

# **RAPID MEASUREMENT SYSTEM HASIL FERMENTASI PUPUK ORGANIK PADAT (POP) BERBASIS NPK SENSOR DAN MODEL REGRESI LINIER**

**Tri Wahyu Saputra<sup>\*</sup>, Yagus Wijayanto, Arthur Frans Cesar Regar, Suci Ristiyana,  
Ika Purnamasari**

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember

Email: tw.saputra@unej.ac.id

## **ABSTRAK**

Kualitas pupuk organik padat (POP) perlu diperhatikan agar efektif saat diaplikasikan dengan indikator utama berupa unsur N (Nitrogen), P (Fosfor), K (Kalium), dan C-Organik. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan sistem pengukuran pada indikator kualitas pupuk organik padat (POP) sehingga dapat memudahkan analisis kandungan pupuk dan meringankan faktor tenaga maupun biaya. Penelitian ini dimulai dengan membuat pupuk organik dari bahan limbah bekas maggot dan bekas pupa *Black Soldier Fly* (BSF) yang dibagi menjadi 5 variasi dan penggunaan dekomposer *Trichoderma* sp. dan EM4 yang dibagi menjadi 2 variasi. Selanjutnya, mengukur nilai N, P, K menggunakan NPK Sensor dan analisis laboratorium. Data hasil laboratorium akan dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT). Hasil pembacaan sensor akan dibandingkan dengan hasil laboratorium dan dibuat model regresi untuk membuat persamaan matematis. Tingkat akurasi model regresi diuji dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) dan *Mean Percentage Error* (MAPE). Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada kandungan pupuk dan hasil terbaik pada bahan dasar bekas pupa dengan dekomposer terbaik menggunakan *Trichoderma* sp. Kombinasi bahan bekas maggot tidak meningkatkan kualitas namun dapat menjadi alternatif untuk pemanfaatan limbah BSF. Persamaan matematis mampu memprediksi nilai kadar N, P, K, dan C organik dengan keakuratan di atas 70%. Hal ini menunjukkan NPK sensor dapat menjadi alternatif dalam mengukur kandungan pupuk secara mudah, cepat, dan akurat.

Kata kunci—Pupuk organik padat; kualitas; sensor; regresi

## **PENDAHULUAN**

Ketergantungan penggunaan pupuk kimia berpengaruh terhadap turunnya tingkat kesuburan lahan pertanian dan salah satu cara menanggulangnya adalah dengan memberikan pupuk organik (Itelima *et al.*, 2018). Pupuk organik dibuat melalui proses dekomposisi dengan berbagai jenis bahan yang akan memperkaya nutrisi untuk tanaman sehingga meningkatkan produktifitas tanaman (Chew *et al.*, 2019). Pupuk organik berasal dari sisa biomassa yang mengalami dekomposisi dalam jangka waktu tertentu melalui proses fermentasi (Ali *et al.*, 2018). Proses fermentasi melibatkan aktivitas mikroba dan mesofauna yang terjadi secara anaerob. Proses fermentasi secara anaerob merupakan proses penguraian bahan organik yang tidak memerlukan oksigen dan menghasilkan  $CO_2$ ,  $CH_4$ , serta beberapa senyawa intermediet (Saraswati *et al.*, 2017). Indikator utama kualitas pupuk organik khususnya pupuk organik padat adalah nilai N, P, K, pH, C/N rasio, dan kadar air (Sarpong *et al.*, 2019). Proses perubahan indikator kualitas ini berlaku secara bertahap dan memakan waktu sekitar 14-21 hari tergantung jenis bahan yang diproses (Naben *et al.*, 2022).

Sistem pengukuran di bidang pertanian terus dikembangkan dengan tujuan untuk mendapatkan sebuah informasi pada sebuah keadaan atau kondisi tertentu sehingga dapat membantu tugas manusia (Mustar & Wiyagi, 2017). Sistem pengukuran berkembang seiring perkembangan sensor yang telah mampu mengukur berbagai parameter (Kurniawan *et al.*, 2020). Sensor merupakan komponen yang digunakan untuk pengamatan suatu rangsangan dan mengubahnya ke bentuk isyarat sehingga didapat data pengukuran (Meng *et al.*, 2014).

Sebagian sensor telah mampu mengukur nilai sinyal dan mengubah secara otomatis sesuai nilai sebenarnya namun sebagian perubahan nilai sinyal membutuhkan model matematis. Perubahan nilai atau sering disebut dengan kalibrasi karena meningkatkan nilai akurasi dengan nilai pembacaan yang sebenarnya berdasarkan nilai ADC. Terlebih pada sensor analog, akan lebih sulit dalam mencocokkan fitur-fitur yang diekstraksi dari berbagai sensor yang berbeda (Novita *et al.*, 2021). Model matematis juga digunakan untuk memprediksi nilai observasi yang tidak diukur secara langsung dengan instrumen

yang tersedia. Hal ini terjadi karena kendala biaya, waktu, tenaga, dan kendala lainnya yang tidak memungkinkan bagi peneliti (Saputra *et al.*, 2022).

Salah satu kendala yang berkaitan pada pengukuran adalah perlu adanya analisis laboratorium untuk mendapatkan data yang diinginkan. Pengukuran nilai nutrisi pupuk organik padat (POP) juga menyaratkan analisis laboratorium yang akan menyulitkan pengukuran apabila jumlah sampel semakin bertambah (Suryandari & Hapsari, 2020). Prediksi nilai nutrisi POP menggunakan model matematis berbasis nilai observasi sebagai acuan dapat menjadi salah satu solusi untuk mengatasi kesulitan dalam pengukuran. Pencocokan fitur-fitur yang diekstraksi tersebut dapat dikaji menggunakan model regresi (Amri & Sumiharto, 2019). Model regresi merupakan suatu model matematis yang menggambarkan hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat melalui analisis statistik (Selvan & Balasundaram, 2021). Model prediksi berupa model matematis yang diolah dari hasil regresi akan mendukung hasil pengukuran sehingga dapat dikembangkan sistem pengukuran nutrisi pupuk organik padat secara mudah, cepat, dan akurat.

