

---

IDENTIFIKASI BAKTERI DAN KAPANG DALAM PROSES PEMBUATAN  
BIOETANOL MENGGUNAKAN CAMPURAN FESES SAPI PERAH DAN  
TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

*IDENTIFICATION OF BACTERIA AND MOLDS IN THE PROCESS OF MAKING  
BIOETHANOL USING A MIXTURE OF DAIRY COW FECES  
AND EMPTY PALM BUNCHES*

---

Received : May 16<sup>th</sup> 2024

Accepted : Aug 02<sup>th</sup> 2024

Kirana Fairuza Riyanto<sup>1</sup>

Eulis Tanti Marlina<sup>2</sup>

Ellin Harlia\*<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Peternakan,  
Fakultas Peternakan,  
Universitas Padjadjaran

<sup>2</sup>Departemen Teknologi Hasil  
Peternakan, Fakultas Peternakan,  
Universitas Padjadjaran

\*Korespondensi:

Ellin Harlia

<sup>2</sup>Departemen Teknologi Hasil  
Peternakan, Fakultas Peternakan,  
Universitas Padjadjaran

Jalan Ir. Soekarno Km.21,  
Jatinangor – Kabupaten  
Sumedang,  
Jawa Barat

e-mail:

[ellin.harlia@unpad.ac.id](mailto:ellin.harlia@unpad.ac.id)

*Abstract. Empty palm bunches are plantation waste with a high fibre content that has potential as a bioethanol raw material. The high lignin content in TKKS requires decomposition treatment with the addition of dairy cow faeces which acts as a lignin degrader due to the presence of cellulolytic bacteria. The initial decomposition phase is the phase where microorganisms play a role in degrading cellulose substrates into glucose needed in the bioethanol fermentation process. This study aims to determine the characteristics of bacteria and fungi that play a role in the process of making bioethanol using a mixture of dairy cow faeces and TKKS with different concentration ratios for each treatment macroscopically and microscopically. This study used qualitative - descriptive analysis with 4 treatments namely P1 (60% Dairy Cow Feces : 40% TKKS), P2 (70% Dairy Cow Feces : 30% TKKS), P3 (80% Dairy Cow Feces : 20% TKKS), and P4 (90% Dairy Cow Feces : 10% TKKS) observations on day 1, 7 and 14 of the initial decomposition phase. The results showed that the highest bacterial population was  $11,35 \times 10^9$  CFU/g in the P1 treatment and the highest mould population was  $60 \times 10^4$  CFU/g in the P4 treatment. The dominant bacteria are rod-shaped, gram-positive bacteria and the genus *Bacillus* bacteria. The moulds that play a role in the decomposition process of the mixture of TKKS and dairy cow faeces are *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Rhizopus* and *Mucor*.*

**Keywords :** *Bacteria, Bioethanol, Dairy Cow Manure, Empty Fruit Bunch (EFB), Initial Decomposition, Mould.*

---

**Sitasi :**

Riyanto, K. F., Marlina, E. T. & Harlia, E. (2024). Identifikasi Bakteri dan Kapang dalam Proses Pembuatan Bioetanol Menggunakan Campuran Feses Sapi Perah dan Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Hasil Peternakan*, 5(2): 1-18

---

## PENDAHULUAN

Industri sapi perah di Indonesia merupakan industri ternak yang sedang berkembang dan usaha ini memiliki peluang yang prospektif. Populasi sapi perah di Indonesia pada tahun 2020 – 2022 kian meningkat dengan rata – rata 581.022 ekor yang dihasilkan dalam dua tahun terakhir (BPS, 2020). Tingginya angka populasi sapi perah sejalan dengan produksi limbah sapi perah yang dihasilkan. Sapi perah diketahui mampu memproduksi feses sekitar 15-20 kg per hari (Sunarto & Lutojo, 2008). Limbah merupakan permasalahan utama pada usaha peternakan, diketahui bahwa terdapat gas yang dihasilkan dari limbah peternakan sapi perah yaitu  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$  dan  $\text{CH}_4$  yang merupakan penyumbang efek rumah kaca, menimbulkan bau tak sedap dan mengganggu kesehatan manusia (Fianda, dkk. 2013). Penanganan limbah feses sapi perah salah satunya dapat dimanfaatkan menjadi bioetanol generasi kedua dengan campuran biomassa lignoselulosa.

Bioetanol generasi kedua merupakan bioetanol berbahan baku biomassa lignoselulosa yang terdiri atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Bioetanol generasi kedua dapat dibuat dengan limbah ternak dan limbah pertanian sebagai biomassa yang tidak bersaing dengan kebutuhan manusia. Salah satu biomassa lignoselulosa yang dapat digunakan adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang merupakan limbah perkebunan kelapa sawit. TKKS telah menjadi perhatian masyarakat

karena jumlahnya yang meningkat setiap tahunnya, sesuai dengan produksi *Crude Palm Oil* sebesar 45,5 juta MT pada tahun 2022/2023 yang membuat Indonesia menjadi penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia (USDA, 2023). TKKS berpotensi sebagai biomassa pembuatan bioetanol karena mengandung kandungan serat selulosa sebanyak 33,83% – 34,85%, hemiselulosa 17,07% – 18,05% dan lignin 26,71% – 27,54% (Mardawati, dkk. 2019). Kandungan selulosa pada TKKS ada dalam bentuk yang berikatan dengan lignin membentuk lignoselulosa yang berpotensi untuk digunakan sebagai sumber gula pereduksi melalui proses kimiawi atau enzimatis. Larutan gula yang dihasilkan dapat diproses untuk menghasilkan alkohol, aseton, butanol, dan senyawa bernilai ekonomi lainnya.

