menghasilkan kandungan C-organik berkisar antara 11,92% sampai 15,55% yang berarti telah memenuhi standar mutu pupuk organik SNI-19-7030-2004 (Gambar 3).



● Batas Minimal SNI      ● Batas Maksimal SNI

Keterangan: K<sub>0</sub> = bokashi TKKS tanpa penambahan kotoran hewan ternak; K<sub>1</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak ayam; K<sub>2</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak sapi; K<sub>3</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak kambing.

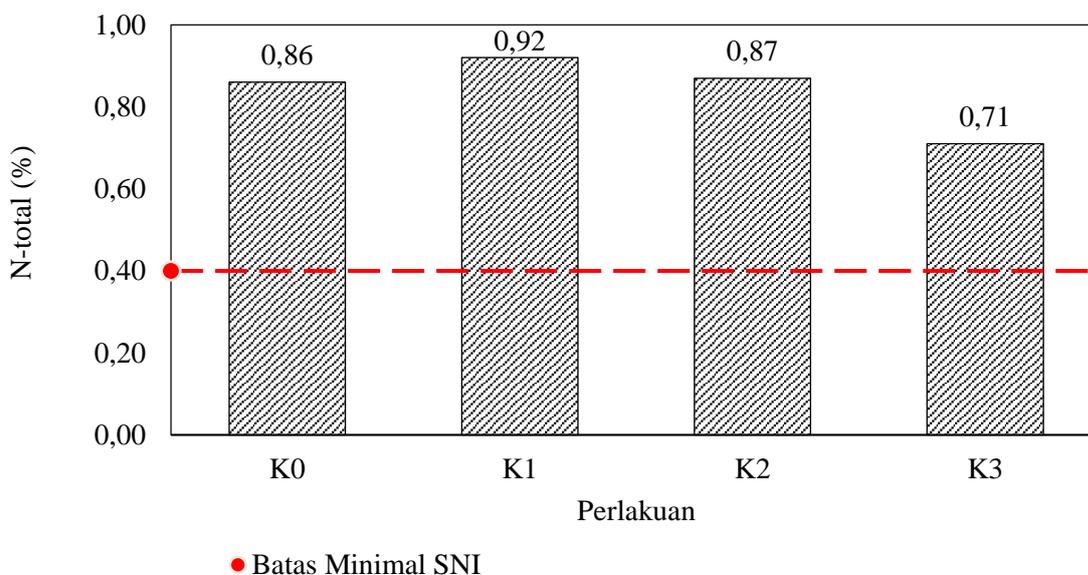
Gambar 3. C-organik bokashi TKKS dengan penambahan kotoran hewan ternak yang berbeda

Berdasarkan Gambar 3, perlakuan K<sub>2</sub> yaitu bokashi TKKS dengan penambahan kotoran sapi menghasilkan kandungan C-organik paling tinggi sebesar 15,55%. Hartatik & Widowati (2006) melaporkan bahwa kotoran sapi mengandung serat seperti selulosa yang tinggi sehingga menghasilkan kandungan karbon yang tinggi dibandingkan kotoran hewan ternak lain. Sejalan hasil penelitian Santoso et al. (2021), kotoran sapi memiliki kandungan C-organik 8,30%, kotoran ayam 6,94%, dan kotoran kambing 3,15%, diantara kotoran ternak tersebut bahwa kotoran sapi yang

memiliki kandungan C-organik paling tinggi. Hal tersebut menjadi salah satu faktor bokashi TKKS dengan penambahan kotoran sapi memiliki kandungan C-organik tertinggi.

### N-Total Bokashi

Hasil analisa N-total bokashi TKKS pada semua perlakuan ( $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ , dan  $K_3$ ) lebih dari batas minimum 0,40% yang berarti telah memenuhi standar mutu pupuk organik SNI-19-7030-2004. Hasil N-total bokashi disajikan pada Gambar 4.



Keterangan:  $K_0$  = bokashi TKKS tanpa penambahan kotoran hewan ternak;  $K_1$  = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak ayam;  $K_2$  = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak sapi;  $K_3$  = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak kambing.

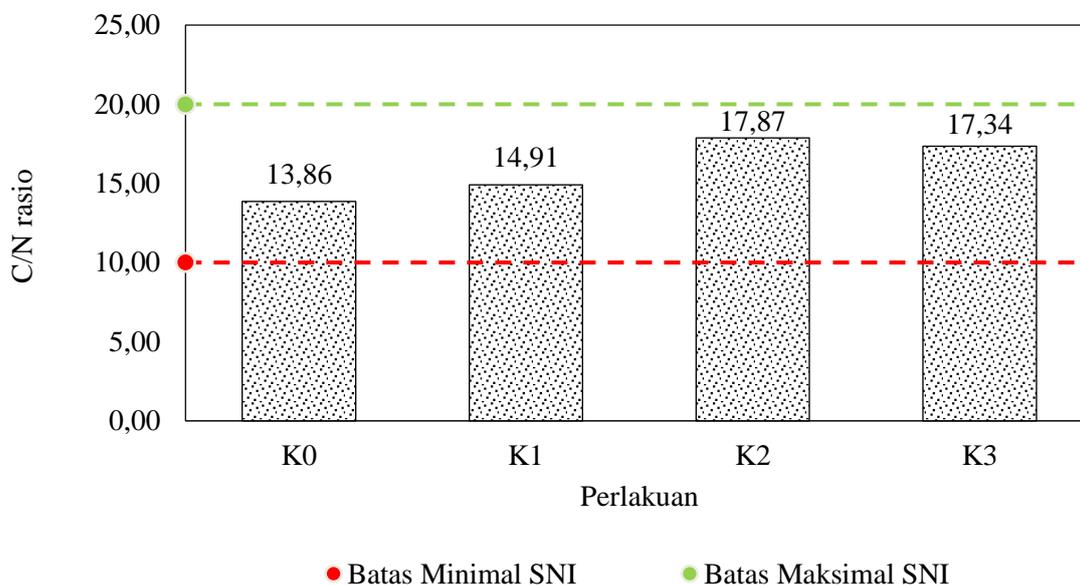
Gambar 4. N-total bokashi TKKS dengan penambahan kotoran hewan ternak yang berbeda