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah mengembangkan sistem pengukur indikator kualitas pupuk organik padat (POP) berbasis sensor dan model regresi untuk memprediksi sehingga pengukuran indikator dapat dilakukan dengan mudah, cepat, dan akurat. Penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk penerapan teknologi tepat guna untuk pengembangan sistem monitoring dalam pertanian yang berkaitan dengan sistem pertanian berkelanjutan, pertanian organik, pertanian presisi, sistem kontrol, dan sistem pendukung keputusan. Keberhasilan penelitian ini dapat menjadi input dalam penelitian *rapid measurement system* nutrisi tanah di bidang pertanian

## METODOLOGI PENELITIAN

### A. Pembuatan Pupuk Organik padat (POP)

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah rancangan acak lengkap (RAL) dengan 2 perlakuan yang terdiri dari 5 variasi bahan dasar (B), 2 variasi dekomposer (P) dan masing-masing diulang sebanyak 3 kali sehingga memiliki 30 satuan percobaan. Variasi Penelitian disusun sebagai berikut :

- B1 = Bekas maggot (Kasgot)
- B2 = Bekas pupa
- B3 = Kombinasi bekas maggot + Bekas pupa (1:1)
- B4 = Kombinasi bekas maggot + Bekas pupa (1:2)
- B5 = Kombinasi bekas maggot + Bekas pupa (2:1)
- P1 = *Trichoderma sp*
- P2 = EM-4

Pembuatan pupuk dimulai dengan mencampurkan bahan yang dibutuhkan, bahan sumber karbohidrat, dan sumber bahan gula. Bahan berupa dedak dengan takaran 1,25 kg dan gula merah dengan takaran 0,25 kg per unit percobaan. Selanjutnya, campuran bahan akan diberi dekomposer untuk proses fermentasi selama 14 hari.

### B. Analisis Kandungan Pupuk Organik Padat (POP)

#### 1. Analisis Laboratorium

Pengukuran indikator kualitas Pupuk Organik Padat (POP) dilakukan di laboratorium untuk mengetahui kualitas POP yang dihasilkan Variabel pengamatan yang diukur dan akan dibandingkan nilainya dengan hasil pembacaan sensor adalah :

1. Hasil Uji Kadar Nitrogen (N)
2. Hasil Uji Kadar Fosfor (P)
3. Hasil Uji Kadar Kalium (K)
4. Analisis kadar C (karbon) Organik

#### 2. Analisis Statistik

Analisis yang dilakukan adalah uji Anova dua arah pada tiap kandungan POP yang dibuat dengan tingkat signifikansi sebesar 95%. Apabila terdapat perbedaan yang signifikan pada hasil analisis ANOVA maka dilanjutkan ke analisis DMRT (*Duncan Multiple Range Test*). Notasi huruf tertinggi merupakan perlakuan terbaik dan menjadi rekomendasi dalam pembuatan pupuk organik selanjutnya.

### 3. Pengembangan Model Regresi Pengukuran Kualitas Pupuk Organik Padat (POP)

#### a. Uji Sensor Terhadap Kualitas Pupuk Organik Padat (POP)

Pengukuran indikator kualitas pupuk menggunakan tiga sensor yang khusus mengukur satu unsur. Sensor yang digunakan adalah NPK Sensor seperti pada Gambar 1. Pengukuran kualitas pupuk dilakukan sebanyak tiga kali tiap unit percobaan pada posisi sensor yang berbeda. Langkah selanjutnya adalah merata-ratakan nilai hasil pengukuran sensor sebagai data untuk keperluan regresi.



Gambar 1. NPK Sensor

#### b. Pembuatan Model Regresi Berdasarkan Pengukuran Sensor

Model regresi merupakan salah satu teknik analisis data untuk mengkaji hubungan antara beberapa variabel sehingga dapat memprediksi suatu variabel. Jika yang dikaji adalah hubungan satu variabel bebas terhadap variabel terikat, maka model regresinya adalah regresi linier sederhana. Jika yang dikaji adalah hubungan lebih dari satu variabel bebas terhadap variabel terikat, maka model regresinya adalah regresi linier berganda. Bentuk model regresi sederhana dapat dilihat pada Persamaan 1 dan regresi berganda pada Persamaan 2.

$$y = ax + k \dots\dots\dots (1)$$

keterangan:

- y = nilai variabel terikat
- x = variabel bebas
- a = nilai koefisien
- k = nilai konstanta

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots\dots\dots + a_nx_n + k \dots\dots\dots (2)$$

keterangan:

- y = nilai variabel terikat
- x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub> sampai x<sub>n</sub> = variabel bebas
- a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> sampai a<sub>n</sub> = nilai koefisien
- k = nilai konstanta

Penelitian dilanjutkan dengan membuat model regresi untuk kalibrasi hasil pengukuran. Ada beberapa model regresi yang akan dibuat dalam penelitian ini yaitu :

1. Model regresi antara nilai pengukuran sensor (sebagai variabel bebas) dengan hasil uji laboratorium untuk nilai N (nitrogen), P (fosfor), N (kalium).
2. Model regresi antara nilai pengukuran sensor N, P, dan K (sebagai variabel bebas) dengan hasil uji laboratorium nilai C-organik