Pembuatan bioetanol dengan penggunaan biomassa lignoselulosa memiliki beberapa masalah yaitu kandungan selulosa dan hemiselulosa yang dilindungi oleh struktur lignin yang kompleks (Hartari, dkk. 2023). TKKS memiliki karakteristik ukuran yang besar, adanya kandungan lignin dan C/N yang tinggi, sehingga secara alami TKKS merupakan bahan yang sulit untuk didekomposisi (Sutanto, 2002). Susunan lignin yang kompleks pada TKKS menyebabkan proses *pre-treatment* fisik, kimia dan biologis perlu dilakukan untuk meningkatkan kecepatan dan jumlah hidrolisis lignoselulosa (Aftab, dkk. 2019). *Pre-treatment* fisik dan kimia secara berurutan dilakukan dengan cara

pemotongan hingga ukuran 50 *mesh* dan perendaman dengan konsentrasi NaOH 10% yang bertujuan untuk merusak struktur lignin pada bagian *kristalin* dan *amorf* pada hemiselulosa dan meningkatkan kandungan selulosa pada TKKS (Safaria, dkk. 2013). Proses *pre-treatment* biologi atau dekomposisi awal dilakukan dengan mencampurkan feses sapi perah dan TKKS. Feses sapi perah merupakan substrat yang mengandung bakteri selulolitik yang mampu membantu mendegradasi selulosa pada TKKS (Nurrochman, 2015). Feses sapi perah mengandung karbon sebesar 31,8% yang mengindikasikan bahwa feses sapi perah tinggi akan kandungan glukosa sebagai bahan baku fermentasi (Safari, dkk. 2023). Karbon dan nitrogen yang terkandung pada campuran feses sapi perah dan TKKS dimanfaatkan oleh bakteri dan kapang dalam menghasilkan suhu dan pH pada fase *pre-treatment* biologi atau dekomposisi awal.

Fase dekomposisi awal pada pembuatan bioetanol adalah tahap penguraian bahan organik dengan memanfaatkan aktivitas bakteri dan kapang untuk mengubah senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana (Marlina, dkk. 2024). Proses pematangan dekomposisi dibagi menjadi tiga tahap apabila dilihat dari suhunya, yaitu fase mesofilik (10 – 40°C), fase termofilik (40 – 70°C), fase mesofilik II dan fase pematangan (Zaman & Priyambada, 2007). Suhu merupakan faktor yang menyebabkan jenis mikroorganisme yang berperan pada

pengomposan (Benito, dkk. 2012). Fase pertama proses dekomposisi dimulai oleh fase mesofilik I dengan terjadinya pendegradasian asam pada substrat campuran feses sapi perah dan TKKS. Naiknya suhu pada kompos menyebabkan mikroorganisme termofilik bekerja, pada tahap ini terjadi pendegradasian lignin dan selulosa. Fase mesofilik II ditandai oleh penurunan suhu dan berangsur stabil, mikroorganisme mesofilik kembali bekerja pada fase mesofilik II dengan melakukan pendegradasian lignoselulosa oleh mikroorganisme sehingga terjadinya kestabilan suhu dan pH (Zaman & Sutrisno, 2007).

Proses *pre-treatment* bioetanol erat kaitannya dengan bakteri dan kapang yang membantu, sehingga perlu dilakukannya identifikasi bakteri dan kapang yang berperan pada proses pembuatan bioetanol campuran feses sapi perah dan TKKS. Identifikasi bakteri dan kapang yang berperan diperoleh secara makroskopis dan mikroskopis. Jumlah populasi bakteri dan kapang berpengaruh terhadap kecepatan proses dekomposisi feses sapi perah dan TKKS. Berdasarkan uraian diatas, tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi bakteri dan kapang yang berperan pada dekomposisi awal proses pembuatan bioetanol campuran feses sapi perah dan tandan kosong kelapa sawit yang karakteristiknya dipengaruhi oleh suhu dan pH.

## MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan menggunakan analisis deskriptif kualitatif dengan 4 perlakuan yaitu P1 (Campuran 60% Feses Sapi Perah : 40% TKKS), P2 (Campuran 70% Feses Sapi Perah : 30% TKKS), P3 (Campuran 80% Feses Sapi Perah : 20% TKKS), dan P4 (Campuran 90% Feses Sapi Perah : 10% TKKS) dilakukan 3 kali ulangan dengan pengamatan pada hari ke-1, ke-7 dan ke-14 fase dekomposisi awal. Perubahan yang diamati adalah jumlah populasi bakteri dan kapang, identifikasi makroskopis dan mikroskopis bakteri dan kapang pada tahap dekomposisi awal pembuatan bioetanol.

Persiapan pada sampel dilakukan dengan *pre-treatment* fisik dengan mencacah TKKS ukuran 30-50 mesh. Selanjutnya dilakukan *pre-treatment* kimia dengan merendam TKKS pada larutan NaOH 10% lalu di oven pada suhu 90°C selama 2 jam, lalu dicuci hingga pH filtrat netral dan dikeringkan ke dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam (Kayati, dkk. 2016). TKKS yang sudah diberi perlakuan kimia dicampurkan pada feses sapi perah dengan masing-masing imbalanced perlakuan lalu dimasukkan pada *compost bag*, proses ini disebut *pre-treatment* biologis atau dekomposisi awal. Campuran feses sapi perah dan TKKS didekomposisi selama 14 hari dan dilakukan pengamatan bakteri dan kapang pada hari ke 1, 7, dan 14. Suhu dan pH diamati setiap hari.

### 1. Bahan Penelitian

Bahan yang diperlukan pada proses dekomposisi adalah feses sapi perah, TKKS, NaOH 10%, *Nutrient Agar* (NA), *Potato Dextrose Agar* (PDA), NaCl fisiologis, aquades, lugol, *kristal violet*, *basic fuschin*, minyak imersi dan alkohol 90% dan 75%.