Berdasarkan Gambar 4, perlakuan  $K_1$  (bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak ayam) menghasilkan kandungan N-total tertinggi sebesar 0,92%. Parakhasi (2000) dalam Sofa et al. (2022) melaporkan bahwa kotoran ayam mempunyai kadar nitrogen lebih tinggi dari kotoran hewan ternak lainnya karena kotoran ayam memiliki feses dan urin yang kandungan nitrogennya tinggi, sehingga bahan dasar yang mengandung nitrogen tinggi akan semakin cepat tingkat penguraiannya dan kandungan N-total yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Hal tersebut diduga dapat meningkatkan kandungan N-total bokashi pada perlakuan  $K_1$  sehingga menghasilkan kandungan N-total tertinggi. Hasil penelitian yang dilaporkan Nurhayati & Andyani (2016), bahwa tersedianya kandungan nitrogen pada pupuk disebabkan karena terdapat aktivitas mikroorganismenya yang optimum sehingga proses dekomposisi berjalan dengan optimal. Adanya penggunaan aktivator yang mengandung mikroorganismenya seperti EM4 dan tersedianya oksigen yang cukup selama proses pengomposan dapat meningkatkan kandungan nitrogen.

### C/N Rasio Bokashi

Hasil analisa C/N rasio bokashi TKKS dengan penambahan kotoran hewan ternak yang berbeda memperlihatkan bahwa perlakuan  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ , dan  $K_3$  lebih dari 10 dan kurang dari 20 yang

berarti telah memenuhi standar mutu pupuk organik SNI-19-7030-2004. Hasil C/N rasio bokashi disajikan pada Gambar 5.



Keterangan: K<sub>0</sub> = bokashi TKKS tanpa penambahan kotoran hewan ternak; K<sub>1</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak ayam; K<sub>2</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak sapi; K<sub>3</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak kambing.

Gambar 5. C/N rasio bokashi TKKS dengan penambahan kotoran hewan ternak yang berbeda

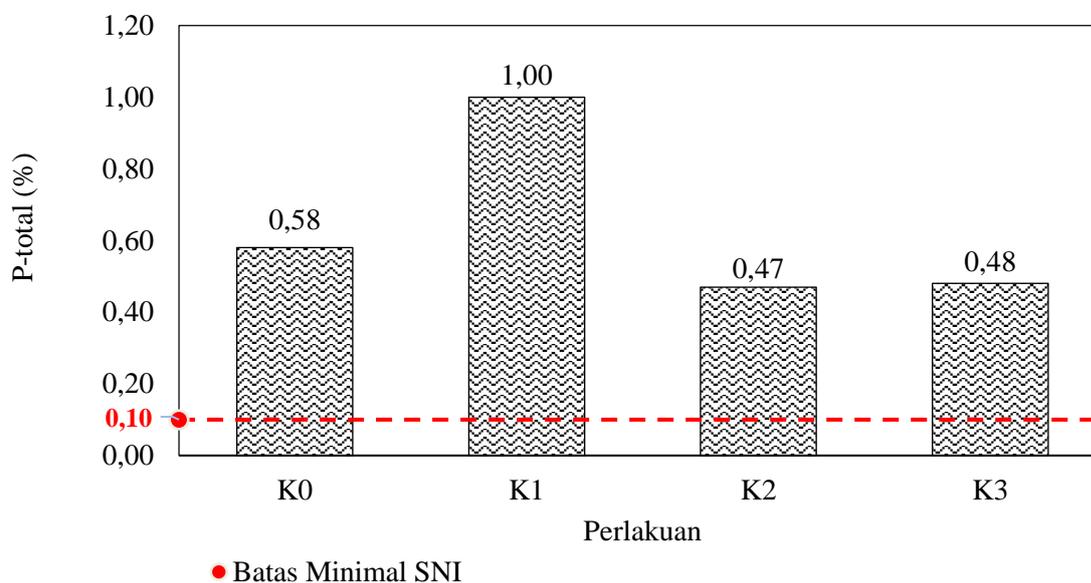
Berdasarkan Gambar 5, C/N rasio bokashi TKKS pada semua perlakuan berkisar antara 13,86 sampai 17,87 yang menandakan bahwa bahan organik telah terdekomposisi dengan baik. Hal ini sejalan dengan pernyataan Setyorini et al. (2006) dan Indriani (2011), bahwa prinsip pengomposan menurunkan C/N rasio bahan organik hingga sesuai dengan C/N rasio tanah yaitu kurang dari 20. Menurut Bachtiar & Ahmad (2019), bokashi dengan C/N rasio 12–20 berarti telah terjadi penguraian dan unsur hara yang terdapat dalam bahan organik telah dilepaskan melalui proses mineralisasi sehingga menjadi tersedia dan dapat diserap oleh tanaman. Oleh karena itu, bokashi yang memiliki C/N rasio mendekati atau sama dengan C/N rasio tanah dapat diaplikasikan ke tanaman.

C/N rasio akan terjadi penurunan diakhir pengomposan diakibatkan karena selama pengomposan mikroorganisme menggunakan karbon (C) sebagai sumber energi dan menguap dalam bentuk CO<sub>2</sub> sedangkan nitrogen (N) digunakan untuk sintesis protein dan pembentukan sel tubuh mikroorganisme sehingga kadar C-organik semakin lama semakin berkurang dan kadar N-total yang tinggi maka C/N rasio menjadi rendah (Pitoyo, 2016).