#### c. Validasi Model Regresi

Validasi dilakukan dengan beberapa parameter yaitu koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) dan uji akurasi untuk mengukur kehandalan model regresi yang dibuat. Adapun persamaan yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan 3 dan Persamaan 4.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$Akurasi = 100\% - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right] \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

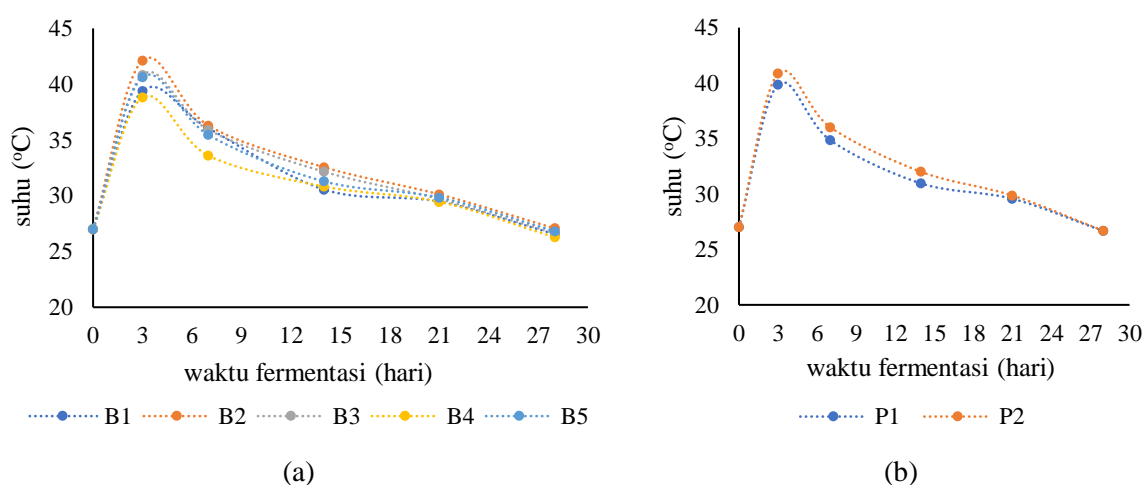
keterangan:

- $y_i$  = nilai observasi pada i
- $\hat{y}_i$  = nilai prediksi pada i
- $\bar{y}_i$  = nilai rata-rata observasi

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Pembuatan dan Analisis Pupuk Organik Padat

Pupuk organik padat yang dibuat telah difermentasi selama 28 hari dan selama proses dilakukan pengukuran suhu untuk mengetahui aktivitas mikroba dalam mendekomposisi bahan organik (Ratna *et al.*, 2017). Pada Gambar 2 dapat diamati bahwa suhu pupuk meningkat secara drastis pada hari ketiga pada kisaran 38 sampai 42 °C lalu berangsur-angsur menurun sampai mendekati suhu lingkungan pada akhir fermentasi. Apabila suhu pupuk telah mencapai suhu lingkungan maka proses dekomposisi bahan organik telah selesai dan pupuk siap untuk diaplikasikan (Fangohoi & Wandansari, 2017).



Gambar 2. Grafik Suhu Selama Proses Fermentasi : (a) Variasi Bahan Dasar dan (b) Variasi Dekomposer

Pupuk organik padat diuji kandungan N, P, K, dan C organiknya untuk mengetahui kualitas pupuk yang dihasilkan dan diuji secara statistik untuk melihat adanya pengaruh dari variasi yang digunakan. Tabel 1 menunjukkan hasil *Analysis of variance* pada tingkat signifikansi 95% dan 99% sedangkan Gambar 3 dan 4 menunjukkan hasil analisis DMRT (*Duncan Multiple Range Test*).

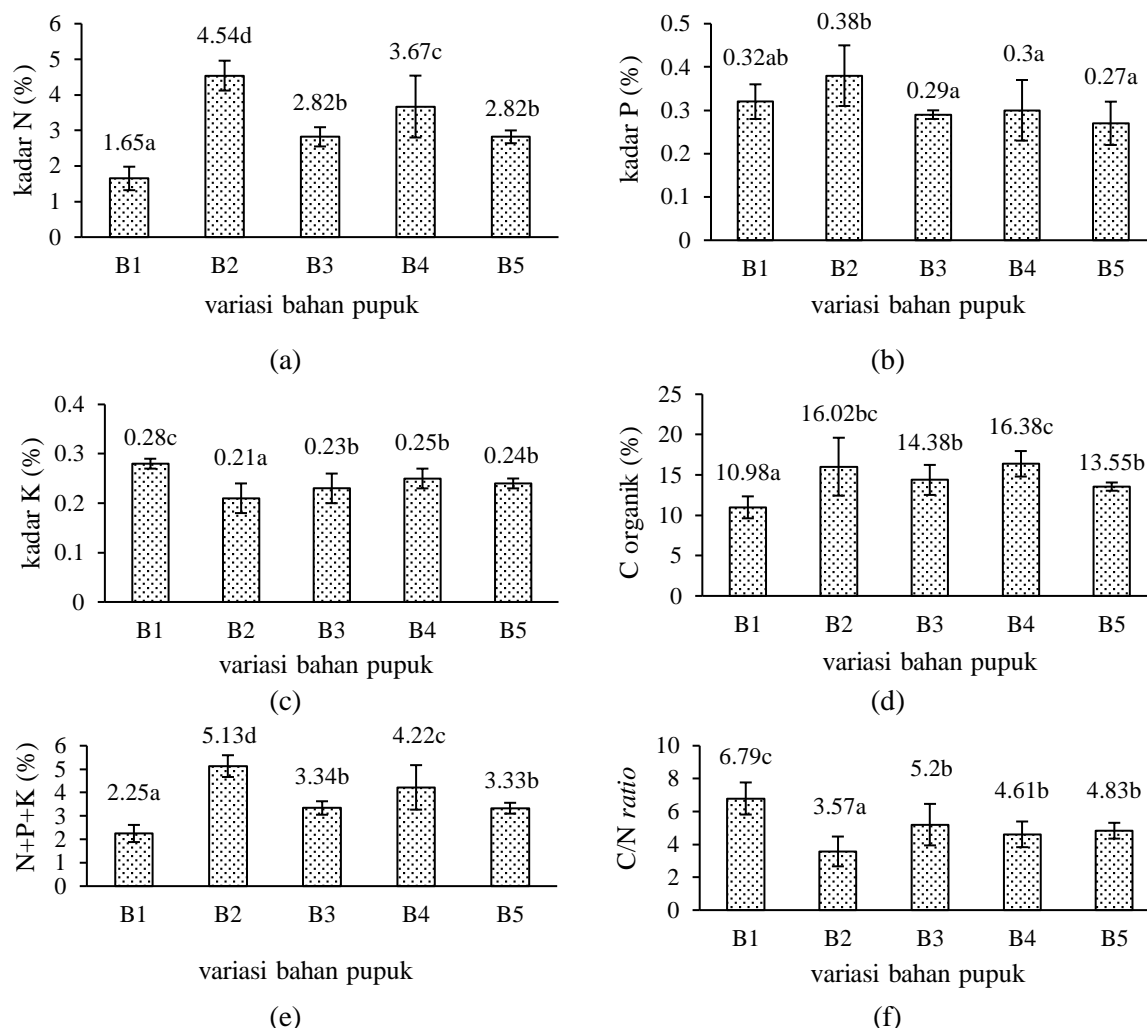
Tabel 1. Hasil *Analysis of variance* pada Kandungan Pupuk Organik