### 2. Metode Penelitian

#### 2.1 Perhitungan Populasi Bakteri dan Kapang

Jumlah populasi bakteri dan kapang dihitung pada *Nutrient Agar* (NA) untuk bakteri dan *Potato Dextrose Agar* (PDA) untuk kapang pengujian dilakukan dengan metode *spread plate*. Tahapannya adalah mengambil 1 gram sampel lalu dimasukkan kedalam 9 ml NaCl. Lalu lakukan pengenceran dengan mengambil 1 ml dari hasil pengenceran  $10^{-1}$  dan pindahkan ke pengenceran  $10^{-2}$  dan begitu seterusnya hingga jumlah pengenceran yang dikehendaki. Pada bakteri dilakukan pengenceran hingga  $10^{-8}$  lalu ambil 0,1 ml suspensi dan dimasukkan kedalam cawan petri berisi NA. Pada kapang dilakukan pengenceran hingga  $10^{-3}$  lalu ambil 0,1 ml suspensi dan dimasukkan kedalam cawan petri berisi PDA. Selanjutnya inkubasi cawan NA berisi suspensi pada inkubator pada suhu 37°C selama 1 x 24 jam dengan cara dibalik. Meninkubasi cawan PDA pada suhu ruang selama 5 x 24 jam dengan cara dibalik. Jumlah koloni bakteri dan kapang dihitung dengan rumus menurut SNI 2332.3 (2015)

$$N = \frac{\sum C}{[(1 \times n_1) - (0,1 \times n_2)] \times d}$$

Keterangan :

N = Jumlah koloni bakteri / kapang per gram (CFU/gram)

$\sum C$  = Jumlah koloni semua cawan yang dihitung (25 – 250)

$n_x$  = Jumlah cawan pengenceran x yang dihitung

d = Pengenceran terkecil yang dapat dihitung

## 2.2 Identifikasi Makroskopis dan Mikroskopis Bakteri

Pengamatan makroskopis dilakukan dengan cara melihat langsung morfologi isolat bakteri yang tumbuh pada medium NA. Catat karakteristik koloni bakteri meliputi warna, bentuk koloni, bentuk tepi, dan bentuk permukaan (Ibrahim, dkk. 2015). Pengamatan mikroskopis dilakukan dengan pewarnaan gram dengan cara mengambil sampel bakteri dari inokulasi bakteri dengan osse lalu larutkan dengan 1 ml NaCl, ulaskan suspensi bakteri pada kaca preparat lalu fiksasi diatas bunsen. Menuangkan larutan kristal violet selama 2 menit, bilas dengan aquades. Menuangkan larutan iodine selama 1 menit lalu bilas dan menuangkan alkohol 90% lalu tunggu 30 detik. Terakhir, menuangkan basic fuschin selama 2 menit lalu bilas dengan aquades. Meneteskan minyak imersi pada preparate lalu amati dibawah mikroskop perbesaran 100x. Amati morfologi bakteri meliputi warna, sifat gram, bentuk sel bakteri dan spora (Kurniawan, dkk. 2023).

## 2.3 Identifikasi Makroskopis dan Mikroskopis Kapang

Karakteristik makroskopis dilakukan dengan melihat isolat kapang yang tumbuh pada PDA meliputi warna, tekstur, bentuk dan *growing zone*. Pengamatan mikroskopis kapang diperoleh dengan uji *slide culture* dengan proses meneteskan PDA pada kaca preparate yang telah dibersihkan, mengambil isolate koloni kapang di dalam cawan petri lalu masukkan pada tetesan agar dan menutup dengan cover glass. Meletakkan sample pada nampan dengan genangan aquades dibawahnya, menutup dengan aluminium foil dan amati sample pada 5 x 24 jam. Amati morfologi kapang dengan perbesaran 40x. Catat karakteristik kapang melalui jenis hifa (berseptat atau aseptate), bentuk kepala spora dan spora aseksual.

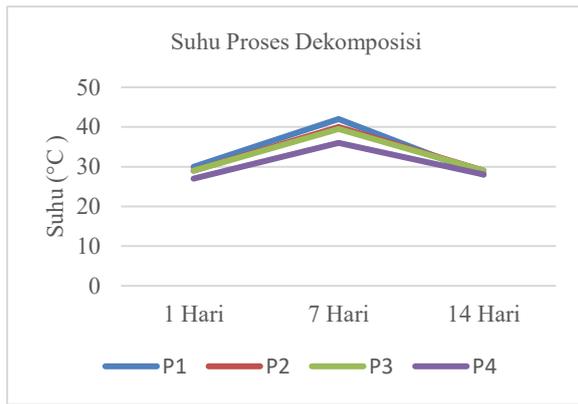
## 3. Analisis Data

Data jumlah bakteri dan kapang yang didapatkan dianalisis secara deskriptif kualitatif dengan menghitung mean (rata – rata).

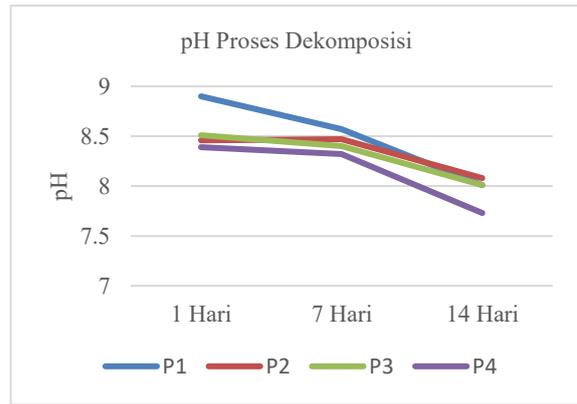
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Suhu dan pH

Suhu pada proses dekomposisi substrat feses sapi perah dan TKKS mencerminkan keberlangsungan aktivitas mikroorganisme (Marlina, dkk. 2024). Proses degradasi oleh mikroorganisme menghasilkan panas dari terdekomposisinya bahan organik. Proses dekomposisi dibagi menjadi tiga tahap apabila dilihat dari perkembangan suhunya, yaitu fase mesofilik I, fase termofilik dan fase mesofilik II



Gambar 1. Grafik Suhu Proses Dekomposisi



Gambar 2. Grafik pH Proses Dekomposisi

Keterangan : P1 (60% Feses Sapi Perah : 40% TKKS), P2 (70% Feses Sapi Perah : 30% TKKS), P3 (80% Feses Sapi Perah : 20% TKKS), dan P4 (90% Feses Sapi Perah : 10% TKKS)

seiring dengan masa inkubasi substrat. Grafik perolehan suhu dan pH pada proses dekomposisi awal pembuatan bioetanol dari feses sapi perah dan TKKS disajikan dalam gambar 1 dan 2.