Pada penelitian ini bokashi TKKS dengan penambahan kotoran hewan ternak ayam, sapi, dan kambing menghasilkan C/N rasio lebih tinggi dibandingkan tanpa penambahan kotoran hewan ternak, hal ini disebabkan karena kandungan C-organik dalam bahan pakan yang diberikan berupa konsentrat dedak padi dikonsumsi ternak ayam, rumput gajah dikonsumsi ternak sapi, dan daun kacang sentro dikonsumsi ternak kambing sehingga meningkatkan kandungan C-organik pada kotoran ternak ayam, sapi, dan kambing dan akan menghasilkan C/N rasio dalam bokashi yang tinggi pula namun masih sesuai dengan kisaran SNI-19-7030-2004 yakni 10–20.

### P-Total Bokashi

Hasil analisa P-total bokashi TKKS pada perlakuan K<sub>0</sub>, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, dan K<sub>3</sub> melebihi batas minimum 0,10% sehingga sudah memenuhi standar mutu pupuk organik SNI-19-7030-2004. Hasil P-total disajikan pada Gambar 6.



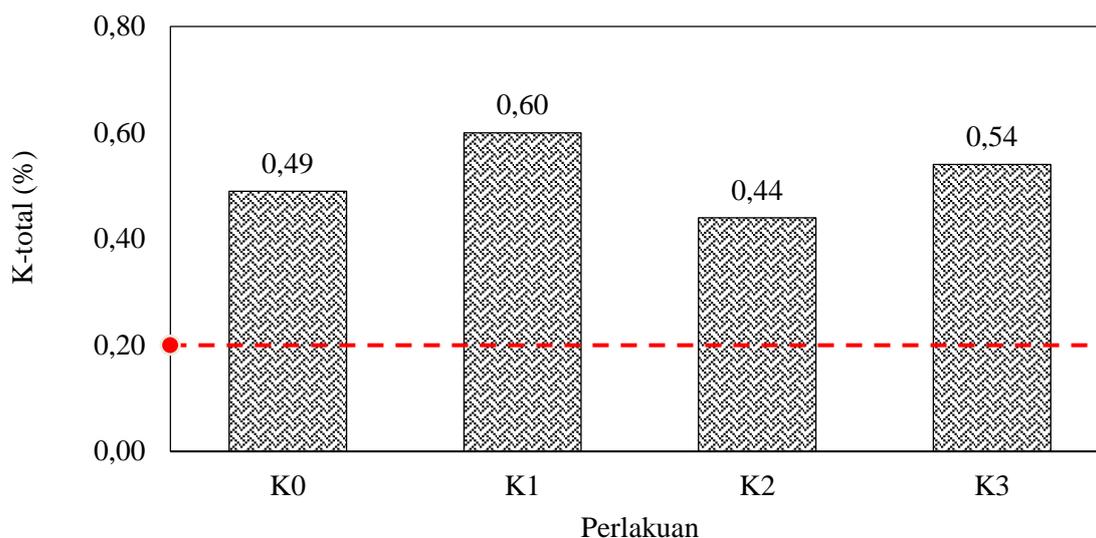
Keterangan: K<sub>0</sub> = bokashi TKKS tanpa penambahan kotoran hewan ternak; K<sub>1</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak ayam; K<sub>2</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak sapi; K<sub>3</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak kambing.

Gambar 6. P-total bokashi TKKS dengan penambahan kotoran hewan ternak yang berbeda

Berdasarkan Gambar 6, perlakuan K<sub>1</sub> (bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak ayam) menghasilkan P-total tertinggi sebesar 1,00%, hal ini diduga karena kandungan unsur fosfor yang tinggi pada kotoran ayam. Hasil penelitian Santoso et al. (2021) menunjukkan bahwa kotoran ayam memiliki kandungan hara P sebesar 4,88% lebih tinggi dibandingkan kotoran hewan ternak yang lainnya yaitu kotoran sapi sebesar 1,5% dan kotoran kambing sebesar 2,08%. Oleh karena itu dengan adanya kandungan P yang tinggi dalam kotoran ayam diduga dapat menghasilkan kadar P-total bokashi yang tinggi pula. Keberadaan unsur hara fosfor dalam bokashi disebabkan oleh pelapukan bahan organik yang dikomposkan. Selama proses pengomposan kandungan fosfor dalam bahan bokasi digunakan oleh mikroorganisme untuk membangun sel. Pada fase pematangan mikroorganisme akan mati dan kandungan fosfor yang ada dalam mikroorganisme akan bercampur dalam bahan bokashi yang secara langsung dapat meningkatkan kandungan fosfor pada bokashi (Kurnia et al., 2017).

### K-Total Bokashi

Hasil analisa K-total bokashi TKKS dengan penambahan kotoran hewan ternak yang berbeda memperlihatkan perlakuan K<sub>0</sub>, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, dan K<sub>3</sub> melebihi batas minimum 0,20% yang berarti telah memenuhi standar mutu pupuk organik SNI-19-7030-2004. Hasil tersebut disajikan pada Gambar 7.



● Batas Minimal SNI

Keterangan: K<sub>0</sub> = bokashi TKKS tanpa penambahan kotoran hewan ternak; K<sub>1</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak ayam; K<sub>2</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak sapi; K<sub>3</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak kambing.