No	Variabel Pengamatan	Nilai F-Hitung		
		Bahan dasar (B)	Dekomposer (P)	Interaksi (B×P)
1.	Kadar N (%)	30,57**	0,41ns	18,89**
2.	Kadar P (%)	4,23**	0,02ns	34,9**
3.	Kadar K (%)	11,04**	1,92ns	11,98**
4.	Kadar C Organik	6,74**	10,76**	7,56**
5.	N + P + K	25**	0,34ns	23,17**
6.	C/N ratio	9,78**	0,37ns	6,96**

Keterangan: \*\* = Berbeda pada tingkat signifikansi 99%, \* = Berbeda pada tingkat signifikansi 95%, ns = tidak berbeda nyata

Secara keseluruhan dapat diamati pada Tabel 1 bahwa perlakuan bahan dasar pembuatan pupuk memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap kadar N, P, K, dan C organik namun tidak untuk variasi dekomposer yang hanya berpengaruh pada kadar C organik. Hasil uji lanjut DMRT menunjukkan bahwa nilai terbaik kandungan pupuk organik berbeda-beda tergantung dari unsur yang diukur. Patokan nilai terbaik dari kandungan pupuk dilihat dari nilai tertinggi (kadar N, kadar P, kadar

K, kadar C Organik, dan total NPK) dan nilai terendah (*C/N ratio*) serta notasi huruf yang diberikan. Nilai tertinggi belum tentu terbaik apabila tidak ada perbedaan yang signifikan antara variasi lainnya.