Berdasarkan gambar 1, diketahui bahwa proses pengomposan dimulai pada fase mesofilik I dengan suhu substrat berkisar antara 25 - 40°C. Rata-rata perolehan suhu pada hari ke-1 adalah 29°C. Kapang dan bakteri mesofilik tumbuh optimal pada suhu 35°C (Hermana, dkk. 2018 ; Mustami, dkk. 2015). Peningkatan suhu terjadi pada hari ke-7 proses dekomposisi awal. Fase termofilik dimulai dengan naiknya suhu substrat antara 40-70°C (Rakhmawati, dkk. 2014). Pada hari ke-7 diperoleh bahwa suhu dekomposan naik hingga 41°C. Penurunan suhu terjadi setelah fase termofilik yang disebut dengan fase mesofilik II. Pengomposan hari ke-14 diketahui bahwa suhu substrat kembali mendekati suhu awal proses dekomposisi sebesar 28,5°C. Penurunan suhu pada mesofilik II sesuai

dengan pendapat Saraswati dan Prap-tana (2017) yang menyebutkan bahwa pada fase ini akan terjadi penurunan suhu yang menyebabkan adanya pergantian mikroorganisme termofilik dengan mikroorganisme mesofilik yang berperan di dalamnya. Pratama, dkk. (2019) menyebutkan bahwa substrat akan kehilangan panas dan terjadi penurunan suhu di akhir proses pengomposan.

Selain suhu, pH merupakan indikator yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme pada substrat. Berdasarkan Gambar 2. diketahui pH dekomposisi pada hari ke-1 memiliki rata-rata mencapai 8,5, hari ke-7 pH turun hingga mencapai 8,4 dan pada hari ke-14 pH kembali turun dengan nilai pH sebesar 7,9. pH yang mengalami penurunan mengindikasikan adanya aktivitas pembentukan asam organik seperti asam asetat, hydrogen dan karbondioksida (Ratna, dkk. 2017). pH optimal pada proses dekomposisi adalah 6,0-8,0, hal tersebut disebabkan

karena pada pH tersebut mikroorganisme dapat tumbuh dan melakukan kegiatan dekomposisi (Andriany, dkk. 2018).

**2. Jumlah Populasi Bakteri**

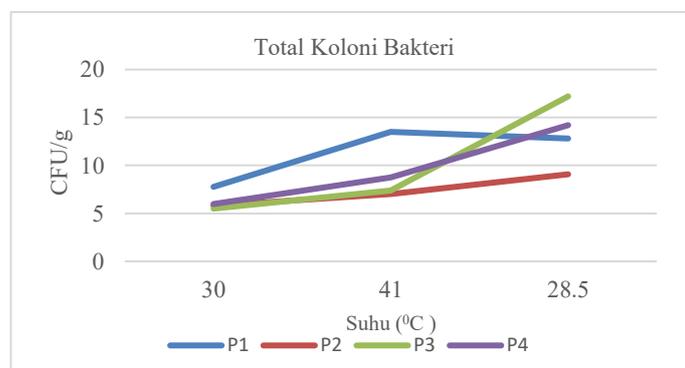
Jumlah populasi bakteri pada proses dekomposisi awal pembuatan bioetanol campuran feses sapi perah dan TKKS disajikan pada Tabel 1 dan diikuti oleh grafik hubungan populasi bakteri dengan suhu pada Gambar 3. Jumlah bakteri dan kapang pada suatu perlakuan berpengaruh terhadap proses enzimatik yang dihasilkan dan mampu mempercepat proses degradasi (Priharsanti, 2009)

Berdasarkan Gambar 3, terjadinya fase mesofilik substrat campuran feses sapi perah dan TKKS ditandai oleh hari ke-1. Populasi bakteri terbesar pada hari ke-1 ada pada perlakuan perlakuan 60% feses sapi perah : 40% TKKS koloni bakteri sebanyak  $7,77 \times 10^9$  CFU/g. Fase termofilik hari ke-7 ditandai dengan peningkatan suhu hingga  $< 40^{\circ}\text{C}$ . Jumlah populasi bakteri tertinggi pada hari ke-7 dicapai oleh perlakuan 60% feses sapi perah : 40% TKKS dengan jumlah  $13,5 \times 10^9$  CFU/g. Peningkatan suhu ditandai oleh adanya aktivitas mikroorganisme selulolitik di dalam substrat (Bashori, dkk. 2012). Aktivitas pemanasan itu

Tabel 1. Jumlah Populasi Bakteri Dekomposisi Awal

Total Bakteri ( $10^9$ CFU/g)				
Hari	P1	P2	P3	P4
1	7,77	5,80	5,50	5,98
7	13,5	7,03	7,38	8,76
14	12,8	9,08	17,2	14,2

Keterangan : P1 (60% Feses Sapi Perah : 40% TKKS), P2 (70% Feses Sapi Perah : 30% TKKS), P3 (80% Feses Sapi Perah : 20% TKKS), dan P4 (90% Feses Sapi Perah : 10% TKKS)



Gambar 3. Hubungan Populasi Bakteri dengan Suhu

dilakukan bakteri dengan penggabungan oksigen dan karbon untuk menghasilkan energi dan karbondioksida yang dimanfaatkan oleh bakteri sebagai energi pertumbuhan dan selebihnya dilepaskan menjadi panas (Bashori, dkk. 2012). Jumlah bakteri termofilik yang tumbuh pada kompos memiliki keuntungan dapat memproduksi enzim termostabil dengan baik apabila dibandingkan dengan bakteri mesofilik (Mahestri, dkk. 2021). Enzim termostabil adalah enzim selulolitik yang dapat mendegradasi sumber gula. Nilai pH substrat pada hari ke-7 mengalami penurunan dibandingkan hari pertama. Penurunan pH ini mengindikasikan adanya pembentukan asam organik seperti asam asetat, hidrogen dan karbondioksida (Ratna, dkk. 2017).