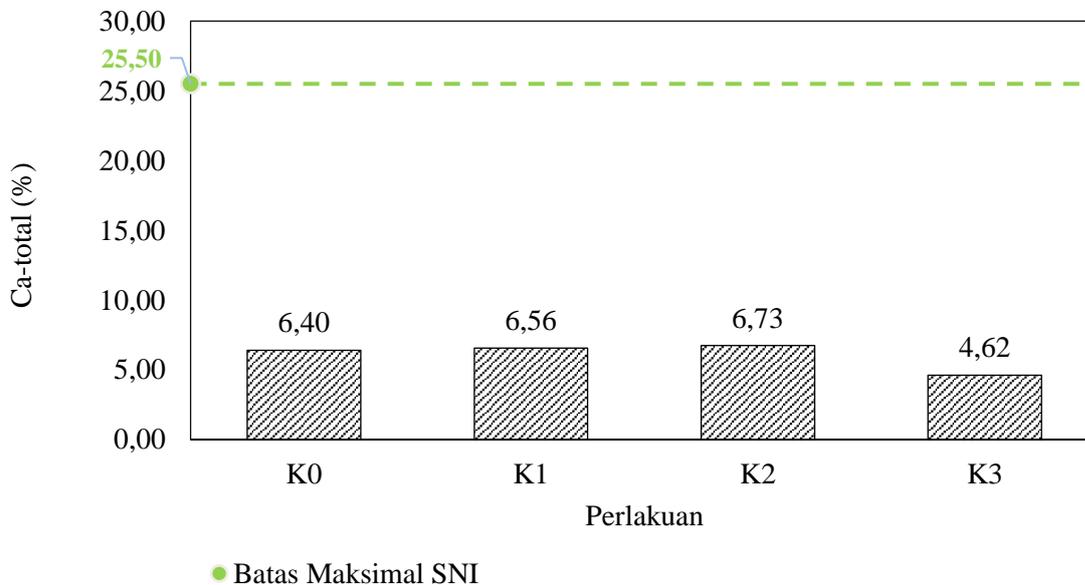
Gambar 7. K-total bokashi TKKS dengan penambahan kotoran hewan ternak yang berbeda

Berdasarkan Gambar 7, kandungan K-total bokashi pada semua perlakuan (K<sub>0</sub>, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, dan K<sub>3</sub>) berkisar antara 0,44 – 0,60%. Hal ini disebabkan kandungan unsur hara kalium dalam bokashi berasal dari bahan dasar berupa bahan organik TKKS dan adanya penambahan EM4. Menurut Widiarti et al. (2015), bahan yang dikomposkan merupakan bahan organik mengandung unsur hara kalium dalam bentuk organik kompleks tidak dapat dimanfaatkan langsung oleh tanaman. Hastuti (2009) dalam Sitio et al. (2015) menyatakan bahwa TKKS mengandung unsur kalium (K<sub>2</sub>O) sebesar 2,90%. Aktivitas dekomposisi mikroorganisme mengubah bahan organik kompleks tersebut menjadi organik sederhana yang akan menghasilkan unsur hara kalium yang dapat diserap tanaman.

Puspitasari et al. (2022) juga menyebutkan bahwa adanya penambahan EM4 maka semakin banyak jumlah mikroorganisme dalam proses dekomposisi, mikroorganisme menggunakan unsur kalium pada bahan organik untuk aktivitas metabolismenya dan proses degradasi senyawa organik menjadi lebih sederhana, sehingga kandungan unsur hara kalium pada hasil pengomposan akan meningkat seiring dengan semakin berkembangnya jumlah mikroorganisme yang ada dalam bahan penyusun pupuk organik, sedangkan penurunan kadar K-total diduga karena kemungkinan adanya pencucian unsur kalium (K) pada saat proses pengomposan atau perlindian (Syakir et al., 2009 dalam Muhammad et al., 2017). Harjadowigeno (2010) dalam Lestari et al. (2020) menyatakan bahwa unsur kalium merupakan unsur yang mudah larut membentuk K-larut sehingga mudah hilang dan terurai. Namun pada penelitian ini tidak dilakukan analisa air lindi dari proses pengomposan sehingga penurunan K-total belum bisa dipastikan terjadi karena pencuciann atau perlindian.

### Ca-Total Bokashi

Hasil analisa Ca-total bokashi TKKS dengan penambahan kotoran hewan ternak yang berbeda memperlihatkan semua perlakuan (K<sub>0</sub>, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, dan K<sub>3</sub>) tidak lebih dari batas maksimal 25,50% yang berarti telah memenuhi standar mutu pupuk organik SNI-19-7030-2004. Hasil tersebut disajikan pada Gambar 8.



Keterangan: K<sub>0</sub> = bokashi TKKS tanpa penambahan kotoran hewan ternak; K<sub>1</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak ayam; K<sub>2</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak sapi; K<sub>3</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak kambing.

Gambar 8. Ca-total bokashi TKKS dengan penambahan kotoran hewan ternak yang berbeda

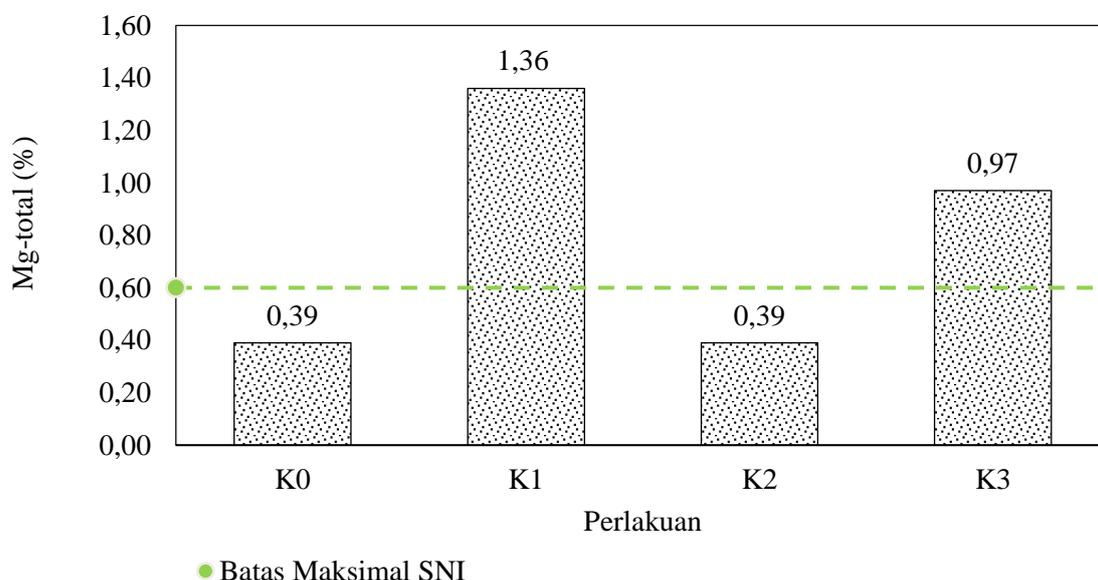
Berdasarkan Gambar 8, kandungan Ca-total tertinggi pada perlakuan K<sub>2</sub> (bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak sapi). Hal ini diduga karena bahan pakan tambahan yang diberikan pada ternak sapi berupa konsentrat bungkil sawit yang mengandung kalsium. Pangestu et al. (2009) melaporkan bahan pakan bungkil sawit mempunyai kandungan kalsium 6,89%, sehingga meningkatkan kandungan kalsium dalam kotoran ternak sapi.

