

Volume 10, Nomor 1, 2026 ISSN: 2615-2207 /EISSN : 2579-843X

AGROSAINSTEK

Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian



<http://agrosainstek.ubb.ac.id>

AGROSAINSTEK

Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian

Volume 10, Nomor 1, 2026

PISSN : 2615-2207

EISSN : 2579-843X

DAFTAR ISI (CONTENT)

Improving the Quality of Corn Cob Compost Fertilizer with Various Raw Material Compositions <i>Selly Ika Damayanti, Ugik Romadi, Rika Despita</i>	1 – 9
Identifikasi dan Kelimpahan Bakteri Pelarut Fosfat dari Rizosfer Tanaman di Lahan Pasca Tambang Timah <i>Vania Putri, Ismed Inonu, Rahmad Lingga</i>	10 – 20
Identifikasi dan Karakterisasi Fungi Pelarut Fosfat Asal Rizosfer Tanaman di Lahan Pasca Tambang Timah <i>Nabila Fharellia Anjan, Ismed Inonu, Rahmad Lingga</i>	21 – 32
Potensi Bakteri Endofit dari Benih Padi untuk Mengendalikan Penyakit Busuk Bulir Bakteri (<i>Burkholderia glumae</i>) pada Tanaman Padi <i>Mutiara Septu Lestari, Haliatur Rahma, Jumsu Trisno</i>	33 – 41
Efek Eugenol dan Kombinasinya dengan Asam Lemak terhadap Toksisitas dan Aktivitas Enzim pada <i>Spodoptera frugiperda</i> (Lepidoptera: Noctuidae) <i>Lili Amelia, Yusup Hidayat, Danar Dono</i>	42 – 52

Foto sampul : White Hibiscus

Foto oleh : Deni Pratama



AGROSAINSTEK

Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian

Volume 10 ▪ Nomor 1 ▪ 2026

PISSN : 2615-2207

EISSN : 2579-843X

KETUA EDITOR (*EDITOR IN CHIEF*)

Winda Wahyuni, S.P, M.Si (Universitas Bangka Belitung)

ANGGOTA EDITOR (*EDITORIAL BOARD MEMBERS*)

Gigih Ibnu Prayoga, S.P., M.P. (Universitas Bangka Belitung)

Deni Pratama, S.P., M.Si. (Universitas Bangka Belitung)

Ropalia, S.P., M.Si. (Universitas Bangka Belitung)

Herry Marta Saputra, S.P., M.Si. (Universitas Bangka Belitung)

Anggraeni, S.Si., M.Si. (Universitas Bangka Belitung)

Santika Sari, S.P., M.P. (Universitas Padjadjaran)

Yati Setiati, S.P., M.P. (Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati)

Rion Apriyadi S.P., M.Si (Universitas Bangka Belitung)

Dr. Debora Dellaocto Melati Ambarita (Universitas Bangka Belitung)

Gen Adi W., S.P., M.Sc (Universitas Bangka Belitung)

Annisa Hasta Pratiwi, S.P., M.Sc. (Universitas Riau)

Belinda Winona, S.P., M.Sc., Ph.D. (cand.) (Tokyo University of Agriculture and Technology)

Enriski Efrata, S.P., M.Si. (Universitas Riau)

Sitti Nurul Aini, S.P., M.Si (Universitas Bangka Belitung)

Anna Tefa, S.P., M.P (Universitas Timor)

Isnaini, S.P., M.P (Universitas Riau)

Dini Kartini, A.Md. (Universitas Bangka Belitung)

PENERBIT (*PUBLISHER*)

Universitas Bangka Belitung

ALAMAT EDITOR (*EDITORIAL ADDRESS*)

Program Studi Agroteknologi

Jurusan Pertanian

Fakultas Pertanian, Perikanan dan Kelautan, Universitas Bangka Belitung

Gedung Semangat, Kampus Terpadu Balunijuk,

Desa Balunijuk Kecamatan Merawang Kabupaten Bangka

E-mail: agrosainstek@ubb.ac.id

AKREDITASI (*ACCREDITATION*)

Terakreditasi nasional peringkat SINTA 3 berdasarkan SK Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kemendiknas Nomor: 10/C/C3/DT.05.00/2025

MITRA BESTARI (REVIEWERS)

Dr. Tri Lestari, S.P., M.Si. (Universitas Bangka Belitung)
Prof. Dr. Eries Dyah Mustikarini, S.P., M.Si. (Universitas Bangka Belitung)
Nono Carsono, S.P., M.Sc., Ph.D. (Universitas Padjadjaran)
Dr. Sosiawan Nusifera, S.P., M.P. (Universitas Jambi)
Dr. Inanpi Hidayati Sumiasih, S.P., M.Si. (Universitas Trilogi)
Fitri Widiyantini, S.P., M.BtS., Ph.D. (Universitas Padjadjaran)
Budy Frasetya Taufik Qurrohman, S.TP., M.P. (UIN Sunan Gunung Djati)
Jakty Kusuma, S.P., M.P. (Politeknik Negeri Lampung)
Dr. Nyayu Siti Khodijah, S.P., M.Si. (Universitas Bangka Belitung)
Dr. Ihsan Nurkomar, S.P. (Universitas Muhammadiyah Yogyakarta)
Dr. M. Khais Prayoga, S.P., M.P. (Pusat Penelitian Teh dan Kina)
Agustin Zarkani S.P., M.Si., Ph.D. (Universitas Bengkulu)
Sari Intan Kailaku, S.TP, M.Si. (Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian)
Ankardiansyah Pandu Pradana, S.P., M.Si. (Universitas Jember)
Muh. Adiwena, S.P., M.Si. (Universitas Borneo Tarakan)
Dr. Yani Maharani, S.P., M.Si. (Universitas Padjadjaran)
Dr. Nani Ratnaningsih, S.T.P., M.P. (Universitas Negeri Yogyakarta)
Dr. Syarifah Yusra, S.TP., M.Sc. (Universitas Sains Cut Nyak Dhien)
Vira Kusuma Dewi, S.P., M.Sc., Ph.D. (Universitas Padjadjaran)
Hishar Mirsam, S.P., M.Si. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)
Suriani, S.P. M.P. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)
Dr. Kaharuddin, S.P., M.P. (Politeknik Pembangunan Pertanian Gowa)
Dr. Evan Purnama Ramdan, S.P., M.Si (Universitas Gunadarma)



AGROSAINSTEK

Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian

Website jurnal : <http://agrosainstek.ubb.ac.id>

Research Article

Improving the Quality of Corn Cob Compost Fertilizer with Various Raw Material Compositions

Peningkatan Mutu Pupuk Kompos Tongkol Jagung dengan Berbagai Komposisi Bahan Baku

Selly Ika Damayanti¹, Ugik Romadi^{1*}, Rika Despita¹

¹ Sustainable Agricultural Extension Study Program, Malang Agricultural Development Polytechnic, East Java. Jl. Dr. Cipto No. 144 A Bedali, L:awang, Malang 65200

Received: February 19, 2025 /Received in revised : June 10, 2025/ Accepted: May 20, 2026

ABSTRACT

Farmers have not yet utilized corn cobs, one of the agricultural wastes. Corn cobs themselves contain organic material, which can be optimized as an ingredient for making organic fertilizer. However, the habit of farmers when the harvest season arrives is that they burn or pile up corn cobs on their agricultural land. This results in the accumulation of corn cob waste increasing every time the harvest season takes place. Methods to determine the best composition of corn cob compost by testing its effectiveness using various formulations. The research was conducted using a Completely Randomized Design (CRD) with 4 treatments and 6 replications. P1 pure composition of corn cobs, P2 (2:1) corn cobs and cow cohe, P3 (1:2) corn cobs and cow cohe, P4 (1:1) corn cobs and cow cohe. Results In this research, the parameters observed include pH, temperature, macronutrients (N, P, K), C-organic, C/N ratio, color, odor/aroma, and texture. pH and temperature checks are carried out every 3 days in the morning. Laboratory tests are carried out to determine the content of macronutrients (N, P, K), C-organic, and the C/N ratio. Meanwhile, organoleptic tests were carried out on texture and aroma parameters by 3 expert panelists. Conclusion: Based on the results of observations and laboratory tests, the best composition of corn cob compost fertilizer is found in P2 with a composition of cow cobs and kohe (2:1).

Keywords: Improvement Fertilizer Quality, Compost, Corn Cobs

ABSTRAK

Petani belum memanfaatkan tongkol jagung yang merupakan limbah pertanian. Tongkol jagung memiliki kandungan bahan organik yang dapat dioptimalkan menjadi bahan pembuatan pupuk organik. Namun, kebiasaan petani ketika musim panen tiba, mereka membakar atau menumpuk tongkol jagung di lahan pertaniannya. Metode yang digunakan untuk mengetahui mutu pupuk kompos tongkol jagung terbaik, dilakukan kajian tentang peningkatan mutu pupuk kompos tongkol jagung dengan berbagai komposisi bahan baku. Penelitian dilakukan dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) 4 perlakuan dan 6 ulangan. P1 komposisi murni tongkol jagung, P2 (2:1) tongkol jagung dan kohe sapi, P3 (1:2) tongkol jagung dan kohe sapi, P4 (1:1) tongkol jagung dan kohe sapi. Hasil kegiatan kajian terdapat parameter yang diamati yaitu pH, suhu, unsur hara makro (N, P, K), C-Organik, C/N Rasio, Warna, Bau/Aroma, dan Tekstur. Pengecekan pH dilakukan dan suhu dilakukan setiap 3 hari sekali pada pagi hari. Uji laboratorium dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur hara makro (N, P, K), C-Organik, dan C/N Rasio. Sedangkan uji organoleptik dilakukan pada parameter tekstur dan aroma, oleh 3 panelis ahli. Kesimpulan: Berdasarkan hasil uji organoleptik dan uji laboratorium, komposisi pupuk kompostongkol jagung terbaik terdapat pada P2 dengan komposisi tongkol dan kohe sapi (2:1).

Kata kunci: Peningkatan Mutu Pupuk, Pupuk Kompos, Tongkol Jagung

*Korespondensi Penulis

E-mail : ugikromadi13@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v10i1.911>

1. Introduction

The agricultural sector in Indonesia is currently a very important sector in meeting the food needs of its people. However, the problems faced in the agricultural sector today are related to the restriction of subsidized fertilizers. Based on the Regulation of the Ministry of Agriculture No. 10 of 2022, it states that the availability of organic fertilizers, ZA, and SP-36 is currently no longer included in subsidized fertilizers. And it is only focused on 9 commodities, including rice, corn, soybeans, onions, garlic, chili, sugarcane, people's coffee, and cocoa. This results in farmers having to meet their fertilizer needs with non-subsidized fertilizers that are relatively expensive, thus burdening farmers. In addition, farmers' dependence on the use of chemical fertilizers results in land degradation or a decrease in soil fertility quality, as well as physical damage to the soil. Many farmers believe that chemical fertilizers have a more immediate impact on crop yields than organic alternatives. In fact, the use of organic fertilizers is a necessity to maintain the quality of soil fertility, as well as the application of the concept of sustainable agriculture.

Organic fertilizer is a fertilizer derived from the residue of living things, both animals and plants or commonly called organic waste. Organic fertilizer processing can be done by utilizing existing agricultural and livestock waste. This is in line with the UPPO Program (Organic Fertilizer Processing Unit) from the Ministry of Agriculture. Based on the Directorate General of Agricultural Infrastructure and Facilities Number 45.10/KPTS/85.510/11/2022, it is necessary to facilitate the development activities of Organic Fertilizer Processing Units to support the independent provision of organic fertilizers. This needs to be developed in all regions of Indonesia, especially areas that have the majority of potential for food and horticultural commodities.

Rice and corn are one of the leading food commodities in Indonesia. Based on BPS data in 2023, the area of corn land in Indonesia reached 2.48 million ha. From this land area, the production of dry corn cernels reached 14.77 million tons, so that the productivity reached 5.9 tons/ha. According to (Islamiyati *et al.* 2016), from the corn harvest, the percentage of waste produced consists of 50% stalks, 20% cobs, 20% leaves, and 10% corn husks. That corn cobs can be produced up to 1.1 tons/ha. Farmers usually leave the corn cobs as waste after harvesting. Corn cobs themselves contain 0.92% nitrogen, 0.29% phosphorus, and 1.39% potassium. The potential of existing corn

cobs can be optimized as a material for making compost.

Compost material from organic waste that undergoes a decomposition process due to the activity between microorganisms that decompose organic matter in it. Mature compost can be applied to the soil, so that it can increase soil fertility, increase the content of C-organic in the soil, increase water absorption, become a place for microorganisms to develop, and help neutralize acidic soil pH (Bachtiar *et al.* 2019)

In the process of making compost, it is also considered safe because it utilizes environmentally friendly plant and animal waste, the materials used are often found, and do not cost a lot of money in the manufacturing process. (Pereira *et al.* 2014) stated that the remains of organic matter can function as a buffer in the soil which functions to improve the physical, chemical, and biological properties in the soil after the composting process occurs.

To increase the nutrient content in the compost, the addition of organic matter is required. Corn cob waste has a high C/N ratio, when mixed with livestock manure will produce good compost content. Cow manure contains nutrients that can be used as organic fertilizer. In cow kohe, there is a macronutrient content in the form of (N) 0.8%; (P) 0.2 %; (K) 0.4% that can be optimized in the manufacture of compost (Melsasail *et al.* 2018). Livestock manure is an organic matter with a low C/N value, while the C/N content of corn cob ratio reaches 50. Although the C/N level of corn cobs is quite high, corn cobs are still organic matter that can be decomposed (Baharudin and Rubiyono 2013). In addition, other organic ingredients are also added to increase the nutrient content in the compost. The materials used are also common among farmers, so they are easy to get. The addition of organic matter includes husk charcoal, dolomite, and molasses. The jam also requires the help of a decomposer in decomposing organic materials. Therefore, research was carried out on the best composition in the manufacture of corn cob compost, based on organoleptic and laboratory test results. So that the best composition can be optimized by farmers in making compost and able to make farmers independent in processing organic fertilizers.

2. Materials and Methods

Place and Time of Research

The implementation of a technical study on the Effectiveness of Corn Cob Compost Fertilizer with Various Compositions on Compost Quality was carried out at the Malang Agricultural Development Polytechnic, Lawang District, Malang Regency. This

research activity was conducted from January to May 2024.

Tools and materials

The tools and materials used in this study are buckets, hoes, chopping machines, plastic tarpaulins, soil meters, scales, and stationery. The materials used are corn cobs, cow stalks, husk charcoal, dolomite, petrofast, molasses, and water. Petrofast decomposer was chosen because it is often used by farmers and is rich in microorganisms that can help the composting process.

Experimental design

The experimental design used was a Complete Random Design with 4 treatments and 6 replicates, so there were 24 experimental units. The comparison of the composition used in the manufacture of corn cob compost fertilizer was used as a treatment with P1 (Pure composition of corn cobs), P2 (Corn cobs and cow cots 2:1), P3 (Corn cobs and cow cots 1:2), and P4 (Corn cobs and cow cots 1:1).

Steps of Making Corn Cob Compost (Dahlia et al. 2022)

1. The use of Petrofast is 50 ml and molasses is 50 ml, dissolved in 5 L of water and let stand for 15 minutes.
2. Mix corn cobs, beef cobs, husk charcoal, and dolomite in a dry container.
3. Pour the bioactivator solution slowly and gradually until a dough is formed. The desired nature of the dough is that no water comes out of the dough when kneaded by hand. Likewise, if the fist is released, the dough will expand again (approximately 30% moisture content).
4. Next, stack the dough until it becomes a mound of 15-20 cm.
5. Cover the fertilizer mixture with a tarpaulin/thick plastic so that the fertilizer is overgrown with white mold and emits a pleasant aroma. During the process, the temperature of the material is kept within a vulnerable 40-60°C. If the temperature exceeds the limit, it is necessary to turn the dough over, then the dough is closed again.
6. See the condition of the fertilizer so that it is clearly visible by removing the tarpaulin/plastic cover. The manufacture of compost is said to be successful if it has blackish-brown characteristics, and the aroma does not smell bad (like the smell of soil).

Parameters and Data Analysis

The parameters observed in this study were temperature and pH. Observations were conducted every three days over a 21-day period. Observation of pH and temperature using a soil meter and is carried out every 07.00 AM. The results of the observation data obtained were recorded, then statistically tabulated with the ANOVA Test at the 5% level if there is a real difference, further tests are carried out using the Duncan's Multiple Range Test on SPSS. The observation of color, smell/aroma, and texture was carried out after 21 days of composting process by 3 expert panelists in composting. The results of the organoleptic test were then tabulated and statistically analyzed using the Wallis Kruskal Test and the Mann-Whitney Test to determine the difference in each treatment. Furthermore, the observation of Macro Nutrients (N, P, K), C-Organic, and C/N Ratio of BSIP East Java Soil Laboratory. The measurement of C-Organic levels uses the fogging method, for the determination of N is carried out by the Kjeldahl method, the P element uses the spectrophotometry method, the K element uses wet fogging using the AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) method.

3. Results

Composting Process

In making compost, it is adapted to suit the composition of the material, then the compost stored in a closed state with minimal oxygen. In addition, the compost in a shady place with a normal temperature of around 25-30°C. The composting process carried out for 21 days, compost is covered with a tarpaulin. During the composting process, it is carried out aerobically (with O₂), because every 3 days the compost checked for pH and temperature. When the temperature of the compost reaches 60°C, the reversal process is carried out. This is done so that microorganisms do not experience dormancy or do not function in the composting process.

Temperature During Composting Process

Temperature plays an important role in determining the activity of the organism working during the composting process. In addition, temperature changes also indicate the activity of microorganisms in the decomposition process of organic matter. The composting temperature can be seen in Table 1.

Table 1. Temperature During the Corn Cob Compost Making Process

Treatment	Temperature Observation on Day 1						
	3	6	9	12	15	18	21
P1 (pure)	36	32	39,7 b	31,2 b	29	29	27,5
P2 (2:1)	34,5	32,5	37,3 ab	30,0 ab	29,3	29	28
P3 (1:2)	34,5	31,6	36,7 ab	30,0 ab	28,6	29	28,3
P4 (1:1)	34,1	31,1	36,0 a	29,2 a	29	28,6	28,5
Sig	tn	tn	*	*	tn	tn	tn
KK(%)	6,7	3,6	6,2	3,6	2,5	3,7	2,9

Remarks: Numbers followed by the same letter in the same column show no real difference with *Duncan's multiple range test* of 5%. (*shows a real difference)

Temperature During Composting Process

The acidity level in the composting process is one of the important indicators in the composting process. In addition, changes in pH also indicate the activity of microorganisms in the decomposition process of organic matter.

Organic matter synthesized by protein synthesis by decomposing microorganisms (Krisnawan *et al.* 2018). The pH during the composting process can be seen in Table 2.

Physical Properties of Fertilizer (Aroma/Odor, Texture, and Color) (Sentence case format)

The physical properties of corn cob compost can be seen in the aroma/odor, color, and texture parameters by organoleptic test. The Wallis Kruskal Test Results in Table 3. The assessment of organoleptic tests is carried out using numerical scales and value scales, including:

- a. Aroma: (1 = Smells like the original material; 2 = smells slightly earthy; 3 = smells of earth)
- b. Design: (1 = Rough; 2 = Somewhat Rough; 3 = Smooth)
- c. Color: (1 = brown; 2 = blackish brown; 3 = black).

Table 2. pH During the Corn Cob Compost Making Process

Treatment	Observation of pH on the day						
	3	6	9	12	15	18	21
P1 (pure)	5,3	5,7	6,5 c	6,6	6,5	6,5	6,8
P2 (2:1)	5,2	5,5	6,2 b	6,3	6,6	6,6	6,9
P3 (1:2)	4,9	5,4	6.1 ab	6,2	6,5	6,2	6,7
P4 (1:1)	4,9	5,3	5,8 a	6,2	6,5	6,5	6,9
Sig	tn	tn	**	tn	tn	tn	tn
KK(%)	12,4	10,4	3,9	14,4	5,2	4,8	5

Remarks: Numbers followed by the same letter in the same column show no real difference with *Duncan's multiple range test* of 5%.

Table 3. Wallis Kruskal Test Results

Parameter	Treatment			
	P1	P2	P3	P4
Aroma	1,4 a	1,4 a	1,5 b	1,5 b
Color	1,1 a	1,3 a	2,4 a	2 a
Texture	1,2 a	1,2 a	2,4 b	2,2

Remarks: Numbers followed by the same letter on the same line showed no real difference with *Duncan's multiple range test* of 5%.

*Chemical Properties of Fertilizer (C-Organic, C/N Ratio, NPK Macro Nutrients)**C-Organic*

Based on the results of laboratory tests that have been carried out, all samples of corn cob waste compost fertilizer meet the technical requirements. This is in accordance with the Ministry of Agriculture Regulation No. 261 of 2019 concerning the minimum technical requirements for solid organic fertilizers, biological fertilizers, and C-Organic soil amendments in compost, which is a

minimum C-Organic content of 15%. The data table of C-Organic compost fertilizer for corn cob waste can be seen in Table 4.

C/N Ratio

C/N Ratio in organic matter is a comparison between the content of carbon and the nitrogen content in it. The availability of nutrients in the soil is inversely proportional to the C/N value of the soil. The higher the C/N value (table 5), it shows that the organic matter in the compost has not been optimally decomposed (Rinaldi *et al.*, 2023).

Table 4. C-Organic Content of Corn Cob Compost Fertilizer

Treatment	C-Organik (%)
P1	34,73
P2	21,69
P3	14,49
P4	16,97

Remarks: Numbers followed by the same letter on the same line showed no real difference with *Duncan's multiple range test* of 5%.

Table 5. C/N Content Ratio of Compost Fertilizer Corn Cob

Treatment	Value C/N Ratio (%)
P1	39,02
P2	16,95
P3	12,82
P4	13,47

Source: Primary Data processed in 2024.

4. Discussion

The initial process of decomposition occurs on days 3 and 6, namely in the *lag phase*, where there is a change in temperature that is quite volatile. The average temperature on the 3rd day reached 34°C, then the temperature decreased on the 6th day with an average temperature of 31°C. This shows that at this stage the microorganisms in the compost undergo an acclimation process, namely microorganisms begin to adapt and multiply in the composting process (Krisnawan *et al.* 2018). On the 9th day, there was an increase in the maximum temperature in each treatment, the highest temperature was in the P1 treatment. According to (Sains *et al.* 2021), the composting temperature that almost reaches 40°C is indicated as a thermophilic phase. Supported by the opinion of (Sari *et al.* 2021) who stated that at a significant increase in temperature there is an *active phase* or thermophilic phase, in this phase there is an

exponential or very rapid increase in the number of microorganisms. The increasing number of microorganisms is proportional to the increasing activity of microorganisms in decomposing the substrate in the compost. In the implementation of this study, it was carried out in Lawang District which has a temperature ranging from 22-30°C, so that in the thermophilic phase the average temperature does not reach 40°C. Temperatures that exceed 60°C can kill some of the active microbes in the composting process, only some thermophilic microbes can survive (Makaruku and Wattimena 2022). The temperature decreased on the 12th - 21st day, the decrease in temperature that occurred due to microbial activity began to decrease in decomposing organic matter. In this phase, it shows that the composting process has entered the *maturation phase* or maturation phase. According to SNI 19-7030-2004 to meet the quality

of raw materials, the temperature of compost fertilizer is in accordance with the temperature of groundwater, which is $\leq 30^{\circ}\text{C}$.

The results of pH observations for 21 days presented in Table 2, showed that there was a significant difference on day 9 in each treatment. In the P1 sample with pure corn cob composition materials, it contains the highest levels of lignin, hemicellulose, and cellulose so that microbes are active in helping the compost decomposition process. This is in accordance with the opinion of (Faesal and Syuryawati 2018). that *Trichoderma harzianum* can accelerate the decomposition of organic matter in soil because it contains three enzymes, namely the *enzyme cellobiohydrolases*, which actively decompose cellulose, the enzyme endoglucanase, which reacts with dissolved cellulose, and the *enzyme glucosidase*, which hydrolyzes cellulose into glucose. The activity of microorganisms in the decomposition process results in a faster change in pH in the P1 sample, compared to other samples.

The initial phase of composting usually occurs the process of hydrolysis of complex molecules into simple molecules. In this phase, there is an initial decrease in the pH of the compost at vulnerable 4-5 which tends to be acidic. The decrease in pH to acid is due to the formation of organic acids such as acetic acid, hydrogen, and carbon dioxide in the acidogenesis phase. Then the pH gradually increases until the final composting process, this is due to the activity of methanogenic bacteria that convert organic acids into other compounds such as methane, ammonia and carbon dioxide (Asri *et al.*, 2017). The average pH of compost fertilizer is between 6-7 which is in the neutral category. The addition of dolomite to the manufacture of compost is also one of the factors in the condition of fertilizers that tend to be neutral. (Prihantoro *et al.*, 2023). The ideal acidity degree according to SNI: 19-7030-2004 is pH in the range of 6.8 - 7.49 and all fertilizer samples have met the standard.

Based on Table 3. There was a real difference in the aroma parameters and texture of corn cob compost, then continued by the *Mann-Whitney Test*. The results of the Mann-Whitney test showed that there was a real difference ($p < 0.05$) between P1 and P3, P4 and P2 with P3, P4. However, there was no real difference between P1 and P2, and P3 and P4. Overall, the composting process of corn cob waste fertilizer does not produce a strong aroma or odor. This is because in this study the composting process is carried out aerobically (with O₂). The aerobic composting process does not cause a foul odor because approximately two-thirds of the carbon element evaporates into CO₂ and the

remaining one-third of the material reacts with nitrogen in living cells (Wandansari *et al.*, 2020). According to (Chan *et al.* 2023), the pungent aroma of organic fertilizer when composting occurs because during composting microbes remodel organic matter, thereby releasing ammonia gas (NH₃), which causes an oxidation response that produces ammonia gas, water, and heat energy which results in a pungent odor of compost from the material. So to achieve a perfect composting process, it takes longer.

In the first week of the composting process, the entire treatment has the same color as the original material. In the color parameters of the P1 and P2 samples, the color is the same as the original material, this is because the material of origin is the dominant compost from corn cob waste. Meanwhile, the P3 and P4 samples showed a blackish-brown compost color, this is because the dominant compost material is made from cow kohe. In the second week of the composting process, the color of the compost began to change to blackish-brown. This is due to the decomposition process of organic matter by microbial activity that takes water, oxygen, and nutrients from compost organic matter which will then decompose and release CO₂ and O₂ (Siregar *et al.* 2020). According to (Atmaja *et al.* 2017), organic matter that contains a lot of lignin fiber will be difficult to decompose. Therefore, the corn cob waste compost fertilizer in the P1 and P2 samples takes longer in the composting process. It is hoped that the compost results will be in accordance with SNI: 2004 standards, which are blackish-brown in color.

In the results of the texture analysis, there were real differences in each treatment, so the Mann-Whitney Test was used to determine the differences in each treatment. From the data results in Table 13, it can be seen that P1 and P2 are not significantly different, and the texture of the compost is still relatively rough. The composting process is still not optimal because the compost material is dominated by corn cobs, which take a long time to decompose completely. This is following the opinion of (Saraswati *et al.* 2017) The content of lignin and cellulose is an obstacle in the composting process, because it hinders the activity of cellulolytic enzymes in degrading lignocellulosic fiber materials in the composting of organic matter. Various factors affect the quality of compost, one of which is particle size, the smaller the size of the composting material, the faster the composting process because the wider the surface area of the material that comes into contact with microbes (Makaruku *et al.* 2022). So that this affects the texture of a compost, the smaller the particle size of

the compost material, the smoother the texture of the compost will be and vice versa.

Based on the data in Table 4. It can be seen that the highest C-Organic value in the P1 sample is 34.73%. This is in line with the opinion of (Elvania *et al.* 2024) corn cobs are agricultural waste that is rich in organic matter and can be processed into organic fertilizer in the form of compost. In the composting process, microorganisms play an important role in decomposing organic matter, in this process complex compounds from organic matter are decomposed into simpler compounds. The lower the C-Organic content in the compost indicates that the better the decomposition process carried out by microorganisms during the composting process (Palupi 2015).

Based on the Ministry of Agriculture No. 261 of 2019 concerning the minimum requirements for organic fertilizers, biological fertilizers, and soil amendments, the maximum standard C/N Ratio for solid organic fertilizers is $\leq 25\%$. So it can be seen in Table 5. fertilizer samples that meet the requirements at P2, P3, P4. The C/N Ratio level at P1 is still high due to the content of compost using pure corn cobs. Agricultural waste itself is rich in organic matter, but in the decomposition process it needs the help of microorganisms. The addition of cow kohe has an important role in improving the physical, biological, and chemical properties of the soil because it is rich in microorganisms. The microflora of cow dung contains many *Lactobacillus* and cocci as well as some identified and unidentified fungi and yeasts (Rajeswari *et al.* 2016). In addition, the addition of cow cow cow pigs is able to work optimally in anaerobic composting because the C/N ratio of cow cows tends to be low, which is 23.5% (Ristiyana *et al.* 2022). So that the more cow kohe is added, the more optimal the process of decomposing the C/N Ratio. The application of compost fertilizer to plants that have a C/N ratio of > 25 , can result in the decomposition process continuing and the nutrient content cannot be absorbed optimally by plants. This can create anaerobic conditions in the root environment due to the use of oxygen by microbes and the immobilization of N nutrients, and there is nutrient competition between microbes and plants (Saraswati and Praptana 2017).

5. Conclusion

The best quality corn cob compost fertilizer is in the P2 sample with the composition of corn cob and cow kohe (2:1). In the P2 sample, the NPK content was 3.75%; C-Organic 21.69%; C/N Ratio 16.95%. In P1, the C/N level has not met the quality standard

that should be $\leq 25\%$, so it is necessary to carry out a longer composting process. At temperature and pH parameters the entire sample met the standard, with a prone pH of 6-7. The composition of the compost material affects the composting process, the addition of cow kohe is able to reduce the C/N ratio of corn cobs.

6. Acknowledgments

We would like to express our sincere gratitude and highest appreciation to all the leaders and academicians of the Malang Agricultural Development Polytechnic and BSIP East Java Soil Laboratory for all the support, facilities, and guidance that have been provided during the implementation of our research activities. This extraordinary assistance, starting from research permits, access to laboratories and practice areas, is very crucial in ensuring the smoothness and success of the entire series of research. Hopefully this good cooperation can continue Malang Agricultural Development Polytechnic and BSIP East Java Soil Laboratory will always be a superior institution that contributes to the progress of Indonesian agriculture.

7. Declaration of Conflicting Interests

The author declares that there is no potential conflict of interest in the research, writing and publication of this article.