Fase mesofilik II pada hari ke-14 ditandai adanya penurunan suhu dari termofilik menjadi mesofilik. Penurunan suhu pada mesofilik II sesuai dengan pendapat Saraswati dan Praptana (2017) yang menyebutkan bahwa pada fase ini akan terjadi penurunan suhu yang menyebabkan adanya pergantian bakteri termofilik dengan bakteri mesofilik yang berperan di dalamnya. Jumlah populasi tertinggi ditandai pada perlakuan campuran 80% Feses Sapi Perah : 20% TKKS sebanyak  $17,2 \times 10^9$  CFU/g. Populasi bakteri meningkat dibandingkan hari ke-7 berdasarkan Tabel 1. Peningkatan bakteri tersebut sesuai dengan pendapat Presetyo dkk. (2021) bahwa waktu pengomposan berpengaruh terhadap peningkatan jumlah bakteri akan ter-

jadi karena bakteri akan berkembang biak dengan kandungan karbon yang ada pada substrat. Aktivitas mikroba tersebut dapat mematangkan substrat campuran feses sapi perah dan TKKS dengan tanda – tanda memiliki warna kehitaman dan bau khas tanah. Pratama dkk. (2019) menyebutkan bahwa substrat akan kehilangan panas dan terjadi penurunan suhu di akhir proses pengomposan.

### 3. Jumlah Populasi Kapang

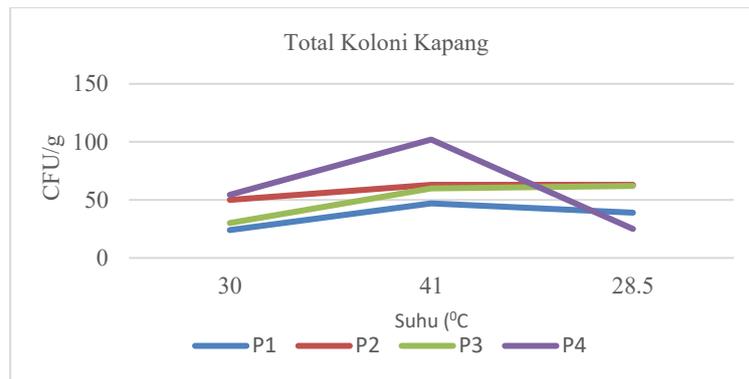
Kapang adalah salah satu mikroorganisme yang membantu penguraian senyawa organik kompleks seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Marlina, dkk. 2020). Pendapat tersebut sejalan dengan pendapat Hanum dan Kuswytasari (2014) bahwa kemampuan kapang dalam menghasilkan selulosa menyebabkan kapang mampu menguraikan selulosa menjadi senyawa sederhana. Keberadaan kapang berpengaruh dalam proses pendergradasian sehingga jumlah populasinya diperhatikan. Jumlah populasi kapang disajikan pada Tabel 2 dan grafik hubungan pertumbuhan kapang dengan suhu disajikan pada Gambar 4.

Hari pertama ditandai dengan substrat campuran feses sapi perah dan TKKS memasuki fase mesofilik I. Berdasarkan Tabel 2. Perlakuan dengan campuran 90 % Feses Sapi Perah : 10% TKKS diketahui menghasilkan populasi kapang terbesar pada dekomposisi hari ke 1 dengan nilai  $54,3 \times 10^4$  cfu/g dan populasi terendah pada perlakuan 60% feses sapi perah : 40% TKKS dengan jumlah koloni  $24,6 \times 10^4$  cfu/g.

Tabel 2. Jumlah Populasi Kapang Dekomposisi Awal

Hari	Total Kapang ( $10^4$ CFU/g)			
	P1	P2	P3	P4
1	24	50	30,1	54,3
7	47	63	60	102
14	39	63	62	25

Keterangan : P1 (60% Feses Sapi Perah : 40% TKKS), P2 (70% Feses Sapi Perah : 30% TKKS), P3 (80% Feses Sapi Perah : 20% TKKS), dan P4 (90% Feses Sapi Perah : 10% TKKS)



Gambar 4. Hubungan Populasi Kapang dengan Suhu

Perbedaan jumlah populasi tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor pertumbuhan, yaitu kandungan substrat, kelembaban, suhu, dan pH pada tiap perlakuan substrat sehingga menyebabkan pertumbuhan dengan jumlah yang beragam. Jumlah populasi bakteri juga berpengaruh terhadap jumlah populasi kapang, menurut Shabriyah dkk. (2016) dalam pertumbuhan mikroba, kapang biasanya kalah apabila bersaing dengan bakteri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada hari pertama dekomposisi didapat suhu yang optimal untuk pertumbuhan kapang. Pendapat tersebut sejalan dengan Badu dkk. (2013) yang menyatakan bahwa suhu optimal bagi kapang untuk tumbuh adalah pada suhu ruang sekitar 25-30 °C. Kapang penghasil

asam akan muncul selama fase mesofilik dengan proses pendegradasian gula, zat tepung dan protein yang terkandung di dalam substrat. Farooq dkk. (2015) menyatakan bahwa bahwa kapang penghasil asam tertinggi adalah dari genus *Aspergillus*, *Fusarium*, *Mucor Penicillium*, *Trichoderma* dan *Rhizopus*.