Kandungan Ca pada pupuk organik apabila melebihi batas maksimum SNI diaplikasikan ke tanah dikhawatirkan terjadi sifat antagonis terhadap unsur Mg. Menurut Wijaya (2010) sifat antagonisme unsur Ca menyebabkan penyerapan unsur Mg oleh akar tanaman tidak maksimal sehingga tanaman mengalami defisiensi unsur magnesium. Oleh karena itu, kandungan Ca-total pada bokashi sebaiknya sesuai standar mutu pupuk organik yang telah ditetapkan SNI-19-7030-2004.

### Mg-Total Bokashi

Hasil analisa Mg-total bokashi TKKS dengan penambahan kotoran hewan ternak yang berbeda memperlihatkan perlakuan K<sub>0</sub> dan K<sub>2</sub> tidak melebihi batas maksimal 0,60% yang berarti telah memenuhi standar mutu pupuk organik SNI-19-7030-2004, sedangkan untuk perlakuan K<sub>1</sub>

dan K<sub>3</sub> belum sesuai dengan SNI karena diatas batas maksimal 0,60%. Hasil Mg-total disajikan pada Gambar 9.



Keterangan: K<sub>0</sub> = bokashi TKKS tanpa penambahan kotoran hewan ternak; K<sub>1</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak ayam; K<sub>2</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak sapi; K<sub>3</sub> = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak kambing.

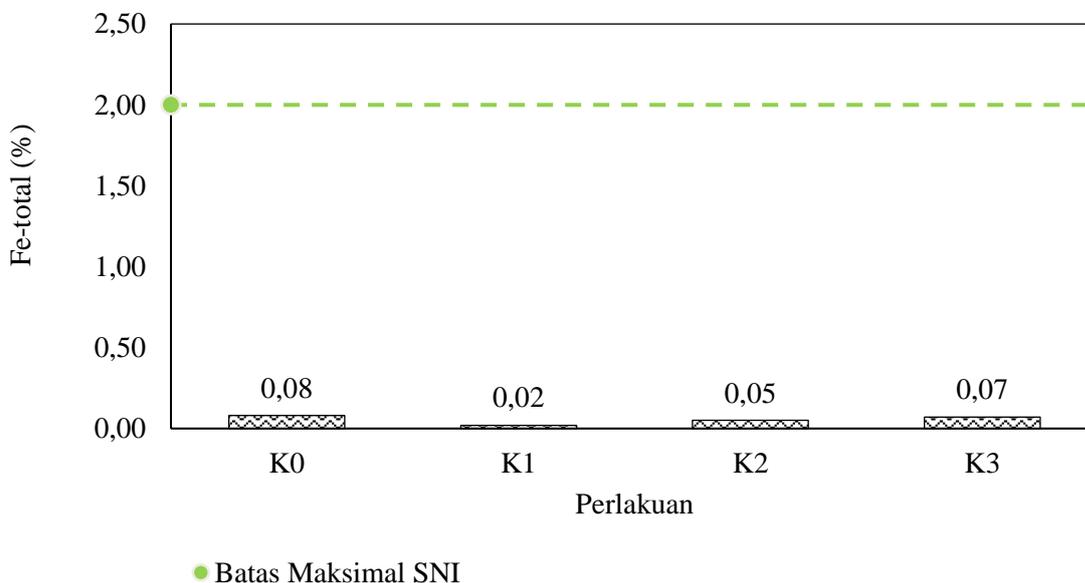
Gambar 9. Mg-total bokashi TKKS dengan penambahan kotoran hewan ternak yang berbeda

Berdasarkan Gambar 9, perlakuan K<sub>1</sub> (penambahan kotoran ayam) menghasilkan kandungan Mg-total tertinggi sebesar 1,36 % bahkan melebihi standar maksimum SNI diduga karena terdapat kandungan magnesium dalam bahan pakan konsentrat dedak padi sebagai makanan ternak ayam dan juga bahan tambahan yang digunakan dalam pembuatan bokashi berupa dedak padi. Menurut Rijal & Surati (2020), dedak padi mengandung unsur mineral magnesium sebesar 0,95% sehingga dapat menjadi sumber hara magnesium dalam bokashi. Ditambah dengan kandungan magnesium yang terdapat pada TKKS. Menurut Hastuti (2009) dalam Sitio et al. (2015), TKKS mempunyai kadar unsur magnesium sebesar 0,30%. Tingginya kandungan Mg-total pada perlakuan K<sub>3</sub> (penambahan kotoran kambing) sebesar 0,97 % yang juga melebihi standar SNI diduga karena kandungan magnesium yang ada pada tanaman sentro sebagai pakan ternak kambing. Menurut Wawan (2020), tanaman sentro (*Centrosema* sp.) merupakan tanaman leguminosa (kacangan) yang mengandung unsur hara magnesium (Mg) sebesar 0,38%. Hal ini yang dapat meningkatkan kandungan Mg-total pada bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ayam dan kotoran kambing.