8. References

- Asri, Dian, Puspa Ratna, Ganjar Samudro, and Sri Sumiyati. 2017. "Pengaruh Kadar Air Terhadap Proses Pengomposan Sampah Organik Dengan Metode Takakura." *Jurnal Teknik Mesin (Journal Of Mechanical Engineering)* 6(2):124–28. doi:10.22441/JTM.V6I2.1192.
- Atmaja, I. ., Tika, I. and Wijaya, I., Teknik Pertanian, and Fakultas Teknologi Pertanian. 2017. "Pengaruh Perbandingan Komposisi Bahan Baku Terhadap Kualitas Dan Lama Waktu Pengomposan." *Jurnal BETA (Biosistem Dan Teknik Pertanian)* 5(1):111–19. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/beta/article/view/27159>.
- Bachtiar, Velicia, Matthew D. Kelly, Henry R. Wilman, Jaco Jacobs, Rexford Newbould, Catherine J. Kelly, Michael L. Gyngell, Katherine E. Groves, Andy McKay, Amy H. Herlihy, Carolina C. Fernandes, Mark Halberstadt, Marion Maguire, Naomi Jayaratne, Sophia Linden, Stefan Neubauer, and Rajarshi

- Banerjee. 2019. "Repeatability and Reproducibility of Multiparametric Magnetic Resonance Imaging of the Liver." *PLOS ONE* 14(4):e0214921. doi:10.1371/JOURNAL.PONE.0214921.
- Baharudin, and Rubiyo. 2013. "Pengaruh Perlakuan Benih Dan Media Tanam Terhadap Peningkatan Vigor Bibit Kakao Hibrida The Effects Of Seed Treatment And Growth Medium To Improve Vigor Of Hybrid Cocoa Seedlings."
- Dahlia, A. Besse, Hujemiati Hujemiati, Yusnan Suyuti DM, and Jumardi Jumardi. 2022. "Proses Pengolahan Limbah Jagung Menjadi Pupuk Organik Di Desa Wellulang Kecamatan Amali Kabupaten Bone." *Empowerment: Jurnal Pengabdian Masyarakat* 1(4):455-61. doi:10.55983/EMPJCS.V1I4.178.
- Elvania, Nindy Callista, Cendy Riskia Indah Agustin, and Agita Dwi Pratiwi. 2024. "Sosialisasi Pembuatan Pupuk Organik Sebagai Upaya Mengurangi Limbah Tongkol Jagung." *Surya Abdimas* 8(2):165-70. doi:10.37729/ABDIMAS.V8I2.3491.
- Faesar and Syuryawati. 2018. "Efektivitas Kompos Limbah Jagung Menggunakan Dekomposer Bakteri Dan Cendawan Pada Tanaman Jagung." *Jurnal Pangan* 27(2):129-40. doi:10.33964/JP.V27I2.378.
- Islamiyati, Rohmiyatul, Y. D. A. Surahman, and Dan Wardayanti. 2016. "Kandungan Protein dan Serat Kasar Tongkol Jagung Yang Diinokulasi *Trichoderma Sp.* Pada Lama Inkubasi Yang Berbeda Crude Protein and Crude Fiber Corn cob Inoculated by *Trichoderma Sp.* at Different Time of Incubation."
- Krisnawan, Kadek Ardhi, I. Wayan Tika, and I. A. Bintang Madrini. 2018. "Analisis Dinamika Suhu Pada Proses Pengomposan Jerami Dicampur Kotoran Ayam Dengan Perlakuan Kadar Air." *Jurnal BETA (Biosistem Dan Teknik Pertanian)* 6(1):25-32. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/beta/article/view/38059>.
- Makaruku, Marlita H., and Anna Y. Wattimena. 2022. "Studi Penggunaan Dua Jenis Pupuk Kandang Terhadap Kualitas Fisik Bokashi." *Agrinimal Jurnal Ilmu Ternak Dan Tanaman* 10(1):23-28. doi:10.30598/AJITT.2022.10.1.23-28.
- Melsasail, Linus, Verry RChWarouw, and Yani EB Kamagi. 2018. "Analisis Kandungan Unsur Hara Pada Kotoran Sapi Di Daerah Dataran Tinggi Dan Dataran Rendah." *COCOS* 10(8). doi:10.35791/COCOS.V2I6.26095.
- Mulia Sari, and Jamilah. 2023. "Uji C/N Dan Bahan Organik Pada Beberapa Jenis Limbah Dan Lama Fermentasi Kompos." *Jurnal Agroristek* 6(2):76-81. doi:10.47647/JAR.V6I2.1800.
- Palupi, Nurul Puspita. 2015. "Karakter Kimia Kompos Dengan Dekomposer Mikroorganisme Lokal Asal Limbah Sayuran." *Ziraa'ah Majalah Ilmiah Pertanian* 40(1):54-60. doi:10.31602/ZMIP.V40I1.98.
- Pereira, Clara, L. Miguel Martins, and Lucilia Saraiva. 2014. "LRRK2, but Not Pathogenic Mutants, Protects against H₂O₂ Stress Depending on Mitochondrial Function and Endocytosis in a Yeast Model." *Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects* 1840(6):2025-31. doi:10.1016/j.bbagen.2014.02.015.
- Rajeswari, K., M. Rohinidevi, V. Vimala, and D. Megala. 2016. "Morphometric Analysis Of Infra Orbital Foramen In Human Dry Skulls." *International Journal of Anatomy and Research* 4(3.2):2725-29. doi:10.16965/IJAR.2016.317.
- Wandansari Niken, Suntari Soemarno. 2020. "Pembuatan Kompos Dari Sampah Pasar Dengan Teknologi Open-Windrow | Rani Wandansari | AGROINOTEK" <https://agroinotek.ub.ac.id/index.php/agroinotek/article/view/3>.
- Ristiyana, Suci, Yagus Wijayanto, Tri Wahyu Saputra, and Ika Purnamasari. 2022. "Processing Pengolahan Limbah Kotoran Sapi Menjadi Pupuk Organik Untuk Perbaikan Kualitas Lingkungan Desa Seputih Kecamatan Mayang Kabupaten Jember." *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA* 5(1):161-68. doi:10.29303/jpmipi.v5i1.1357.
- Sains, Jurnal, Teknologi Lingkungan, Sri Wahyuni Siagian, Yebi Yuriandala, and Fina Binazir Maziya. 2021. "Analisis Suhu, Ph Dan Kuantitas Kompos Hasil Pengomposan Reaktor Aerob Termodifikasi Dari Sampah Sisa Makanan Dan Sampah Buah." *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan* 13(2):166-76. doi:10.20885/JSTL.VOL13.ISS2.ART7.
- Saraswati, Rasti; Balittanah, and R. Heru Praptana. 2017. "Percepatan Proses Pengomposan Aerobik Menggunakan Biodekomposer / Acceleration of Aerobic Composting Process Using Biodecomposer." 16(1):44-56. doi:10.21082/PSP.V16N1.2017.44-57.
- Sari, Nada Pirma, Rinaldi Rinaldi, and Zuli Rodhiyah. 2021. "Pengaruh Perbedaan Tinggi Tumpukan Kompos Terhadap Jumlah Bakteri *Escherichia Coli* Dan *Salmonella Sp.* Pada Kompos Sampah Organik Pasar Dan Limbah Padat Rumah Potong Hewan." *Jurnal Engineering* 3(1):44-55. <https://online->

journal.unja.ac.id/JurnalEngineering/article/view/12206.

Sari Rukmana Okta Sagita Chan., Benny Satria Achmad., Ferdinant Ferdinant. 2023. "Pemanfaatan Berbagai Limbah Organik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Kompos Menggunakan Decomposer M21 | Jurnal Agrium." <https://ojs.unimal.ac.id/index.php/agrium/article/view/14009>.

Siregar, Adella Hotnyda, Sargi Br Ginting, and Alina Cynthia Dewi. 2020. "Daur Ulang Sampah Kertas Menjadi Briket." *Ikra-Ith Abdimas* 3(2):26-30. <https://journals.upi-yai.ac.id/index.php/IKRAITH-ABDIMAS/article/view/485>.



AGROSAINSTEK

Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian

Website jurnal : <http://agrosainstek.ubb.ac.id>

Research Article

Identifikasi dan Kelimpahan Bakteri Pelarut Fosfat dari Rizosfer Tanaman di Lahan Pasca Tambang Timah

Identification and Abundance of Phosphate-Solubilizing Bacteria from the Rhizosphere of Plants in Post-Tin Mining Land

Vania Putri ^{1*}, Ismed Inonu ¹, Rahmad Lingga¹

¹ Jurusan Magister Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian, Perikanan, dan Kelautan, Universitas Bangka Belitung, Jl. Raya Balunjuk, Bangka 33215

Received: May 31, 2025 / Received in revised : June 04, 2025 / Accepted: June 03, 2026

ABSTRACT

This study aimed to isolate and identify Phosphate-solubilizing Bacteria (PSB) from the rhizosphere of spinach, water spinach, and lamtoro grown on post-tin mining land in Padang Baru Village, Central Bangka Regency. Soil samples were collected from the rhizosphere and serially diluted before being cultured on Pikovskaya agar to isolate PSB, which were then characterized morphologically, physiologically, and biochemically. Biochemical tests included Gram staining, catalase, motility, methyl red (MR), and Triple Sugar Iron Agar (TSIA) tests, while phosphate solubilization activity was quantified using the Phosphate Solubilization Index (PSI). A total of seven isolates were successfully obtained and showed diverse colony morphologies, indicating adaptation to extreme post-mining conditions. The isolates were identified as belonging to the genera *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, and *Acinetobacter*, known for solubilizing phosphate via organic acids and exopolysaccharides (EPS). Although the PSI values were in the moderate range, the high colony abundance demonstrated strong viability and ecological competitiveness. These research suggest that PSB from degraded post-mining soils may serve as potential biofertilizers to enhance phosphorus availability and support ecological rehabilitation.

Keywords: Phosphate-Solubilizing Bacteria; Tin Post-Mining; *Pseudomonas*; *Rhodococcus*; *Acinetobacter*.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengidentifikasi Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) dari rizosfer tanaman bayam, kangkung, dan petai cina yang tumbuh di lahan pascatambang timah di Desa Padang Baru, Kabupaten Bangka Tengah. Sampel tanah rizosfer dikumpulkan, diencerkan secara bertingkat, selanjutnya sampel ditumbuhkan pada media *Pikovskaya* untuk mengisolasi bakteri pelarut fosfat (BPF). Isolat yang tumbuh dikarakterisasi secara morfologis, fisiologis, dan biokimiawi, meliputi uji pewarnaan Gram, katalase, motilitas, *Methyl Red* (MR), dan *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA), serta diuji aktivitas pelarutan fosfatnya secara kuantitatif menggunakan Indeks Kelarutan Fosfat (IKF). Sebanyak tujuh isolat berhasil diperoleh dan menunjukkan variasi morfologi koloni yang mencerminkan adaptasi terhadap kondisi ekstrem lahan pascatambang. Isolat teridentifikasi berasal dari genus *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, dan *Acinetobacter*, yang dikenal mampu melarutkan fosfat melalui produksi asam organik dan eksopolisakarida (EPS). Meskipun nilai IKF tergolong sedang, kelimpahan koloni yang tinggi menunjukkan viabilitas dan daya saing mikroba yang baik. Penelitian ini menunjukkan potensi besar BPF dari lahan pascatambang sebagai biofertilizer untuk meningkatkan ketersediaan fosfat dan mendukung upaya rehabilitasi lahan terdegradasi.

Kata kunci: Biofertilizer, Pascatambang Timah, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Acinetobacter*

*Korespondensi Penulis

E-mail : vaniaptryy05@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v10i1.947>

1. Pendahuluan

Kegiatan penambangan timah di Kepulauan Bangka Belitung merupakan salah satu sektor utama yang berkontribusi terhadap perekonomian daerah, namun juga menimbulkan dampak lingkungan dan sosial yang signifikan (Damayanti *et.al* 2023). Kegiatan penambangan yang tidak menerapkan prinsip keberlanjutan telah menyebabkan kerusakan pada ekosistem darat dan laut, seperti hutan, terumbu karang, dan mangrove. Selain itu, pencemaran air dan udara serta perubahan tata guna lahan turut memperburuk kondisi lingkungan. Petani juga mengalami penurunan hasil panen dan meningkatnya biaya produksi karena harus membeli pupuk akibat berkurangnya lahan dan matinya mikroorganisme akibat penambangan timah (Dwi Haryadi *et.al* 2025).

Upaya reklamasi dan pengelolaan lingkungan yang lebih baik diperlukan untuk meminimalkan dampak negatif dari penambangan timah di wilayah Kepulauan Bangka Belitung ini. Sutarman (2019), mengemukakan bahwa tanah memerlukan mikroorganisme yang dapat berperan sebagai pendorong pertumbuhan tanaman, meningkatkan kesuburan tanah dan meningkatkan hasil panen secara langsung maupun tidak langsung. Berbagai mikroorganisme di dalam tanah seperti bakteri, fungi, algae, protozoa dan *actynomicetes* berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman. Namun, aktivitas penambangan timah menyebabkan penurunan mikroorganisme tersebut. Selain itu, ketersediaan unsur hara juga menurun dan menjadi masalah utama dalam pemupukan fosfor (P). Efisiensi pemupukan di lahan pertanian tergolong rendah, karena hanya 10 – 30% pupuk yang diberikan dapat dimanfaatkan oleh tanaman (Fitriawati 2018).

Penggunaan Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) merupakan cara efektif dalam memperbaiki kondisi tanah yang terdegradasi akibat penambangan timah. Tanah pasca tambang umumnya miskin unsur hara, terutama fosfor yang penting bagi pertumbuhan tanaman. Hal ini didapatkan dari hasil penelitian Nurjahya dan Agustina (2015) menunjukkan bahwa penambangan timah darat di Pulau Bangka menyebabkan penurunan kualitas sifat tanah. Perubahan tersebut ditandai dengan peningkatan fraksi pasir dari 70% menjadi 97%. Selain itu, konsentrasi fosfat, kalsium, magnesium, kalium dan natrium pada lahan yang tidak terganggu lebih tinggi dibandingkan pada lahan yang terganggu. Kandungan C-organik tercatat kurang dari 2%, serta kapasitas tukar kation (KTK) sangat rendah, yaitu berkisar antara 0,4 – 3,9 cmol/100 gram. Suhu tanah dapat mencapai 45°C pada siang

hari, sementara laju penguapan pada tailing berpasir dapat mencapai 4 L/m²/hari atau dua kali lebih tinggi dibandingkan tanah yang tidak terganggu. Penggunaan BPF di lahan bekas tambang, baik langsung maupun dicampur dengan kompos, dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan aktivitas mikroba, dan merangsang pertumbuhan akar tanaman. Kompos juga merupakan pupuk yang mengandung unsur hara makro dan mikrom sedangkan BPF berperan dalam siklus unsur hara tanah (Sri *et.al* 2022). Selain itu, penggunaan BPF juga mendukung reklamasi karena ramah lingkungan dan dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia (Xiao-Kai Shi *et.al* 2017).

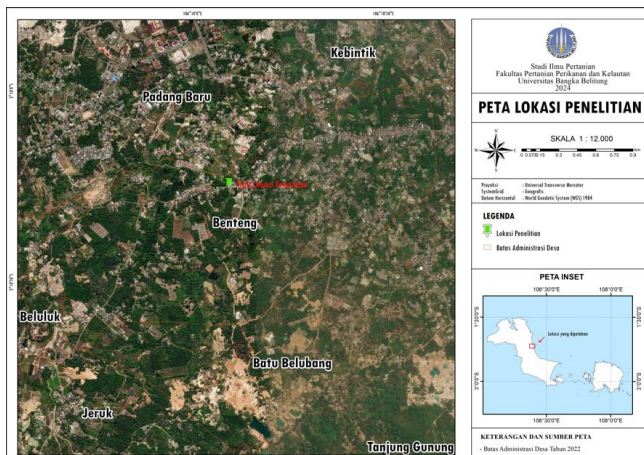
Identifikasi bakteri pelarut fosfat merupakan langkah penting dalam upaya meningkatkan ketersediaan fosfor bagi tanaman secara alami. Proses ini dimulai dengan isolasi bakteri dari lingkungan seperti tanah rizosfer sebagai tempat mikroorganisme tersebut aktif berinteraksi dengan akar tanaman (Mubarik *et.al* 2016). Bakteri yang berhasil diidentifikasi seperti *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, dan *Acinetobacter* yang berpotensi dimanfaatkan sebagai agen hayati dalam pertanian berkelanjutan (Ella Dewani Larasati *et.al* 2018).

Bakteri pelarut fosfat (BPF) dalam penelitian ini diisolasi dari rizosfer lahan pasca tambang timah untuk memperoleh mikroorganisme yang telah beradaptasi dengan kondisi lingkungan ekstrem dan berpotensi dimanfaatkan sebagai pupuk hayati dalam reklamasi lahan. Isolat diperoleh dari rizosfer kangkung, bayam, dan petai cina. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi jenis dan kelimpahan BPF pada rizosfer tanaman Berbagai studi sebelumnya Novalia *et.al* (2022) menunjukkan bahwa lahan pasca tambang timah umumnya memiliki kandungan fosfor yang rendah, namun keberadaan bakteri pelarut fosfat di rizosfer tanaman lokal mampu meningkatkan ketersediaan fosfor melalui proses pelarutan fosfat yang tidak tersedia. Oleh karena itu, salah satu strategi yang dapat diterapkan untuk mendukung keberhasilan reklamasi lahan pasca tambang adalah dengan memanfaatkan mikroba potensial. Berkaitan dengan hal ini, bakteri pelarut fosfat berperan penting tidak hanya sebagai pupuk hayati, tetapi juga sebagai agen pemacu pertumbuhan tanaman, sehingga dapat meningkatkan kualitas tanah marginal dan mendukung peningkatan produktivitas lahan.

2. Bahan dan Metode

Penelitian dilakukan mulai Oktober 2024 – April 2025. Pengamatan dilakukan di Laboratorium Agroteknologi Fakultas Pertanian, Perikanan, dan

Kelautan, serta Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bangka Belitung. Pengambilan sampel tanah rizosfer dari tanaman bayam, kangkung dan petai cina diambil dari kebun petani di Desa Padang Baru, Kecamatan Pangkalan Baru, Kabupaten Bangka Tengah (2°17'15.64"S 106°16'98.13" E). Lokasi penelitian dipilih karena merupakan lahan pasca tambang timah yang mewakili kondisi lahan terdegradasi di Kabupaten Bangka Tengah. Lahan ini telah ditinggalkan selama ± 10 - 15 tahun setelah aktivitas penambangan, dengan karakteristik kondisi iklim di lokasi penelitian tergolong relatif stabil yang ditandai dengan telah berkembangnya vegetasi secara alami dalam jumlah yang cukup banyak di area tersebut. Peta lokasi penelitian dalam pengambilan sampel tanah dibagian daerah rizosfer dapat dilihat Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Rizosfer Tanah

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu autoklaf, botol duran, bunsen, *blue tip*, batang pengaduk, cawan petri, *colony counter*, erlenmeyer, jangka sorong, jarum ose atau loop, kamera, LAFC (*Laminar Air Flow Cabinet*), mikroskop, mikropipet, kamera, kedik, kompor, kertas, kertas label, korek api gas, kaca preparat, kertas kalibrasi timbangan panci, pipet tetes, plastik, spatula, silk, tabung reaksi, timbangan analitik, tisu, tusuk gigi.

Bahan yang digunakan agar, aluminium foil, alkohol 70%, *aquadest*, FeSO_4 , glukosa, K_2HPO_4 , *Muller-Hiltton Agar*, media SIM (*Sulfide Indole Motility*), NaCl , NB (*Nutrient Broth*), $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, *lactose peptone*, *phena red*, *Pikovskaya*, rizosfer tanaman, *sucrose*, spiritus, *yeast extract*. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil sampel tanah dari rizosfer tanaman bayam, kangkung, dan petai cina yang tumbuh di lahan pascatambang timah di Desa Padang Baru, Kecamatan Pangkalan Baru,

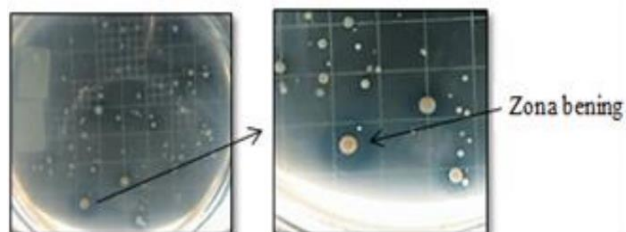
Kabupaten Bangka Tengah. Pengambilan sampel dilakukan pada dua titik lokasi, yaitu bagian tengah dan bawah lahan. Setiap titik diambil sebanyak 1 gram tanah, sehingga total sampel mencapai 6 gram. Sampel dimasukkan ke dalam plastik berlabel sesuai jenis tanaman dan lokasi pengambilan, lalu disimpan pada suhu lingkungan sebelum dibawa ke laboratorium.

Pemilihan tanaman bayam, kangkung, dan petai cina sebagai sumber isolat didasarkan pada kemampuannya untuk tumbuh dan beradaptasi pada lahan pasca tambang timah, serta keberadaan rizosfer yang aktif dalam mendukung kehidupan mikroorganisme tanah. Tanaman-tanaman tersebut juga merupakan vegetasi yang umum ditemukan di lokasi penelitian sehingga dianggap representatif. Selain itu, beberapa penelitian melaporkan bahwa rizosfer tanaman sayuran dan legum memiliki keragaman mikroorganisme yang tinggi, termasuk bakteri pelarut fosfat yang berperan dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman (Mukanto *et.al* 2015). Tanaman legum seperti petai cina diketahui memiliki interaksi simbiotik dengan mikroorganisme tanah yang dapat meningkatkan kesuburan tanah, sedangkan tanaman sayuran seperti bayam dan kangkung memiliki sistem perakaran yang mampu mendukung aktivitas mikroba di daerah rizosfer (Qudisia *et.al* 2021). Oleh karena itu, ketiga tanaman tersebut dipilih sebagai sumber isolat untuk mengkaji potensi bakteri pelarut fosfat pada lahan pasca tambang timah.

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu isolat bakteri yang diambil dari rizosfer tanaman lahan pasca tambang timah akan ditumbuhkan pada media selektif seperti *Pikovskaya* agar yang mengandung fosfat tak larut, sehingga bakteri yang mampu melarutkan fosfat akan membentuk zona bening di sekitar koloni. Setelah itu, dilakukan karakterisasi morfologi koloni, perhitungan jumlah kelimpahan koloni, uji aktivasi bakteri pelarut fosfat dan berbagai uji biokimia yang dilakukan sebanyak 5 tahap yaitu dimulai pewarnaan gram, uji katalase, uji motilitas, uji MR (*Methyl Red*), dan uji TSIA untuk mengenali sifat biologis bakteri. Selain itu, aktivitas pelarutan fosfat juga diuji secara kuantitatif untuk mengetahui potensi bakteri dalam meningkatkan ketersediaan fosfat.

Pengambilan sumber isolasi bakteri pelarut fosfat (BPF) diambil dari lahan pasca tambang timah yang bersumber dari akar tanaman yang telah ditanam atau tumbuh dilahan pasca tambang timah. Hal ini dilakukan untuk mempermudah bakteri yang hidup dilahan pasca tambang timah

agar lebih mudah beradaptasi untuk kepentingan reklamasi dan budidaya. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui keberadaan bakteri pelarut fosfat yang berpotensi pada perakaran tanaman tersebut. Isolasi bakteri dilakukan dengan metode pengenceran bertingkat menggunakan teknik *plating*. Tanah seberat 1 gram dicampur dengan aquades steril dan di-vortex hingga homogen, lalu dilakukan pengenceran seri hingga mencapai 10^{-6} . Suspensi dari pengenceran 10^{-3} dan 10^{-5} diambil sebanyak 1 mL dan diinokulasikan ke dalam cawan petri berisi media *Pikovskaya* kemudian diinkubasi selama 24 – 72 jam pada suhu 37 °C. Setelah inkubasi, dilakukan analisis kelimpahan bakteri menggunakan metode Total Plate Count (TPC) dengan menghitung jumlah koloni pada cawan petri yang berisi antara 30 – 300 koloni. Nisa (2011), mengemukakan bahwa aktivitas pelarutan fosfat diamati dari terbentuknya zona bening (*halozone*) di sekitar koloni pada media *Pikovskaya*, yang menunjukkan kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat. Keberadaan bakteri pelarut fosfat dikatakan positif apabila terdapat zona bening (*halozone*) pada media *Pikovskaya* tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Koloni tunggal pada medium selektif *Pikovskaya* setelah masa inkubasi (Sugianto *et al.* 2018).

Menurut Waluyo (2008), koloni bakteri dapat dihitung tanpa menggunakan mikroskop. Jumlah koloni yang berada di dalam cawan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Koloni per mL/gram} = \text{Jumlah koloni per cawan} \times \frac{1}{\text{faktor pengenceran}}$$

Koloni tunggal yang tumbuh kemudian diisolasi ulang (*reisolasi*) menggunakan teknik goresan kuadran untuk memperoleh biakan murni. Koloni yang berbeda secara morfologis

ditumbuhkan kembali pada media *Pikovskaya* baru secara aseptik dan diinkubasi. Identifikasi bakteri dilakukan secara makroskopis dengan mengamati bentuk, warna, tepi, tekstur, dan permukaan koloni, serta secara mikroskopis menggunakan pewarnaan gram untuk menentukan sifat gram-positif atau gram-negatif serta bentuk sel bakteri (*coccus*, *basil*, atau *spiral*).

Selanjutnya, dilakukan uji biokimia untuk mengidentifikasi karakter fisiologis bakteri. Uji katalase dilakukan dengan meneteskan H_2O_2 ke koloni bakteri untuk melihat pembentukan gelembung. Uji motilitas dilakukan pada media SIM semi-solid, uji *Methyl Red* (MR) untuk mengetahui kemampuan fermentasi menjadi asam, dan uji TSIA untuk mendeteksi fermentasi glukosa, laktosa/sukrosa, produksi gas, dan H_2S . Terakhir, aktivitas pelarutan fosfat diuji dengan menumbuhkan isolat pada media *Pikovskaya* dan mengukur zona bening serta diameter koloni setelah inkubasi pada suhu 20 – 30 °C selama 24 jam. Semakin tinggi nilai Indeks Kelarutan Fosfat (IKF), semakin tinggi aktivitas pelarutan fosfat oleh bakteri rizosfer. Nilai IKF dihitung dengan rumus berikut (Karpagam dan Nagalakshmi 2014).

$$\text{Indeks Kelarutan Fosfat} = \frac{\text{Diameter Koloni} + \text{Zona Bening}}{\text{Diameter Koloni}}$$

3. Hasil

Isolat bakteri pelarut fosfat yang diambil dari rizosfer tanaman di lahan pasca tambang timah didapatkan sebanyak 7 isolat. Pengkodean isolat dalam penelitian ini disusun secara sistematis untuk memudahkan identifikasi dan analisis data. Kode K, B, dan P masing – masing menunjukkan asal isolate bakteri pelarut fosfat yang diperoleh dari rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina. Sementara itu, kode U menunjukkan ulangan ke-2 dan ke-3 pada tahap pengenceran (Tabel 1). Berdasarkan hasil karakterisasi makroskopis, mikroskopis dan uji biokimia, isolat bakteri pelarut fosfat tersebut teridentifikasi ke dalam 3 genus bakteri. Genus bakteri tersebut adalah *Rhodococcus*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter* (Tabel 2). Bentuk sel dari genus bakteri tersaji pada Gambar 3.

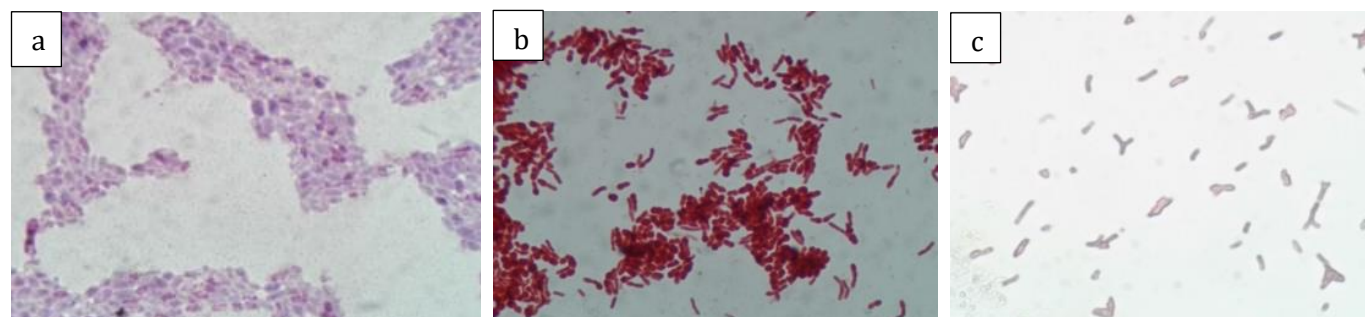
Tabel 1. Morfologi Koloni Bakteri Pelarut Fosfat

Kode Isolat	Morfologi Koloni Bakteri							
	Bentuk	Tepi	Elevasi	Ukuran	Penampilan	Optik	Tekstur	Warna
K2.U ⁻³ (a)	Bundar	Seluruh	Datar	Sedang	Mengkilap	Buram	Berlendir	Merah Muda
K1.U ⁻³ (a)	Bundar	Bergelombang	Menonjol	Kecil	Kusam	Buram	Berlendir	Cream
P2.U ⁻⁵ (b)	Tidak Teratur	Bergelombang	Datar	Kecil	Mengkilap	Tembus Cahaya	Berlendir	Cream
K1.U ⁻⁵ (a)	Tidak Teratur	Bergelombang	Datar	Kecil	Kusam	Buram	Berlendir	Cream
B2.U ⁻³ (a)	Tidak Teratur	Bergelombang	Datar	Kecil	Kusam	Buram	Berlendir	Cream
B2.U ⁻³ (b)	Bundar	Seluruh	Dinaikkan	Kecil	Kusam	Buram	Berlendir	Cream
K1.U ⁻⁵ (a)	Bundar	Bergelombang	Rata	Sedang	Kusam	Buram	Berlendir	Putih

Keterangan : Berpigmen = Kuning, biru dan merah muda. Tidak Berpigmen = Krem dan putih

Tabel 2. Karakter Isolat Bakteri Pelarut Fosfat

Kode Isolat	Uji Katalase	Pewarnaan Gram	Uji Methyl Red	Uji Motilitas	Bentuk Sel	Uji TSIA	Genus
K2.U ⁻³ (a)	+	+	-	-	Cocobacillus	Slant : basa Butt : asam	<i>Rhodococcus</i>
K1.U ⁻³ (a)	+	-	-	+	Bacil	Slant : basa Butt : asam	<i>Pseudomonas</i>
P2.U ⁻⁵ (b)	+	-	-	+	Bacil	Slant : basa Butt : asam	<i>Pseudomonas</i>
K1.U ⁻⁵ (a)	+	-	-	+	Bacil	Slant : basa Butt : asam	<i>Pseudomonas</i>
B2.U ⁻³ (a)	+	-	-	+	Bacil	Slant: asam Butt : asam	<i>Pseudomonas</i>
B2.U ⁻³ (b)	+	-	-	+	Bacil	Slant : basa Butt : asam	<i>Pseudomonas</i>
K1.U ⁻⁵ (a)	+	-	-	-	Bacil	Slant : basa Butt : asam	<i>Acinetobacter</i>



Gambar 3. Morfologi Sel Bakteri Pelarut Fosfat Hasil Identifikasi Genus (Perbesaran 1000x).
Keterangan: (a) *Rhodococcus*, (b) *Pseudomonas*, (c) *Acinetobacter*.

Hasil analisis kelimpahan koloni bakteri pelarut fosfat pada tiap jenis rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina yang terdapat pada lokasi kebun di desa Padang Baru dengan menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC) dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil pengamatan pada tingkat pengenceran 10^{-3} menunjukkan bahwa B2.U⁻³ memiliki jumlah koloni bakteri tertinggi sebesar $1,85 \times 10^5$ CFU, sedangkan yang terendah ditemukan pada K1.U⁻³ sebesar $2,9 \times 10^4$ CFU.