Fase termofilik terjadi pada hari ke-7 ketika suhu perlahan naik, bakteri termofilik akan mati dan fase dimulai dengan aktivitas termofilik kapang. Hasil analisis jumlah populasi kapang pada hari ke-7 ditandai dengan adanya peningkatan jumlah koloni dari hari pertama. Nilai maksimal pada kapang yang tumbuh di hari ke-7 diperoleh hingga  $102 \times 10^4$  CFU/g pada perlakuan P4. Peningkatan jumlah ka-

pang tersebut diduga disebabkan oleh peningkatan suhu pada substrat. Suhu kapang pada hari ke-7 masuk pada suhu termofilik. Pendapat tersebut sejalan dengan pendapat Badu dkk. (2013) yaitu kapang umumnya tumbuh pada suhu 25 – 30°C, namun beberapa jenis kapang juga mampu tumbuh pada suhu 35 - 37°C atau lebih tinggi. Meningkatnya jumlah populasi kapang pada hari ke – 7 menyebabkan penurunan pH. Penurunan pH pada proses dekomposisi dapat diartikan bahwa terjadinya fermentasi karbohidrat yang disebabkan oleh aktivitas kapang.

Pertumbuhan populasi kapang terbesar hari ke-14 terjadi pada perlakuan P2 dengan angka TPC sebesar  $63 \times 10^4$  CFU/g dan yang terkecil adalah pada perlakuan P4 sebesar  $25 \times 10^4$  CFU/g. Penurunan populasi kapang tersebut dapat dikaitkan dengan pendapat yang dikemukakan oleh Shabariyah dkk. (2016) yang menunjukkan bahwa penurunan total kapang disebabkan oleh berkurangnya kebutuhan oksigen untuk pertumbuhannya selama fermentasi. Destiasari dkk. (2024) juga berpendapat bahwa saat fase mesofilik II terjadi penurunan aktifitas mikroorganisme berenergi tinggi lalu suhu akan menurun secara perlahan. Terjadinya penurunan suhu pada fase mesofilik II menyebabkan kapang mesofilik yang berperan dominan, selain terjadi penurunan suhu, terjadi penurunan pH kapang. Hal tersebut sejalan dengan pendapat Badruzaman & Sutrisno (2007) bahwa pada tahap mesofilik II terjadi proses penguraian lignin, hemiselulosa, dan selulosa oleh

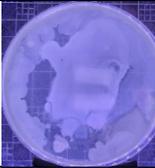
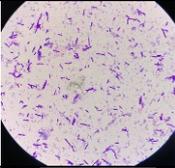
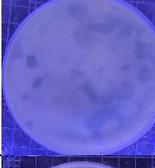
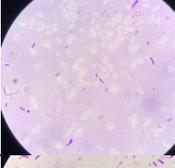
kapang sehingga pH menunjukkan kestabilan atau mendekati pH 7. Penurunan pH dan suhu pada fase mesofilik II disebabkan juga oleh aktivitas kapang yang mulai menurun karena berkurangnya bahan organik. Aktivitas kapang pada saat fase mesofilik II dapat berkurang hingga 50% namun diversitas kapang dan metabolitnya akan meningkat (Hamidah, dkk. 2023)

#### 4. Karakteristik Makroskopis dan Mikroskopis Bakteri yang Berperan pada Proses Dekomposisi Awal Proses Pembuatan Bioetanol.

Identifikasi bakteri secara makroskopis dan mikroskopis dapat dilakukan untuk mengetahui genus bakteri yang berperan. Hasil identifikasi bakteri pada proses dekomposisi diperoleh 3 isolat bakteri dominan pada substrat yang masing – masing berperan pada hari ke-1, ke-7 dan ke-14. Identifikasi tersebut disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3. hasil pengamatan mikroskopis mampu menyatakan bahwa bakteri yang berperan pada proses dekomposisi adalah bakteri genus *Bacillus* yang mendominasi hari ke-1, ke-7 dan ke-14. Ketiga isolat dinyatakan memiliki bentuk *bacillus* (batang), berwarna ungu, gram positif, berspora dan termasuk bakteri genus *Bacillus*. Endospora adalah peristiwa munculnya spora pada bakteri dan salah satu ciri genus bakteri *Bacillus* sehingga dapat digunakan untuk membedakan dari kelompok bakteri lain (Mukamoto, dkk. 2015). Bakteri gram positif memiliki dinding sel yang tersusun atas peptidoglikan yang tebal,

Tabel 3. Karakteristik Makroskopis dan Mikroskopis Bakteri

Hari	Isolat	Makroskopis					Mikroskopis			
		Hasil	Bentuk	Tepi	Elevasi	Warna	Hasil	Bentuk	Spora	Gram
1	P2H1		<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Flat</i>	Putih		<i>Bacillus</i>	<i>Central</i>	+
7	P2H7		<i>Irregular</i>	<i>Lobate</i>	<i>Flat</i>	Putih		<i>Bacillus</i>	<i>Central</i>	+
14	P1H14		<i>Circular</i>	<i>Entire</i>	<i>Flat</i>	Putih		<i>Bacillus</i>	<i>Terminal</i>	+

Keterangan : P1 (60 % Feses Sapi Perah : 40% TKKS), P2 (70 % Feses Sapi Perah : 30% TKKS), P3 (80 % Feses Sapi Perah : 20% TKKS), dan P4 (90% Feses Sapi Perah : 10% TKKS) dan H1 (Hari ke-1), H7 (Hari ke-7), H14 (Hari ke-14).