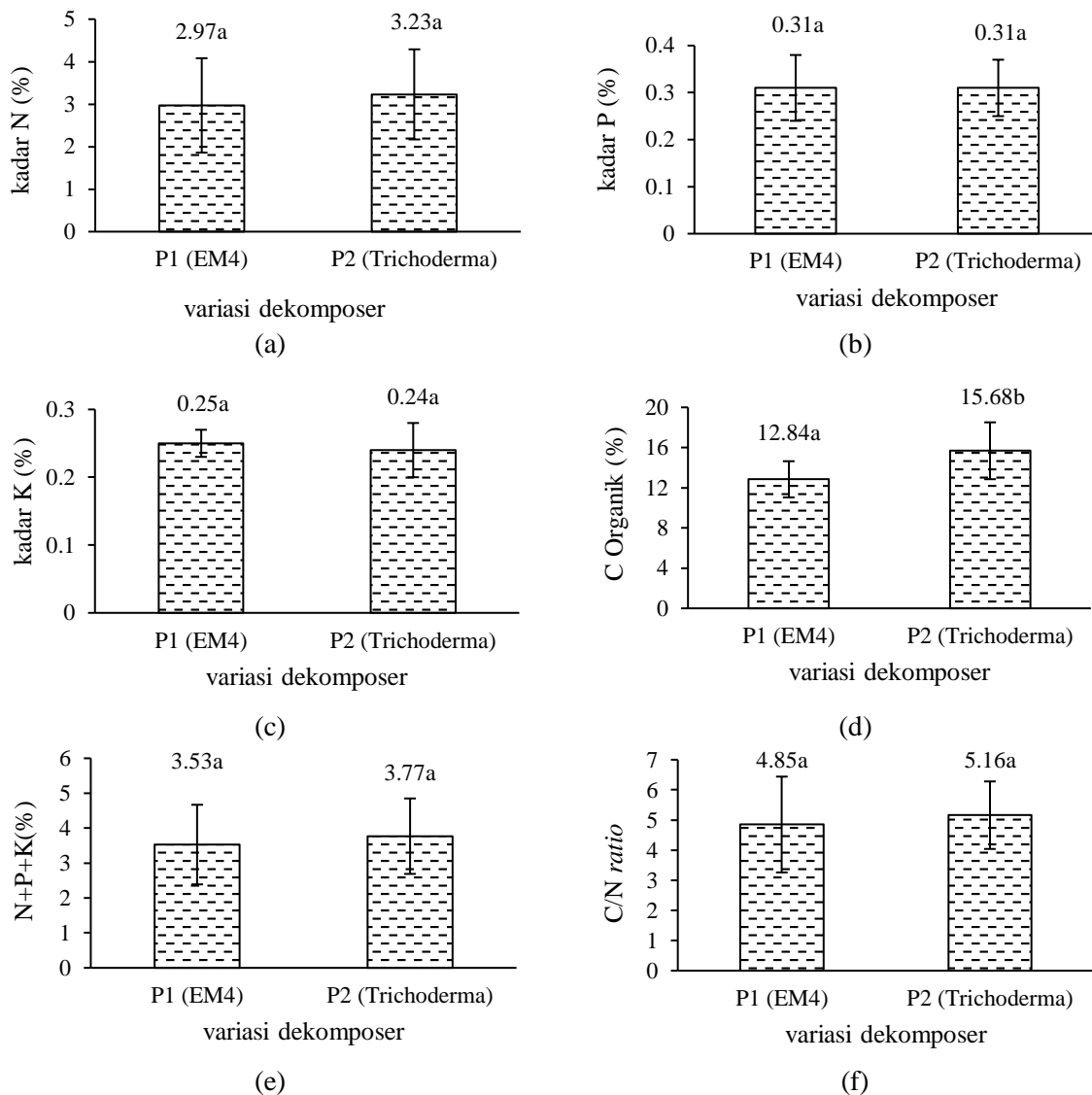


Keterangan : B1 = Bekas maggot (Kasgot) B3 = Kombinasi bekas maggot + Bekas pupa (1:1)  
 B2 = Bekas pupa B4 = Kombinasi bekas maggot + Bekas pupa (1:2)  
 B5 = Kombinasi bekas maggot + Bekas pupa (2:1)

Gambar 3. Grafik parameter kualitas pupuk organik padat : (a) kadar N (%), (b) kadar P (%), (c) kadar K (%), (d) kadar C Organik (%), (e) total NPK (%), dan (f) *C/N ratio* pada variasi bahan pupuk

Berdasarkan Gambar 3 yang dianalisis berbasis variasi bahan dasar, Nilai terbaik pada kadar N dan kadar P terdapat pada bahan dasar bekas pupa (B2) sebesar 4,54% dan 0,38% dan berbeda nyata dengan variasi bahan dasar lainnya. Nilai terbaik pada unsur K terdapat pada bahan dasar bekas maggot sebesar 0,28% sedangkan nilai terbaik pada kadar C organik terdapat pada bahan bekas pupa (B2) dengan nilai sebesar 16,02%. Nilai terbaik pada total NPK dan *C/N ratio* terdapat pada bahan dasar bekas pupa (B2) sebesar 5,13% dan 3,57.

Berdasarkan jenis decomposer (Gambar 4), nilai terbaik pada kadar C organik didapat pada dekomposer *Trichoderma* sp. sebesar 15,68%. Nilai kandungan lain seperti N, P, K, total NPK, dan *C/N ratio* tidak dapat diketahui variasi yang terbaik karena tidak berbeda nyata dan memiliki notasi huruf yang sama pada tiap variasi. Selanjutnya, seperti yang ditampilkan pada Tabel 1 bahwa interaksi antara bahan dasar dan jenis decomposer memberikan perbedaan yang sangat signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pemakaian dua perlakuan secara bersama-sama dalam aplikasi pembuatan pupuk dapat menjadi rekomendasi. Pemakaian bahan dasar terbaik dan jenis decomposer terbaik berdasarkan hasil analisis statistik juga akan memberikan pengaruh pada kualitas pupuk organik padat yang terbaik pula.



Gambar 4. Grafik parameter kualitas pupuk organik padat : (a) kadar N (%), (b) kadar P (%), (c) kadar K (%), (d) kadar C Organik (%), (e) total NPK (%), dan (f) C/N ratio pada variasi dekomposer

Kandungan yang dimiliki pupuk organik sangat mempengaruhi kualitas pupuk organik yang dihasilkan. Produksi POP harus sesuai dengan kriteria-kriteria yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Standar pupuk organik di Indonesia telah diatur dalam Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang persyaratan pupuk organik, pupuk hayati, dan pembenah tanah. Adapun Standar kualitas pupuk organik padat tersebut dibandingkan dengan kandungan dari pupuk yang dihasilkan dalam penelitian ini. Standar yang dibandingkan berfokus pada nilai C Organik, C/N ratio, dan kandungan hara makro (N + P + K) dengan nilai standar mutu untuk C-Organik minimal sebesar 15%, C/N ratio harus di bawah 25, dan kandungan hara makro minimal sebesar 2%.

Nilai kandungan pupuk terbaik pada variasi bahan terdapat pada bahan dasar bekas pupa (B2) karena memiliki nilai C-organik sebesar 16,02% karena lebih besar dari 15%, nilai total NPK terbesar yaitu 5,13% dan lebih tinggi dari standar minimum 2%, dan nilai C/N ratio terendah sebesar 3,57 dan lebih kecil dari standar maksimal 25. Jenis dekomposer terbaik terdapat pada *Trichoderma* sp. karena memiliki nilai C organik sebesar 15,68% dan lebih besar dari standar minimum 15%. Hasil penelitian menjelaskan bahwa kombinasi bahan bekas maggot tidak meningkatkan kualitas pupuk organik namun dapat menjadi langkah alternatif untuk pemanfaatan limbah budidaya *Black Soldier Fly* (BSF).