Hasil uji analisis kelimpahan koloni bakteri yang tumbuh pada pengenceran tingkat 10^{-3} dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil pengamatan uji analisis kelimpahan koloni bakteri pada tingkat pengenceran 10^{-5} yang menunjukkan hasil tertinggi pada sampel tanah K1.U⁻⁵ yaitu $5,3 \times 10^6$ dibandingkan dengan P1.U⁻⁵ yaitu $1,6 \times 10^6$ yang merupakan hasil terendah yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Pengamatan uji aktivitas pelarutan fosfat dilakukan saat koloni bakteri menunjukkan adanya zona bening pada media Pikovskaya tersebut. Hasil dari pelarutan fosfat terdapat 3 kategori yaitu rendah, sedang dan tinggi yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 3. Uji Analisis Kelimpahan Koloni Bakteri Yang Tumbuh Pada Pengenceran tingkat 10^{-3}

Kode Isolat	Kelimpahan Koloni Bakteri yang Tumbuh		Keterangan
	Jumlah Koloni Bakteri		
K1.U ⁻³	29.000		$2,9 \times 10^4$
K2.U ⁻³	92.000		$9,2 \times 10^4$
B1.U ⁻³	80.000		$8,0 \times 10^4$
B2.U ⁻³	185.000		$1,85 \times 10^5$
P1.U ⁻³	55.000		$5,5 \times 10^4$
P2.U ⁻³	141.000		$1,41 \times 10^5$

Keterangan : CFU = *Colony Forming Unit*

Tabel 4. Uji Analisis Kelimpahan Koloni Bakteri Yang Tumbuh Pada Pengenceran tingkat 10^{-5}

Kode Isolat	Kelimpahan Koloni Bakteri yang Tumbuh		Keterangan
	Jumlah Koloni Bakteri		
K1.U ⁻⁵	5.300.000		$5,3 \times 10^6$
K2.U ⁻⁵	2.000.000		$2,0 \times 10^6$
B1.U ⁻⁵	3.200.000		$3,2 \times 10^6$
B2.U ⁻⁵	4.000.000		$4,0 \times 10^6$
P1.U ⁻⁵	1.600.000		$1,6 \times 10^6$
P2.U ⁻⁵	2.600.000		$2,6 \times 10^6$

Keterangan: CFU = *Colony Forming Unit*

Tabel 5. Uji Aktivitas Pelarutan Fosfat

Kode Isolat	Nilai IKF	Keterangan
K2.U ⁻³ (a)	3,09 mm	Sedang
K1.U ⁻³ (a)	2,51 mm	Sedang
P2.U ⁻⁵ (b)	2,50 mm	Sedang
K1.U ⁻⁵ (a)	2,30 mm	Sedang
B2.U ⁻³ (a)	2,83 mm	Sedang
B2.U ⁻³ (b)	2,29 mm	Sedang

Keterangan: IKF = Indeks Kelarutan Fosfat

Tabel 6. Hasil Analisis Unsur Hara P Tersedia dan pH dalam tanah yang telah dikomposit

Parameter	Jenis Tanaman			
	Bayam	Kangkung	Petai Cina	
pH Tanah	H ₂ O	5,5	6,2	6,2
	N KCl	5,5	5,8	5,6
C-Organik (%)	0,83	1,20	1,02	
N-Total (%)	0,08	0,14	0,09	
P ₂ O ₅ Tersedia (mg/Kg)	1023,09	473,51	26,81	
P ₂ O ₅ Potensial (mg/100g)	115,48	138,55	7,28	
Timbal (Pb) (mg/Kg)	< 8,00	< 8,00	< 8,00	
Alumunium (Al) (mg/Kg)	1,22	1,28	2,51	

Faktor yang dapat mempengaruhi kehidupan bakteri tanah selain dari faktor lingkungan yaitu dari faktor fisik dan kimia tanah juga. Hasil analisis unsur hara P Tersedia dan pH dalam tanah dari tiga jenis rizosfer tanaman di lahan pasca tambang timah tercantum pada Tabel 5. Sebanyak tujuh isolat berhasil diperoleh dari rizosfer tanaman bayam, kangkung, dan petai cina yang menunjukkan potensi sebagai sumber BPF.

Kondisi kimia tanah pada tiga jenis rizosfer tanaman menunjukkan variasi yang cukup nyata, terutama pada parameter pH, C-organik, N-total, serta ketersediaan fosfor (P₂O₅). Nilai pH tanah tergolong agak masam hingga mendekati netral, dengan kisaran tertinggi pada rizosfer kangkung dan petai cina, yang berpotensi lebih mendukung aktivitas mikroorganisme tanah dibandingkan kondisi yang lebih asam. Kandungan C-organik dan N-total tertinggi juga ditemukan pada rizosfer kangkung, yang mengindikasikan ketersediaan bahan organik dan unsur hara yang lebih baik untuk mendukung pertumbuhan mikroba, termasuk bakteri pelarut fosfat (BPF). Sementara itu, kadar P₂O₅ tersedia sangat tinggi pada rizosfer bayam, namun relatif lebih rendah pada kangkung dan sangat rendah pada petai cina, yang menunjukkan adanya perbedaan tingkat ketersediaan fosfor di masing-masing lokasi.

Perbedaan ini dapat memengaruhi keberadaan dan aktivitas BPF, di mana kondisi dengan fosfor rendah umumnya mendorong mikroorganisme untuk lebih aktif melarutkan fosfat terikat. Selain itu, kandungan logam berat seperti Pb masih berada di bawah ambang batas, sedangkan Al relatif lebih tinggi pada petai cina yang berpotensi memengaruhi ketersediaan hara dan aktivitas mikroba. Secara keseluruhan, variasi sifat kimia tanah ini menjadi faktor penting yang memengaruhi

keberagaman dan potensi bakteri pelarut fosfat pada masing-masing rizosfer tanaman (Tabel 6).

4. Pembahasan

4.1 Morfologi Koloni BPF

Sebanyak tujuh isolat bakteri pelarut fosfat (BPF) diambil dari rizosfer tanaman di lahan pasca tambang timah Desa Padang Baru, Kabupaten Bangka Tengah. Berdasarkan morfologi koloninya, isolat menunjukkan variasi bentuk, tepi, elevasi, ukuran, tekstur, dan warna. Sebagian besar isolat memiliki koloni tidak teratur, bergelombang, dan berlendir yang merupakan ciri umum BPF. Ciri tersebut menunjukkan kemampuan bakteri dalam menghasilkan eksopolisakarida (EPS), yaitu senyawa seperti lendir yang disekresikan ke luar sel. EPS berperan dalam membantu bakteri melekat di akar tanaman, melindungi dari cekaman lingkungan, dan memfasilitasi pelarutan fosfat dengan cara mengikat ion logam penghambat ketersediaan fosfat (Fei Pang *et.al* 2024).

Koloni umumnya berukuran kecil dengan permukaan kusam hingga mengkilap, serta warna bervariasi yaitu berwarna merah muda, krem, dan putih (Tabel 1). Variasi morfologi ini menunjukkan adanya keanekaragaman bakteri dan potensi adaptasi terhadap lingkungan ekstrim serta dapat mendukung peranannya sebagai agen hayati untuk memperbaiki kesuburan tanah, khususnya di lahan pasca tambang (Vijay *et.al* 2018).

Jenis tanaman asal rizosfer turut berperan dalam membentuk keberagaman dan karakteristik BPF yang ditemukan. Setiap tanaman menghasilkan komposisi eksudat akar yang berbeda, seperti asam organik, gula, dan senyawa fenolik, yang dapat memengaruhi kolonisasi, pertumbuhan, serta

aktivitas metabolik bakteri di sekitar perakaran. Lahan pasca tambang timah yang memiliki kondisi tanah marginal, perbedaan jenis tanaman berpotensi menentukan struktur komunitas mikroba termasuk bakteri pelarut fosfat, karena tanaman yang lebih adaptif cenderung menciptakan lingkungan rizosfer yang lebih mendukung bagi perkembangan bakteri fungsional. Dengan demikian, variasi isolat BPF yang diperoleh tidak hanya mencerminkan adaptasi bakteri terhadap kondisi ekstrem, tetapi juga menunjukkan adanya pengaruh spesifik dari jenis tanaman terhadap keberadaan dan efektivitas BPF dalam mendukung rehabilitasi lahan pasca tambang.

4.2 Karakter Isolat Bakteri Pelarut Fosfat

Berdasarkan hasil uji biokimia dan identifikasi morfologi sel, isolat bakteri pelarut fosfat yang diperoleh dari rizosfer tanaman pada lahan pasca tambang timah terdiri atas tiga genus yaitu *Rhodococcus*, *Pseudomonas*, dan *Acinetobacter*. Identifikasi genus dilakukan melalui serangkaian uji seperti katalase, pewarnaan gram, uji methyl red, motilitas, dan uji TSIA. Semua isolat menunjukkan hasil positif pada uji katalase, menandakan kemampuannya dalam menguraikan hidrogen peroksida yang umumnya dimiliki oleh bakteri aerob.

Satu isolat K2.U⁻³(a), teridentifikasi sebagai *Rhodococcus* yang merupakan bakteri Gram-positif berbentuk *coccobacillus* yang terlihat jelas pada (Gambar 3a). Isolat ini juga menunjukkan hasil *slant* basa dan *butt* asam pada uji TSIA (*Triple Sugar Iron Agar*), mencerminkan kemampuan fermentasi glukosa tanpa fermentasi sukrosa dan laktosa. Genus ini dikenal memiliki sifat toleran terhadap logam berat dan sering ditemukan di tanah yang terkontaminasi dan menunjukkan potensinya dalam pelarutan fosfat dan fitoremediasi (Jean *et.al* 2022).

Sebagian besar isolat lainnya termasuk genus *Pseudomonas*, yang dikenali sebagai Gram-negatif, berbentuk batang, dan memiliki motilitas, serta menunjukkan pola fermentasi pada bagian miring (*slant*) bersifat basa dan bagian dasar (*butt*) bersifat asam. Hal ini sesuai dengan penampakan morfologinya pada (Gambar 3b), sehingga sel tampak memanjang dan tersebar. Genus *Pseudomonas* diketahui memiliki peran penting dalam pelarutan fosfat melalui produksi asam organik serta biosintesis ekopolisakarida (EPS) yang dapat membantu meningkatkan ketersediaan fosfat di tanah dan mempromosikan pertumbuhan tanaman, dengan fokus pada produksi asam organik dan hormon pertumbuhan seperti IAA (Nicholas *et.al* 2015). Selain itu, satu isolat lainnya yaitu K1.U⁻⁵(b) teridentifikasi sebagai genus *Acinetobacter*

yang tampak pada (Gambar 3c). Genus ini juga merupakan bakteri Gram-negatif, berbentuk *bacil* dan dikenali bertahan di lingkungan yang ekstrem serta berkontribusi dalam proses bioremediasi dan pelarutan fosfat. Genus ini juga memiliki kemampuan memproduksi asam organik, seperti asam glukonat dan asam sitrat, yang berperan dalam melarutkan fosfat dari senyawa tidak larut, sehingga meningkatkan ketersediaan fosfor bagi tanaman, enzim fosfatase, dan ekopolisakarida (EPS). EPS berperan dalam khelasi ion logam seperti Fe³⁺ dan Al³⁺, yang membantu melepaskan fosfat dari senyawa tidak larut (Lin Pan and Baiyan Cai 2023).

Kombinasi hasil biokimia, morfologi sel, dan pola fermentasi dari uji TSIA memperkuat ketepatan identifikasi ketiga genus tersebut. *Pseudomonas* sebagai genus dominan menunjukkan potensi besar dalam melarutkan fosfat di tanah marginal seperti lahan pasca tambang sehingga mendukung pertumbuhan tanaman dan rehabilitasi lingkungan. Hasil identifikasi ini didukung oleh pengamatan mikroskopis pada pewarnaan Gram dengan pembesaran 1000x. Ketiga genus tersebut ditampilkan pada Gambar 3 dan diketahui berpotensi sebagai pelarut fosfat melalui produksi asam organik dan EPS (Etha *et.al* 2023).

4.3 Analisis Kelimpahan Koloni BPF

Analisis kelimpahan koloni Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) merupakan langkah awal untuk mengevaluasi kemampuan mikroba melarutkan fosfat di lingkungan. Kelimpahan koloni yang dinyatakan dalam satuan CFU (*colony forming units*), mencerminkan populasi mikroorganisme aktif yang mampu tumbuh pada media selektif, seperti Pikovskaya agar. Tingginya jumlah koloni menunjukkan bahwa isolat tersebut memiliki kemampuan adaptif dan kompetitif yang baik terhadap kondisi lingkungan tertentu (Tabel 3 dan 4). Selain itu, kelimpahan yang tinggi juga sering berkorelasi dengan kapasitas metabolik yang lebih besar, termasuk dalam produksi asam organik atau ekopolisakarida (EPS), yang berperan langsung dalam mekanisme pelarutan fosfat dari senyawa tidak larut. Oleh karena itu, isolat dengan kelimpahan koloni tertinggi dapat diprioritaskan untuk pengembangan biofertilizer berbasis mikroba pelarut fosfat, terutama dalam mendukung pertanian berkelanjutan di lahan-lahan marginal seperti tanah pasca tambang (Jose *et.al* 2025).

4.4 Aktivitas Pelarutan Fosfat

Nilai Indeks Kelarutan Fosfat (IKF) merupakan indikator kuantitatif untuk menilai kemampuan isolat bakteri dalam melarutkan fosfat anorganik yang tidak larut, seperti kalsium fosfat, pada media selektif (Elhaisssoufi *et.al* 2022). Dalam penelitian

ini, seluruh isolat BPF menunjukkan nilai IKF yang termasuk dalam kategori sedang (Tabel 5). Hal ini mengindikasikan bahwa isolat memiliki kapasitas pelarutan fosfat yang cukup baik, meskipun belum mencapai efisiensi maksimum. Kategori sedang pada nilai IKF ini umumnya berkaitan dengan produksi asam organik dalam jumlah sedang, yang mampu menurunkan pH lokal di sekitar koloni dan melepaskan ion fosfat dari kompleks senyawa tidak larut. Selain itu, kemampuan tersebut dapat dipengaruhi oleh faktor lain seperti produksi eksopolisakarida (EPS), aktivitas enzimatis, serta kemampuan adaptasi isolat terhadap kondisi lingkungan. Meski nilai IKF belum tinggi, isolat tetap berpotensi menjadi biofertilizer, terutama jika didukung oleh kelimpahan koloni, motilitas, dan kemampuan bertahan di tanah lahan pasca tambang (Syarwani *et.al* 2022).

4.5 Analisis Unsur Hara P Tersedia Dan Ph Dalam Tanah

Isolasi dan identifikasi bakteri pelarut fosfat (BPF) dari rizosfer tanaman yang tumbuh di lahan pascatambang timah, khususnya di Desa Padang Baru. Kondisi tanah di lokasi penelitian yang berhasil diamati dari rizosfer tanaman bayam, kangkung dan, petai cina memperlihatkan variasi karakteristik kimia dan fisik yang mungkin memengaruhi keberadaan dan aktivitas mikroba. pH tanah (H_2O) berkisar antara 5.5 - 6.2, menunjukkan kondisi sedikit asam hingga mendekati netral. Kandungan P_2O_5 bervariasi antar rizosfer, dari 26,81 mg/Kg pada petai cina hingga 1023,09 mg/Kg pada bayam. Perbedaan ini menyiratkan adaptasi mikroba pada kondisi lingkungan yang beragam dan pentingnya rizosfer sebagai peranan penting bagi mikroorganisme yang berperan dalam siklus nutrisi (Sutono *et.al* 2018).

Isolasi dan identifikasi bakteri pelarut fosfat (BPF) dilakukan dari rizosfer tanaman yang tumbuh di lahan pascatambang timah di Desa Padang Baru. Kondisi tanah pada lokasi penelitian yang diamati dari rizosfer tanaman bayam, kangkung, dan petai cina menunjukkan variasi karakteristik kimia dan fisik yang berpotensi memengaruhi keberadaan serta aktivitas mikroba tanah. Nilai pH tanah (H_2O) berkisar antara 5,5–6,2 yang tergolong sedikit asam hingga mendekati netral, kondisi ini masih optimal bagi pertumbuhan BPF karena bakteri pelarut fosfat umumnya mampu beradaptasi pada kisaran pH tersebut dan tetap aktif dalam melarutkan fosfat terikat melalui produksi asam organik.

Perbedaan kandungan P_2O_5 yang cukup signifikan antar rizosfer, yaitu 26,81 mg/kg pada petai cina hingga 1023,09 mg/kg pada bayam,

menunjukkan adanya perbedaan dinamika ketersediaan fosfor yang erat kaitannya dengan jenis tanaman dan aktivitas mikroba di sekitarnya. Tanaman diketahui mampu memengaruhi komunitas mikroba rizosfer melalui eksudat akar yang mengandung senyawa organik, yang dapat merangsang aktivitas bakteri pelarut fosfat dalam melarutkan fosfat tidak tersedia menjadi tersedia. Hal ini menyebabkan setiap jenis tanaman memiliki komunitas BPF yang berbeda (Hugo *et.al* 2023).

Tanaman bayam dengan sistem perakaran relatif dangkal dan eksudat akar yang mudah terdegradasi cenderung meningkatkan aktivitas mikroba, termasuk BPF, sehingga berkontribusi terhadap tingginya kandungan fosfat tersedia. Sebaliknya, petai cina (leguminosa) memiliki sistem perakaran lebih dalam serta interaksi dengan mikroorganisme penambat nitrogen yang dapat menciptakan kondisi rizosfer yang lebih selektif terhadap jenis mikroba tertentu, sehingga jumlah atau aktivitas BPF yang dominan dapat berbeda. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa jenis tanaman berpengaruh terhadap jumlah dan kemampuan isolat BPF, dimana perbedaan rizosfer dapat menghasilkan jumlah isolat dan kapasitas pelarutan fosfat yang berbeda (Syarwani *et.al* 2022).

Faktor lain dari itu juga meliputi kondisi lingkungan seperti kelembapan tanah pada tanaman kangkung juga memengaruhi komunitas mikroba karena faktor aerasi dan kadar air berperan dalam aktivitas mikroorganisme tanah. Secara umum, rizosfer merupakan habitat utama bagi mikroorganisme yang berperan dalam siklus fosfor, di mana BPF berfungsi mengubah fosfat tidak larut menjadi bentuk yang dapat diserap tanaman (Ella *et.al* 2018). Secara keseluruhan variasi kondisi tanah dan jenis tanaman di lahan pascatambang menunjukkan adanya hubungan erat antara karakteristik lingkungan, tipe tanaman, dan keberadaan serta aktivitas bakteri pelarut fosfat.

5. Kesimpulan

Hubungan kekerabatan berdasarkan karakter kualitatif terbagi atas dua klaster pada koefisien 61% dan hubungan kekerabatan terdekat terdapat pada aksesori Jawa dan Mayang dengan koefisien 100%. Hubungan kekerabatan berdasarkan karakter kuantitatif terbagi atas empat klaster pada koefisien 20% dan hubungan kekerabatan terdekat terdapat pada aksesori Ungu dan Pulut Hitam dengan koefisien 35%. Aksesori Mayang Hutan menunjukkan hasil skoring sifat kimia beras terbaik. Uji organoleptik menunjukkan bahwa aksesori Pulut

Emas menerima penilaian tertinggi secara keseluruhan yaitu 3,68.

6. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Liau Ngit Cung selaku pemilik lahan pertanian sayuran di Desa Padang Baru, Kecamatan Pangkalan Baru, Kabupaten Bangka Tengah, yang telah memberikan izin serta membantu dalam pelaksanaan survei dan pengambilan sampel tanah rizosfer tanaman bayam, kangkung, dan petai cina selama penelitian berlangsung.

7. Declaration of Conflicting Interests

The author declares that there is no potential conflict of interest in the research, writing and publication of this article.

8. Daftar Pustaka

- Damayanti A, Salsabila AP, dan Pramasha RR. 2023. Pengaruh pertambangan timah terhadap lingkungan dan masyarakat: Studi kasus di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Indonesian Journal of Economy and Education Economy*, 1(2). hlm195–210. <https://ejournal.upi.edu/index.php/ijee>.
- Dwi Haryadi, Ibrahim dan Darwance. 2025. Dinamika Migrasi dan Tantangan Reklamasi: Studi Kasus pada Komunitas Tambang Timah di Bangka Belitung. *Jurnal ilmu lingkungan*. 1(23) : 218 – 227. DOI : <https://doi.org/10.14710/jil.23.1.218-227>
- Elhaissofi W, Khourchi S, Ibyasser A, Ghoulam C, Rchiad Z, Zeroual Y, Lyamlouli K, dan Bargaz A. 2022. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria naturally colonizing legumes rhizosphere in Morocco. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1000342. DOI : <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.958300>
- Ella Dewani Larasati, MG Isworo Rukmi, Endang Kusdiyantini dan R Cinta Badia Ginting. 2018. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Tanah Gambut. *Bioma*. 1 (20) : 1-8. DOI : <https://doi.org/10.14710/bioma.20.1.1-8>
- Etha Marista, Siti Khotimah dan Riza Linda. Bakteri Pelarut Fosfat Hasil Isolasi dari Tiga Jenis Tanah Rizosfer Tanaman Pisang Nipah (*Musa paradisiaca* var. *nipah*) di Kota Singkawang. *Protobiont*. 2 (2) : 93 – 101. DOI : <https://doi.org/10.26418/protobiont.v2i2.274>.
- Fei Pang, Qing Li, Manoj Kumar Solanki, Zhen Wang, Yong-Xiu Xing and Deng-Feng Dong. 2024. Soil phosphorus transformation and plant uptake driven by

phosphate-solubilizing microorganisms. *Review. Frontiers in Microbiology*. DOI : <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1383813>.

- Hugo Pantigoso, Daniel Manter, Steven Fonte, dan Jorge Vivanco. 2023. Root exudate-derived compounds stimulate the phosphorus solubilizing ability of bacteria. *Scientific reports*. DOI : <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30915-2>.
- Jean Louise Cocson Damo, Maria Daniela Artigas Ramirez, Shin-ichiro Agake¹, Mannix Pedro, Marilyn Brown, Hitoshi Sekimoto, Tadashi Yokoyama, Soh Sugihara, Shin Okazaki, and Naoko Ohkama-Ohtsu. 2022. Isolation and Characterization of Phosphate Solubilizing Bacteria from Paddy Field Soils in Japan. *Microbes Environ*. 37(2), 2022. DOI : <https://doi.org/10.1264/jsme2.me21085>
- Jos'e Abraham García-Berumen, Juan Armando Flores de la Torre, Sergio de los Santos-Villalobos, Alejandro Espinoza-Canales, Francisco Guadalupe Echavarría-Ch'airez, Héctor Gutiérrez-Banuelo. 2025. Phosphorus dynamics and sustainable agriculture: The role of microbial solubilization and innovations in nutrient management. *Current Research in Microbial Sciences*.8. DOI : [10.1016/j.crmicr.2024.100326](https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100326).
- Lin Pan and Baiyan Cai. 2023. Phosphate-Solubilizing Bacteria: Advances in Their Physiology, Molecular Mechanisms and Microbial Community Effects. *Review. Microorganisms*. 11 : 2904. DOI : <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122904>
- Mubarik, Nisa Rachmania, Widyastuti, Rahayu, Wahdi, Emil. 2016. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Pelarut Fosfat Dari Daerah Tambang Kapur Palimanan. [Thesis]. Institut Pertanian Bogor. <https://journal.ipb.ac.id/>.
- Mukamto, Syazwani Ulfah, Weda Mahalina, Ahmad Syauqi, Laila Istiqfaroh, dan Guntur Trimulyono. 2015. Isolasi dan Karakterisasi *Bacillus* s.p Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Tanaman Leguminosae. *Sains dan Matematika*. 3(2) : 2302 – 7290. DOI : <https://journal.unesa.ac.id/index.php/sainsmatematika>.
- Nicholas Oteino, Richard Lally, Samuel Kiwanuka, Andrew Lloyd, David Ryan, Kieran J. Germaine and David N. Dowling. 2015. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. *Frontiers*

- in microbiology*. (6) : 745. DOI : <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2015.00745>
- Nurtjahya E, Agustina F. 2015. Managing the socio-economic impact of tin mining on Bangka Island, Indonesia – preparation for closure. In Fouride (eds) *Mine Closure 2015*. Vancouver Canada. DOI : <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710104010>
- Novalia, Eddy Nurtjahya, Ratna Santi, dan Eka Sari. 2022. Karakter Bakteri *Azotobacter* dan *Azospirillum* dari Rizosfer Tanaman Lada di Lahan Bekas Tambang Timah. *Jurnal Bios Logos*. 12 (1) : 46 – 54. DOI : <https://doi.org/10.35799/jbl.v12i1.34960>.
- Octaviani. 2011. Eksplorasi Bakteri Pelarut Fosfat Pada Tanah Di Kawasan Mangrove Wonorejo Surabaya. [Skripsi Thesis]. Universitas Airlangga. <http://lib.unair.ac.id/>.
- Qudisia Saeed, Wang Xiukang, Fasih Ullah Haider, Jiří Kučerik, Muhammad Zahid Mumtaz, Jiri Holatko, Munaza Naseem, Antonin Kintl, Mukkaram Ejaz, Muhammad Naveed, Martin Brtnicky and Adnan Mustafa. Rhizosphere Bacteria in Plant Growth Promotion, Biocontrol, and Bioremediation of Contaminated Sites: A Comprehensive Review of Effects and Mechanisms. *International Journal of Molecular Science*. 22 : 10529. DOI : <https://doi.org/10.3390/ijms221910529>.
- Sugianto SK, Shovitri M, dan Hidayat H. 2019. Potensi Rhizobakteri Sebagai Pelarut Fosfat. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*. 7(2), 7–10. DOI : <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i2.37241>.
- Sun X, Niu Y, Du Y, Geng C, Guo C, and Zhao L. 2023. Isolation and Identification of New Soil Strains with Phosphate - Solubilizing and Exopolysaccharide - Producing Abilities in the Yellow River Wetland Nature Reserve of Luoyang City, China. *Sustainability*, 15(4), 3607. DOI : <https://doi.org/10.3390/su15043607>.
- Sri Muryati, Citra Rahmatia, Irdika Mansur, dan Sri Wilarso Budi. 2022. Pengaruh Pemberian Pupuk Kompos Terhadap Pertumbuhan Bibit *Octomeles Sumatrana* Miq. Pada Media Tanah Bekas Tambang. *Jurnal Informatika, Sistem Informasi dan Kehutanan (FORSINTA)*. 1(2), 118 – 123. DOI : <https://doi.org/10.53978/jfsa.v1i2.250>.
- Syarwani, Siti Aisyah Hadija, Nirawati. 2022. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Tanaman Aren (*Arenga Pinnata* (Wurb)Merr) di Desa Bonto Somba Kabupaten Maros. 4 (2) : 2715 – 6451. DOI : <https://doi.org/10.46918/eboni.v4i2.1496>.
- Vijay Singh Kunwar, Sharmila Chimouriya, Janardan Lamichhane and Dhurva Prasad Gauchan. 2018. Isolation and Characterization of Phosphate Solubilizing Bacteria from Rhizosphere of Coffee Plant and Evaluating Their Effects on Growth and Development of Coffee Seedlings. *BioTechnology : An Indian Journal*. 14(5). <https://www.tsijournals.com/journals/biotechnology-an-indian-journal.html>.
- Waluyo L. 2008. *Teknik dan Metode Dasar dalam Mikrobiologi*. Malang: UMM Press. <https://ummpress.umm.ac.id/readbook/dfli/p/baca/88/popular-culture-as-reading-for-information>.
- Xiao-Kai Shi, Juan-Juan Maa and Li-Jun Liu. 2017. Effects of phosphate-solubilizing bacteria application on soil phosphorus availability in coal mining subsidence area in Shanxi. *Journal Of Plant Interactions*. 1 (12) : 137–142. DOI : <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1308567>.

**Research Article****Identifikasi dan Karakterisasi Fungi Pelarut Fosfat Asal Rizosfer Tanaman di Lahan Pasca Tambang Timah*****Identification and Characterization of Phosphate Solubilizing Fungi from Plant Rhizosphere in Post-Tin Mining Lands***Nabila Fharellia Anjani ^{1*}, Ismed Inonu ¹, Rahmad Lingga ¹¹Jurusan Magister Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian, Perikanan dan Kelautan, Universitas Bangka Belitung, Jl. Raya Balunijuk, Bangka 33215

Received: May 31, 2025 /Received in revised : June 04, 2025/ Accepted: June 03, 2026

ABSTRACT

This study aims to determine the abundance of fungi in the rhizosphere of water spinach, spinach, and lamtoro plants planted in post-tin mining land, and the types of phosphate-solubilizing fungi that grow in the rhizosphere of water spinach, spinach, and lamtoro plants planted in post-tin mining land in Padang Baru Village, Central Bangka Regency. This study obtained seven isolate samples that showed several parameters of fungal colonies that had to be identified. The results of the study were that the highest abundance of fungal colonies was found in spinach rhizosphere soil samples, both at dilutions of 10^{-3} (10,900 colonies) and 10^{-5} (530,000 colonies), while the lowest abundance was recorded in the rhizosphere of water spinach (300 colonies) for dilution 10^{-3} and the rhizosphere of lamtoro (30,000 colonies) for dilution 10^{-5} . The most dominant identification result that grew was *Penicillium* sp. The results of several types of phosphate-solubilizing fungi were found, namely *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Fusarium* sp., and *Aspergillus* sp. Of these four types, the one that plays the most important role in dissolving phosphate is *Aspergillus* sp.

Keywords: Phosphate-solubilizing Fungi, *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Fusarium* sp.,

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk kelimpahan fungi di rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina yang ditanam di lahan pasca tambang timah, dan jenis fungi pelarut fosfat yang tumbuh di rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina yang ditanam di lahan pasca tambang timah di Desa Padang Baru, Kabupaten Bangka Tengah. Penelitian ini diperoleh sebanyak tujuh sampel isolat yang menunjukkan beberapa parameter koloni fungi yang harus diidentifikasi. Hasil penelitian yang didapat adalah kelimpahan koloni fungi tertinggi ditemukan pada sampel tanah rizosfer bayam, baik pada pengenceran 10^{-3} (10.900 koloni) maupun 10^{-5} (530.000 koloni), sedangkan kelimpahan terendah tercatat pada rizosfer kangkung (300 koloni) untuk pengenceran 10^{-3} dan rizosfer petai cina (30.000 koloni) untuk pengenceran 10^{-5} . Hasil identifikasi yang paling dominan banyak tumbuh adalah *Penicillium* sp. Ditemukannya hasil beberapa jenis fungi pelarut fosfat yaitu *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Fusarium* sp., dan *Aspergillus* sp. Pada keempat jenis ini yang berperan penting dalam melarutkan fosfat yang paling tinggi adalah *Aspergillus* sp.

Kata kunci: Fungi Pelarut Fosfat, *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Fusarium* sp.,

*Korespondensi Penulis

E-mail : nabilafanjani@gmail.comDOI: <https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v10i1.951>

1. Pendahuluan

Penambangan timah di Kepulauan Bangka Belitung menimbulkan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan, meliputi aspek fisik, sosial, dan ekonomi, yang berpotensi merugikan manusia secara langsung maupun tidak langsung. Salah satu dampak lingkungan dari penambangan timah di Kepulauan Bangka Belitung adalah terbentuknya kolong yang menurunkan kualitas air, serta kerusakan lain seperti lubang tambang, air asam tambang, timbunan liat (*Overburden*), hamparan tailing, dan perubahan sifat fisik, kimia, serta biologis tanah (Kurnia dan Rohaendi *et al.* 2022). Akibatnya, aktivitas penambangan sangat berisiko dan dapat menurunkan ketersediaan mikroorganisme seperti fungi, dan bakteri pelarut fosfat di dalam tanah. Menurut Erfandi (2017) kondisi tanah yang terganggu dapat menurunkan aktivitas mikroba, menurunkan jumlah spora fungi sebesar 29-78% seperti yang terjadi di bekas area penambangan timah.