Benson (2001) menyatakan bahwa uji pewarnaan gram didasarkan pada kemampuan bakteri untuk mempertahankan warna kristal violet saat pewarnaan dengan alkohol. Karakteristik makroskopis yang diperoleh dari 3 isolat dinyatakan beragam dengan bentuk koloni dominan pada isolat adalah *Circular* (bulat) dengan tepi *entire* (halus), selain itu muncul bentuk lain seperti *Irregular* (tidak beraturan) dengan tepian *lobate* (berlekuk). Warna ketiga isolat berwarna putih dengan elevasi *flat*. Napitupulu dkk. (2019) menyatakan genus *Bacillus* pada umumnya memiliki karakteristik makroskopis secara umum berwarna putih atau krem, dengan bentuk koloni bulat atau tidak beraturan, elevasi cenderung *flat* atau *convex*.

Genus *Bacillus* merupakan salah satu bakteri yang banyak ditemukan di dalam tanah dan limbah tanaman

(Handayani, dkk. 2023). Bakteri *Bacillus* dapat membantu mempercepat laju dekomposisi yang dibuktikan oleh pernyataan Oktavia (2022) bahwa genus *Bacillus* dikenal mempunyai enzim hidrokarbon yang akan memecah senyawa kimia kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana yang bisa dipakai sebagai sumber energi untuk melakukan fermentasi sehingga umum ditemukan di dalam substrat campuran feses sapi perah dan TKKS. Bakteri genus *Bacillus* memiliki kemampuan memproduksi enzim, salah satunya adalah enzim selulase sehingga dapat disebut sebagai bakteri selulolitik. Bakteri *Bacillus* bekerja mendegradasi substrat selulosa pada proses dekomposisi menjadi gula sederhana yaitu glukosa dengan menghancurkan ikatan amorf dan kristalin yang terkandung dalam rantai selulosa (Kurniawan, dkk. 2021). Secara spesifik

di dalam genus *Bacillus*, species *Bacillus subtilis* adalah bakteri yang mampu memproduksi enzim selulase.

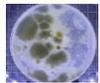
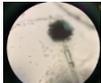
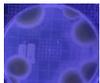
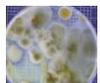
**5. Karakteristik Makroskopis dan Mikroskopis Kapang yang Berperan pada Proses Dekomposisi Awal Proses Pembuatan Bioetanol.**

Isolasi dan identifikasi kapang pada substrat campuran feses sapi perah dan TKKS campuran feses sapi perah dan TKKS dalam proses pembuatan bioetanol diperoleh total 5 isolat dominan dengan genus kapang yang berbeda dan disajikan pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4. diketahui bahwa karakteristik makroskopis dan mikroskopis pada kelima isolat tersebut memiliki kedekatan karakteristik

dengan kapang genus *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Penicillium*, *Mucor* dan *Trichoderma*. Karakteristik makroskopis meliputi warna, bentuk, tekstur dan *growing zone*. Masing – masing genus memiliki karakter makroskopis yang berbeda. Karakteristik kapang secara mikroskopis dapat dilihat mulai dari jenis hifa, bentuk kepala spora, dan jenis spora aseksual. Jenis hifa pada kapang terdapat 2 jenis yaitu memiliki sepat (sekat pada hifa) dan hifa yang tidak memiliki sepat atau dapat disebut asepat (Suryani, dkk 2020). Bentuk kepala spora pada kapang umumnya bulat, namun terdapat kapang yang berbentuk lonjong, elips maupun rantai (*chains*).

Tabel 4. Karakteristik Makroskopis dan Mikroskopis Kapang

Isolat	Makroskopis					Mikroskopis				
	Hasil	Warna	Bentuk	Tekstur	<i>Growing zone</i>	Hasil	Hifa	Kepala Spora	Spora Aseksual	Genus
P1H1		Hijau	Bulat	Granul	Ada		Bersepat	Bulat	Konidiofor	<i>Aspergillus</i>
P1H7		Hijau	Bulat	Kapas bergranul	Ada		Bersepat	Globose, Seperti sapu	Konidiofor	<i>Penicillium</i>
P3H7		Putih	Irregular	Kapas bergranul	Ada		Tidak bersepat	Bulat	Sporangiofor	<i>Mucor</i>
P2H14		Putih kekuningan	Irregular	Seperti Kapas	Ada		Tidak bersepat	Bulat	Sporangiofor	<i>Rhizopus</i>
P4H14		Putih kekuningan	Bulat Kecil	Seperti Kapas	Ada		Bersepat	Bulat	Konidiofor	<i>Trichoderma</i>

Keterangan : Hasil pengamatan berdasarkan pada *Textbook* “P1 (60% Feses Sapi Perah : 40% TKKS), P2 (70% Feses Sapi Perah : 30% TKKS), P3 (80% Feses Sapi Perah : 20% TKKS), dan P4 (90% Feses Sapi Perah : 10% TKKS) dan H1 (Hari ke-1), H7 (Hari ke-7), H14 (Hari ke-14). Berdasarkan *Textbook* Pengenalan Kapang Tropik Umum.

Jenis spora aseksual meliputi kondiofor dan sporangiofor, kapang genus *Aspergillus*, *Penicillium* dan *Trichoderma* memiliki jenis spora aseksual kondiofor yang konidianya tidak terbangkus oleh struktur khusus sedangkan kapang dengan ciri spora aseksual sporangiofor terdapat pada genus *Rhizopus* dan *Mucor* dengan spora aseksual yang dilindungi didalam sporangium.