## B. Hasil Pengukuran dan Analisis NPK Sensor

Hasil pengukuran NPK sensor dianalisis dengan uji korelasi untuk mengetahui kekuatan hubungan antara nilai sensor dengan nilai hasil uji laboratorium. Tabel 2 menunjukkan nilai korelasi untuk kadar N, P, dan K. Hasil tersebut menunjukkan hubungan yang rendah sampai sedang berdasarkan kategori nilai korelasi (Sugiyono, 2007). Selain itu, hasil uji korelasi menunjukkan hubungan berbanding terbalik yang ditandai dengan angka minus. Hal ini menunjukkan peningkatan nilai N dan P pada hasil uji laboratorium menurunkan nilai N dan P pada hasil uji sensor. Uji korelasi menunjukkan bahwa sensor belum dapat digunakan untuk memprediksi nilai hasil uji laboratorium.

Tabel 2. Keterangan Nilai Koefisien Korelasi

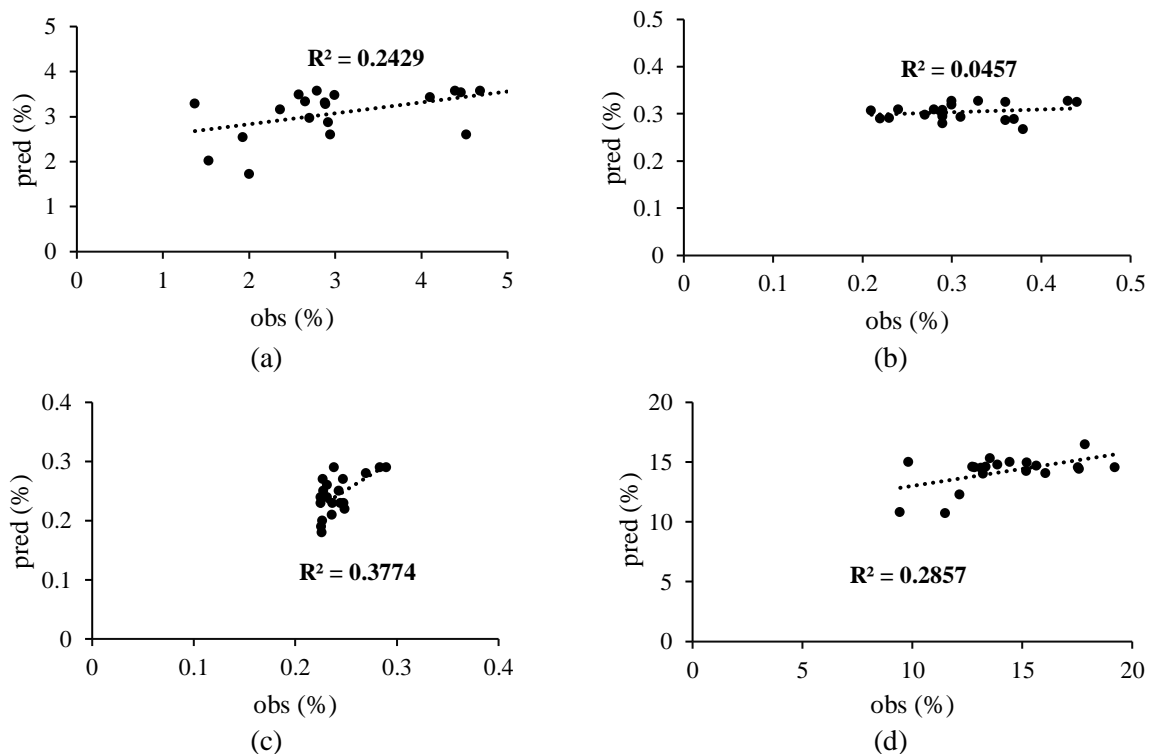
No	Nilai warna	Nilai korelasi	kategori
1	Kadar N (%)	-0,59	Sedang
2	Kadar P (%)	-0,23	Lemah
3	Kadar K (%)	0,57	Sedang

Data yang didapatkan dari sensor dikembangkan dengan tipe regresi linier baik regresi linier sederhana maupun regresi linier berganda. Model regresi dibuat dari grafik *scatter* dengan nilai x (variabel bebas) yaitu nilai sensor versus nilai y (variabel terikat) yaitu nilai uji laboratorium. Tiap unsur dibuat dua grafik yaitu grafik pelatihan dan grafik pengujian seperti pada Gambar 5 dan Gambar 6.

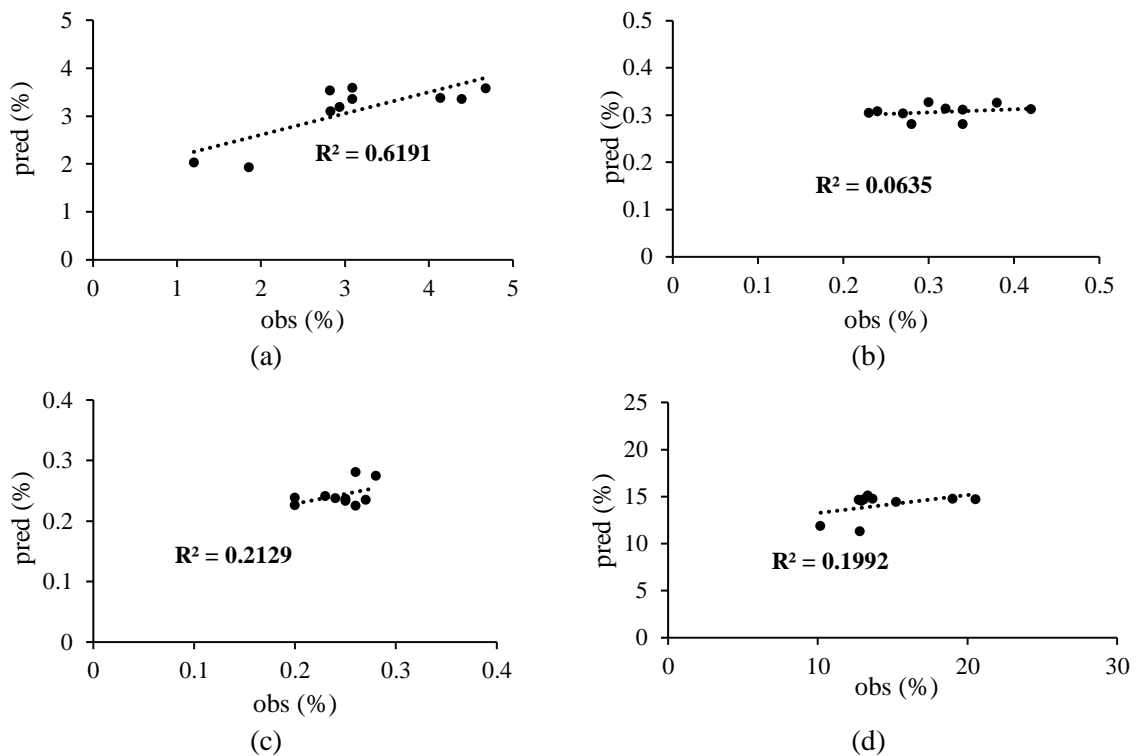
Tabel 3. Persamaan Matematis Regresi Linier