Dampak lingkungan dari pertambangan timah dapat dikurangi dengan menerapkan kebijakan berkelanjutan, seperti reklamasi lahan bekas tambang, dan pemanfaatan teknologi ramah lingkungan (Haryadi *et al.* 2025). Salah satu upaya perbaikan lahan pasca tambang adalah melalui pemanfaatan fungi pelarut fosfat. Fungi pelarut fosfat (FPF) merupakan golongan Deuteromycotas dan Ascomycota berfungsi melarutkan fosfat terikat dalam tanah, sehingga meningkatkan ketersediaan fosfor bagi tanaman, dan mendukung produktivitas pertanian (Dewi *et al.* 2017). Fungi ini bermanfaat dibidang pertanian yaitu untuk membantu pertumbuhan tanaman, menambah produktivitas tanaman, memperbaiki struktur tanah, dan menambah unsur hara pada tanah, menghambat pertumbuhan patogen, mampu mengeluarkan senyawa alkaloid yang berfungsi sebagai anti fungi, FPF memiliki sifat heterolitik yang kuat, sehingga mampu untuk mendegradasi kitin (Pane *et al.* 2022). Genus yang telah banyak ditemukan di tanah yaitu diantaranya *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Trichoderma* sp. (Mustika 2022).

Kelimpahan fungi yang bersifat menguntungkan (protagonis) berkontribusi positif terhadap peningkatan laju pertumbuhan tanaman melalui interaksi simbiosis, dan umumnya ditemukan pada zona rizosfer (Noerfitryani & Hamzah 2018). Ginting *et al.* (2024) mengemukakan bahwa keberadaan spesies fungi di dalam tanah asal rizosfer dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu, kandungan air tanah, dan bahan organik. Trizela *et al.* (2015) menyatakan, sekumpulan populasi

mikroorganisme berupa fungi, dan bakteri di rizosfer biasanya lebih banyak dan beragam dibandingkan pada tanah yang bukan rizosfer. Salah satu faktor utama yang menyebabkan terjadinya efek rizosfer adalah variasi kandungan senyawa organik di zona perakaran yang berasal dari eksudat akar. Eksudat ini berperan sebagai mediator utama dalam membentuk komunitas mikroorganisme di rizosfer dan mempengaruhi struktur serta aktivitasnya (Chen & Liu 2024).

Areal lahan pasca tambang timah khususnya di daerah Bangka Belitung sudah banyak dimanfaatkan untuk lahan pertanian. Strategi keberhasilan dalam upaya pemulihan lahan pasca tambang timah ini menggunakan penambahan amelioran dengan memanfaatkan mikroorganisme lokal yang bersifat protagonis yaitu fungi pelarut fosfat sebagai media penyubur tanah (Rukmini & Anugrah 2017). Fungi pelarut fosfat yang umumnya dapat ditemukan di area sekitar perakaran tanaman atau di tanah yang kaya akan bahan organik, akan tetapi fungi juga dapat di lahan kritis seperti lahan pasca tambang timah (Suryati *et al.* 2017). Penelitian yang terkait dengan fungi pelarut fosfat di lahan pasca tambang dapat ditemukan dipenelitian menurut Mandasari (2020) mengemukakan bahwa isolat mikroba pelarut fosfat yang lolos seleksi, dan memiliki kemampuan melarutkan fosfat yang tinggi memiliki potensi sebagai pupuk hayati pada lahan reklamasi pasca tambang timah di Air Jangkang, mikroba yang ditemukan termasuk bakteri dari genus *Chromobacterium*, *Azotobacter*, dan *Serratia*, sedangkan fungi dari genus *Penicillium*. Adapun penelitian menurut Mareta (2026) hasil isolasi fungi yang berasal dari lahan pasca tambang timah didapatkan sebanyak 12 isolat fungi pelarut fosfat yang teridentifikasi yaitu genus *Penicillium* sp. dan *Aspergillus* sp.

Pengambilan sumber inang ditemukan di rizosfer tanah pada tanaman kangkung, bayam, dan petai cina yang diambil dari mikroba tersebut adalah fungi yang memiliki peranan dapat melarutkan fosfat, sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengetahui genus fungi yang tumbuh di lahan pasca tambang timah. Penelitian ini dilakukan melalui karakterisasi, dan identifikasi, yang dimulai dengan pengamatan makroskopis, dan mikroskopis. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini penting dilakukan untuk memperoleh isolat murni fungi dari lahan pasca tambang timah di Pulau Bangka. Selain itu, penelitian ini untuk mengamati kelimpahan dan keanekaragaman jenis fungi pada rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina. Penelitian ini juga diarahkan untuk

mengidentifikasi genus fungi yang dominan pada rizosfer tanaman tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelimpahan fungi di rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina yang ditanam di lahan pasca tambang timah, dan mengidentifikasi jenis fungi pelarut fosfat yang tumbuh pada rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina di lahan tersebut.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini dilaksanakan pada Oktober 2024 - April 2025. Pengamatan dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Pertanian, Perikanan, dan Kelautan, di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Sains, dan Teknik di Universitas Bangka Belitung. Pengambilan sampel tanah di bagian rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina. Kode isolat fungi pelarut fosfat yang ditemukan di rizosfer tanaman kangkung (K), isolat fungi pelarut fosfat yang ditemukan di rizosfer tanaman bayam (B), dan isolat fungi pelarut fosfat yang ditemukan di rizosfer tanaman petai cina (P).

Pemilihan tanaman kangkung, bayam, dan petai cina didasarkan pada perbedaan karakter morfologi, dan sistem perakaran yang berpotensi mempengaruhi mikroorganisme rizosfer, khususnya fungi pelarut fosfat. Tanaman kangkung, bayam, dan petai cina yang tumbuh dipilih dengan cara melihat dari pertumbuhannya dikategorikan tanaman yang sehat, subur, dan baik, serta sehat sehingga berpengaruh adanya faktor keberadaan mikroba banyak yang hidup di inangnya khususnya fungi, hal ini dikarenakan fungi ini membutuhkan berbagai nutrisi untuk hidup seperti nitrogen, karbon, dan mineral organik lainnya (Sari 2018). Menurut Savitri (2022) dan Anggraini (2019) tanaman kangkung, dan bayam sama-sama memiliki sistem perakaran tunggang, dan cabangnya menyebar ke semua arah sehingga dapat menembus tanah sampai kedalaman 6-100 cm, sedangkan tanaman bayam menyebar dangkal pada kedalaman 20-40 cm. Tanaman petai cina memiliki bentuk morfologi berupa pohon atau perdu, bentuk tanaman yang besar, bersifat adaptif, dan sistem perakaran tanaman petai cina sangat kokoh, dan kuat, terdapat nodul akar yang berkayu dan perakarannya lebih dalam sehingga memiliki kemampuan berasosiasi dengan mikroorganisme tanah, khususnya koloni fungi dapat berkembang biak secara banyak. Menurut Hartanto et al. (2023) kemampuan tanaman petai cina dapat tumbuh di lahan kering sehingga membuat menjadi pilihan yang populer dalam rehabilitasi lahan yang terdegradasi atau untuk mengoptimalkan penggunaan lahan yang sulit untuk tanaman lain.

Tanaman petai cina termasuk tanaman Leguminosae yaitu tanaman polong-polongan memiliki sistem perakaran yang mampu bersimbiosis dengan mikroorganisme tanah dengan membentuk bintil akar. Hal ini didukung oleh penelitian dari Widyaningrum (2019) tanaman petai cina memiliki kemampuan cepat tumbuh, sehingga banyak menghasilkan bahan organik yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk hijau.

Pengambilan sampel tersebut diambil dari kebun petani di Desa Padang Baru, Kec. Pangkalan Baru, Kab. Bangka Tengah ($2^{\circ}17'15.64''S$ $106^{\circ}16'98.13''E$). Pemilihan lokasi tersebut dipilih dikarenakan umur lahan pasca tambang timah sekitar 10-15 tahun dari aspek vegetasi menunjukkan penutupan vegetasi yang lebih baik ditumbuhi dengan beragam jenis variasi tumbuhan yang tumbuh banyak. Berdasarkan hasil penelitian dari Isnianti et al. 2017) lahan tambang umur > 10 tahun banyaknya tumbuhan yang tumbuh seperti paku kawat, rumput jagu, simpur, leban, akasia daun lebar, mahang, rengas, obar-obar, cengkodok, kantong semar. Proses suksesi alami berjalan lebih baik dengan adanya perkembangan mikroorganisme tanah yang mempercepat pemulihan kesuburan tanah serta jumlah jenis vegetasi alami meningkat dengan bertambahnya umur tailing, dan mulai terlihat pohon-pohon besar mulai tumbuh (Sitorus et al. 2008). Peta lokasi penelitian dalam pengambilan sampel tanah di bagian daerah rizosfer dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian dalam pengambilan sampel tanah di bagian daerah rizosfer

Penelitian dilakukan dengan alat, dan bahan laboratorium, antara lain kamera, alat tulis, penggaris, tabung reaksi, batang segitiga pengaduk, cawan petri, autoklaf, pipet tetes, erlenmeyer, jarum ose atau loop, LAFC (*Laminar Air Flow Cabinet*), bunsen, jangka sorong, dan *micropipet*, *tipblue*, *Pikovskaya*, *aquadest*, alkohol 70%, *wrapping plastic*, aluminium foil, spiritus, plastik, gunting, kertas, kertas label, dan tisu.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengidentifikasi fungi pelarut fosfat dari tanah rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina yang tumbuh di lahan pasca tambang timah di Desa Padang Baru, Bangka Tengah. Pengambilan sampel dilakukan pada satu lokasi kebun milik petani di Liau Ngit Cung, dengan masing-masing tanaman diambil dari dua titik sampling, yaitu bagian tengah dan bawah lahan, untuk mewakili variasi kondisi edafik pada lokasi penelitian. Dari setiap titik diambil 1 gram tanah dengan total 6 gram yang kemudian diberi label sesuai nama tanaman dan titik sampling. Sampel diambil hingga kedalaman 10 cm dari permukaan tanah dan selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dianalisis. Isolasi fungi dilakukan dengan metode pengenceran berurutan (10^{-1} hingga 10^{-6}). Sebanyak 1 mL hasil pengenceran 10^{-3} dan 10^{-5} masing-masing diambil menggunakan mikropipet P1000 dengan tip 1 mL, lalu ditanam pada cawan petri steril yang berisi media padat Pikovskaya. Inkubasi dilakukan pada suhu ruang selama 3-7 hari untuk memperoleh biakan murni. Pemurnian dilakukan dengan teknik reisolasi dari koloni yang menunjukkan zona bening. Selanjutnya dilakukan uji kelimpahan koloni dengan menghitung jumlah koloni pada media Pikovskaya setelah 14 hari. Menurut Syahidah (2023) terdapat rumus perhitungan kelimpahan fungi yaitu :

Rumus Kelimpahan (Spora/g)

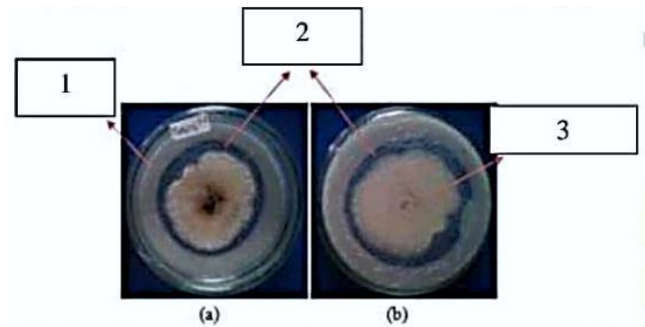
$$\text{Jumlah Koloni} \times \frac{1}{\text{Faktor Pengenceran}} \times \frac{1 \text{ ml}}{\text{Volume Inokulum}}$$

Koloni fungi pelarut fosfat yang menunjukkan zona bening kemudian dikarakterisasi secara makroskopis (warna, bentuk, permukaan, dan ukuran koloni) dan mikroskopis (hifa, spora, vesikel, konidiofor, dan lainnya), dengan acuan berbagai literatur identifikasi fungi. Aktivitas pelarutan fosfat diukur melalui pengamatan zona bening pada media, dan dihitung indeks kelarutan fosfat (IKF) menggunakan rasio diameter zona bening terhadap diameter koloni. Kenampakan fungi pelarut fosfat menggunakan media Pikovskaya dapat dilihat pada Gambar 2.

Isolat fungi pelarut fosfat pada sampel tanah di daerah rizosfer akar tanaman kangkung yang tumbuh di medium pikovskaya, kemudian dilakukan inkubasi pada suhu kamar. Selanjutnya fungi yang tumbuh di medium Pikovskaya dengan menggunakan jarum inokulasi steril, potongan fungi tersebut diletakkan di atas kaca preparat.

Preparat merupakan sampel atau spesimen yang diletakkan pada permukaan kaca objek, dan direkatkan oleh suatu zat, dengan atau tanpa

pewarnaan, kemudian diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran tertentu. Pengamatan isolat ini dilakukan dengan cara diukur diameter zona bening, dan diameter koloni.



Gambar 2. Kenampakan fungi pelarut fosfat menggunakan media pikovskaya (a) Tampak depan : 1. Media Pikovskaya, 2. Zona bening, (b) Tampak belakang : 3. Koloni fungi yang tumbuh. Sumber : (Hidayah et al. 2023)

Semakin tinggi indeks kelarutan, maka semakin tinggi kemampuan fungi dalam melarutkan fosfat, yang menunjukkan potensinya sebagai agen biofertilizer di tanah marginal pasca tambang. Fifendy *et al.* (2017) menyatakan, bahwa semakin besar nilai indeks kelarutan fosfat, maka semakin tinggi aktivitas pelarut fosfat fungi rizosfer tersebut, sehingga dapat dilakukan dengan perhitungan Indeks kelarutan fosfat dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$\text{Indeks Kelarutan Fosfat} = \frac{A-B}{B} \times 100$$

keterangan:

A : (Diameter Koloni - zona bening)

B : Diameter Koloni

IKF : Indeks Kelarutan fosfat

3. Hasil

3.1 Karakteristik Kimia Tanah Rizosfer

Hasil analisis kimia tanah pada sampel komposit dari rizosfer tanaman bayam, kangkung, dan petai cina di lahan pasca tambang timah ditampilkan pada Tabel 1. Parameter yang dianalisis meliputi pH (H_2O dan KCl), kandungan C-organik, N-total, fosfat tersedia dan potensial (P_2O_6), serta logam berat (Pb dan Al).

Nilai pH tanah pada semua sampel berada dalam kisaran masam. Tanah rizosfer bayam menunjukkan pH (H_2O) sebesar 5,5, sedangkan kangkung dan petai cina masing-masing 6,2. Nilai pH KCl juga menunjukkan kondisi masam, pada

tanaman kangkung paling tinggi berkisar 5,8 dibandingkan petai cina 5,6, dan yang terendah adalah bayam berkisar 5,5. Nilai ini mencerminkan kondisi tanah masam yang umum ditemukan pada lahan pasca tambang.

Kandungan C-organik tertinggi terdapat pada tanah rizosfer kangkung (1,20%), diikuti oleh petai cina (1,02%) dan bayam (0,83%). Namun, seluruh kandungan C-organik ini masih tergolong rendah, hal ini dikarenakan kandungan C-organik dikategorikan pada klasifikasi tanah subur menurut Kadir et al. (2023). Semakin tinggi kadar C-organik total maka kualitas tanah mineral semakin baik. Adapun kadar C-organik yang dikategorikan terdiri dari 5 tingkatan yaitu sangat rendah (< 0,60%), rendah (0,60-1,25%), sedang (1,26%-2,50%), tinggi (2,51%-3,50%) dan sangat tinggi (> 3,50%). Kandungan N-total juga menunjukkan nilai sangat rendah di semua sampel, dengan nilai 0,08% (bayam), 0,14% (kangkung), dan 0,09% (petai cina), yang mencerminkan rendahnya ketersediaan nitrogen di lahan pasca tambang (Santirupini dan Astriani 2023).

Kandungan Fosfat (P_2O_6) tersedia paling tinggi ditemukan pada tanah rizosfer bayam (1023,1 mg/kg), diikuti oleh kangkung (473,51 mg/kg), dan terendah pada petai cina (26,81 mg/kg). Demikian pula, fosfat potensial tertinggi terdapat pada tanah kangkung (138,55 mg/100g), diikuti oleh bayam (115,48 mg/100g), dan sangat rendah pada petai cina (7,28 mg/100g). Perbedaan ini dapat disebabkan oleh variasi aktivitas mikroba pelarut fosfat dan sifat edafik tanah (Pane et al. 2022).

Kandungan logam berat yaitu timbal (Pb) pada semua sampel berada di bawah batas deteksi maksimal yang diperbolehkan ($\leq 8,00$ mg/kg), menunjukkan tidak adanya pencemaran logam berat timbal yang signifikan. Sementara itu,

kandungan aluminium (Al) berkisar antara 1,22–1,31 mg/kg, yang masih dalam ambang toleransi namun tetap perlu diperhatikan karena sifat toksiknya terhadap organisme tanah dan tanaman pada konsentrasi tinggi. Analisis karakteristik kimia tanah rizosfer bayam, kangkung, dan petai cina dapat dilihat pada Tabel 1.

3.2 Analisis Kelimpahan Koloni Fungi yang Tumbuh

Analisis kelimpahan koloni fungi dilakukan pada sampel tanah rizosfer bayam (B), kangkung (K), dan petai cina (P) dari dua titik pengambilan, yaitu bagian tengah dan bawah dengan tingkat pengenceran 10^{-3} . yang ditumbuhi di media Pikovskaya dengan jumlah 24 isolat yang telah didapatkan. Hasil penelitian yang telah dilaksanakan mengenai perhitungan jumlah koloni fungi pada rizosfer tanaman kangkung, bayam dan petai cina, maka hasil perhitungan koloni fungi dilakukan secara langsung dengan menjumlahkan total koloni fungi secara keseluruhan lalu dihitung menggunakan rumus kelimpahan koloni fungi.

Hasil analisis jumlah koloni fungi pada media Pikovskaya dari sampel tanah rizosfer kangkung, bayam, dan petai cina menunjukkan bahwa sebanyak 24 isolat fungi berhasil diperoleh. Perhitungan kelimpahan koloni dilakukan dengan menjumlahkan total koloni dari masing-masing sampel kemudian dihitung menggunakan rumus kelimpahan spora/g berdasarkan Syahidah (2023). Pengujian dilakukan pada hasil pengenceran 10^{-3} . Hasil ini ditemukan pada sampel B_1U^{-3} dan P_1U^{-3} , yang masing-masing menunjukkan jumlah koloni fungi tertinggi, masing-masing sebesar 10.900 koloni ($10,9 \times 10^2$ spora/ml), dikategorikan dalam tingkat kelimpahan tinggi.

Tabel 1. Analisis Karakteristik Kimia Tanah Rizosfer Bayam, Kangkung, dan Petai Cina

Parameter	Sampel Tanah Komposit		
	Bayam	Kangkung	Petai Cina
pH (H ₂ O)	5,5	6,2	6,2
pH (KCl)	5,5	5,8	5,6
C-Organik (%)	0,83	1,2	1,02
N-Total (%)	0,08	0,14	0,09
P ₂ O ₆ Tersedia (mg/kg)	1023,1	473,51	26,81
P ₂ O ₆ Potensial (mg/100g)	115,48	138,55	7,28
Timbal (Pb) (mg/kg)	< 8,00	< 8,00	< 8,00
Aluminium (Al) (mg/kg)	1,22	1,28	2,51

Tabel 2. Uji Analisis Kelimpahan Koloni Fungi pada Pengenceran tingkat 10^{-3}

Sampel Tanah	Kelimpahan Koloni Fungi yang Tumbuh	
	Jumlah Koloni fungi	Spora/ml
B ₁ U ⁻³	10.900	10,9 x 10 ²
B ₂ U ⁻³	8.400	8,4 x 10 ²
K ₁ U ⁻³	300	3 x 10 ²
K ₂ U ⁻³	3.500	3,5 x 10 ²
P ₁ U ⁻³	10.900	10,9 x 10 ²
P ₂ U ⁻³	3.800	3,8 x 10 ²

Keterangan :

K = I solat fungi pelarut fosfat dari rizosfer tanaman kangkung

B = Isolat fungi pelarut fosfat dari rizosfer tanaman bayam

P = Isolat fungi pelarut fosfat dari rizosfer tanaman petai cina

U = Ulangan dari pengenceran pada tingkat ⁻³

Sampel B₂U⁻³ juga memiliki kelimpahan tinggi, namun sedikit lebih rendah, yakni sebesar 8.400 koloni ($8,4 \times 10^2$ spora/ml). Selanjutnya, sampel P₂U⁻³ menunjukkan hasil sebesar 3.800 koloni ($3,8 \times 10^2$ spora/ml), sedikit lebih tinggi dibandingkan K₂U⁻³ yang memiliki hasil sebesar 3.500 koloni ($3,5 \times 10^2$ spora/ml). Meskipun tergolong tinggi, kelimpahan koloni pada dua sampel masih lebih rendah dibandingkan sampel P₁U⁻³. Hal ini menunjukkan bahwa tanah rizosfer lahan pasca tambang timah tetap berpotensi mendukung keberadaan fungi pelarut fosfat, sehingga kelimpahannya bervariasi tergantung jenis tanaman, dan lokasi. Kelimpahan terendah tercatat pada sampel K₁U⁻³, yakni 300 koloni (3×10^2 spora/ml).

Pengamatan kelimpahan koloni fungi pada tingkat pengenceran 10^{-5} dilakukan untuk mengetahui persebaran jumlah fungi di tanah rizosfer tanaman bayam (B), kangkung (K), dan petai cina (P) yang diambil dari dua titik, yaitu bagian tengah (U) dan bawah (L) yang telah ditemukan dapat dilakukan analisis kelimpahan koloni fungi. Hasil pengamatan analisis kelimpahan koloni fungi yang tumbuh disajikan pada Tabel 3.

Hasil pengamatan uji analisis kelimpahan koloni fungi pada tingkat pengenceran 10^{-5} yang menunjukkan hasil tertinggi yaitu pada sampel B₂U⁻⁵ yaitu sebesar 530.000 koloni ($5,3 \times 10^4$)

dibandingkan dengan sampel tanah K₂U⁻⁵ yaitu sebesar 410.000 koloni ($4,1 \times 10^4$). Pada sampel P₁U⁻⁵ lebih tinggi hasil kelimpahannya yaitu sebesar 260.000 koloni ($2,6 \times 10^4$) dibandingkan dengan sampel B₁U⁻⁵ yaitu sebesar 220.000 koloni ($2,2 \times 10^4$). Hasil kelimpahan dengan sampel terendah terdapat 2 sampel yaitu K₁U⁻⁵ dan P₂U⁻⁵ yaitu sebesar 30.000 koloni (3×10^4).

3.3 Karakterisasi dan Identifikasi pada FPF

Karakterisasi FPF dilakukan terhadap biakan murni yang menunjukkan kemampuan melarutkan fosfat pada media Pikovskaya. Karakterisasi FPF dilakukan dengan cara pengamatan secara makroskopis yang terdiri dari warna, bentuk koloni, permukaan, dan tipe koloni. Pengamatan mikroskopis yang terdiri yaitu melihat hifa, konidiofor, melihat fialid, bentuk hifa, ada atau tidaknya vesikel, dan bentuk konidia. Karakteristik fungi ini terdiri dari 7 isolat murni yang mengandung kemampun pelarut fosfat diperoleh melalui proses reisolasi yang bertujuan untuk mendapatkan satu biakan murni dari beberapa koloni hasil isolasi tahapan awal. Seluruh isolat yang diperoleh menunjukkan adanya zona bening di sekitar koloni. Adapun kegiatan dari karakterisasi fungi pelarut fosfat yang dari 7 isolat murni dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Uji Analisis Kelimpahan Koloni Fungi Yang Tumbuh pada Pengenceran tingkat 10^{-5}

Sampel Tanah	Kelimpahan Koloni Fungi yang Tumbuh	
	Jumlah Koloni fungi	Spora/ml
B ₁ U ⁻⁵	220.000	2,2 x 10 ⁴
B ₂ U ⁻⁵	530.000	5,3 x 10 ⁴
K ₁ U ⁻⁵	40.000	4 x 10 ⁴
K ₂ U ⁻⁵	410.000	4,1 x 10 ⁴
P ₁ U ⁻⁵	260.000	2,6 x 10 ⁴
P ₂ U ⁻⁵	30.000	3 x 10 ⁴

Keterangan : U = Ulangan dari pengenceran pada tingkat ⁻⁵

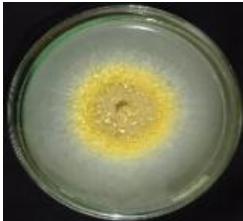
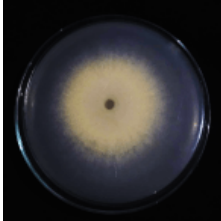
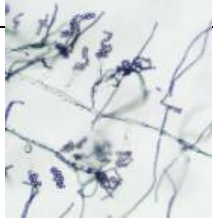



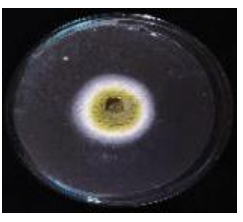
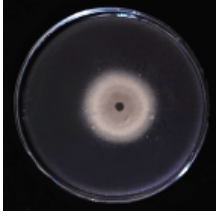

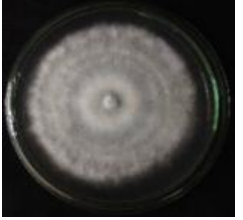
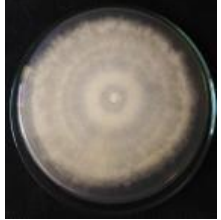

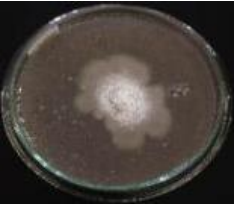
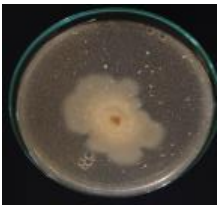







Tabel 4. Karakterisasi Fungi Pelarut Fosfat

Karakteristik Fungi Pelarut Fosfat	
B ₁ U ⁻⁵ (1)	
Makroskopis : warna : kuning kecoklatan, putih di tepi, bentuk : bulat, permukaan : halus mengkilap, tipe koloni : rata, elevasi : cembung	Mikroskopis : hifa hialin, septat, bercabang, konidiofor : tegak terdapat fialid yang menyebar radial, bentuk konidia seperti bulat hingga oval
B ₂ U ⁻³ (1)	
Makroskopis : pigmentasi warna atas : hijau tua, pigmentasi warna bawah : hijau krim pucat, bentuk : bulat, permukaan : halus, tipe koloni : rata, elevasi : cembung.	Mikroskopis : konidiofor : panjang, tidak bercabang, terdapat fialid yang bercabang, bentuk konidia seperti rantai
B ₂ U ⁻³ (2)	
Makroskopis : warna : hijau kekuningan di tengah, putih di tepi, bentuk : bulat, permukaan : kasar, tipe koloni : rata, elevasi : cembung	Mikroskopis : hifa hialin, septat, terdapat fialid yang berbaris, bentuk konidia seperti bulat, berantai
K ₁ U ⁻³ (1)	
Makroskopis : warna : putih sedikit hijau pucat, bentuk : bulat (simetris), tipe koloni : Rata, permukaan : halus sedikit berserabut, elevasi : datar	Mikroskopis : hifa : hialin, bersekat, dan bercabang
P ₁ U ⁻³ (1)	
Makroskopis : warna : putih, bentuk : bulat, Tipe Koloni : tidak rata (Irreguler), permukaan : halus mengkilap, elevasi : cembung	Mikroskopis : makrokonidia : sabit, konidiofor : tampak tegak, dan bercabang, Hifa bersekat : septum, fialid : tumbuh langsung dari hifa
P ₂ U ⁻³ (1)	
Makroskopis : warna : hijau coklat kekuningan, bentuk : elips, permukaan : halus, tipe koloni : tidak rata, elevasi : cembung	Mikroskopis : hifa : hialin (transparan), tidak bersepta, dan bercabang, konidiofor : lurus tegak
P ₂ U ⁻³ (2)	
Makroskopis : warna : hijau tua dipinggir terdapat putih, bentuk : bulat, permukaan : halus, tipe koloni : rata, elevasi : cembung	Mikroskopis : hifa : hialin, bersekat (septa), dan bercabang, konidiofor : lurus tegak, terdapatnya vesikel, terdapat fialid, bentuk konidia bulat hingga oval

Hasil isolat yang tumbuh dilakukan kegiatan karakterisasi lalu diikuti dengan kegiatan identifikasi apabila sudah melihat ciri-ciri koloni fungi yang mengandung pelarut fosfat berdasarkan morfologi, lalu dilanjutkan dengan karakteristik mikroskopis yang menggunakan mikroskop lalu

diidentifikasi menggunakan buku yaitu *The identification of Fungi : An Illustrated Introduction with Keys, Glossary, and Guide*. Hasil identifikasi FPF dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Identifikasi Fungi Pelarut Fosfat pada Pengamatan Makroskopis dan Mikroskopis. 7 HST.

Identifikasi Fungi Pelarut Fosfat				
Isolat	Jenis	Makroskopis Tampak Depan	Makroskopis Tampak Belakang	Mikroskopis
B ₁ .U-5(1)	<i>Penicillium</i> sp.			
B ₂ .U-3(1)	<i>Penicillium</i> sp.			
B ₂ .U-3(2)	<i>Penicillium</i> sp.			
K ₁ .U-3 (1)	<i>Trichoderma</i> sp.			
P ₁ .U-3 (1)	<i>Fusarium</i> sp.			
P ₂ .U-3 (1)	<i>Aspergillus</i> sp.			
P ₂ .U-3 (2)	<i>Aspergillus</i> sp.			

3.4 Uji Aktivitas Fungsi Pelarut Fosfat

Uji aktivitas fungsi pelarut fosfat dilakukan berdasarkan pengukuran Indeks Kelarutan Fosfat (IKF) yang dihitung dari diameter zona bening yang terbentuk pada media Pikovskaya. Nilai IKF mencerminkan kemampuan masing-masing isolat dalam melarutkan senyawa fosfat anorganik, yang berkaitan erat dengan aktivitas metabolik fungsi dan produksi asam organik. Hasil uji aktivitas menunjukkan variasi nilai IKF antar beberapa isolat sebagaimana ditampilkan pada Tabel 6.

Hasil pengamatan isolat P₂U⁻³(2) menunjukkan nilai IKF tertinggi (5,70 mm) dan tergolong dalam kategori aktivitas pelarutan fosfat tinggi, yang mengindikasikan kemampuan optimal dalam menghasilkan zona bening akibat pelarutan fosfat. Sebaliknya, isolat dari P₁U⁻³ menunjukkan nilai IKF terendah (1,40 mm) dan dikategorikan sebagai terendah.

Tabel 6. Uji Aktivitas Fungsi Pelarut Fosfat

Sampel	Nilai IKF	Keterangan
B ₁ U ⁻⁵ (1)	1,50 mm	Rendah
B ₂ U ⁻³ (1)	2,90 mm	Sedang
B ₂ U ⁻³ (2)	1,50 mm	Rendah
K ₁ U ⁻³ (1)	2,40 mm	Sedang
P ₁ U ⁻³ (1)	1,40 mm	Rendah
P ₂ U ⁻³ (1)	2,30 mm	Sedang
P ₂ U ⁻³ (2)	5,70 mm	Tinggi

4. Pembahasan

4.1 Karakteristik Kimia Tanah Rizosfer

Berdasarkan hasil pengamatan dari karakteristik kimia tanah rizosfer bayam, kangkung, petai cina yang tumbuh di lahan pasca tambang timah pada parameter pH tanah menunjukkan tanah rizosfer bayam memiliki pH yang terendah yaitu berkisar 5,5 yang dikategorikan kondisi relatif masam. Menurut (Hartati et al. 2023) menyatakan bahwa, pengaruh pH tanah dapat dipengaruhi lingkungan sehingga menyebabkan ketersediaan hara menurun. Nilai analisis kimia tanah pada rizosfer bayam terendah dibandingkan kangkung, dan petai cina, hal ini terjadi karena pengambilan sampel tanah komposisi rizosfer pada tanaman bayam dilakukan setelah masa panen.