Magnesium yang berlebihan didalam pupuk organik akan menimbulkan sifat antagonis dengan unsur K, Ca, dan Na sehingga penyerapan unsur K, Ca, dan Na akan terganggu karena tidak seimbang (Landon, 1984 dalam Putra & Hanum, 2018). Oleh karena itu, unsur magnesium dalam bokashi sebaiknya sesuai persyaratan mutu pupuk organik agar aman saat diaplikasikan ke tanah.

### Fe-Total Bokashi

Hasil analisa Fe-total bokashi TKKS pada semua perlakuan ( $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ , dan  $K_3$ ) tidak lebih dari batas maksimal 2% yang berarti telah memenuhi standar mutu pupuk organik SNI-19-7030-2004. Hasil Fe-total bokashi disajikan pada Gambar 10.



Keterangan:  $K_0$  = bokashi TKKS tanpa penambahan kotoran hewan ternak;  $K_1$  = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak ayam;  $K_2$  = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak sapi;  $K_3$  = bokashi TKKS dengan penambahan kotoran ternak kambing.

Gambar 10. Fe-total bokashi TKKS dengan penambahan kotoran hewan ternak yang berbeda

Besi (Fe) termasuk unsur hara mikro yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah sedikit. Zat besi dibutuhkan dalam proses fisiologis tanaman untuk pembentukan klorofil dan fotosintesis (Sofa et al., 2022). Berdasarkan Gambar 10 hasil kandungan Fe-total bokashi setelah pengomposan menunjukkan perlakuan  $K_0$  (tanpa penambahan kotoran hewan ternak),  $K_1$  (penambahan kotoran ayam),  $K_2$  (penambahan kotoran sapi), dan  $K_3$  (penambahan kotoran kambing) secara berturut-turut adalah 0,08%, 0,02%, 0,05%, dan 0,07%. Berdasarkan standar kualitas pupuk organik yang ditetapkan SNI-19-7030-2004, maka hasil kandungan Fe-total bokashi pada semua perlakuan telah memenuhi SNI karena kandungan Fe-total yang dihasilkan  $\leq 2,00\%$ .

Rendahnya kandungan Fe-total dalam bokashi diduga karena pengaruh dari bahan organik TKKS menghasilkan asam humat dan asam fulvat selama proses pengomposan. Menurut Ruhaimah et al. (2009) bahan organik pada proses dekomposisi menghasilkan asam-asam organik berupa asam humat dan asam fulvat yang dapat mengikat Fe membentuk senyawa kompleks, pengikatan ini akan mengurangi aktivitas unsur Fe. Kadar Fe dalam pupuk organik apabila melebihi batas maksimum pada persyaratan mutu pupuk organik dan pupuk tersebut ditambahkan ke dalam tanah akan berpotensi meracuni tanaman (Dewi et al., 2013).

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Kualitas kimia bokashi TKKS pada perlakuan K<sub>1</sub> (dengan penambahan kotoran hewan ternak ayam) menghasilkan kualitas yang lebih baik dibandingkan perlakuan K<sub>0</sub>, K<sub>2</sub>, dan K<sub>3</sub> yang sudah sesuai mutu pupuk organik SNI-19-7030-2004 yaitu parameter C-organik (13,72%), N-total (0,92%), C/N rasio (14,91%), P-total (1,00%), K-total (0,60%), Ca-total (6,56%), dan Fe-total (0,02%). Namun, parameter Mg-total pada perlakuan K<sub>1</sub> sebesar 1,36% melebihi batas maksimal SNI. Parameter pH pada semua perlakuan (K<sub>0</sub> 4,91; K<sub>1</sub> 5,89; K<sub>2</sub> 4,59; dan K<sub>3</sub> 5,05) juga belum sesuai SNI-19-7030-2004.

### Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan pemberian bahan tambahan seperti abu sekam padi dan arang sekam padi yang berpotensi meningkatkan pH bokashi TKKS pada semua perlakuan agar sesuai dengan mutu pupuk organik SNI-19-7030-2004.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bachtiar, B., & Ahmad, A. H. (2019). Analisis kandungan hara kompos johan *cassia siamea* dengan penambahan aktivator promi. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*, 4(1), 68-76. <https://doi.org/10.20956/bioma.v4i1.6493>.
- Badan Pusat Statistik. (2020). Luas Tanaman Perkebunan Menurut Provinsi (Ribuan Hektar) dan Produksi Tanaman Perkebunan (Ribuan Ton). Retrieved January 17, 2022, from <https://www.bps.go.id/indicator/54/131/1/luas-tanaman-perkebunan-menurut-provinsi.html>. <https://www.bps.go.id/indicator/54/132/1/produksi-tanaman-perkebunan.html>.
- Chasanah, U., Rahmawati, L., & Iskarlia, G. R. (2013). Optimasi proses dekomposisi tandan kosong kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) menggunakan Aktivator EM4. *Polhasains: jurnal sains dan terapan Politeknik Hasnur*, 1(02), 16-29.
- Dewi, T., Anas, I., & Nursyamsi, D. (2013). Pengaruh pupuk organik berkadar besi tinggi terhadap pertumbuhan dan produksi padi sawah. *Agric*, 25(1), 58-63. <https://doi.org/10.24246/agric.2013.v25.i1.p58-63>.
- Fahrudin, F., Haedar, N. H. N., & Tuwo, M. (2020). Potensi bakteri dari limbah kotoran ternak dalam mendegradasi selulosa. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 11(1), 16-20. <https://doi.org/10.20956/jal.v11i1.9312>.
- Gustiar, F., Wibisono, I., & Munandar, M. (2020). Kompos tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan kotoran sapi dan berbagai bioaktivator. *Jurnal Riset Agribisnis dan Peternakan*, 5(2), 12-22. <https://doi.org/10.37729/jrap.v5i2.820>.
- Hartatik, W., & Widowati, L. R. (2006). *Pupuk kandang. Dalam Buku Pupuk Organik dan Hayati. Balai Penelitian Tanah*. BBSDLP-Badan Litbang Pertanian.
- Hayat, E. S., & Andayani, S. (2015). Pengelolaan limbah tandan kosong kelapa sawit dan aplikasi biomassa *chromolaena odorata* terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi serta sifat tanah *sulfaquent*. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, 17 (2), 44-51.