No	Nilai warna	Persamaan matematis	R <sup>2</sup>
1	Kadar N (%)	$y = -0,0037x_1 + 3,6052$	0,25
2	Kadar P (%)	$y = -0,0002x_2 + 0,3285$	0,05
3	Kadar K (%)	$y = 0,00004x_3 + 0,2247$	0,38
4	Kadar C-organik (%)	$y = -0,006x_1 + 0,015x_2 + -0,003x_3 + 14,626$	0,29

Keterangan:  $x_1$  = nilai sensor N;  $x_2$  = nilai sensor P,  $x_3$  = nilai sensor K



Gambar 5. Grafik nilai observasi vs prediksi pada pelatihan model regresi pengukuran kandungan pupuk organik padat : (a) kadar N (%), (b) kadar P (%), (c) kadar K (%), dan (d) kadar C Organik (%)



Gambar 6. Grafik nilai observasi vs prediksi pada pengujian model regresi pengukuran kandungan pupuk organik padat : (a) kadar N (%), (b) kadar P (%), (c) kadar K (%), dan (d) kadar C Organik (%)

Persamaan matematis yang didapatkan dari hasil regresi seperti pada Tabel 3 akan digunakan untuk mengkalkulasi nilai prediksi sedangkan kinerja model regresi ditunjukkan dengan tingginya akurasi dan nilai  $R^2$  terbesar seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Akurasi Pengukuran Sensor NPK

No	Variabel pengamatan	Tahapan	MAPE (%)	Akurasi (%)	$R^2$	Kategori akurasi
1.	Kadar N (%)	Pelatihan	28,2	71,8	0,24	Cukup akurat
		pengujian	20,6	79,4	0,62	Cukup akurat
2.	Kadar P (%)	Pelatihan	16,2	83,8	0,05	Akurat
		pengujian	15,0	85,0	0,06	Akurat
3.	Kadar K (%)	Pelatihan	9,1	90,9	0,38	Sangat akurat
		pengujian	8,6	91,4	0,21	Sangat akurat
4.	Kadar C Organik (%)	Pelatihan	12,3	87,7	0,29	Akurat
		pengujian	14,6	85,4	0,20	akurat

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai  $R^2$  (koefisien determinasi) yang kecil karena berkisar antara 0,05 sampai 0,6 menunjukkan hubungan antara nilai observasi dan nilai prediksi yang dibuat belum sesuai dengan standar keakurasian. Hal ini tidak sepadan dengan beberapa penelitian terkait sensor kualitas kandungan yang memiliki nilai koefisien determinasi lebih tinggi apabila dilakukan komparasi. Pada penelitian yang menggambarkan nilai NPK pupuk dengan sensor *Electrical Conductivity* (EC) pada tanah pertanian menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0,90 sampai 0,96 atau koefisien determinasi sebesar 0,81 sampai 0,92 (Phong *et al.*, 2021). Selain itu, penelitian sistem multisensor digunakan untuk penentuan kadar N, P dan K dalam ekstrak air tanah menghasilkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,69 hingga 0,96 atau koefisien determinasi sebesar 0,47 sampai 0,92 (Khaydukova *et al.*, 2021).

Berbeda halnya dengan hasil uji  $R^2$  yang masih kecil, nilai akurasi yang didapatkan proses pelatihan model dan pengujian model termasuk tinggi. Nilai akurasi yang dihitung dari 100-MAPE pada



hasil pelatihan dan pengujian model menunjukkan nilai akurasi terendah pada sensor Nitrogen (70-80%) sedangkan nilai akurasi tertinggi pada sensor Kalium (90-100%). Secara umum, interpretasi nilai akurasi yang diprediksi menunjukkan kategori cukup akurat sampai sangat akurat karena nilainya berada pada rentang 70-100% (Lewis, 1982).

### KESIMPULAN

Pupuk organik padat (POP) yang dihasilkan memiliki perbedaan yang signifikan pada kandungannya khususnya pada parameter N, P, K, dan C organik berdasarkan variasi bahan dasar dan jenis dekomposer. Nilai kandungan pupuk terbaik pada variasi bahan terdapat pada bahan dasar bekas pupa (B2) karena memiliki nilai C-organik sebesar 16,02%, nilai total NPK terbesar yaitu 5,13%, dan nilai C/N *ratio* terendah sebesar 3,57. Jenis dekomposer terbaik terdapat pada *Trichoderma* sp. karena memiliki nilai C organik sebesar 15,68%. Hasil penelitian menjelaskan bahwa kombinasi bahan bekas maggot tidak meningkatkan kualitas pupuk organik namun dapat menjadi langkah alternatif untuk pemanfaatan limbah budidaya *Black Soldier Fly* (BSF).