Adapun pada penelitian dari Ramadhana et al. (2019) proses pelapukan bahan organik yang menghasilkan asam organik, dan anorganik dalam

proses reaksi asam pada tanah, sehingga tingkat kemasaman tanah tersebut sangat dipengaruhi kelarutan hara tanah. Pada tanah rizosfer pada tanaman kangkung, dan petai cina menunjukkan pH sebesar 6,2 mendekati kondisi yang netral.

Pengamatan kandungan C-organik tertinggi ditemukan pada rizosfer kangkung (1,20%), diikuti petai cina (1,02%) dan bayam (0,83%). Meskipun demikian, seluruh nilai tersebut tergolong rendah berdasarkan klasifikasi kesuburan tanah yang idealnya memiliki kandungan >5% (Kadir et al. 2022). Rendahnya C-organik disebabkan dengan rendahnya bahan organik dan aktivitas dekomposer di lahan pasca tambang (Hijrah et al. 2024). C-Organik dapat dikategorikan tinggi karena dipengaruhi oleh kondisi vegetasi yang ditanam di lahan pasca tambang timah sehingga kondisi permukaan lahan dipenuhi dengan serasah dedaunan dari vegetasi yang ditanam (Hamid et al. 2017)

Pengamatan kandungan nitrogen total (N-total) pada ketiga sampel juga rendah, yaitu berkisar antara 0,08–0,14%. Tanah rizosfer kangkung memiliki kandungan tertinggi (0,14%), meskipun rendah, namun lebih potensial dalam mendukung mikroba, dan pertumbuhan tanaman dibandingkan bayam, dan petai cina. Rendahnya kandungan N-total dipengaruhi oleh pencucian, penguapan, serapan tanaman, dan kompetisi mikroba, khususnya fungsi terhadap nutrisi inang (Patti et al. 2013)

Pengamatan P₂O₆ tersedia paling tinggi ditemukan pada rizosfer bayam (1023,1 mg/kg), diikuti kangkung (473,51 mg/kg), dan terendah pada petai cina (26,81 mg/kg). Namun, P₂O₆ potensial tertinggi ditemukan pada kangkung (138,55 mg/100g), yang mencerminkan cadangan fosfat terikat yang masih bisa dimobilisasi. Hal ini mendukung peluang penggunaan mikroba pelarut fosfat sebagai agen peningkat ketersediaan fosfat (Widowati 2022).

Pengamatan kadar logam timbal (Pb) di seluruh sampel berada di bawah ambang batas aman (<8 mg/kg). Namun, kandungan aluminium (Al) tertinggi terdapat pada tanah petai cina (2,51 mg/kg), yang dapat bersifat toksik bagi mikroba dan tanaman terutama pada kondisi tanah masam. Aluminium dapat membentuk kompleks dengan fosfat, sehingga menghambat ketersediaannya (Setiawan 2021). Hal ini Kadar Aluminium yang rendah menguntungkan karena Al tinggi dapat mengikat P, menghambat ketersediaannya, sehingga aktivitas Aluminium dapat ditekan melalui kompleksasi asam organik atau amelioran menjadi P lebih tersedia (Minarsih et al. 2020).

4.2 Analisis Kelimpahan Koloni Fungi yang Tumbuh

Hasil analisis kelimpahan koloni fungi pelarut fosfat, berdasarkan Tabel 2 dan 3, kelimpahan koloni tertinggi ditemukan pada sampel tanah rizosfer bayam, baik pada pengenceran 10^{-3} (10.900 koloni) maupun 10^{-5} (530.000 koloni), sedangkan kelimpahan terendah tercatat pada rizosfer kangkung (300 koloni) untuk pengenceran 10^{-3} dan rizosfer petai cina (30.000 koloni) untuk pengenceran 10^{-5} . Hal ini yang terjadi karena tingginya populasi FPF pada rizosfer bayam, dan petai cina lebih tinggi dipengaruhi oleh eksudat akar yang lebih kaya nutrisi, dan bahan organik. Menurut Silva et al. (2023) aktivitas fungi pelarut fosfat sangat dipengaruhi oleh kondisi mikro lingkungan di sekitar akar tanaman rizosfer, termasuk kandungan air, tanah, suhu, dan kandungan mineral.

Berdasarkan hasil tabel 1, 2, dan 3 menunjukkan tingginya kelimpahan koloni fungi yang ditemukan di rizosfer tanaman bayam dapat dihubungkan dengan kondisi analisis kimia tanah yang lebih mendukung aktivitas fungi pelarut fosfat. Hal ini menunjukkan dari tinggi kandungan P_2O_5 tersedia pada tanah rizosfer tanaman bayam yaitu 1023,1 mg/kg serta kadar aluminium (Al) yang lebih rendah yaitu 1,22 mg/kg dibandingkan petai cina yang mencapai 2,51 mg/kg. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa fungi pada rizosfer bayam memiliki kemampuan lebih baik dalam melarutkan fosfat terikat, sehingga fosfor yang tersedia dalam jumlah lebih tinggi. Menurut (Kalay et al. 2019) menyatakan bahwa, apabila terdapat kondisi analisis kimia terkandung P_2O_5 yang tersedia di dalam tanah, maka fosfat dapat berbentuk organik yang berasal dari bahan organik, dan anorganik berasal dari mineral-mineral yang mengandung fosfat. Mikroorganisme seperti fungi yang ditemukan di rizosfer tanaman bayam memiliki kemampuan melepas fosfor (P) dari ikatan Fe, Al, Ca, dan M sehingga P yang tidak tersedia menjadi tersedia bagi tanaman. Ketersediaan fosfat anorganik di dalam tanah sangat ditentukan oleh pH tanah, jumlah dan tingkat dekomposisi bahan organik serta aktivitas mikroorganisme di dalam tanah dan semakin tinggi P yang tersedia maka penyerapan oleh tanaman juga akan semakin banyak (Sukmasari et al. 2020) Pelarutan senyawa fosfat oleh mikroorganisme pelarut fosfat dapat berlangsung melalui proses kimiawi maupun biologis, baik pada fosfat organik maupun anorganik. Secara biologis, proses pelarutan fosfat terjadi karena mikroorganisme serta akar tanaman

menghasilkan enzim fosfatase dan fitase yang berperan dalam menguraikan senyawa fosfat sehingga lebih tersedia bagi tanaman (Kalay et al. 2019)

Rizosfer petai cina kandungan Al yang lebih tinggi dapat menyebabkan fosfor lebih banyak terikat dalam bentuk Al-P sehingga menghambat ketersediaan fosfor dan menekan aktivitas beberapa mikroorganisme tanah. Penurunan aktivitas Al diketahui dapat meningkatkan fungsi komunitas mikroba tanah termasuk fungi (Kang dan Lu 2023).

4.3 Karakterisasi dan Identifikasi pada FPF

Hasil pengamatan berdasarkan Tabel 4 dan 5 yaitu *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Fusarium* sp., dan *Aspergillus* sp. diamati. Karakter makroskopis ini penting karena menjadi indikasi awal dalam identifikasi genus fungi. Menurut Watanabe (2010) perbedaan warna dan bentuk koloni sering digunakan dalam klasifikasi awal fungi tanah. Ciri mikroskopis seperti bentuk konidiofor, konidia, dan tipe hifa memperkuat identifikasi genus : *Penicillium* sp. : memiliki hifa hialin, septat, konidiofor tegak bercabang dengan konidia berbentuk bulat hingga oval. *Trichoderma* sp. : Konidiofor bercabang, konidia berbentuk bulat dan berwarna hialin. Menurut Harman et al. (2004), *Trichoderma* dikenal memiliki fialid tunggal atau berkelompok dalam struktur seperti semanggi. *Fusarium* sp. : Hifa hialin bersekat dengan makrokonidia berbentuk sabit. *Aspergillus* sp. : Konidiofor tidak bercabang, membentuk vesikel di ujung dengan konidia tersusun melingkar.

4.4 Uji Aktivitas Fungi Pelarut Fosfat

Hasil pengamatan yang berdasarkan Tabel 6. menunjukkan bahwa Isolat P_2U^{-3} (2) dari rizosfer tanaman petai cina memiliki aktivitas pelarutan fosfat tertinggi dengan nilai IKF sebesar 5,70 mm, yang termasuk dalam kategori tinggi. Hal ini menandakan bahwa isolat tersebut memiliki kemampuan paling optimal dalam memproduksi asam organik untuk melarutkan fosfat, sehingga membentuk zona bening yang luas (Verma et al. 2013).

5. Kesimpulan

Kelimpahan koloni fungi tertinggi ditemukan pada sampel tanah rizosfer bayam, baik pada pengenceran 10^{-3} (10.900 koloni) maupun 10^{-5} (530.000 koloni), sedangkan kelimpahan terendah tercatat pada rizosfer kangkung (300 koloni) untuk

pengenceran 10^{-3} dan rizosfer petai cina (30.000 koloni) untuk pengenceran 10^{-5} . Hasil identifikasi yang paling dominan banyak tumbuh adalah *Penicillium* sp. Fungi yang melarutkan fosfat yang paling tinggi adalah *Aspergillus* sp.

6. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada petani Liau Ngit Cung yang memiliki kebun sayuran yaitu bayam, dan kangkung di desa Padang Baru, Kec. Pangkalan Baru, Kab. Bangka Tengah atas izin melakukan survei, dan pengambilan sampel tanah rizosfer tanaman bayam, kangkung, dan petai cina.

7. Declaration of Conflicting Interests

The author declares that there is no potential conflict of interest in the research, writing and publication of this article.

8. Daftar Pustaka

Asril M, Lestari W, Sanjaya BMF, Manguntungi RF, Sudewi S, Swandi MK, Paulina M dan Kunusa WR. 2023. Mikroorganisme Pelarut Fosfat pada Pertanian Berkelanjutan. Medan : Yayasan Kita Menulis.

Choyrot WF. 2009. Gambaran Mikroskopik Sediaan Permanen Larva Nyamuk *Aedes Aegypti* yang Dibuat dengan Teknik Mounting yang Berbeda. *Jurnal Parasitologi*. DOI: <https://jurnal.unimus.ac.id/index.php/JLabMed/article/view/10793>

Dewi RP, Basuki dan Widiastuti L. 2017. Uji Potensi Bakteri dan Jamur Pelarut Fosfat Dalam Meningkatkan Jumlah P Tersedia Pada Tanah Sulfat Masam. *Jurnal Agripeat*. 18(1): 27-35. DOI: <https://garuda.kemdiktisaintek.go.id/documents/detail/806722>

Santirupini IAP dan Astriani NKNK. 2023. Evaluasi Kesesuaian Lahan bagi Strategi Tanaman. <https://distanpangan.baliprov.go.id/evaluasi-kesesuaian-lahan-bagi-tanaman-strategis/>. [1 Mei 2026].

Erfandi D. 2017. Pengelolaan Lansekap Lahan Pasca Tambang : Pemulihan Lahan dengan Pemanfaatan Sumberdaya Lokal (*In-Situ*). *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 11(2): 55-56. DOI: [10.2018/jsdl.v11i2.7371](https://doi.org/10.2018/jsdl.v11i2.7371)

Fifendy M, Handayani D dan Zilvi U. 2017. Isolasi Cendawan Endofit Pelarut Fosfat dari Akar Tanaman Jagung (*Zea mays* L.). *Journal Biosains*. 1(2). DOI: <https://jurnalhpt.ub.ac.id/index.php/jhpt/article/view/399>

Ginting S, Pamekas T dan Neildi Z. 2024. Eksplorasi, Isolasi dan Identifikasi Jamur Entomopatogen Asal Rizosfer Tanaman Jagung di Bengkulu dengan Metode Baiting Insect. *Jurnal Agrikultura*. 35(2): 308-320. DOI: [10.24198/agrikultura.v35i2.55390](https://doi.org/10.24198/agrikultura.v35i2.55390)

Hamid I, Priatna SJ, Hermawan DA. 2017. Karakteristik Beberapa Sifat Fisika dan Kimia Tanah pada Lahan Bekas Tambang Timah. *Jurnal Penelitian Sains*. 19(1). DOI: <https://doi.org/10.56064/jps.v19i1.8>

Harman GE, Howell CR, Viterbo A, Chet I and Lorito M. 2004. *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. *Journal Nature Reviews Microbiology*. 2(1): 43–56. DOI: [10.1038/nrmicro797](https://doi.org/10.1038/nrmicro797)

Hartati RD, Suryaman M dan Saepudin A. 2023. Pengaruh Pemberian Bakteri Pelarut Fosfat pada berbagai pH Tanah terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai (*Glycine max* (L.) Merr). *Jurnal Agrotechnology and Crop Science*. 1(1): 26-34. DOI: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=id&user=_K7X57UAAAAJ&citation_for_view=_K7X57UAAAAJ:4T0pqqG69KYC

Haryadi D, Ibrahim dan Darwance. 2025. Dinamika Migrasi dan Tantangan Reklamasi : Studi Kasus pada Komunitas Tambang Timah di Bangka Belitung. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 23(1): 218-227. DOI: [10.14710/jil.23.1.218-227](https://doi.org/10.14710/jil.23.1.218-227)

Hidayah IN, Novianto ED dan Rahmiyah M. 2023. Eksplorasi Cendawan Pelarut Fosfat di Lahan Bekas Erupsi Merapi dan Uji Potensi Isolat Terpilih terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.). *Journal of Junior Agricultural Scientists*. 5(2): 22-35. DOI: <https://scholar.google.com/citations?user=hv7iLH4AAAAJ&hl=id>

Hijrah N, Syarbini M dan Ratna. 2024. Sebaran C-organik Tanah Berdasarkan Tanaman Revegetasi pada Lahan Bekas Tambang Batu Bara. *Jurnal Agroekotek View*. 7(2): 45-54. DOI: <https://doi.org/10.20527/agtview.v7i2.5681>

Chen L and Liu Y. 2024. The Function of Root Exudates in the Root Colonization by Beneficial Soil Rhizobacteria. *Journal of Biology*. 13(2). DOI: <https://doi.org/10.3390/biology13020095>

Kadir M, Abidin Z, Mulyawan R, Bachtiar T, Yuniarti A, Yusra S, Citraresmin A, Sofyan ET, Joy B dan Mulyani O. 2023. Kesuburan Tanah. Makassar : Yayasan Kita Menulis.

- Matichenkov VV and Calvert DV. Silicon as a Beneficial Element for Sugarcane. *Journal American Society of Sugarcane Technologist*. 22: 21-30. DOI: <https://www.semanticscholar.org/paper/SILICON-AS-A-BENEFICIAL-ELEMENT-FOR-SUGARCANE-Matichenkov-Calvert/65f167afb2db6794f3fbdebba0cd749129897b60>
- Minarsih S, Samijan dan Arianti FD. 2020. Peningkatan Ketersediaan Phosphat pada Tanah Masam Melalui Inokulasi BPF dan Penambahan Bahan Organik. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-8 Tahun 2020, "Komoditas Sumber Pangan untuk Meningkatkan Kualitas Kesehatan di Era Pandemi Covid -19"*. Palembang 20 Oktober 2020. Hlm 958-965. DOI: <https://garuda.kemdiktisaintek.go.id/journal/view/14516?page=3>
- Mustika TNS. 2022. Potensi Cendawan Rhizosfer pada Tegakan Jabon Merah Provenans sidrap dalam melarutkan Unsur Hara Fosfat, Nitrogen, dan Kalium. [Skripsi]. Makassar: Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin.
- Noerfitryani dan Hamzah. 2018. Inventarisasi Jenis-Jenis Cendawan pada Rhizosfer Pertanaman Padi. *Jurnal Galung Tropika*. 7(1): 11-21. DOI: [10.31850/jgt.v7i1.282](https://doi.org/10.31850/jgt.v7i1.282)
- Pane RDP, Ginting EN dan Hidayat Fandi. 2022. Mikroba Pelarut Fosfat dan Potensinya dalam Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman. *Jurnal Sains dan Teknologi*, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Trizelia, Armon N dan Jailani H. 2015. Keanekaragaman Cendawan Entomopatogen pada Rizosfer berbagai Tanaman Sayuran. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 1 (5). Semarang 9 Mei 2015. hlm998-1004. DOI: <https://smujo.id/psnmbi/article/view/1213>
- Verma A, Yadav J, Tiwari KN and Lavakush. 2013. Impact of phosphate solubilizing microorganisms on growth and yield parameters of rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Agricultural Research*. 8(2): 55-70. DOI: [10.31830/2348-7542.2024.ROC-1107](https://doi.org/10.31830/2348-7542.2024.ROC-1107)
- Warta PPKS. 27(1): 51-59. DOI: <https://doi.org/10.22302/iopri.war.warta.v27i1.81>
- Patti PS, Kaya E dan Silahooy CH. 2013. Analisis Status Nitrogen dalam Kaitannya dengan Serapan N oleh Tanaman Padi Sawah di Desa Waimita, Kecamatan Kairatu, Kabupaten Seram Bagian Barat. *Jurnal Agrologia*. 2(1): 51-58. DOI: [10.30598/a.v2i1.278](https://doi.org/10.30598/a.v2i1.278)
- Ramadhana DD, Donantho D, dan Rachel R. 2019. Penilaian Status Kesuburam Tanah pada Lahan Pasca Tambang di Areal PT. Trubaindo Coal Mining Kabupaten Kutai Barat. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembah*. 2(1): 24-28. DOI: <http://dx.doi.org/10.35941/jatl.2.1.2019.2529.24-28>
- Silva LID, Pereira MC, Carvalho AMXD, Buttros VH, Pasqual M and Doria J. 2023. Phosphorus-Solubilizing Microorganismes : A Key to Sustainable Agriculture. *Journal Agriculture*. 13(2): 462. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13020462>
- Setiawan Y. 2021. Pengaruh Logam Berat terhadap Aktivitas Mikrobiologi Tanah. *J. Kehutanan*. 13(2): 102–110. DOI: [10.1088/1755-1315/113/1/012009](https://doi.org/10.1088/1755-1315/113/1/012009)
- Syahidah RN. 2023. Kelimpahan dan Keragaman Jamur Rizosfer pada Tanaman Meniran (*Phyllanthus niruri* L.) di Berbagai Variasi Dosis Pupuk Urea.[Skripsi]. Jakarta: Fakultas
- Watanabe T. 2010. Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi : Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species, Third Edition. London : CRC Press, Boca Raton.
- Widowati L. 2022. Efektivitas Fungi Pelarut Fosfat pada Tanah Miskin Hara. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 24(3): 181–190. DOI: <https://jurnal.polinela.ac.id/index.php/jppt/index>
- Zulputra Z dan Nelvia N. Ketersediaan P, Serapan P dan Si oleh Tanaman Padi Gogo (*Oryza Sativa* L.) pada Lahan Ultisol yang diaplikasikan Silikat dan Pupuk Fosfat. *Jurnal Agroteknologi*. 8(2): 9-14. DOI: <http://dx.doi.org/10.24014/ja.v8i2.3351>

**Research Article****Potensi Bakteri Endofit dari Benih Padi untuk Mengendalikan Penyakit Busuk Bulir Bakteri (*Burkholderia glumae*) pada Tanaman Padi*****The Potential Of Endophytic Bacteria From Rice Seeds To Control Bacterial Grain Rot (*Burkholderia glumae*) In Rice Plants***Mutiar Septu Lestari¹, Haliatur Rahma^{1*}, Jumsu Trisno¹¹ Program Studi Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas Limau Manis, Padang 25163, Indonesia

Received: September 19, 2025 /Received in revised : May 27, 2026/ Accepted: June 12, 2026

ABSTRACT

Bacterial grain rot is one of the diseases caused by the bacterium *Burkholderia glumae* in the rice plant. This disease can cause a 40% loss in rice crop yield. One technique for controlling this disease is to use biological control agents, specifically endophytic bacteria. The study aimed to obtain endophytic bacterial isolates that can potentially suppress grain rot disease (*B. glumae*) in rice plants. The study was conducted experimentally using a completely randomized design (CRD) with 13 treatments and three replicates, each consisting of 2 experimental units. The treatments consisted of endophytic bacterial isolates BMI31, BMI33, ADI34, ADI35, ADI37, KKI35, KKI36, BI31, BI33, BI34, BI41, BPI41, a positive and a negative control. Endophytic bacteria were introduced into rice seeds and roots 21 days after sowing, while *B. glumae* was inoculated into rice plants at 45 days after sowing. The results of the study indicate that the endophytic bacteria with potential to control the development of bacterial grain rot disease in rice plants are isolates ADI35 and BMI33, with disease severity levels of 30.74%–32.64% and effectiveness of 52.48% and 49.55%, the area under the disease progress curve (AUDPC) values of 293.99-351.95, and a percentage of disease development suppression effectiveness of 60.73%- 70.61%. The results show that endophytic bacterial isolates have the potential to become biological control agents.

Keywords: Area under the disease progress curve (AUDPC); Biocontrol agents ; Disease Severity ; Disease Development; Endophytic bacteria Relationship

ABSTRAK

Penyakit busuk bulir bakteri merupakan salah satu penyakit tanaman padi yang disebabkan oleh bakteri *Burkholderia glumae*. Penyakit ini dapat menyebabkan kehilangan hasil tanaman padi sebesar 40%. Salah satu teknik pengendalian penyakit ini dapat menggunakan metode pengendalian agens hayati, khususnya menggunakan bakteri endofit. Penelitian bertujuan untuk mendapatkan isolat bakteri endofit yang berpotensi dalam menekan penyakit busuk bulir (*B. glumae*) pada tanaman padi. Penelitian dilakukan secara eksperimen yang disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 13 perlakuan dan 3 ulangan yang masing-masing ulangan terdiri dari 2 unit percobaan. Perlakuan terdiri dari isolat bakteri endofit BMI31, BMI33, ADI34, ADI35, ADI37, KKI35, KKI36, BI31, BI33, BI34, BI41, BPI41, dan kontrol. Bakteri endofit diintroduksi pada benih padi dan akar padi pada umur 21 hss sedangkan *B. glumae* diinokulasikan pada tanaman padi yang berumur 45 hst. Hasil penelitian menunjukkan bakteri endofit yang potensial untuk mengendalikan

*Korespondensi Penulis

E-mail : haliaturrahma@agr.unand.ac.idDOI:<https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v10i1.975>

perkembangan penyakit busuk bulir bakteri pada tanaman padi adalah isolat ADI35 dan BMI33 dan dengan tingkat keparahan penyakit 30.74% dan 32.64% dengan efektivitas 52.48% dan 49.55%, nilai AUDPC sebesar 293.99-351.95 dengan persentase efektivitas penekanan perkembangan penyakit sebesar 60,73%-70,61%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat bakteri endofit dapat berpotensi menjadi agens pengendali hayati.

Kata kunci: *Agens hayati; area under the disease progress curve (AUDPC); bakteri endofit; Keparahahan penyakit; Perkembangan penyakit*

1. Pendahuluan

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan tanaman pangan utama di Indonesia dengan produktivitas nasional rata-rata 5,28 ton/ha, masih di bawah potensi hasil optimal 8–10 ton/ha. Salah satu faktor penyebab rendahnya produktivitas adalah serangan organisme pengganggu tanaman (OPT). *Burkholderia glumae* merupakan patogen penyebab penyakit busuk bulir bakteri pada tanaman padi (Isnaeni and Masnilah 2020). (Wiarpiz, 2022) melaporkan bahwa *B. glumae* ditemukan di Kecamatan Lubuk Basung dan Tanjung Raya Sumatra Barat dengan insidensi penyakit berkisar antara 63,33%-76,67% dengan tingkat keparahan penyakit 24,81%-41,11%.

Pengendalian penyakit busuk bulir bakteri dapat dilakukan secara kimia menggunakan pestisida sintetik berbahan aktif asam oksolinat. Meskipun mampu menurunkan keparahan penyakit secara signifikan, efektivitasnya hanya berlangsung dalam jangka pendek. (Atuesta *et al.* 2020) menyatakan bahwa pengendalian kimia menggunakan asam oksolinat berdampak pada munculnya strain baru yang menjadi pembatas dari pengendalian ini. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengendalian penyakit busuk bulir menggunakan agens hayati perlu dikembangkan. Salah satu agens hayati yang dapat dimanfaatkan yaitu bakteri endofit.

Bakteri endofit merupakan bakteri yang hidup dalam jaringan tanaman tanpa menyebabkan penyakit pada tanaman tersebut (Kandel *et al.* 2017); (Wu *et al.* 2021). Bakteri endofit dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui mekanisme langsung dan tidak langsung. Mekanisme langsung meliputi produksi fitohormon, kemampuan melarutkan fosfat, fiksasi Nitrogen, dan senyawa lainnya serta memfasilitasi asimilasi nutrisi. Sedangkan mekanisme tidak langsung meliputi perlindungan terhadap infeksi patogen melalui produksi senyawa antimikroba, enzim hidrolitik, siderofor, senyawa volatil, stres abiotik dan juga menginduksi ketahanan tanaman secara sistemik (*Induce Systemic Resistance*) (Pinski *et al.* 2019). Bakteri endofit yang berasal dari benih diketahui mampu meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan bibit selama proses perkecambahan (Pal *et al.* 2022).

Mekanisme langsung meliputi produksi fitohormon, senyawa volatil, dan senyawa lainnya

serta memfasilitasi asimilasi nutrisi. Mekanisme tidak langsung meliputi perlindungan terhadap patogen dan stres abiotik. ISR, resistensi sistemik terinduksi. yang berkontribusi terhadap peningkatan pertumbuhan dan ketahanan tanaman terhadap patogen. (Hernández *et al.* 2023) melaporkan bahwa bakteri endofit asal benih padi seperti strain *Pantoea* sp. S5-1, *Pseudomonas* sp. S5-38, dan *Pseudomonas* sp. S7-1 mampu menghasilkan senyawa pemacu pertumbuhan seperti produksi auksin, pelarutan posfat dan kalium, produksi siderofor dan penekanan jamur patogen *Pyricularia oryzae*. Sejalan dengan itu (Iqbal 2025) berhasil mengisolasi 12 isolat bakteri endofit dari benih padi yaitu BMI31, BMI33, ADI34, ADI35, ADI37, KKI35, KKI36, BI33, BI34, BI41, dan BPI41 yang menunjukkan kemampuan menghambat pertumbuhan *Rhizoctonia solani* secara *in vitro*. Isolat-isolat tersebut juga diketahui menghasilkan senyawa dan enzim penting seperti siderofor, enzim protease, dan kitinase yang berperan dalam mekanisme antibiosis dan degradasi dinding sel patogen. Selain itu, kemampuan memproduksi indole acetic acid (IAA) dan fiksasi nitrogen menunjukkan potensi ganda sebagai agens biostimulan yang meningkatkan pertumbuhan bibit padi. Meskipun berbagai isolat bakteri endofit tersebut telah dilaporkan efektif sebagai agens biokontrol terhadap patogen jamur *R. solani* dan sebagai pemacu pertumbuhan bibit padi, informasi mengenai potensinya dalam mengendalikan penyakit busuk bulir pada tanaman padi masih sangat terbatas. Penelitian ini dilakukan untuk mengisi kesenjangan informasi mengenai pemanfaatan bakteri endofit asal benih padi dalam menekan perkembangan penyakit busuk bulir pada tanaman padi serta mendukung sistem produksi padi yang ramah lingkungan.

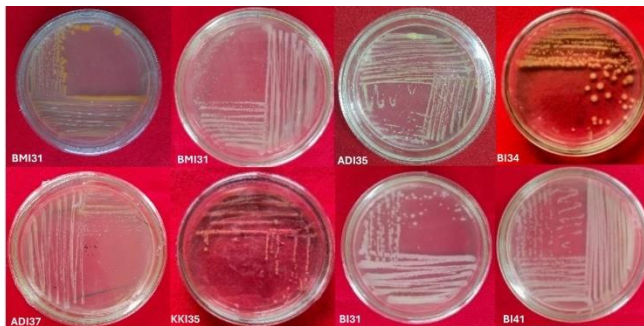
2. Bahan dan Metode

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi, Rumah Kawat, dan Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Andalas. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2024–Juli 2025. Bahan yang digunakan meliputi 12 isolat bakteri endofit dari benih padi, yaitu BMI31, BMI33, ADI34, ADI35, ADI37, KKI35, KKI36, BI33, BI34, BI41, dan BPI41 (Gambar 1), isolat *B. glumae* koleksi dari Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Pertanian Universitas Andalas (Gambar 2), benih

padi varietas Ciherang, media kultur (NA, NB, King's B), larutan standar McFarland skala 8, larutan KOH 3%, NaOCl 2%, serta pupuk dasar. Alat yang digunakan antara lain laminar air flow, autoklaf, rotary shaker, mikropipet, polybag dan bak kecambah. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 13 perlakuan (12 isolat bakteri endofit dan control, dan diulang sebanyak 3 kali. Setiap ulangan terdiri dari 2 unit percobaan.



Gambar 1. Bakteri *B. glumae* pada media Nutrient Agar umur 2 x 24 jam



Gambar 2. Bakteri endofit dari benih padi yang digunakan dalam penelitian

Media tanam yang digunakan adalah tanah yang dicampur dengan pupuk kandang dengan perbandingan volume 2:1, yaitu dua bagian tanah dan satu bagian pupuk kandang yang diukur menggunakan wadah dengan volume yang sama. Media tanam disterilisasi menggunakan metode tyndalisasi (Alfiah *et al.* 2016). Media tanam yang telah steril ditempatkan pada bak kecambah untuk media penyemaian, sedangkan untuk penanaman dimasukkan ke *polybag*. Benih padi varietas Ciherang disterilkan dengan metode sterilisasi permukaan benih padi direndam pada masing-masing suspensi isolat bakteri endofit dengan kerapatan populasi 10^8 sel/ml selama 15 menit, untuk kontrol benih padi direndam dalam akuades steril dengan waktu yang sama. Masing-masing perlakuan disemai sebanyak 100 benih.

Penyemaian benih dilakukan selama 21 hari. Bibit padi berumur 21 hari setelah semai dicabut dari media semai, kemudian akar dibersihkan dari

sisir tanah dengan air. Selanjutnya, bibit direndam dalam suspensi isolat bakteri endofit sesuai perlakuan selama 30 menit (Rahma *et al.* 2023). Sementara itu, untuk kontrol akar bibit direndam dalam akuades steril dengan waktu yang sama. Inokulasi *B. glumae* dilakukan pada tanaman padi yang berumur 45 hst. *B. glumae* diinokulasikan dengan cara menyuntikkan suspensi bakteri sebanyak 1 ml dengan menggunakan *syringe* pada pangkal batang \pm 1cm diatas permukaan tanah (Widiantini *et al.* 2022). Pemeliharaan tanaman padi meliputi penyiraman, penyiangan gulma, pemupukan, serta pengendalian hama yang dilakukan secara rutin selama masa pertumbuhan tanaman. Panen dilakukan setelah padi berumur \pm 60 hari setelah tanam (hst).