- Ho, T. T. K., Le, T. H., Tran, C. S., Nguyen, P. T., Thai, V. N., & Bui, X. T. (2022). Compost to improve sustainable soil cultivation and crop productivity. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, 100211. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100211>.
- Indriani, Y. H. (2011). *Membuat Kompos Secara Kilat*. Penebar Swadaya Grup.
- Jaya, J. D., Nuryati, N., & Ramadhani, R. (2014). Optimasi produksi pupuk kompos tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan aplikasinya pada tanaman. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 1(1), 01-08. <https://doi.org/10.34128/jtai.v1i1.24>.
- Jumar & Saputra, R.A. (2021). *Kompos Limbah Pertanian untuk Meningkatkan Produksi Padi di Lahan Sulfat Masam: Kompos Limbah Pertanian dan Pengolahannya*. CV Banyubening Cipta Sejahtera.
- Juo, A. S. R. (1978). Selected methods for soil and plant analysis. Manual series, No. 1. IITA (International Institute of Tropical Agriculture).
- Kurnia, V. C., Sumiyati, S., & Samudro, G. (2017). Pengaruh kadar air terhadap hasil pengomposan sampah organik dengan metode open windrow. *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*, 6(2), 119-123. <http://dx.doi.org/10.22441/jtm.v6i2.1191>.
- Latifah, S., Tobing, C. M., dan Martial, T. (2014). *Pupuk Organik Kompos Memanfaatkan Limbah Lingkungan Sekitar*. CV Kiswatech.
- Lestari, D., & Sembiring, E. (2013). *Komposting dan Fermentasi Tandan Kosong Kelapa Sawit*. Program Studi Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Bandung.
- Lestari, R. J., Okalia, D., & Ezward, C. (2020). Analisis kandungan P, K, Ca, dan Mg pada pengomposan tritankos (Triko Tandan Kosong) yang diperkaya kotoran sapi. *Green Swarnadwipa: Jurnal Pengembangan Ilmu Pertanian*, 9(1), 93-101.
- Miller, R. O. & Horneck, D. A. (1997). *In Plant Tissue. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. CRC Press.
- Muhammad, T. A., Zaman, B., & Purwono, P. (2017). Pengaruh penambahan pupuk kotoran kambing terhadap hasil pengomposan daun kering di TPST UNDIP. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(3), 1-12.
- Neves, A. C., da Costa, P., e Silva, C. A. D. O., Pereira, F. R., & Mol, M. P. G. (2021). Analytical methods comparison for pH determination of composting process from green wastes. *Environmental Engineering and Management Journal*, 20(1), 133-139.
- Nur, T., Noor, A. R., & Elma, M. (2016). Pembuatan pupuk organik cair dari sampah organik rumah tangga dengan bioaktivator EM4 (*Effective microorganisms*). *Konversi*, 5(2), 44-51. <http://dx.doi.org/10.20527/k.v5i2.4766>.
- Nurhayati, C., & Andayani, O. (2016). Pengaruh lumpur aktif cair dari pabrik crumb rubber sebagai dekomposer pupuk organik dari kotoran ayam dan tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 27(1), 19-29. <https://dx.doi.org/10.28959/jdpi.v27i1.705>.
- Okalia, D., Nopsagiarti, T., & Ezward, C. (2018). Pengaruh ukuran cacahan tandan kosong kelapa sawit terhadap karakteristik fisik kompos tritankos (triko tandan kosong). *Jurnal Agroqua: Media Informasi Agronomi dan Budidaya Perairan*, 16(2), 132-142. <https://doi.org/10.32663/ja.v16i2.523>.