Model regresi yang dikembangkan telah mampu memprediksi nilai kadar N, P, K, dan C organik dengan kategori cukup sampai sangat akurat. Hal ini dibuktikan dengan nilai akurasi di atas 70% untuk semua hasil pelatihan dan pengujian kandungan pupuk organik padat (POP) walaupun nilai koefisien determinasi yang kecil antara 0,05 sampai 0,6. Hal ini menunjukkan pengembangan sistem pengukuran menggunakan NPK sensor dapat menjadi alternatif dalam mengatasi permasalahan pengujian pupuk di laboratorium secara mudah, cepat, dan akurat.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Jember melalui skema Hibah Penelitian Dosen Pemula dari PNPB tahun 2022 yang telah memberi dukungan finansial sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

### DAFTAR PUSTAKA

- Amri, M. M., & Sumiharto, R. (2019). Sistem Pengukuran Nitrogen, Fosfor, Kalium Dengan Local Binary Pattern Dan Analisis Regresi. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 9(2), 107-118.
- Chew, K. W., Chia, S. R., Yen, H. W., Nomanbhay, S., Ho, Y. C., & Show, P. L. (2019). Transformation of biomass waste into sustainable organic fertilizers. *Sustainability*, 11(8), 2266.
- Fangohoi, L., & Wandansari, N. R. (2017). Pemanfaatan Limbah Blotong Pengolahan Tebu menjadi Pupuk Organik Berkualitas. *Jurnal Triton*, 8(2), 58-67.
- Itelima, J. U., Bang, W. J., Onyimba, I. A., Sila, M. D., & Egbere, O. J. (2018). Bio-fertilizers as key player in enhancing soil fertility and crop productivity: a review. 6(3), 73-83
- Khaydukova, M., Kirsanov, D., Sarkar, S., Mukherjee, S., Ashina, J., Bhattacharyya, N., ... & Legin, A. (2021). One shot evaluation of NPK in soils by "electronic tongue". *Computers and Electronics in Agriculture*, 186, 106208.
- Kurniawan, A., Tri Wahyu Saputra, T. W., Anugerah Ramadan, A. (2020). Sistem Fertigasi Rain Pipe Otomatis Pada Main Nursery Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung Vol*, 9(3), 184-190.
- Lewis, C.D. (1982). Industrial and business forecasting methods. London: Butterworths.
- Meng, X., Kim, S., Puligundla, P., & Ko, S. (2014). Carbon dioxide and oxygen gas sensors-possible application for monitoring quality, freshness, and safety of agricultural and food products with emphasis on importance of analytical signals and their transformation. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 57(6), 723-733.
- Mustar, M. Y., & Wiyagi, R. O. (2017). Implementasi Sistem Monitoring Deteksi Hujan dan Suhu Berbasis Sensor Secara Real Time. *Semesta Teknika*, 20(1), 20-28.
- Naben, A. Y., de Rozari, P., & Suwari, S. (2022). Analisis N, P Dan K Pada Pupuk Organik Cair Dari Feses Sapi Dan Variasi Perbandingan Massa Antara Daun Gamal Dan Daun Lamtoro. In *Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*, 1(1), 108-117.

- Novita, D. D., Sesunan, A. B., Telaumbanua, M., Triyono, S., & Saputra, T. W. (2021). Identifikasi Jenis Kopi Menggunakan Sensor E-Nose Dengan Metode Pembelajaran Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 9(2), 205-217.
- Phong, P. H., Anh, P. B. V., Ha, V. T. T., Hung, L. Q., & Thanh, L. M. (2021). Simulating and monitoring the temporal and spatial transfer of NPK fertilizer in agricultural soils using a mathematical model and multi-channel electrical conductivity measurement. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 374-388.
- Ratna, D. A. P., Samudro, G., & Sumiyati, S. (2017). Pengaruh kadar air terhadap proses pengomposan sampah organik dengan metode takakura. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 124-128.
- Saputra, T. W., Wijayanto, Y., Ristiyana, S., Purnamasari, I., & Muhlison, W. (2022). Non-Destructive Measurement of Rice Amylose Content Based on Image Processing and Artificial Neural Networks (ANN) Model. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 11(2), 231-241.
- Saraswati, R., Heru, R., Tentara, J., No, P., & Barat, J. (2017). Percepatan Proses Pengomposan Aerobik Menggunakan Biodekomposer/Acceleration of Aerobic Composting Process Using Biodecomposer. *Perspektif*, 16 (1), 44– 57.
- Sarpong, D. E., Oduro-Kwarteng, S., Gyasi, S. F., Buamah, R., Donkor, E., Awuah, E., & Baah, M. K. (2019). Biodegradation by composting of municipal organic solid waste into organic fertilizer using the black soldier fly (*Hermetia illucens*)(Diptera: Stratiomyidae) larvae. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(1), 45-54.
- Selvan, C., & Balasundaram, S. R. (2021). Data Analysis in Context-Based Statistical Modeling in Predictive Analytics. In *Handbook of Research on Engineering, Business, and Healthcare Applications of Data Science and Analytics*, 96-114.
- Sugiyono. (2007). *Metode Penelitian administrasi*. Alfabeta, Bandung
- Sulaiman, A. (2019). Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang persyaratan pupuk organik, pupuk hayati, dan pembenah tanah. Jakarta
- Suryandari, N. I., & Hapsari, T. D. (2020). Efisiensi Biaya Produksi Pupuk Organik Padat (POP) Pada PT. Sirtanio Organik Indonesia Di Kabupaten Banyuwangi. *Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, 4(1), 13-25.