Variabel pengamatan meliputi masa inkubasi (hsi) yaitu mengamati waktu munculnya gejala awal pada bagian yang diinokulasi *B. glumae*, insidensi penyakit (%) yaitu proporsi tanaman terserang patogen dalam suatu populasi tanaman, keparahan penyakit (%) berdasarkan skoring (Nandakumar *et al.* 2009), *Area Under Disease Progress Curve* (AUDPC) yaitu laju perkembangan penyakit terhadap waktu. Variabel pengamatan pertumbuhan bibit padi meliputi daya muncul lapang (%), tinggi bibit (cm), dan panjang akar bibit (cm) yang diukur menggunakan penggaris. Variabel pengamatan pertumbuhan tanaman padi meliputi tinggi tanaman (cm), jumlah anakan (anakan), produksi tanaman padi (g) yang meliputi berat gabah segar dan berat gabah kering. Data yang diperoleh dari hasil pengamatan dianalisis menggunakan aplikasi Stat 8. Analisis data dilakukan dengan *Analysis of Variance* (ANOVA) dan jika berbeda nyata dilanjutkan dengan uji *Least Significance Difference* (LSD) pada taraf nyata 5%.

3. Hasil

Hasil pada Tabel 1 menunjukkan bahwa aplikasi bakteri endofit memberikan pengaruh nyata terhadap masa inkubasi dan keparahan penyakit, namun tidak berpengaruh terhadap insidensi penyakit, dimana seluruh perlakuan menunjukkan insidensi 100%. Hal ini mengindikasikan bahwa bakteri endofit tidak mampu mencegah infeksi awal patogen, tetapi berperan dalam memodifikasi perkembangan penyakit setelah infeksi terjadi.

Aplikasi bakteri endofit memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap masa inkubasi penyakit busuk bulir dan menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan. Perlakuan isolat ADI35 dan BMI33 memiliki masa inkubasi yang lebih panjang yaitu 18,83 hsi dan 16,83 hsi berbeda nyata dengan kontrol 1,66 hsi). Perpanjangan masa inkubasi menunjukkan bahwa kedua isolat mampu

menghambat proses infeksi dan kolonisasi patogen pada jaringan tanaman. Sebaliknya, perlakuan isolat ADI37 dan BI31 menunjukkan masa inkubasi lebih singkat 4,50 dan 5,00 hsi. Nilai keparahan penyakit menunjukkan hasil yang konsisten dengan masa inkubasi. Isolat ADI35 menunjukkan nilai keparahan terendah 30,74%, diikuti oleh BMI33 sebesar 32,64%, sedangkan kontrol menunjukkan keparahan tertinggi (64,70%).

Data hasil pada Tabel 1 sejalan dengan nilai AUDPC pada Tabel 2, di mana isolat dengan masa inkubasi yang lebih lama dan keparahan yang lebih rendah menunjukkan nilai AUDPC yang lebih rendah, yang menunjukkan bahwa bakteri endofit memiliki kemampuan yang lebih baik untuk menghentikan perkembangan penyakit secara keseluruhan. Performa terbaik ditunjukkan oleh isolat ADI35 diikuti oleh isolat BMI33; yang memiliki nilai AUDPC sebesar yaitu 293,99 dan 351,

dengan efektivitas penekanan penyakit sebesar 70,61% dan 64,82%, Data ini menunjukkan bahwa kedua isolat tersebut mampu secara konsisten memperlambat perkembangan penyakit selama periode pengamatan. Sementara itu, isolat bakteri endofit dengan efektivitas penekanan penyakit dengan kisaran 40–55% seperti BMI31, BI41, BI33, BI34, KKI36, ADI34, dan KKI35 masih mampu menekan penyakit, namun dengan intensitas yang lebih rendah. Sebaliknya, nilai AUDPC tertinggi ditemukan pada perlakuan kontrol (1000,61) dengan efektivitas 0%, menunjukkan bahwa pada kontrol penyakit berkembang paling cepat tanpa adanya hambatan seperti pada perlakuan bakteri endofit. Perbandingan ini menunjukkan bahwa, meskipun masing-masing isolat menunjukkan tingkat efektivitas yang berbeda, semua isolat yang diuji berkontribusi dalam menekan perkembangan penyakit.

Tabel 1. Pengaruh aplikasi bakteri endofit terhadap masa inkubasi, insidensi dan keparahan penyakit busuk bulir

Perlakuan	Masa Inkubasi (Hari rata-rata \pm SD)	Insidensi penyakit (%)	Keparahan Penyakit (% rata-rata \pm SD)	Efektivitas (%)
ADI35	18.83 \pm 0.70 a	100	30.74 \pm 9.68 a	52.48
BMI33	16.83 \pm 1.60 ab	100	32.64 \pm 3.30 ab	49.55
BPI41	13.83 \pm 1.89 abc	100	35.27 \pm 6.08 abc	45.48
BI41	10.83 \pm 6 abcd	100	34.58 \pm 4.51 abc	46.55
BI34	10.16 \pm 2.02 abcd	100	40.86 \pm 9.97 bc	36.84
BMI31	9.66 \pm 7.5 abcd	100	35.72 \pm 3.77 abc	44.79
ADI34	9.16 \pm 6.25 abcd	100	37.76 \pm 8.84 abc	41.63
BI33	8.66 \pm 6.93 bcd	100	36.56 \pm 9.52 abc	43.49
KKI36	8.16 \pm 5.48 bcd	100	46.46 \pm 2.47 c	28.19
KKI35	7.16 \pm 4.48 bcde	100	36.27 \pm 2.81 abc	43.94
BI31	5.00 \pm 2 cde	100	35.80 \pm 4.78 abc	44.66
ADI37	4.50 \pm 1.32 de	100	36.79 \pm 4.08 abc	43.13
Kontrol (-)	1.66 \pm 0.57 e	100	64.70 \pm 2.94 d	0.00
KK	21.99		4.46	

Keterangan : angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama adalah berbeda tidak nyata menurut uji LSD 5%

Tabel 2. Nilai AUDPC dan persentase penekanan penyakit busuk bulir bakteri

Perlakuan	AUDPC	Efektivitas Penekanan Perkembangan penyakit (%)
ADI35	293.99	70.61
BMI33	351.95	64.82
BPI41	392.90	60.73
BMI31	447.61	55.26
BI41	475.71	52.45
BI33	526.84	47.34
BI34	530.42	46.99
KKI36	530.89	46.94
ADI34	535.84	46.44
KKI35	558.77	44.15
BI31	677.00	32.34
ADI37	752.35	24.81
Kontrol	1000.61	0.00

Hasil Aplikasi isolat bakteri endofit pada benih dan akar bibit padi menunjukkan hasil yang berbeda nyata pada pengamatan tinggi bibit, dan panjang akar bibit. Perlakuan isolat BI41 dapat memacu daya muncul lapang benih mencapai 95 %, serta dapat meningkatkan tinggi bibit dan berbeda tidak nyata dengan perlakuan ADI34, BMI31, BI33, BPI41, BI34, BMI33, KKI36, ADI37. Pada

pengamatan panjang akar BI41 berbeda nyata terhadap semua isolat perlakuan (Tabel 3). Panjang akar bibit tanaman padi berkisar antara 7,35-16,96 cm. Perlakuan perendaman dengan isolat bakteri endofit BI41 menunjukkan potensi dalam meningkatkan panjang akar bibit yaitu 16.96 cm.

Tabel 3. Pengaruh bakteri endofit dari benih padi terhadap daya muncul lapang, tinggi bibit, dan panjang akar bibit padi (21 hss)

Perlakuan	Daya muncul lapang (%)	Tinggi bibit (cm rata-rata ± SD)	Panjang Akar bibit (cm rata-rata ± SD)
BI41	95	27.21 ± 1.17 a	16.96 ± 0.15 a
ADI34	90	27.33 ± 0.56 ab	15.54 ± 0.34 b
BMI31	92	27.12 ± 1.01 abc	15.79 ± 0.24 b
BI33	92	26.80 ± 0.71 abc	14.16 ± 0.34 c
BPI41	91	26.72 ± 0.57 abc	12.97 ± 0.56 d
BI34	85	26.35 ± 1.21 abc	12.31 ± 0.27 e
BMI33	90	26.30 ± 0.90 abc	12.63 ± 0.51 de
KKI36	80	25.70 ± 0.73 abc	12.19 ± 0.32 e
ADI37	82	25.54 ± 2.26 abcd	12.29 ± 0.38 de
BI31	90	25.48 ± 0.44 bcd	12.43 ± 0.19 de
ADI35	88	25.37 ± 0.50 cd	12.60 ± 0.17 de
KKI35	80	23.82 ± 0.76 de	7.98 ± 0.22 f
Kontrol	73	22.62 ± 1.55 e	7.35 ± 0.36 g
KK		4.15	2.66

Keterangan : angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama adalah berbeda tidak nyata menurut uji LSD 5%

Tabel 4. Pengaruh isolat bakteri endofit terhadap tinggi tanaman (cm) dan jumlah anakan (batang)

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm rata-rata ± SD)	Jumlah anakan (batang rata-rata ± SD)
ADI35	72.00 ± 5.63 a	8.66 ± 0.28 a
BI41	68.66 ± 2.75 ab	8.33 ± 0.28 ab
BMI33	68.16 ± 3.05 ab	8.33 ± 0.57 ab
ADI37	68.00 ± 4.33 ab	6.50 ± 0.50 e
BPI41	66.33 ± 5.50 ab	7.83 ± 1.04 abc
ADI34	66.20 ± 1.12 ab	7.83 ± 0.76 abc
BMI31	66.11 ± 0.86 ab	8.00 ± 0.50 abc
BI34	66.00 ± 3.00 b	7.33 ± 0.28 bcde
BI31	65.33 ± 5.34 b	8.00 ± 0.50 abc
KKI35	65.00 ± 3.77 b	7.16 ± 0.76 cde
BI33	64.66 ± 2.25 b	6.66 ± 1.15 de
KKI36	64.00 ± 1.73 b	7.66 ± 0.57 abcd
Kontrol	54.83 ± 2.08 c	6.33 ± 0.28 e
KK	5.40	8.44

Keterangan : angka yang diikuti huruf kecil yang sama adalah berbeda tidak nyata menurut uji LSD 5%

Tabel 5. pengaruh isolat bakteri endofit terhadap berat gabah segar dan berat gabah kering

Perlakuan	Berat gabah segar (g rata-rata ± SD)	Berat gabah kering (g rata-rata ± SD)
BMI31	32.75 ± 8.44	25.70 ± 7.12
BMI33	42.57 ± 3.24	35.72 ± 2.85
ADI34	31.41 ± 13.71	23.38 ± 12.13
ADI35	34.85 ± 1.80	29.50 ± 0.95
ADI37	34.01 ± 7.96	26.87 ± 10.29
KKI35	29.52 ± 3.71	22.31 ± 2.53
KKI36	31.48 ± 3.65	23.05 ± 2.17
BI31	30.37 ± 4.38	23.15 ± 4.36
BI33	31.88 ± 9.16	25.10 ± 8.64
BI34	33.15 ± 15.01	28.33 ± 16.09
BI41	35.17 ± 3.61	26.70 ± 6.26
BPI41	34.80 ± 3.23	28.70 ± 5.41
Kontrol	17.42 ± 2.67	12.02 ± 2.71
KK	23.12	8.32

Gambar 3. Gejala busuk bulir padi oleh *B. glumae* pada perlakuan ADI35

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa bakteri endofit juga berperan dalam meningkatkan tinggi tanaman dan jumlah anakan tanaman padi dan berbeda nyata dengan kontrol (Data pada Tabel 4). Isolat ADI35 merupakan isolat yang potensial dalam meningkatkan tinggi tanaman padi mencapai 72.00 cm dan meningkatkan jumlah anakan padi sebanyak 8.66 batang, berbeda tidak nyata dengan perlakuan BI41, BMI33, BPI41, ADI34, BPI41, ADI34, BMI31, BI31, dan KKI36. Jumlah anakan tanaman padi berkisar antara 6.33-8.66 batang.

Hasil analisis ragam pada perlakuan isolat bakteri endofit terhadap pengamatan berat gabah segar dan berat gabah kering menunjukkan hasil berbeda tidak nyata, sehingga tidak dilanjutkan

dengan uji LSD. Hasil rata-rata standar deviasi (SD) berat gabah segar dan berat gabah kering dapat dilihat pada Tabel 5. Aplikasi isolat bakteri endofit pada benih dan akar bibit padi tidak memberikan pengaruh pada berat gabah segar dan berat gabah kering. Hal ini diduga terjadi karena adanya infeksi dari *B. glumae* pada tanaman padi dapat menyebabkan kehilangan hasil produksi tanaman padi (Gambar 3).

4. Pembahasan

Berdasarkan Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua isolat bakteri endofit mampu menekan perkembangan penyakit busuk bulir bakteri dibandingkan dengan kontrol, meskipun tingkat efektivitasnya bervariasi. ADI35 dan BMI33 merupakan isolat yang paling efektif, dimana kedua isolat ini mampu memperpanjang masa inkubasi penyakit 18,83 hsi dan 16,83 hsi, yang secara signifikan lebih lama daripada kontrol (1,66 hsi). Lebih lanjut, ADI35 dan BMI33 juga mempengaruhi tingkat keparahan penyakit terendah sebesar 30,74% dan 32,64%, dibandingkan dengan kontrol yaitu sebesar 64,70%, dengan menghasilkan efektivitas penekanan penyakit sebesar 52,48%.

Kemampuan isolat ADI35 menekan penyakit juga dapat dilihat dari parameter AUDPC, isolat ini juga mempengaruhi nilai AUDPC yaitu sebesar 293,99, yang secara signifikan lebih rendah daripada kontrol (1000,61). Nilai AUDPC yang rendah ini menunjukkan bahwa isolat ADI35 dan BMI33 mampu memperlambat perkembangan penyakit busuk bulir bakteri. Potensi kedua isolat ini menunjukkan bahwa isolat tersebut mampu menekan perkembangan penyakit selama periode pengamatan, dengan efektivitas penekanan sebesar

70,61% dan 64,82%. Kemampuan isolat ADI35 dan BMI33 untuk menunda timbulnya gejala dan menekan perkembangan penyakit diduga terkait dengan keberhasilannya dalam mengkolonisasi jaringan tanaman. Sebaliknya, isolat ADI37 menunjukkan masa inkubasi yang relatif singkat yaitu 4,50 hsi dan efektivitas penekanan penyakit yang lebih rendah (24,81%), meskipun masih lebih unggul daripada kontrol. Penurunan AUDPC pada perlakuan bakteri endofit mengindikasikan bahwa isolat-isolat tersebut tidak hanya menunda munculnya gejala, tetapi juga menghambat laju perkembangan penyakit pada masa pengamatan. Hasil ini menunjukkan bahwa bakteri endofit berperan dalam menekan perkembangan penyakit setelah infeksi terjadi, bukan mencegah infeksi awal. Oleh karena itu, isolat dengan nilai AUDPC rendah seperti yang ditunjukkan oleh isolat ADI35 dan BMI33 memiliki potensi lebih tinggi untuk dikembangkan sebagai agen biokontrol yang efektif dan stabil di lapangan. (Marwan *et al.* 2021) melaporkan bahwa perlakuan bakteri endofit pada bibit padi mampu menekan keparahan penyakit blas daun mencapai 23,90-65,5%. (Hnamte *et al.* 2024) menyatakan bahwa mekanisme kerja bakteri endofit sebagai agens hayati adalah menghasilkan senyawa antimikroba untuk menekan pertumbuhan patogen.

Iqbal. (2025) melaporkan bahwa isolat ADI35 dan BMI33 memiliki kemampuan dalam menekan *Rhizoctonia solani* penyebab penyakit hawar pelepah pada padi, isolat ini mampu menghasilkan metabolit sekunder berupa antibiotik, enzim protease, siderofor, enzim kitinase menghasilkan fitohormon indole acetic acid (IAA) serta memfiksasi Nitrogen. Sedangkan isolat ADI37 juga menghasilkan metabolit yang sama namun tidak mampu menghasilkan IAA. Perbedaan efektivitas antar isolat ini menunjukkan bahwa kemampuan biokontrol bakteri endofit sangat dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing isolat, termasuk kemampuan kolonisasi, produksi metabolit sekunder, dan interaksi dengan tanaman inang. Kolonisasi yang berhasil memungkinkan bakteri endofit untuk bersaing dengan patogen dalam memperebutkan ruang dan nutrisi serta menghasilkan metabolit antimikroba yang menghambat pertumbuhan patogen. Menurut Parida *et al.* (2017), bakteri endofit yang berhasil mengkolonisasi jaringan tanaman dapat meningkatkan ketahanan tanaman melalui persaingan, antibiosis, dan induksi resistensi sistemik. Menurut (Anam *et al.* 2024) aplikasi bakteri endofit dapat memperpanjang masa inkubasi penyakit fusarium pada padi beras merah dengan rata-rata tertinggi pada perlakuan RL yaitu 10.9 hari. (Salwan *et al.* 2023) menyatakan bahwa

bakteri genus *Bacillus* dan *Pseudomonas* dapat menginduksi sistem ketahanan tanaman dengan meningkatkan integritas struktural dinding sel melalui mekanisme penebalan dinding sel, pengendapan kallosa dan akumulasi senyawa fenolik. Menurut (Hersanti *et al.* 2009) ketahanan tanaman berperan dalam menentukan lama waktu yang dibutuhkan oleh bakteri patogen untuk menimbulkan gejala pada tanaman inang.

Isolat bakteri endofit yang diintroduksi pada benih dan akar bibit padi di lapangan mampu meningkatkan daya muncul lapang, tinggi bibit, panjang akar bibit, pertumbuhan tinggi tanaman, dan jumlah anakan. Bakteri endofit juga berperan sebagai biostimulan pada fase pertumbuhan tanaman padi. Isolat ADI35 merupakan isolat yang potensial dalam memacu pertumbuhan tanaman padi. Adanya variasi dari kemampuan isolat bakteri endofit dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman padi menunjukkan bahwa masing-masing isolat bakteri endofit mempunyai kemampuan yang berbeda-beda dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman padi melalui senyawa fitohormon yang dihasilkan untuk memacu pertumbuhan tanaman. Hal ini diduga karena isolat bakteri endofit yang diuji memiliki kemampuan menghasilkan fitohormon IAA dan memfiksasi Nitrogen, seperti yang disampaikan oleh (Iqbal 2025). Hal ini juga sejalan dengan (Yurnaliza *et al.* 2011) yang melaporkan bahwa bakteri endofit dari akar tanaman padi isolat Md1 mampu menghasilkan IAA dengan konsentrasi 1 ppm dapat meningkatkan tinggi bibit mencapai 25.58 cm dan panjang akar bibit sebesar 10.48 cm. (Pradana *et al.* 2015) melaporkan bahwa bakteri endofit dari akar tanaman padi hawa dapat meningkatkan tinggi bibit padi (18.49 cm) dan panjang akar bibit padi (13.50 cm). (Asmoro and Munif 2020) juga melaporkan bakteri endofit dari tumbuhan paku-pakuan dapat meningkatkan daya kecambah benih padi mencapai 81.33%. Menurut (Miliütè and Buzaitè 2011) bakteri endofit mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan kemampuannya memproduksi IAA yang berperan penting bagi pertumbuhan tanaman. Selanjutnya (Khalaf and Raizada 2016) melaporkan 33% dari bakteri endofit yang diisolasi dari benih Cucurbitaceae dapat memproduksi hormon IAA, selain itu bakteri endofit juga dapat meningkatkan penyerapan nutrisi oleh inang melalui berbagai mekanisme termasuk fiksasi nitrogen, pelarutan posfor.

Aplikasi isolat bakteri endofit pada benih dan akar bibit padi tidak memberikan pengaruh pada berat gabah segar dan berat gabah kering. Hal ini diduga terjadi karena adanya infeksi dari *B. glumae* pada tanaman padi dapat menyebabkan kehilangan hasil produksi tanaman padi (Gambar 3). Hasil

penelitian ini juga menegaskan bahwa aplikasi bakteri endofit meskipun mampu menekan masa inkubasi, tingkat keparahan penyakit maupun AUDPC, namun efek tersebut belum cukup berpengaruh terhadap kerusakan fisiologis yang terjadi pada masa fase kritis pembentukan hasil. (Tri 2017) menyatakan bahwa bakteri *B. glumae* menginfeksi bulir-bulir polen sehingga menyebabkan aborsi pada bulir polen tersebut yang menyebabkan bulir menjadi hampa. Hasil penelitian serupa juga dilaporkan oleh (Baharuddin *et al.* 2017) bahwa intensitas serangan bakteri *B. glumae* berkisar 25-55% menyebabkan kehilangan hasil mencapai 20-48%. Zain *et al.* (2018) juga melaporkan bahwa pemberian perlakuan isolat bakteri endofit tidak mempengaruhi berat kering gabah padi.

Namun demikian, hasil penelitian ini tetap memiliki nilai penting karena menunjukkan bahwa bakteri endofit efektif dalam mempengaruhi perkembangan penyakit busuk bulir, yang merupakan langkah awal krusial dalam strategi pengendalian terpadu. Dalam konteks pengembangan teknologi, temuan ini mengarah pada kebutuhan pendekatan lanjutan, seperti kombinasi dengan agen biokontrol lain, optimasi waktu aplikasi (misalnya mendekati fase pembungaan), atau integrasi dengan strategi pengelolaan penyakit lainnya untuk memperoleh dampak yang lebih nyata terhadap hasil panen.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa beberapa isolat bakteri endofit dari benih padi berpotensi sebagai agens pengendali hayati terhadap penyakit busuk bulir bakteri yang disebabkan oleh *Burkholderia glumae*. Isolat ADI35 dan BMI33 menunjukkan kemampuan terbaik dalam menekan perkembangan penyakit, yang ditunjukkan oleh nilai keparahan penyakit yang lebih rendah, masa inkubasi yang lebih panjang, serta nilai AUDPC yang lebih rendah dibandingkan perlakuan lainnya. Selain itu, beberapa isolat bakteri endofit juga mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman padi pada fase pembibitan dan pertumbuhan vegetatif. Oleh karena itu, isolat ADI35 dan BMI33 berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai agens hayati dalam pengendalian penyakit busuk bulir pada tanaman padi.

6. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Andalas atas pendanaan penelitian melalui skema Penelitian Skripsi Sarjana Batch I. No. kontrak: 24/UN16.19/PT.01.03/PSS/2025). Tahun Anggaran 2025.

7. Declaration of Conflicting Interests

The author declares that there is no potential conflict of interest in the research, writing and publication of this article.

8. Daftar Pustaka

- Apriliani, L., Alfiah N, Zul D, Nelvia. 2016. Pengaruh Inokulasi Campuran Isolat Bakteri Pelarut Fosfat Indigenus Riau Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kedelai (*Glycine max L. Merr*). *J Agroteknologi*. 7(1):7-14.
- Anam AK, Mariana M, Budi IS. 2024. Formulasi Bakteri Endofit Untuk Menekan Kejadian Penyakit Fusarium Pada Padi Beras Merah (*Oryza nivara. L*). *J Prot Tanam Trop*. 7(2):865-873. <https://doi.org/10.20527/jpvt.v7i2.2606>
- Asmoro PP, Munif A. 2020. Bakteri Endofit dari Tumbuhan Paku-pakuan sebagai Agens Hayati *Rhizoctonia solani* dan Pemacu Pertumbuhan Tanaman Padi. *J Fitopatol Indones*. 15(6):239-247. <https://doi.org/10.14692/jfi.15.6.239-247>
- Atuesta GCP, Arango WM, Eras J, Oliveros DF, Arteaga JJM. 2020. Rice-associated rhizobacteria as a source of secondary Metabolites against *Burkholderia glumae*. *Molecules*. 25(11). <https://doi.org/10.3390/molecules25112567>
- Baharuddin et al. 2017. Keberadaan Penyakit Busuk Bulir (*Burkholderia glumae*) pada Tanaman Padi di Sulawesi Selatan. In: *Simp Nas Fitopatol. Bogor*; p. 19-26.
- Hernández I, Taulé C, Pérez-Pérez R, Battistoni F, Fabiano E, Villanueva-Guerrero A, Nápoles MC, Herrera H. 2023. Endophytic Seed-Associated Bacteria as Plant Growth Promoters of Cuban Rice (*Oryza sativa L.*). *Microorganisms*. 11(9). <https://doi.org/10.3390/microorganisms11092317>
- Hersanti, Rupendi R, Purnama A, Hanudin, Marwoto B, Gunawan O. 2009. Hersanti 2009. *J Agrik*. 20(3):198-203.
- Hnamte L, Vanlallawmzuali, Kumar A, Yadav MK, Zothanpuia, Singh PK. 2024. An updated view of bacterial endophytes as antimicrobial agents against plant and human pathogens. *Curr Res*

- Microb Sci [Internet]. 7(May):100241. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100241>
- Iqbal M. 2025. Eksplorasi dan Karakterisasi Bakteri Endofit dari Beberapa Varietas Benih Padi untuk Menekan Pertumbuhan Jamur *Rhizoctonia solani* Khun. dan Meningkatkan Bibit Padi (Skripsi). [place unknown]: Universitas Andalas. Padang.
- Isnaeni SJ, Masnilah R. 2020. Identifikasi penyebab penyakit busuk bulir bakteri pada tanaman padi (*Oryza sativa*) dan pengendaliannya menggunakan isolat *Bacillus* spp. secara in vitro. *J Prot Tanam Trop*. 1(1):14. <https://doi.org/10.19184/jptt.v1i1.15584>
- Kandel SL, Joubert PM, Doty SL. 2017. Bacterial endophyte colonization and distribution within plants. *Microorganisms*. 5(4). <https://doi.org/10.3390/microorganisms5040077>
- Khalaf EM, Raizada MN. 2016. Taxonomic and functional diversity of cultured seed associated microbes of the cucurbit family. *BMC Microbiol*. 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12866-016-0743-2>
- Marwan H, Nusifera S, Mulyati S. 2021. Potensi Bakteri Endofit sebagai Agens Hayati untuk Mengendalikan Penyakit Blas pada Tanaman Padi. *J Ilmu Pertan Indones*. 26(3):328–333. <https://doi.org/10.18343/jipi.26.3.328>
- Miliūtė I, Buzaitė O. 2011. IAA production and other plant growth promoting traits of endophytic bacteria from apple tree. *Biologija*. 57(2):98–102.
- Nandakumar R, Shahjahan AKM, Yuan XL, Dickstein ER, Groth DE, Clark CA, Cartwright RD, Rush MC. 2009. *Burkholderia glumae* and *B. gladioli* cause bacterial panicle blight in rice in the Southern United States. *Plant Dis*. 93(9):896–905. <https://doi.org/10.1094/PDIS-93-9-0896>
- Pal G, Kumar K, Verma A, Verma SK. 2022. Seed inhabiting bacterial endophytes of maize promote seedling establishment and provide protection against fungal disease. *Microbiol Res*. 255. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126926>
- Pinski A, Betekhtin A, Hupert-Kocurek K, Mur LAJ, Hasterok R. 2019. Defining the genetic basis of plant–endophytic bacteria interactions. *Int J Mol Sci*. 20(8). <https://doi.org/10.3390/ijms20081947>
- Pradana A, Putri D, Munif A. 2015. Exploration of Endophytic Bacteria from Root of Adam Hawa Plant and Their Potency as a Biocontrol Agents and Plant Growth Promoting Agents on Rice. *J Fitopatol Indones*. 11(3):73–78. <https://doi.org/10.14692/jfi>
- Rahma H, Martinius, Khairul U, Rahmi F. 2023. The potential of beneficial microbes to suppress the development of bacterial leaf blight in rice plants caused by *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. *Biodiversitas*. 24(8):4209–4217. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240801>
- Ramadhan AR, Oedjijono O, Hastuti RD. 2017. Efektifitas Bakteri Endofit dan Penambahan Indole Acetic Acid (IAA) dalam Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.). *Scr Biol*. 4(3):177–181. <https://doi.org/10.20884/1.sb.2017.4.3.542>
- Salwan R, Sharma M, Sharma A, Sharma V. 2023. Insights into plant beneficial microorganism-triggered induced systemic resistance. *Plant Stress*. 7. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100140>
- Tri J. 2017. *Burkholderia glumae* sebagai Emerging Pathogen: Status, Potensi Kerusakan, dan Strategi Pengendalian. *Pros Simp Nas Fitopatol* [Internet]. (June):27–35. <https://www.researchgate.net/publication/317560441>
- Wiarpiz. 2022. Inventarisasi Penyakit Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) di Kecamatan Lubuk Basung dan Tanjung Raya, Kabupaten Agam, Sumatra Barat (Skripsi). [place unknown]: Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Widiantini F, Yulia E, Fiko DS. 2022. Growth Inhibition of *Rhizoctonia solani* and Its Infection Inhibition on the Rice Seedling by Rice Endophytic Bacteria. *J Fitopatol Indones*. 18(2):75–84. <https://doi.org/10.14692/jfi.18.2.75-84>
- Wu W, Chen W, Liu S, Wu J, Zhu Y, Qin L, Zhu B. 2021. Beneficial Relationships Between Endophytic Bacteria and Medicinal Plants. *Front Plant Sci*. 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.646146>
- Yurnaliza, Siregar M, Priyani N. 2011. Peran Bakteri Endofit Penghasil IAA (Indole Acetic Acid) Terseleksi Terhadap Pertumbuhan Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.). In: *Pros Semin Nas Biol Meningkatkan Peran Biol dalam Mewujudkan Natl Achiev with Glob Reach*. Medan; p. 219–228.

**Research Article****Efek Eugenol dan Kombinasinya dengan Asam Lemak terhadap Toksisitas dan Aktivitas Enzim pada *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)*****The Effect of Eugenol and Its Mixtures with Several Fatty Acids on the Toxicity and Enzyme Activity of Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae)*****Lili Amelia^{1*}, Yusup Hidayat², Danar Dono²**¹Program Studi Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran²Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung-Sumedang KM 21 Jatinangor 45363

Received: May 13, 2026 /Received in revised : June 14, 2026/ Accepted: June 15, 2026

ABSTRACT

Spodoptera frugiperda has become a serious threat to maize production in Indonesia, causing significant yield losses. This study aimed to evaluate the effectiveness of combinations of eugenol and fatty acids (oleic acid, myristic acid, and lauric acid) against the mortality of *S. frugiperda* larvae. All mixtures of eugenol and fatty acids were prepared at a ratio of 1:5 and tested at five concentration levels (0.1, 0.5, 1, 2, and 5% w/v) along with a control treatment. The results showed significant differences in activity among treatments. Almost all tested concentrations of the eugenol and oleic acid mixture (0.5, 1, 2, and 5%) significantly affected larval mortality, with mortality values ranging from 80–100%. The combination of eugenol and lauric acid increased larval mortality starting at 0.5% concentration, reaching 28.74%. Meanwhile, the highest mortality in the eugenol and myristic acid treatment occurred at 2% and 5% concentrations, with mortality rates of 98.75% and 100%, respectively. Toxicity analysis showed that the LD₅₀ value of eugenol alone was 0.69 mg g⁻¹ larva, while the combinations with oleic acid, lauric acid, and myristic acid resulted in LD₅₀ values of 0.25, 0.74, and 0.50 mg g⁻¹ larva, respectively. The synergistic ratio (SR) indicated that the combination of eugenol and oleic acid produced the highest synergistic effect, with an SR value of 2.76. All combinations of eugenol and fatty acids affected the specific activities of cytochrome P450, glutathione S-transferase, and esterase enzymes in *S. frugiperda* larvae. Overall, the combination of eugenol and oleic acid (1:5) showed the best effect compared to combinations of eugenol with lauric acid or myristic acid against *S. frugiperda* larvae.