- Pangestu, E., Achmadi, J., Wahyono, F., & Nuswantara, L. K. (2009). Karakteristik Daya Ikat Serat Dari Beberapa Bahan Pakan Hasil Samping Agroindustri Terhadap Kalsium (*Characteristic of Binding Capacity of Fiber Sources from Some Agroindustry Byproduct*). In *Prosiding Seminar Nasional Kebangkitan Peternakan 20 Mei* (pp. 1-9).
- Pitoyo. (2016). Pengomposan Pelepah Daun Salak dengan Berbagai Macam Aktivator. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Praevia, M. F., & Widayat, W. (2022). Analisis pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit sebagai cofiring pada PLTU Batubara. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 3(1), 28-37. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13367>.
- Putra, I. A., & Hanum, H. (2018). Kajian antagonisme hara K, Ca Dan Mg pada tanah Inceptisol yang diaplikasi pupuk kandang, dolomit dan pupuk KCl terhadap pertumbuhan jagung manis (*Zea mays saccharata L.*). *Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology*, 4(1), 23-44. <http://dx.doi.org/10.22373/ekw.v4i1.2751>.
- Puspitasari, Y., Suriyanti, S., & Nontji, M. (2022). Lama fermentasi dan volume *effective microorganism-4* (EM4) dalam pembuatan pupuk organik padat berbahan dasar serbuk gergaji kayu dan kotoran ayam. *AGrotekMAS Jurnal Indonesia: Jurnal Ilmu Peranian*, 3(2), 124-135.
- Rahmadanti, M. S., Pramana, A., Okalia, D., & Wahyudi, W. (2019). Uji karakteristik kompos (pH, Tekstur, Bau) pada berbagai kombinasi tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan kotoran sapi menggunakan mikroorganisme selulolitik (MOS). *Jurnal Ilmiah Teknosains*, 5(2), 105-112. <https://doi.org/10.26877/jitek.v5i2.4717>.
- Rahmawati, L. (2017). Kandungan unsur hara kompos berbahan dasar tandan kosong kelapa sawit (TKKS). *AGRISAINS*, 3(2), 38-41.
- Raun, W. R., Olson, R. A., Sander, D. H., & Westerman, R. L. (1987). Alternative procedure for total phosphorus determination in plant tissue. *Communications in soil science and plant analysis*, 18(5), 543-557. <https://doi.org/10.1080/00103628709367840>.
- Rijal, M., & Surati. (2020). *Pakan Unggas Dari Limbah Organik*. LP2M IAIN Ambon.
- Ruhaimah, R., Asmar, A., & Harianti, M. (2009). Efek sisa asam humat dari kompos jerami padi dan pengelolaan air dalam mengurangi keracunan besi (Fe) tanah sawah bukaan baru terhadap produksi padi. *Jurnal Solum*, 6(1), 1-13.
- Sahwan, F. L. (2010). Kualitas produk kompos dan karakteristik proses pengomposan sampah kota tanpa pemilahan awal. *Jurnal teknologi lingkungan*, 11(1), 79-85. <https://doi.org/10.29122/jtl.v11i1.1225>.
- Santoso, U., Gazali, A., Mahreda, E. S., & Wahdah, R. (2021). Application of livestock manure and edamame harvest waste to improve the chemical properties of acid dry land. *International Journal of Biosciences*, 19(4), 41-52. <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/19.4.41-52>.
- Saputra, R. A., & Sari, N. N. (2021). Ameliorant engineering to elevate soil pH, growth, and productivity of paddy on peat and tidal land. In *IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science*, 648(012183). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/648/1/012183>.
- Setyorini, D., Saraswati, R., & Anwar, E. K. (2006). *Kompos. Dalam Buku Pupuk Organik dan Hayati*. Balai Penelitian Tanah. BBSDLP-Badan Litbang Pertanian.

- Shamsuddin, J., Jamilah, I., & Ogunwale, J. A. (1994). Organic carbon determination in acid sulphate soils. *J. Trop. Agric. Sci*, 17(3), 197-200.
- Sitio, Y. O. S. E. P. H., Wijana, G. E. D. E., & Raka, I. G. N. (2015). Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit dan pupuk nitrogen sebagai substitusi top soil terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) periode pre nursery. *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 4(4), 264-273.
- SNI-19-7030-2004. (2004). *Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik*. Badan Standarisasi Nasional.
- Sofa, N., Hatta, G. M., & Arifin, Y. F. (2022). Analisis kompos berbahan dasar Sampah organik di lingkungan kampus dengan aktivator EM4, kotoran sapi dan kotoran unggas dalam upaya mendukung gerakan kampus hijau. *Jurnal Hutan Tropis*, 10(1), 70-80. <http://dx.doi.org/10.20527/jht.v10i1.13090>.
- Sopa, S. M., Fajarfika, R., Nurdiana, D., & Rismayanti, A. Y. (2021). Pemberian berbagai dosis kompos tandan kosong dan abu boiler limbah kelapa sawit terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.). *JAGROS: Jurnal Agroteknologi dan Sains (Journal of Agrotechnology Science)*, 6(1), 12-29. <http://dx.doi.org/10.52434/jagros.v6i1.1616>.
- Sucipto, S., Andriyanto, T., Nadliroh, K., Indrajaya, D., & Mustofa, M. A. (2019). Pelatihan pengemasan dan penyuluhan pembuatan pupuk kompos: Desa Pusharang. *Jurnal Terapan Abdimas*, 4(1), 13-16. <http://doi.org/10.25273/jta.v4i1.3801>.
- Suherman, I., Awaluddin, A., & Itnawita, I. (2014). Analisis kualitas kompos dari campuran tandan kosong kelapa sawit dengan kotoran ayam menggunakan limbah cair pabrik kelapa sawit dan EM-4. *Jurnal Online Mahasiswa FMIPA*, 1(2), 195-204.
- Ure, A. M., Quevauviller, P. H., Muntau, H., & Griepink, B. (1993). Speciation of heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the Commission of the European Communities. *International journal of environmental analytical chemistry*, 51(1-4), 135-151. <https://doi.org/10.1080/03067319308027619>.
- Wahyono, S., & Sahwan, F.L. (2010). Standarisasi kompos berbahan baku sampah kota. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 6(3), 223 - 233. <https://doi.org/10.29122/jrl.v6i3.1936>.
- Widiyani, T., Listyawati, S., Herawati, E., Budiharjo, A., & Astirin, O. P. (2022). Pengolahan kotoran gajah taman satwa taru jurug surakarta menjadi pupuk organik. *Prosiding Konferensi Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat dan Corporate Social Responsibility (PKM-CSR)*, 5, 1-10. <https://doi.org/10.37695/pkmcsr.v5i0.1554>.
- Wijaya, K. (2010). Pengaruh konsentrasi dan frekuensi pemberian pupuk organik cair hasil perombakan anaerob limbah makanan terhadap pertumbuhan tanaman sawi (*Brassica juncea* L.) [Unpublished undergraduate thesis]. Universitas Sebelas Maret.
- Wawan. (2020). *Buku Ajar Pengelolaan Bahan Organik*. Universitas Riau Press.