Keywords: Eugenol; Fatty Acid; Fall Armyworm; Topical; Botanical Pesticide**ABSTRAK**

Indonesia dan menyebabkan kerugian hasil yang signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi keefektifan kombinasi eugenol dan asam lemak (asam oleat, asam miristat dan asam laurat) terhadap mortalitas larva *S. frugiperda*. Semua campuran eugenol dan asam lemak disiapkan dalam rasio 1:5 dengan lima tingkat konsentrasi (0,1; 0,5; 1; 2 dan 5 % (w/v)) serta kontrol. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan aktivitas yang nyata antara perlakuan. Hampir semua konsentrasi yang diuji pada campuran eugenol dan asam oleat (0,5, 1, 2 dan 5%) berpengaruh nyata terhadap mortalitas larva *S. frugiperda* dengan nilai mortalitas sebesar 80-100%. Campuran eugenol dan asam laurat menunjukkan peningkatan mortalitas

*Korespondensi Penulis

E-mail : yusup.hidayat@unpad.ac.idDOI: <https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v10i1.1003>

mulai dari konsentrasi 0,5% yaitu sebesar 28,74%. Sedangkan pada campuran eugenol dan asam miristat, mortalitas paling tinggi terjadi pada konsentrasi 2% dan 5% masing-masing 98,75% dan 100%. Analisis toksisitas menunjukkan nilai LD₅₀ eugenol tunggal sebesar 0,69 mg gr⁻¹ larva, sedangkan kombinasi dengan asam oleat, asam laurat, dan asam miristat masing-masing sebesar 0,25; 0,74; dan 0,50 mg gr⁻¹ larva. Nilai synergistic ratio (SR) menunjukkan bahwa kombinasi eugenol dan asam oleat memberikan efek sinergis tertinggi yaitu 2,76. Seluruh perlakuan kombinasi eugenol dan asam lemak memengaruhi aktivitas spesifik enzim sitokrom P450, glutathion S-transferase, dan esterase pada larva *S. frugiperda*. Secara keseluruhan, campuran eugenol dan asam oleat (1:5) memberikan efek terbaik dibandingkan campuran eugenol dengan asam laurat atau dengan asam miristat (1:5) terhadap larva *S. frugiperda*.

Kata kunci: Asam lemak; Eugenol; Ulat grayak jagung; Topikal; Pestisida Nabati

1. Pendahuluan

Spodoptera frugiperda atau yang biasa dikenal dengan ulat grayak jagung merupakan salah satu hama pertanian penting secara global. Serangga ini memiliki kemampuan menyerang lebih dari 350 spesies tanaman, terutama pada famili Poaceae, Asteraceae dan Fabaceae (Montezano *et al.*, 2018). Berdasarkan laporan, kerugian akibat *S. frugiperda* bervariasi antara 22 hingga 67% di berbagai belahan dunia (Day *et al.*, 2017; Kassie *et al.*, 2020). Sejak tahun 2019 sampai 2022, serangan *S. frugiperda* di berbagai wilayah Indonesia telah tercatat antara 15 hingga 100% (Asfiya *et al.*, 2020; Kalqutny *et al.*, 2021; Mukkun *et al.*, 2021; Subagyo *et al.*, 2024). Kondisi tersebut menunjukkan perlunya pengendalian *S. frugiperda* yang efektif. Seperti pemanfaatan tanaman sebagai pestisida bahan alami yang ramah lingkungan.

Salah satu tanaman yang dapat digunakan sebagai pestisida nabati untuk mengendalikan serangan hama dari ordo lepidoptera yaitu *Syzigium aromaticum* atau biasa dikenal dengan tanaman cengkeh. Eugenol yang merupakan kandungan utama dari minyak cengkeh, diketahui memiliki kemampuan dalam mengendalikan serangan hama. Senyawa ini dilaporkan efektif terhadap beberapa serangan hama seperti ulat grayak jagung *S. frugiperda* (Vargas-Méndez *et al.*, 2019), ulat krop kubis *Crociodolomia pavonana* (Rismayani & Laba, 2016), ulat daun kubis *Plutella xylostella* (Da Camara *et al.*, 2022), *S. littoralis* (Wahba *et al.*, 2022), dan *S. litura* (Fateha *et al.*, 2020). Secara fisiologis, eugenol dan turunannya memiliki mekanisme kerja sebagai penghambat enzim Acetylcholinesterase (AChE) yang merupakan enzim penting dalam sistem saraf serangga. Penghambatan enzim ini menyebabkan akumulasi acetylcholine pada sinaps, sehingga menimbulkan gangguan impuls saraf yang berujung pada paralisis dan kematian serangga. Beberapa pengujian telah mengkonfirmasi kemampuan eugenol dalam mengikat acetylcholinesterase seperti pada *S. frugiperda* (Coelho *et al.*, 2022; Fernandes *et al.*, 2022; Vargas-Méndez *et al.*, 2019); *Tribolium*

castaneum (Ikawati *et al.*, 2022); dan *Aedes aegypti* (Almadiy, 2020).

Meskipun pestisida nabati memiliki berbagai kelebihan, nilai toksisitasnya yang rendah menjadi salah satu hambatan dalam pengembangan pestisida nabati. Nilai toksisitas insektisida dapat ditingkatkan dengan cara menambah bahan sinergis yang memiliki aktivitas penghambatan enzim detoksifikasi pada serangga (Tak & Isman, 2015). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kombinasi bahan toksik dan bahan sinergis dapat meningkatkan toksisitas bahan aktif hingga 20 kali lipat (Ramadan *et al.*, 2022).

Bahan sinergis dapat berasal dari bahan sintetik maupun alami. Beberapa bahan sinergis sintetik yang telah umum digunakan diantaranya *Piperonyl butoxide* (PBO) dan *S.S.S-tributyl phosphotritioate* (DEF) yang mampu menurunkan efek resistensi serangga hama pada insektisida sintetik (Chang *et al.*, 2010; Yu *et al.*, 2025). Selain digunakan pada bahan aktif sintetik, bahan sinergis sintetik dilaporkan mampu meningkatkan toksisitas dari bahan alami seperti minyak nabati *Origanum vulgare* (Chen *et al.*, 2023). Meskipun penggunaan bahan sinergis sintetik sudah banyak digunakan dalam penelitian toksisitas insektisida, bahan sinergis alami juga memiliki potensi yang sama kuatnya. Bahan alami yang memiliki kemampuan sebagai bahan sinergis diantaranya *Sesamum indicum* (Widayani *et al.*, 2023), *Piper amalago* (Francis *et al.*, 2025), dan asam lemak (Ramadan *et al.*, 2022).

Beberapa asam lemak diketahui dapat meningkatkan toksisitas insektisida dalam mengendalikan serangan hama. Asam linoleate dan asam oleat secara signifikan meningkatkan aktivitas permethrin terhadap *Myzus persicae* ketika dicampurkan dalam rasio 4:1 (Khot, 2009). Selain itu, asam linoleate juga memiliki efek sinergis pada toksisitas emamektin benzoate dan indoksakarb dalam mengendalikan hama *Spodoptera littoralis* (Eldesouky *et al.*, 2019).

Pemilihan asam oleat, asam laurat, dan asam miristat dalam penelitian ini didasarkan pada perbedaan struktur kimianya yang mencerminkan variasi panjang rantai karbon dan tingkat

kejenuhan. Asam oleat (C18:1) merupakan asam lemak tak jenuh tunggal dengan rantai panjang yang diketahui memiliki kemampuan meningkatkan penetrasi senyawa aktif melalui kutikula serangga akibat fleksibilitas molekulnya (de Melo *et al.*, 2018; Desbois & Smith, 2010). Asam laurat (C12:0) dan asam miristat (C14:0) merupakan asam lemak jenuh rantai sedang yang dilaporkan memiliki aktivitas biologis terhadap serangga dan mikroorganisme (Kim & Rhee, 2016; Ramadan *et al.*, 2022). Perbedaan sifat fisikokimia ketiga asam lemak tersebut diduga akan menghasilkan perbedaan kapasitas sinergisme dengan eugenol, sehingga perlu dikaji secara komparatif untuk mengidentifikasi kombinasi yang paling efektif.

Penambahan asam lemak rantai pendek (campuran asam kaprilat, asam nonanoat, dan asam kaprat) sebagai bahan sinergis pada insentisida sintetik deltamethrin, terbukti mampu meningkatkan toksisitasnya (Ramadan *et al.*, 2022). Sejauh ini belum ada penelitian mengenai penambahan asam lemak rantai panjang (asam oleat, asam miristat dan asam laurat) pada bahan alami seperti eugenol untuk mengendalikan hama *S. frugiperda*. Selain itu, belum ada yang mengukur dampak dari penambahan asam lemak rantai panjang terhadap reaksi enzimatik yang terjadi dalam tubuh *S. frugiperda*.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pestisida dan Toksikologi Lingkungan, Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran. Waktu persiapan alat, bahan, pengujian, dan pengolahan data dimulai dari bulan Desember 2025 sampai April 2026.

Persiapan Serangga Uji *S. frugiperda*

Larva dikembangbiakkan di dalam wadah plastik kecil berukuran 34 x 28 x 7 cm yang diberi pakan jagung setiap harinya pada suhu 28±1 °C, dengan kelembapan relative 72±15%. Setelah larva berubah menjadi pupa, dipindahkan ke dalam kandang khusus tempat pemeliharaan imago yang berukuran 45 x 45 x 45 cm hingga menjadi imago.

Imago diberi pakan berupa cairan madu murni 10% menggunakan media kapas. Pada bagian sudut kandang diberi tisu yang menjadi tempat peletakkan telur oleh imago. Kelompok telur dikumpulkan setiap harinya dan di tempatkan pada wadah plastik berukuran 10 x 9 x 4,5 cm yang telah diberi alas kertas. Pemeliharaan serangga dilakukan secara berkala sehingga ketersediaan larva tetap terjaga selama proses pengujian.

Penyediaan Eugenol dan Asam Lemak

Bahan aktif eugenol 99,5% yang berasal dari tanaman cengkeh didapatkan dari van aroma (*Indonesia Essential Oils, Aroma Molecules and Botanical Extracts*). Asam lemak (Asam oleat, Asam miristat dan Asam laurat) didapatkan dari Multi Jaya Kimia.

Pengujian Efek Eugenol dan Kombinasinya dengan Asam Lemak terhadap Larva *S. frugiperda*

Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Penelitian terdiri dari empat pengujian untuk melihat efek tunggal eugenol serta kombinasinya dengan tiga jenis asam lemak yaitu asam oleat, asam laurat dan asam miristat.

Eugenol dan masing-masing asam lemak dicampur menggunakan rasio 1:5 dalam pelarut aseton. Konsentrasi perlakuan yang digunakan (0,1; 0,5; 1; 2; dan 5%) (w/v) dinyatakan berdasarkan persentase eugenol, bukan berdasarkan konsentrasi total campuran. Eugenol berperan sebagai senyawa aktif utama, sementara asam lemak digunakan sebagai bahan sinergis. Perlakuan kontrol pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan aseton. Sebanyak 20 ekor larva instar 3 *S. frugiperda* digunakan pada setiap perlakuan dan diulang sebanyak empat kali.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan uji kontak dengan metode topikal yang dikembangkan dari penelitian Kiran *et al.*, (2008) dan Vargas-Méndez *et al.*, (2019). Larutan uji diaplikasikan pada bagian dorsal toraks larva menggunakan topikal dispenser sebanyak 1 µl untuk setiap perlakuan. Setelah diberi perlakuan, masing-masing larva ditempatkan dalam cawan petri (diameter = 9 cm; tinggi = 1,5 cm) yang telah dilapisi alas dari tisu dan diberi pakan berupa jagung semi. Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah kematian serangga uji selama 24 jam. Larva *S. frugiperda* dikategorikan mati apabila disentuh dengan menggunakan kuas tidak memberikan respon pergerakan organ tubuhnya.

Data mortalitas yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan analisis probit guna menentukan nilai LD₅₀. Nilai LD₅₀ digunakan untuk menghitung efek sinergisme atau Sinergistic ratio (SR) dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Ramadan *et al.*, 2022):

$$SR = \frac{LC50 \text{ bahan aktif (eugenol)}}{LC50 \text{ campuran (eugenol+asam lemak)}}$$

Pengujian Aktivitas Enzim Detoksifikasi pada Larva *S. frugiperda*

Pengujian aktivitas tiga enzim detoksifikasi (Cytochrome P450, Esterase, dan GST) pada larva instar III *S. frugiperda* dilakukan menggunakan metode topikal dengan konsentrasi campuran 2% (1:5), di mana setiap taraf perlakuan dan kontrol diulang empat kali menggunakan 10 ekor larva per ulangan. Setelah diamati selama 48 jam, larva yang hidup dibekukan dan digerus dalam akuades (10 mg larva/mL) pada suhu 4°C, lalu disentrifugasi pada 10.000 rpm selama 30 menit untuk mendapatkan supernatan sebagai ekstrak enzim. Untuk mengukur kadar protein sampel, metode Lowry diterapkan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang ($\lambda = 750$ nm) dengan akuades sebagai blanko (Dono *et al.*, 2010), Hasilnya diplotkan terhadap kurva baku dari larutan standar Bovine Serum Albumin (BSA) berkonsentrasi 0,1 hingga 2,5 mg/mL yang direaksikan Pereaksi A (Larutan NaCO₃ 2% dalam NaOH 0,1 N), Pereaksi B (CuSO₄.5H₂O 0,5% dalam Na.K tartat 1%), Pereaksi C (Campuran pereaksi A dan B dengan perbandingan 50:1), dan Pereaksi D (Follin Ciocalteu dalam akuades dengan perbandingan 1:1).

Pengujian Aktivitas Enzim Sitokrom P450

Aktivitas enzim sitokrom P450 dalam penelitian ini dianalisis berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Ghaderi *et al.*, (2021). Homogenat serangga sebanyak 20 μ l ditambahkan kedalam microtiter plate. Kemudian ditambah dengan 80 μ l buffer fosfat potassium 0,625 M, 200 μ l larutan 3,3',5,5'-Tetramethylbenzidine (TMBZ) dan 25 μ l hydrogen peroksida 3% kedalam microtiter plate yang sama. Plate diinkubasi selama 2 jam pada suhu ruang dan absorbansi diukur pada panjang gelombang 450nm menggunakan spectrophotometer.

Pengujian Aktivitas Enzim Esterase

Aktivitas enzim esterase total ditentukan berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Ramadan *et al.* (2022). Prosedur yang dilakukan yaitu mempersiapkan sampel uji dengan mencampurkan 50 μ l asam lemak (sesuai perlakuan) dengan 950 μ l supernatan. Campuran diinkubasi pada suhu 37°C selama 15 menit. Setelah itu, menyiapkan tabung reaksi yang berisi 0,5 ml buffer fosfat 0,1 M pH 7,5 dicampurkan 15 μ l substrat α -naftil asetat (0,02 M dalam methanol murni), 2 ml fast blue RR (0,2 mg/ml H₂O) dan 50 μ l

sampel uji *S. frugiperda* yang telah diinkubasi sebelumnya. Kemudian smpuran diinkubasi kembali pada suhu 37°C selama 30 menit. Aktivitas enzimatik dilakukan menggunakan spectrophotometer pada $\lambda = 490$ nm. Aktivitas esterase total dinyatakan sebagai serapan cahaya per menit per mg protein.

Pengujian Aktivitas Enzim Glutation S-transferase

Pengujian aktivitas enzim glutation S-transferase (GST) pada larva *Spodoptera frugiperda* dapat dilakukan menggunakan metode kombinasi dari Dono *et al.*, (2010) dan Ramadan *et al.*, (2022). Untuk pengukuran aktivitas GST, larutan reaksi terdiri dari 730 μ l buffer glutation tereduksi (10 mM), 10 μ l substrat CDNB (150 mM), dan 10 μ l enzim (homogenat/supernatan), lalu dicampur dalam kuvet 1,5 mL. Absorbansi diukur pada panjang gelombang 340 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Aktivitas enzim dinyatakan sebagai Δ Abs/min/mg protein.

Analisis Data

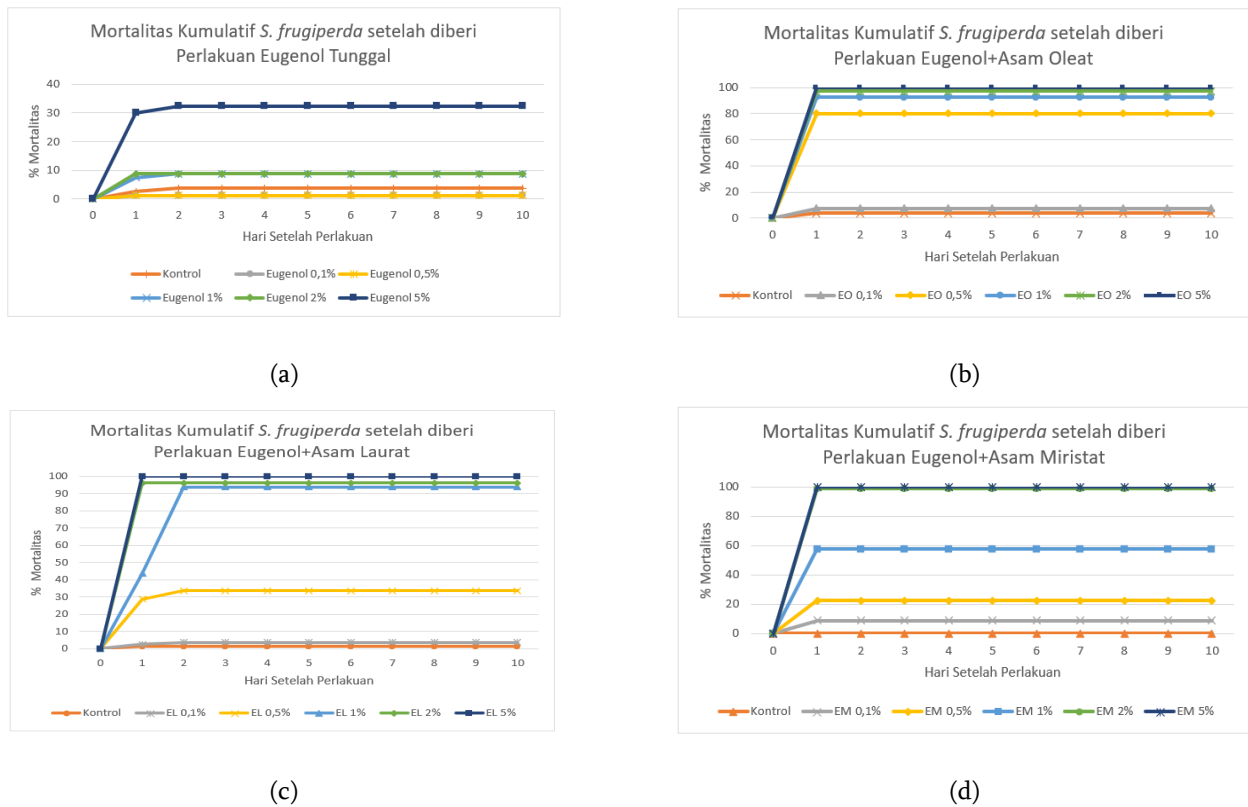
Data yang diperoleh terlebih dahulu diuji menggunakan uji normalitas dan homogenitas. Apabila data tidak terdistribusi normal, maka dilakukan transformasi data sebelum dianalisis menggunakan analisis varians (ANOVA). Data kemudian dianalisis dengan uji ANOVA pada taraf kepercayaan 95%. Apabila terhadap pengaruh nyata dari perlakuan, maka dilakukan uji lanjut Tukey untuk mengidentifikasi perbedaan antarperlakuan. Perangkat lunak yang digunakan untuk analisis yaitu Minitab versi 22.

3. Hasil

Pengaruh Eugenol dan Campurannya dengan Asam Lemak terhadap Mortalitas *S. frugiperda*

Tiga kombinasi eugenol dan asam lemak telah diuji dengan menggunakan metode topikal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran eugenol dan asam oleat (1:5) memberikan efek mortalitas lebih tinggi dibandingkan campuran eugenol dengan asam laurat atau dengan asam miristat (1:5). Efektivitas campuran juga lebih baik jika dibandingkan dengan perlakuan eugenol saja. Ini adalah laporan pertama mengenai keefektifan campuran eugenol dan asam lemak terhadap suatu spesies serangga hama.

Efek Eugenol dan Kombinasinya dengan Asam Lemak terhadap Toksisitas dan Aktivitas Enzim pada *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)



Gambar 1. Mortalitas Akumulatif *S. frugiperda* setelah Perlakuan Eugenol dan Campurannya dengan Asam Lemak

Pengaruh Eugenol Tunggal Terhadap Mortalitas Larva *S. frugiperda*

Hasil percobaan menunjukkan bahwa perlakuan eugenol berpengaruh nyata terhadap mortalitas larva *S. frugiperda*. Diantara semua konsentrasi yang diuji, yang memberikan pengaruh nyata terhadap mortalitas adalah perlakuan eugenol pada konsentrasi 5%. Pada konsentrasi

tersebut mortalitas larva *S. frugiperda* sebesar 30%. Pada konsentrasi 0,1 – 2%, mortalitas larva *S. frugiperda* berkisar antara 1,25 – 8,75%, yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol (2,5%). Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas eugenol sebagai insektisida tunggal masih terbatas, terutama pada konsentrasi rendah (Tabel 1).

Tabel 1. Mortalitas *S. frugiperda* dalam 24 jam setelah diberi perlakuan Eugenol Tunggal dan Campurannya dengan Asam Lemak

Perlakuan (%)	Mortalitas (%)			
	Eugenol	EO	EL	EM
Kontrol	2,5 ± 1,445 b	3,75 ± 1,25 c	1,25 ± 1,25 c	0,0 ± 0,0 e
0,1	1,25 ± 1,25 b	7,50 ± 3,225 c	2,50 ± 2,50 c	8,75 ± 12,5 d
0,5	1,25 ± 1,25 b	80,0 ± 6,455 b	28,75 ± 5,545 b	22,50 ± 1,445 c
1	7,5 ± 1,445 b	92,50 ± 1,445 ab	93,75 ± 3,75 a	57,50 ± 3,225 b
2	8,75 ± 2,395 b	97,50 ± 1,445 a	96,25 ± 2,395 a	98,75 ± 1,25 a
5	30,0 ± 2,885 a	100,0 ± 0,0 a	96,25 ± 2,395 a	100,0 ± 0,0 a

Keterangan: Huruf yang sama dibelakang angka pada satu kolom menunjukkan tidak terdapat perbedaan menurut uji jarak berganda Tukey pada taraf 5%. EO (Eugenol + Asam Oleat); EL (Eugenol+Asam Laurat); EM (Eugenol+Asam Miristat)

Pengaruh Campuran Eugenol dan Asam Lemak (Asam Oleat, Asam Laurat dan Asam Miristat) (1:5) (w/w) terhadap Mortalitas Larva *S. frugiperda*

Pencampuran eugenol dengan asam lemak (asam oleat, asam laurat dan asam miristat) secara nyata meningkatkan mortalitas larva *S. frugiperda*. Hasil percobaan menunjukkan bahwa terdapat pengaruh nyata dari campuran eugenol dan asam oleat terhadap mortalitas larva *S. frugiperda*. Diantara semua konsentrasi yang diuji, hampir semuanya (0,5, 1,2 dan 5%) berpengaruh nyata terhadap mortalitas larva *S. frugiperda* (80-100%). Hanya perlakuan konsentrasi terendah yang diuji (0,1%) yang mortalitasnya tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol. Hasil percobaan pada campuran eugenol dengan asam laurat terhadap mortalitas *S. frugiperda* pada perlakuan konsentrasi 0,5% telah menunjukkan hasil yang berbeda nyata dengan kontrol, yaitu sebesar 28,74%. Terjadi peningkatan mortalitas yang signifikan dari konsentrasi 1% (43,75%) hingga konsentrasi 2% (96,25%). Sementara itu, campuran dengan asam miristat pada konsentrasi terendah (0,1%), mortalitas larva yang dihasilkan telah menunjukkan hasil yang berbeda nyata dengan kontrol. Mortalitas yang sangat tinggi terjadi pada campuran eugenol dan asam miristat konsentrasi 2 dan 5% masing-masing 98,75% dan 100%. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa

penambahan asam lemak berperan penting dalam meningkatkan efektivitas eugenol terhadap larva *S. frugiperda*. Hasil percobaan menunjukkan bahwa mortalitas kumulatif larva *S. frugiperda* baik pada perlakuan eugenol tunggal maupun eugenol dan campurannya dengan asam lemak, menunjukkan peningkatan yang sangat cepat pada 24 jam setelah perlakuan (Gambar 1). Setelah periode tersebut, tidak terjadi peningkatan mortalitas yang berarti hingga akhir waktu pengamatan, yang menunjukkan bahwa sebagian besar kematian larva terjadi pada fase awal setelah paparan.

Tabel 2 menunjukkan nilai LD₅₀ dan LD₉₉ dari perlakuan eugenol dan campurannya dengan beberapa asam lemak terhadap larva *S. frugiperda*. Eugenol tunggal memiliki nilai LD₅₀ sebesar 0,69 mg/gr larva. Di antara seluruh perlakuan kombinasi, perlakuan EO menunjukkan toksisitas tertinggi dengan nilai LD₅₀ terendah, yaitu 0,25 mg/gr larva, diikuti oleh EM sebesar 0,50 mg/gr larva, sedangkan EL memiliki nilai LD₅₀ sebesar 0,74 mg/gr larva. Berdasarkan nilai Synergistic Factor (SF), perlakuan EO dan EM menunjukkan efek sinergis dengan nilai SF masing-masing sebesar 2,76 dan 1,38, sementara perlakuan EL menunjukkan efek antagonis dengan nilai SF kurang dari 1,0, yaitu 0,93. Hasil ini mengindikasikan bahwa kombinasi EO merupakan perlakuan paling efektif karena mampu meningkatkan toksisitas eugenol secara signifikan dibandingkan perlakuan lainnya.

Tabel 2. Toksisitas Eugenol dan Campurannya dengan Asam Lemak terhadap *S. frugiperda* pada ratio 1:5 setelah 24 jam

Perlakuan	LD ₅₀ (mg/gr larva)	LD ₉₉ (mg/gr larva)	Slope ± S.E	Intercept ± S.E	X2	Pvalue	SR
E	0,69 (0,64 - 0,73)	1,36 (1,25 - 1,51)	34,51 ± 2,81	2,38 ± 0,19	4,2208	0,000	
EO	0,25 (0,23 - 0,27)	0,56 (0,51 - 0,63)	74,16 ± 6,27	1,86 ± 0,15	21,7008	0,000	2,76
EL	0,74 (0,67 - 0,82)	1,88 (1,69 - 2,14)	20,52 ± 1,75	1,54 ± 0,14	10,2053	0,000	0,93
EM	0,50 (0,46 - 0,55)	1,05 (0,94 - 1,19)	37,39 ± 3,17	1,88 ± 0,14	8,1283	0,000	1,38

Keterangan: SR (Synergistic Ratio) LD₅₀ Eugenol Tunggal/LD₅₀ Campuran

Tabel 3. Data akumulasi aktivitas enzim detoksifikasi perlakuan eugenol dan campurannya dengan asam lemak

Perlakuan	Aktivitas spesifik enzim detoksifikasi (unit/mg)		
	CP450	Esterase	GST
Kontrol	47,02	294,34	104,65
E	52,54	242,91	126,98
EO	26,23	237,44	133,12
EL	39,49	233,98	126,70
EM	30,21	233,98	135,07

Keterangan: E: Eugenol; EO; Eugenol+Asam Oleat; EL: Eugenol+Asam Laurat; EM: Eugenol+Asam Miristat

Pengaruh Campuran Eugenol dan Asam Lemak (Asam Oleat, Asam Laurat dan Asam Miristat) (1:5) (w/w) terhadap Aktivitas Enzim pada Larva *S. frugiperda*

Hasil pengujian aktivitas enzim detoksifikasi menunjukkan pola yang berbeda untuk setiap enzim yang diuji (Tabel 3). Aktivitas CP450 pada perlakuan eugenol tunggal (E) sedikit meningkat (52,54 unit/mg) dibandingkan kontrol (47,02 unit/mg), namun seluruh perlakuan campuran eugenol dan asam lemak menunjukkan penurunan aktivitas CP450 di bawah nilai kontrol, dengan penurunan terbesar pada EO (26,23 unit/mg), diikuti EM (30,21 unit/mg) dan EL (39,49 unit/mg). Aktivitas esterase mengalami penurunan pada seluruh perlakuan eugenol dibandingkan kontrol (294,34 unit/mg), dengan penurunan lebih besar pada perlakuan campuran (233,98–237,44 unit/mg) dibandingkan eugenol tunggal (242,91 unit/mg), yang mengindikasikan bahwa penambahan asam lemak turut berkontribusi dalam menekan aktivitas esterase. Berbeda dengan kedua enzim tersebut, aktivitas GST meningkat pada seluruh perlakuan eugenol dibandingkan kontrol (104,65 unit/mg), dengan aktivitas tertinggi pada EM (135,07 unit/mg) dan EO (133,12 unit/mg).

4. Pembahasan

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pencampuran minyak atsiri dan asam lemak memiliki bioaktivitas lebih tinggi dibandingkan senyawa tunggalnya. Campuran eugenol dengan asam lemak rantai sedang (asam kaprilat, asam kaprat dan asam laurat) menunjukkan aktivitas bakterisidal yang lebih tinggi terhadap *Escherichia coli* dibandingkan perlakuan masing-masing senyawa (Kim & Rhee, 2016). Penelitian lain yang dilakukan oleh Satterlee *et al.* (2023) menunjukkan

bahwa campuran minyak atsiri kayu manis dengan asam butirat mampu menghambat pertumbuhan *Aspergillus flavus*. Selain itu, campuran minyak atsiri tamanu *Calophyllum inophyllum* dengan asam oleat memberikan efek repelen yang lebih baik dibanding dengan masing-masing senyawa (Hieu *et al.*, 2014). Tkachenko & Varfolomeeva, (2025) melaporkan bahwa campuran minyak atsiri dari tanaman *Litsea cubeba*, *Cinnamomum verum* dan *Cymbopogon flexuosus* dengan minyak nabati *Azadirachta indica* L. mampu menekan jumlah keturunan trips sebesar 12-25% dibandingkan kontrol.

Penambahan asam lemak juga diketahui mampu meningkatkan efektivitas bahan aktif insektisida sintetis. Khot (2009) melaporkan bahwa asam linoleat dan asam oleat memiliki efek sinergi dengan permethrin pada rasio 4:1 dengan nilai LC₅₀ campuran masing-masing 413 dan 541 ppm. Sementara perlakuan permethrin secara tunggal nilai LC₅₀ mencapai 1630,7 ppm menjadi 413 dan 541 ppm. Asam lemak C8910 (campuran asam kaprilat, asam nonanoat, dan asam kaprat) mampu meningkatkan nilai toksisitas deltametrin pada ratio 5:1 hingga mencapai 20 kali (Ramadan *et al.*, 2022). Selain efek mortalitas, campuran asam oleat dengan *N,N-diethyl-m-toluamide* (DEET) memberikan efek repelen lebih baik dibanding dengan masing-masing senyawa tunggal terhadap lalat (*Stomoxys calcitrans*) (Hieu *et al.*, 2014). Penggunaan ratio 1:5, dimana bahan sinergis lebih besar dibandingkan dengan bahan aktif berkaitan dengan cara serangga memetabolisme dan mendetoksifikasi senyawa. Penelitian yang dilakukan oleh (Scalerandi *et al.*, 2018) menunjukkan bahwa system detoksifikasi serangga cenderung memetabolisme komponen mayor terlebih dahulu. Hal ini menyebabkan komponen minor (bahan aktif) lebih sedikit mengalami proses

detoksifikasi sehingga tetap bersifat toksik bagi serangga.

Perbedaan efek sinergisme diantara ketiga asam lemak diduga berkaitan erat dengan struktur kimianya masing-masing. Asam oleat (C18:1) yang bersifat tak jenuh serta memiliki ikatan rangkap. Struktur ini membuat molekul asam oleat menjadi lebih fleksibel dan memiliki ruang gerak yang lebih besar. Akibatnya, asam oleat lebih mudah bergerak di dalam membran dan mempercepat proses masuknya ke dalam tubuh organisme target (de Melo *et al.*, 2018). Panjang rantai dan jumlah ikatan rangkap yang dimiliki asam oleat mampu mengganggu susunan lipid serangga sehingga membran menjadi lebih mudah ditembus dan senyawa dapat masuk dengan lebih cepat ke dalam tubuh serangga (Desbois & Smith, 2010). Asam miristat (C14:0) dan asam laurat (12:0) yang bersifat jenuh dengan rantai lebih pendek tanpa ikatan rangkap, memiliki kemampuan yang lebih rendah dari asam oleat. Hal ini selaras dengan yang dilaporkan oleh Khot (2009) bahwa penggunaan asam lemak dengan rantai lebih panjang dan tak jenuh menunjukkan efek sinergis lebih kuat pada permethrin.

Penurunan aktivitas CP450 yang cukup besar pada perlakuan EO dan EM menunjukkan bahwa penambahan asam lemak, khususnya asam oleat dan asam miristat, berpotensi bertindak sebagai sinergis dengan menghambat proses detoksifikasi fase I (Scalerandi *et al.*, 2018). Enzim Cytochrome P450 monooxygenase berperan penting dalam metabolisme senyawa asing (xenobiotik), termasuk insektisida nabati. Oleh karena itu, penghambatan aktivitas enzim ini umumnya akan meningkatkan toksisitas senyawa aktif terhadap serangga sasaran (Liu *et al.*, 2026; Ruttanaphan *et al.*, 2019).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa eugenol tunggal cenderung sedikit menginduksi aktivitas P450 sebagai bentuk respons pertahanan serangga. Akan tetapi, kombinasi eugenol dengan asam lemak mampu menekan aktivitas enzim tersebut secara efektif sehingga berpotensi meningkatkan kerentanan serangga terhadap perlakuan yang diberikan (Adhikari *et al.*, 2022). Aktivitas esterase yang menurun pada seluruh perlakuan juga mengindikasikan bahwa eugenol mampu menghambat kerja enzim hidrolase tersebut (Caren *et al.*, 2025). Esterase memiliki peran penting dalam proses hidrolisis ester asam lemak dan berbagai xenobiotik yang masuk ke dalam tubuh serangga (Kumrungsee *et al.*, 2022). Peningkatan aktivitas GST pada seluruh perlakuan (E, EO, EM, dan EL) menunjukkan adanya respons detoksifikasi fase II atau mekanisme adaptasi

terhadap stres oksidatif yang ditimbulkan oleh paparan senyawa tersebut (Gao *et al.*, 2020; Kumrungsee *et al.*, 2022). Enzim GST merupakan enzim multifungsi yang berperan dalam mengkatalisis konjugasi glutathione tereduksi dengan senyawa elektrofilik hasil metabolisme xenobiotik sehingga menjadi lebih mudah larut dalam air dan dapat diekskresikan dari tubuh serangga (Gao *et al.*, 2020; Tarigan *et al.*, 2016).

Penambahan asam lemak sebagai bahan sinergis memungkinkan penurunan kebutuhan eugenol sebagai bahan aktif tanpa mengurangi daya toksiknya, sehingga mendapatkan hasil yang lebih efektif dengan biaya yang lebih rendah. Pemanfaatan bahan sinergis juga berkontribusi dalam menekan risiko resistensi pada serangga hama. Hal tersebut dibuktikan oleh beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa penambahan bahan sinergis dapat meningkatkan toksisitas dari bahan aktif terhadap populasi hama yang telah menunjukkan gejala resistensi.

Penggunaan eugenol dan asam lemak memberikan peluang pengembangan insektisida berbasis bahan alami untuk mengurangi ketergantungan pada insektisida sintesis. Hasil penelitian ini menjadi dasar ilmiah bagi penelitian selanjutnya yang diarahkan pada pengembangan formulasi yang lebih aplikatif dan sesuai untuk aplikasi lapang. Pengembangan formulasi tersebut diharapkan dapat meningkatkan stabilitas, keamanan, serta kemudahan aplikasi campuran eugenol dan asam oleat, tanpa mengurangi efektivitasnya terhadap *S. frugiperda*.

5. Kesimpulan

Diantara ketiga kombinasi, campuran eugenol dengan asam oleat pada rasio 1:5 menunjukkan nilai toksisitas terbaik yaitu dengan LD₅₀ 0,25 mg/g larva dan nilai synergistic ratio 2,76 kali lebih toksik. Aktivitas spesifik enzim sitokrom P450 dan esterase menunjukkan penurunan pada kombinasi eugenol dengan asam lemak. Penemuan ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam pengembangan biopestisida khususnya terhadap larva *S. frugiperda*. Berdasarkan kajian ini maka direkomendasikan untuk studi lanjut mengenai mekanisme sinergisme antara dari senyawa asam lemak dengan eugenol dalam mengendalikan *S. frugiperda*.

7. Declaration of Conflicting Interests

The author declares that there is no potential conflict of interest in the research, writing and publication of this article.

6. Daftar Pustaka

- Adhikari, K., Khanikor, B., & Sarma, R. 2022. Persistent susceptibility of *Aedes aegypti* to eugenol. *Scientific Reports*, 12(1), 1–11. DOI: 10.1038/s41598-022-06302-8
- Almadiy, A. A. 2020. Chemical composition, insecticidal and biochemical effects of two plant oils and their major fractions against *Aedes aegypti*, the common vector of dengue fever. *Heliyon*, 6(9), e04915. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04915
- Asfiya, W., Nur, V., Subagyo, O., Dharmayanthi, A. B., Fatimah, & Rachmatiyah, R. 2020. Intensitas serangan *Spodoptera frugiperda* J . E . Smith (Lepidoptera : Noctuidae) pada pertanaman jagung di Kabupaten Garut dan Tasikmalaya , Jawa Barat. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 17(3), 163–167. DOI: 10.5994/jei.17.3.163
- Caren, J., Zhu, Y. C., Read, Q. D., & Du, Y. 2025. Risk Assessment of Effects of Essential Oils on Honey Bees (*Apis mellifera* L.). *Insects* , 16(3). DOI: 10.3390/insects16030303
- Chang, J., Cao, C., & Gao, X. 2010. The effect of pretreatment with S , S , S-tributyl phosphorotrithioate on deltamethrin resistance and carboxylesterase activity in *Aphis gossypii* (Glover) (Homoptera : Aphididae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 98(2), 296–299. DOI: 10.1016/j.pestbp.2010.06.021
- Chen, J., Liu, Y., Ma, G., Yang, F., Zhan, Z., Guan, L., Kuang, W., Wang, J., Li, J., Han, F., & Jin, L. 2023. Piperonyl butoxide synergizes the larvicidal activity of *Origanum vulgare* essential oil and its major constituents against the larvae of *Aedes albopictus* and *Culex pipiens quinquefasciatus*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 26(1), 102025. DOI: 10.1016/j.aspen.2022.102025
- Coelho, R. A., Vieira, T. F., Pereira, R. B., Pereira, D. M., Castanheira, E. M. S., Sousa, S. F., Jos, M., Fernandes, G., & Gonçalves, M. S. T. 2022. Synthesis, Insecticidal Activity and Computational Studies of Eugenol-Based Insecticides. *Chemistry Proceedings*, 1–9. DOI: 10.3390/ecsoc-26-13649
- Da Camara, C. A. G., Doboszewski, B., De Melo, J. P. R., Nazarenko, A. Y., Dos Santos, R. B., & Moraes, M. M. 2022. Novel Insecticides from Alkylated and Acylated Derivatives of Thymol and Eugenol for the Control of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 33(2), 196–204. DOI: 10.21577/0103-5053.20210137
- Day, R., Abrahams, P., Bateman, M., Beale, T., Clottey, V., Cock, M., Colmenarez, Y., Corniani, N., Early, R., Godwin, J., Gomez, J., Moreno, P. G., Murphy, S. T., Oppong-Mensah, B., Phiri, N., Pratt, C., Silvestri, S., & Witt, A. 2017. Fall armyworm: Impacts and implications for Africa. *Outlooks on Pest Management*, 28(5), 196–201. DOI: 10.1564/v28_oct_02
- de Melo, A. R., Garcia, I. J. P., Serrao, J. A., Santos, H. L., Lima, L. A. R. dos S., & Alves, S. N. 2018. Toxicity of different fatty acids and methyl esters on *Culex quinquefasciatus* larvae. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 154(February), 1–5. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.02.009
- Desbois, A. P., & Smith, V. J. 2010. Antibacterial Free Fatty Acids : Activities ,Mechanisms of Action and Biotechnological Potential. *Appl Microbiol Biotechnol*, (85), 1629–1642. DOI:10.1007/s00253-009-2355-3
- Dono, D., Ismayana, S., Idar, I., Prijono, D., & Muslikha, I. 2010. Status dan Mekanisme Resistensi Biokimia *Crociodomia pavonana* (F.) (Lepidoptera: Crambidae) terhadap Insektisida Organofosfat serta Kepekaannya terhadap Insektisida Botani Ekstrak Biji *Barringtonia asiatica*. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 7(1), 9. DOI: 10.5994/jei.7.1.9
- Eldesouky, S. E., Khamis, W. M., & Hassan, S. M. 2019. Joint action of certain fatty acids with selected insecticides against cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* and their effects on biological aspects. *Journal of Basic and Environmental Sciences*, 6(1), 23–32. DOI: 10.21608/jbes.2019.370579
- Fateha, R. N., Grasela, M., Ichwan, M. N., Purwanti, E. W., & Kurniasari, I. 2020. Larvicidal and antifeedant activities of clove leaf oil against *Spodoptera litura* (F.) on soybean. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 21(1), 20–25. DOI: 10.23960/j.hppt.12120-25
- Fernandes, M. J. G., Pereira, R. B., Rodrigues, A. R. O., Vieira, T. F., Fortes, A. G., Pereira, D. M., Sousa, S. F., Gonçalves, M. S. T., & Castanheira, E. M. S. 2022. Liposomal Formulations Loaded with a Eugenol Derivative for Application as Insecticides: Encapsulation Studies and In Silico Identification of Protein Targets. *Nanomaterials*, 12(20). DOI: 10.3390/nano12203583
- Francis, S., Irvine, W., Impoinvil, L. M., Vizcaino, L., Poupardin, R., Lenhart, A., Paine, M. J. I., & Delgoda, R. 2025. Evaluating the potential of *Kalanchoe pinnata* , *Piper amalago* ,

- and other botanicals as economical insecticidal synergists against *Anopheles gambiae*. *Malaria Journal*. DOI: 10.1186/s12936-025-05254-4
- Gao, S., Zhang, K., Wei, L., Wei, G., Xiong, W., Lu, Y., Zhang, Y., Gao, A., & Li, B. 2020. Insecticidal Activity of *Artemisia vulgaris* Essential Oil and Transcriptome Analysis of *Tribolium castaneum* in Response to Oil Exposure. *Frontiers in Genetics*, 11(June), 1–19. DOI: 10.3389/fgene.2020.00589
- Ghaderi, A., Baniardalani, M., & Basseri, H. R. 2021. Level of Pyrethroid-resistance Associated with Cytochrome P450 Expression in German Cockroach *Blattella germanica* (Blattodea: Ectobiidae) in the Field Collected Strains. *Journal of Arthropod-Borne Diseases*, 15(2), 152–161. DOI: 10.18502/jad.v15i2.7484
- Hieu, T. T., Choi, S., Kim, S., & Ahn, Y. 2014. Enhanced repellency of binary mixtures of *Calophyllum inophyllum* nut oil fatty acids or their esters and three terpenoids to *Stomoxys calcitrans*. *Pest Management Science*, 71(9). DOI: 10.1002/ps.3904
- Ikawati, S., Himawan, T., Abadi, A. L., Tarno, H., & Fajarudin, A. 2022. In Silico Study of Eugenol and Trans-Caryophyllene also Clove Oil Fumigant Toxicity on *Tribolium castaneum*. *Journal of Tropical Life Science*, 12(3), 339–349. DOI: 10.11594/jtls.12.03.07.S
- Kalqutny, S. H., Nonci, N., & Muis, A. 2021. The incidence of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (FAW) (Lepidoptera: Pyralidae), a newly invasive corn pest in Indonesia. *Eart and Environmental Science*. DOI: 10.1088/1755-1315/911/1/012056
- Kassie, M., Wossen, T., De Groote, H., Tefera, T., Sevgan, S., & Balew, S. 2020. Economic impacts of fall armyworm and its management strategies: Evidence from southern Ethiopia. *European Review of Agricultural Economics*, 47(4), 1473–1501. DOI: 10.1093/erae/jbz048
- Khot, A. 2009. *The Use of Botanical Synergists to Increase the Efficacy of Natural Pyrethrins* (Number June). Imperial Collage London.
- Kim, S. A., & Rhee, M. S. 2016. Highly enhanced bactericidal effects of medium chain fatty acids (caprylic, capric, and lauric acid) combined with edible plant essential thymol, and vanillin) against *Escherichia coli* O157: H7. *Food Control*, 60, 447–454. DOI: 10.1016/j.foodcont.2015.08.022
- Kiran, S. R., Reddy, A. S., Devi, P. S., & Reddy, K. J. 2006. Insecticidal, antifeedant and oviposition deterrent effects of the essential oil and individual compounds from leaves of *Chloroxylon swietenia* DC. *Pest Management Science*, 62, 1116–1121. DOI: 10.1002/ps
- Kumrungsee, N., Dunkhunthod, B., Manoruang, W., Koul, O., Pluempanupat, W., Kainoh, Y., Yooboon, T., Piyasaengthong, N., Bullangpoti, V., & Nobsathian, S. 2022. Synergistic interaction of thymol with *Piper ribesoides* (Piperales: Piperaceae) extracts and isolated active compounds for enhanced insecticidal activity against *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9(1), 1–11. DOI: 10.1186/s40538-022-00306-2
- Liu, S., Carballo-Arce, A. F., Wang, Z., Durst, T., Sims, S. R., Arnason, J. T., & Scott, I. M. 2026. Evaluation of Novel Dillapiol Analogs as Insect Detoxification Enzyme Inhibitors and Insecticide Synergists †. *Insects*, 17(3), 1–14. DOI: 10.3390/insects17030351
- Montezano, D. G., Specht, A., Sosa-Gómez, D. R., Roque-Specht, V. F., Sousa-Silva, J. C., Paula-Moraes, S. V., Peterson, J. A., & Hunt, T. E. 2018. Host Plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. In *African Entomology* (Vol. 26, Number 2, pp. 286–300). Entomological Society of Southern Africa. DOI: 10.4001/003.026.0286
- Mukkun, L., Kleden, Y. L., & Simamora, A. V. 2021. Detection of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize field in East Flores District, East Nusa Tenggara Province, Indonesia. *International Journal of Tropical Drylands*, 5(1), 20–26. DOI: 10.13057/tropdrylands/t050104
- Ramadan, G. R. M., Zhu, K. Y., & Phillips, T. W. 2022. Synergism of deltamethrin with a mixture of short chain fatty acids for toxicity against pyrethroid-resistant and susceptible strains of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 184(April), 105132. DOI: 10.1016/j.pestbp.2022.105132
- Rismayani, R., & Laba, I. W. 2016. The effectivity of citronella and clove oils against cabbage caterpillar *Crociodomia pavonana*. *Buletin Penelitan Tanaman Rempah Dan Obat*, 26(2), 109. DOI: 10.21082/bullitro.v26n2.2015.109-116
- Ruttanaphan, T., Pluempanupat, W., Aungsirirawat, C., Boonyarit, P., Goff, G. Le, Bullangpoti, V., & Isman, M. 2019. Effect of Plant Essential Oils and Their Major Constituents on Cypermethrin Tolerance Associated Detoxification Enzyme Activities in *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 112(5), 2167–2176.

- DOI: 10.1093/jee/toz126
- Satterlee, T., Mcdonough, C. M., Gold, S. E., Chen, C., Glenn, A. E., & Pokoo-aikins, A. 2023. Synergistic Effects of Essential Oils and Organic Acids against *Aspergillus flavus* Contamination in Poultry Feed. *Toxins*, 15(635), 1–11. DOI: doi.org/10.3390/toxins15110635
- Scalerandi, E., Flores, G. A., Palacio, M., Defagó, M. T., Carpinella, M. C., Valladares, G., Bertoni, A., & Maggi, F. 2018. Understanding Synergistic Toxicity of Terpenes as Insecticides: Contribution of Metabolic Detoxification in *Musca domestica*. *Frontiers in Microbiology*, 9(October), 1–9. DOI: 10.3389/fpls.2018.01579
- Subagyo, V. N. O., Rahmini, Fatimah, Samudra, I. M., Sutrisno, H., & Hidayat, P. 2024. Fall armyworm infestation intensity on maize vegetative stages in Banten , West Java , and Central Java , Indonesia Fall armyworm infestation intensity on maize vegetative stages in Banten , West Java , and Central Java , Indonesia. *Eart and Environmental Science*. DOI: 10.1088/1755-1315/1494/1/012010
- Tak, J. H., & Isman, M. B. 2015. Enhanced cuticular penetration as the mechanism for synergy of insecticidal constituents of rosemary essential oil in *Trichoplusia ni*. *Scientific Reports*, 5(April), 1–10. DOI: 10.1038/srep12690
- Tarigan, S. I., Dadang, & Sakti Harahap, I. 2016. Toxicological and physiological effects of essential oils against *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Biopesticides*, 9(2), 135–147. DOI: 10.57182/jbiopestic.9.2.135-147
- Tkachenko, K. G., & Varfolomeeva, E. A. 2025. A mixture of fatty and essential plant oils to protect plants from flower thrips in greenhouses. 14–17. DOI: 10.25630/PAV.2025.99.14.001
- Vargas-Méndez, L. Y., Sanabria-Flórez, P. L., Saavedra-Reyes, L. M., Merchan-Arenas, D. R., & Kouznetsov, V. V. (2019). Bioactivity of semisynthetic eugenol derivatives against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae infesting maize in Colombia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7), 1613–1620. DOI: 10.1016/j.sjbs.2018.09.010
- Wahba, M. N., Abdelatef, E. A., & Wahba, T. F. 2022. The potency of nanoemulsion of Clove oil and their main component Eugenol on some biochemical and histological aspects on *Spodoptera littoralis* (Boisd) (Lepidoptera: Noctuidae). *Middle East Journal of Applied Sciences*, 532–543. DOI:10.36632/mejas/2022.12.4.37
- Widayani, N. S., Dono, D., Hidayat, Y., Ishmayana, S., & Syahputra, E. 2023. Toxicity of Calophyllum soulattri , Piper aduncum , Sesamum indicum and their potential mixture for control *Spodoptera frugiperda*. *De Gruyter*. DOI: 10.1515/opag-2022-0213
- Yu, J., Lee, S., Lee, C., & Wang, C. 2025. Multiple mechanisms associated with deltamethrin and imidacloprid resistance in field-collected common bed bug , *Cimex lectularius* L . *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 210(December 2024), 106357. DOI: 10.1016/j.pestbp.2025.106357

PEDOMAN PENULISAN JURNAL AGROSAINSTEK

Jurnal Agrosainstek merupakan jurnal yang menerbitkan artikel hasil penelitian, artikel *review*, dan catatan penelitian (*research note*) terkait bidang agroteknologi, baik dalam bahasa Indonesia maupun bahasa Inggris. Bidang ilmu yang diterbitkan meliputi budidaya tanaman, pemuliaan tanaman, ekofisiologi tanaman, ilmu benih, lahan pertanian, pasca panen, hama penyakit tanaman, gulma, teknologi pertanian, dan bioteknologi pertanian.

Semua naskah yang diajukan ke jurnal harus ditulis dalam bahasa Indonesia maupun bahasa Inggris yang baik. Naskah dapat berupa: hasil-hasil penelitian mutakhir (paling lama 5 tahun terakhir), ulasan (*review*), analisis kebijakan atau catatan penelitian (*research note*) singkat mengenai teknik percobaan, alat, pengamatan, hasil awal percobaan (*preliminary result*). Naskah yang diterima adalah naskah yang belum pernah dimuat atau tidak sedang dalam proses publikasi dalam jurnal ilmiah nasional maupun internasional lainnya.

FORMAT

Naskah dikirimkan dengan mengikuti format naskah yang telah ditentukan. Naskah, termasuk Abstrak dan *Abstract*, diketik 1,5 spasi pada kertas HVS ukuran A4 (210 x 297 mm), pias 2,5 cm di semua sisi, dan huruf Times New Roman berukuran 12 point. Naskah diketik dengan program *Microsoft Word* (doc). Setiap halaman diberi nomor secara berurutan dengan jumlah maksimal 15 halaman, termasuk tabel dan gambar. Tabel dan gambar disajikan di bagian akhir naskah (disatukan dengan naskah).

SUSUNAN NASKAH

Naskah disusun dengan urutan:

- Judul
- Nama lengkap Penulis (beri tanda * pada penulis untuk korespondensi)
- Nama lembaga/institusi, disertai alamat lengkap
- Email penulis untuk korespondensi
- Abstrak
- Kata kunci
- Pendahuluan
- Bahan dan Metode
- Hasil
- Pembahasan
- Kesimpulan
- Ucapan terima kasih (bila diperlukan)
- Declaration of Conflicting Interests
- Daftar Pustaka
- Tabel dan gambar beserta keterangannya

Naskah berupa ulasan, analisis kebijakan, dan catatan penelitian tidak harus ditulis menurut susunan naskah hasil penelitian. Ketentuan untuk naskah berupa catatan penelitian adalah maksimum 10 halaman (termasuk tabel dan gambar). Pendahuluan dan metode ditulis singkat, dan tanpa abstrak. Ulasan ditulis sebagai naskah sinambung tanpa sub judul Bahan dan Metode, Hasil dan Pembahasan.

Penulis dapat mengunduh **Template Penulisan Jurnal Agrosainstek** yang telah disediakan untuk memudahkan penulis dan mengurangi kesalahan dalam format penulisan.

DESKRIPSI TIAP BAGIAN NASKAH

Halaman Judul

Judul dicetak tebal (*bold*) dengan huruf kapital pada setiap awal kata, kecuali kata sambung. Judul maksimum terdiri atas 15 kata (kecuali kata sambung). Naskah dalam Bahasa Indonesia harus disertai judul dalam Bahasa Inggris yang ditulis miring (*italic*). Di bawah judul, ditulis nama lengkap (tidak disingkat) semua penulis beserta nama dan alamat lembaga afiliasi penulis. Beri tanda * pada nama penulis untuk korespondensi. Alamat untuk korespondensi harus dilengkapi dengan kode pos, nomor telepon dan HP, faksimile, dan email.

Abstrak dan Kata Kunci

Abstrak adalah paragraf yang berdiri sendiri dan harus mencakup tujuan, metode, dan hasil secara ringkas. Tidak ada kutipan pustaka di dalam Abstrak. Abstrak ditulis dalam Bahasa Inggris, satu paragraph, maksimum 250 kata, dan diketik dalam 1,5 spasi. Kata kunci ditulis setelah abstrak, maksimum enam kata. Naskah dalam Bahasa Indonesia harus menyertakan juga abstrak dan kata kunci dalam Bahasa Indonesia, dituliskan setelah abstrak dan kata kunci dalam Bahasa Inggris.

Teks

Awal paragraf dimulai dengan indent 1 cm dari sisi kiri naskah. Penulisan sub judul (**PENDAHULUAN, BAHAN DAN METODE, HASIL, PEMBAHASAN, KESIMPULAN, UCAPAN TERIMA KASIH, DAFTAR PUSTAKA**) ditulis di tengah dengan huruf kapital. Sub-sub judul level 2 ditulis di kiri halaman dengan huruf kapital di awal setiap kata, sedangkan sub-sub judul level 3 ditulis dengan cetak miring (*italic*) dan huruf kapital di setiap awal kata. Setiap sub judul dan sub-sub judul diberikan nomor (contoh : 1. Pendahuluan, kemudian 1.1, 1.1.1, dst).

Nama organisme harus diikuti dengan nama ilmiahnya secara lengkap pada pengungkapan pertama. Nama ilmiah ditulis miring, sedangkan nama penulis dari nama ilmiah dan kata seperti var. ditulis tegak. Contoh: ***Elaeis guineensis* Jacq.** Singkatan pertama kali ditulis dalam kurung setelah kata kata yang disingkatnya. Nama organisme (Indonesia/Daerah) yang tidak umum dikenal harus diikuti nama ilmiahnya pada pengungkapan pertama kali. Contoh : **Keramunting (*Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk).** Penulisan satuan menggunakan Standar Internasional (SI). Eksponen negatif digunakan untuk menyatakan satuan penyebut. **Contoh: mg L-1, bukan mg/L.** Satuan ditulis menggunakan spasi setelah angka, kecuali untuk menyatakan persen. **Contoh: 37 °C, bukan 37°C; 0.8%, bukan 0.8 %.**

Penulisan desimal menggunakan titik (bukan koma). Seluruh tabel dan gambar harus dirujuk dalam teks. Penggunaan nilai rata-rata (*means*) harus disertai dengan standar deviasi. Hasil dan pembahasan ditulis secara terpisah. Hasil harus jelas dan singkat. Menyatakan hasil yang diperoleh berdasarkan metode yang telah dilakukan. Hindari penggunaan data yang sama pada tabel dan grafik. Pembahasan harus menjelaskan secara detail hasil yang diperoleh.

Data dibahas dengan membandingkan data yang telah diperoleh saat ini dan hasil penelitian sebelumnya. Ungkapkan kesamaan, perbedaan, dan keunikan dari data penelitian anda. Disarankan untuk menghindari kutipan yang terlalu umum dan membahas literatur yang telah dipublikasikan.

Kesimpulan harus menjawab tujuan penelitian. Menceritakan bagaimana kelebihan penelitian ditinjau dari perkembangan ilmu pengetahuan. Jangan mengulangi isi abstrak atau hanya daftar hasil eksperimen. Kesimpulan memberikan pembenaran ilmiah yang jelas untuk hasil penelitian dan kemungkinan untuk dikembangkan ataupun diaplikasikan. Anda juga bisa menyarankan untuk penelitian selanjutnya terkait dengan topik tersebut.

Daftar Pustaka

1. Sumber pustaka primer: jurnal, paten, disertasi, tesis, dan buku teks, yang ditulis dalam 10 tahun terakhir.
2. Proporsi jurnal minimal 80%.
3. Membatasi jumlah pustaka yang mengacu pada diri sendiri (*self citation*).
4. Sebaiknya dihindari: penggunaan pustaka di dalam pustaka, buku populer, dan pustaka dari internet kecuali jurnal dan dari instansi pemerintah atau swasta.
5. Abstrak tidak diperbolehkan sebagai rujukan.

Pustaka di dalam teks. Pustaka ditulis menurut nama akhir (nama keluarga) dan tahun. Jika penulis lebih dari dua orang, maka ditulis nama penulis pertama diikuti dengan *et al.* yang dicetak miring (*italic*). Jika penulis hanya dua orang, maka ditulis menggunakan simbol &. Contoh:

Yusnita et al. (1997) menyatakan bahwa salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan akar pada setek, adalah zat pengatur pertumbuhan.

Zat perangsang akar seperti IBA dan NAA yang ditambahkan pada setek mampu meningkatkan inisiasi, jumlah, dan kualitas akar (**Hitchcock & Zimmerman 1936**).

Daftar pustaka ditulis berdasarkan urutan alfabet dari nama akhir penulis pertama. Pustaka dengan nama penulis (kelompok penulis) yang sama diurutkan secara kronologis. Apabila ada lebih dari satu pustaka yang ditulis penulis (kelompok penulis) yang sama pada tahun yang sama, maka huruf 'a', 'b' dan seterusnya ditambahkan setelah tahun. Beberapa contoh penulisan daftar pustaka adalah sebagai berikut:

Jurnal

Sopandie D, Hamim M, Jusuf N, Heryani.1996. Toleransi Tanaman Kedelai Terhadap Cekaman Air: Akumulasi Prolinadan Asam Absisik dan Hubungannya dengan Potensial Osmotic Daun dan Penyesuaian Osmotic. *Bul. Agron.* 24(1): 9-14.

Buku

Suprihatno B, Daradjat AA, Satoto, Baehaki SE, Widiarta IN, Setyono A, Indrasari SE, Lesmana OS, Sembiring H. 2009. Deskripsi Varietas Padi. Subang : Balai Besar Penelitian Tanaman Padi.

Bab dalam Buku

Jones MM, Turner MC, Osmond CB. 1991. Mechanisms of Drought Resistance. In: Paleg, L.G., D. Aspinall (eds). *The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants*. New York : Academic Press. p15-53

Prosiding

Radjagukguk B. 1990. Pengelolaan Produktivitas Lahan Gambut. Dalam: Aguslin, T., M.H. Abas dan Yurnalis (eds). *Prosiding Pengelolaan Sawah Bukaian Baru Meningkatkan Swasembada Pangan dan Program Transmigrasi*. Padang 17-18 Sept. 1990. hlm217-235.

Skripsi/Tesis/Disertasi:

Harnowo D. 1992. Respon Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L) Merrill) Terhadap Pemupukan Kalium dan Cekaman Kekeringan pada Fase Reproduksi. [Tesis]. Bogor: Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Informasi dari Internet

Hansen L. 1999. Non-Target Effects of Bt Corn Pollen on the Monarch Butterfly (Lepidoptera.Danaeidae).
<http://www.ent.iastate.edu/entsoc/ncb99/prog/abs/D81.html>. [21 Agustus 1999].

Tabel

Tabel berukuran lebar maksimal 166 mm. Penomoran tabel adalah berurutan. Judul tabel ditulis singkat namun lengkap. Judul dan kepala tabel menggunakan huruf kapital pada awal kalimat. Garis vertikal tidak boleh digunakan. Catatan kaki menggunakan angka dengan kurung tutup dan diketik *superscript*. Tanda bintang (*) atau (**) digunakan untuk menunjukkan tingkat nyata berturut-turut pada taraf 95% dan 99%. Jika digunakan taraf nyata yang lain, gunakan simbol tambahan.

Gambar

Gambar dan ilustrasi harus menggunakan resolusi tinggi dan kontras yang baik dalam format JPEG, PDF atau TIFF. Resolusi minimal untuk foto adalah 300 dpi (*dot per inch*), sedangkan untuk grafik dan *line art* adalah 600 dpi. Gambar hitam putih harus dibuat dalam mode *grayscale*, sedangkan gambar berwarna dalam mode RGB. Gambar dibuat berukuran lebar

maksimal 80 mm (satu kolom), 125 mm (satu setengah kolom), atau 166 mm (dua kolom). Keterangan di dalam gambar harus jelas. Jika ukuran gambar diperkecil maka semua tulisan harus tetap dapat terbaca.

Prosedur Publikasi

Seluruh naskah yang diterima akan dikirimkan ke Dewan Editor untuk dinilai. Dewan Editor berhak meminta penulis untuk melakukan perbaikan sebelum naskah dikirim ke penelaah. Editor juga berhak menolak naskah jika naskah tidak sesuai dengan format yang telah ditentukan.

Naskah akan ditelaah oleh minimum dua orang ahli di bidang yang bersangkutan (mitra bestari). Hasil penelaahan akan diberitahukan kepada penulis untuk diperbaiki dan kemudian ditelaah kembali oleh mitra bestari. Dewan Editor akan menentukan naskah yang dapat diterbitkan berdasarkan hasil penelaahan. Naskah akhir sebelum diterbitkan akan dikirimkan kembali kepada penulis untuk mendapatkan persetujuan.

Pengiriman Naskah dan Biaya Publikasi

Naskah dikirimkan dalam bentuk file Ms. Word melalui website jurnal agrosainstek atau ke alamat email : agrosainstek@ubb.ac.id. Biaya publikasi untuk naskah yang telah disetujui adalah **Rp. 850.000**.