Isolat kapang dengan genus *Aspergillus* merupakan isolat dominan pada hari ke-1 dengan diperoleh hasil 8 isolat dari 12 isolat keseluruhan pada hari ke 1. Kapang *Aspergillus* berdasarkan Tabel 5. memiliki ciri mikroskopis hifa berseptat, kepala spora bulat, jenis spora aseksual kondiofor. Kapang ini biasa ditemukan didalam tanah, pohon dan kompos. Peran kapang *Aspergillus* bagi substrat campuran feses sapi perah dan TKKS adalah mampu menghasilkan enzim protease yang berfungsi dalam transformasi organik nitrogen di dalam tanah serta limbah bahan organik lainnya menjadi N anorganik (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (Saraswati, 2007). Kapang *Aspergillus* juga diketahui memiliki aktivitas selulolitik menurut penelian yang dilakukan oleh Sari dkk. (2017) yang menyatakan kapang jenis *A. flavus* memiliki indeks aktivitas selulolitik sebesar 2,63 yang mampu membantu mendegradasi selulosa di dalam substrat. Kapang genus *Penicillium* memiliki ciri mikroskopis hifa berseptat, kepala spora globose dengan bentuk seperti sapu dan spora aseksual kondiofor. *Penicillium* merupakan

mikroba tanah yang memiliki kemampuan mendegradasi fosat (P) pada substrat, melarutkan kalium (K) sehingga mampu meningkatkan unsur hara pada substrat. Genus kapang seperti *Penicillium*, *Rhizopus* dan *Mucor* diketahui mampu berperan sebagai dekomposer yang baik dalam menyuburkan tanah atau pematangan kompos.

Isolat kapang dengan genus *Mucor* merupakan kapang yang mampu ditemukan pada substrat hari ke-7. Genus *Mucor* dapat tumbuh pada suhu 5° – 30° C (Ristiari, dkk. 2018). Kapang genus *Mucor* merupakan kapang yang mampu mengurai feses ternak dalam proses dekomposisi (Meiniarti, 2021). Kapang genus *Mucor* diketahui mampu memproduksi enzim protease (Ristiari, dkk. 2018). Isolat kapang dominan pada hari ke-14 adalah genus *Trichoderma* dan *Rhizopus*. Kapang dengan genus *Trichoderma* merupakan kapang yang dapat mendegradasi bahan organik didalam substrat. Pendapat tersebut sejalan dengan pernyataan dari Hanum dkk. (2014) yang menyatakan bahwa genus genus lainnya seperti *Trichoderma*, *Pseudomonas*, *Aspergillus* dan *Penicillium* merupakan kapang perombak bahan organik yang dapat mengurai sisa-sisa tanaman khususnya pada biomassa lignoselulosa atau limbah yang mengandung hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Kapang *Trichoderma* dijuluki dengan selulolitik sejati karena kemampuannya yang baik dalam mendegradasi selulosa serta mampu mendegradasi fosfat (Ristiari,

dkk. 2018). Kapang dengan genus *Rhizopus* memiliki enzim pendegradasi karbohidrat seperti selulase, amilase dan *xylanase*, selain itu kapang *Rhizopus* memiliki aktivitas enzim fitase dan proteolitik (Handayani, dkk. 2023).

## KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan jumlah populasi bakteri tertinggi ada pada perlakuan P1 sebanyak  $11,35 \times 10^9$ CFU/g dan jumlah kapang tertinggi ada pada perlakuan P4 sebanyak  $60 \times 10^4$ CFU/g. Identifikasi yang dilakukan secara makroskopis dan mikroskopis pada bakteri yang tumbuh pada substrat campuran feses sapi perah dan TKKS didominasi oleh genus bakteri *Bacillus*, sedangkan untuk kapang yang tumbuh dalam substrat didominasi oleh genus *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Rhizopus* dan *Mucor*. Berdasarkan hasil temuan tersebut, diketahui bahwa genus bakteri dan kapang yang diperoleh memiliki aktivitas selulolitik untuk membantu mempercepat pematangan substrat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada Rektor Universitas Padjadjaran melalui Direktorat Riset dan Pengabdian kepada masyarakat yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah Riset Unpad Skema ALG tahun 2023 sehingga riset ini dapat dilaksanakan dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aftab, M., I. Iqbal, F. Riaz, A. Karadag & M. Tabatabaei. (2019). Different Pretreatment Methods of Lignocellulosic Biomass for Use in Biofuel Production. *Biomass for Bioenergy*. IntechOpen.
- Andriany, A., Fahrudin, F. & Abdullah, A. (2018). Pengaruh Jenis Bioaktivator Terhadap Laju Dekomposisi Seresah Daun Jati Tectona Grandis L.F., Di Wilayah Kampus Unhas Tamalanrea. *Bioma : Jurnal Biologi Makassar*, 3(2).
- Badan Pusat Statistik Indonesia. (2020). Statistik Perusahaan Peternakan Sapi Perah 2020. *Badan Pusat Statistik*.
- Badu, S., Koniyo, Y. & Tuiyo, R. (2013). Analisis Kandungan Mikroba Pada Permen Soba Alga Laut *Kappaphycus Alvarezii* Selama Penyimpanan. *Nikè: Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 1(3).
- Bashori, K. A., Mulyani, N. S., Agustina, L. N. & Aminin. (2012). Isolasi Karakteristik Bakteri Termofilik Selulolitik dari Kompos Serta Identifikasi Fenotipik dan Genotipik dengan Metode Sscp. *Jurnal Sains dan Matematika*, 20(2), 46-53.
- Benson. (2001). *Microbiological Applications Laboratory Manual in General Microbiology*. 8th ed. New York: The McGraw-Hill.

- Destiasari, A., Sumiyati, S. & Istirokhatun, T. (2024). Review Metode Kompos Aerob: Windrow, Takakura Dan Composter bag. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(2), 355-364.
- Farooq, Muhammad, Hassan, Mukhtiar Gull & Farzana. (2015). Mycobial Deterioration of Stone Monuments of Dharmarajika. Taxila. *Journal of Microbiology & Experimentation*, 2(1), 29 – 33.
- Fianda, R., Widyastuti, Purwanto & Hadiyanto. (2013). Potensi Biogas Melalui Pemanfaatan Limbah Padat Pada Peternakan Sapi Perah Bangka Botanical Garden Pangkalpinang. *Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro*
- Hamidah & Gawy, B. N. (2023). Teknologi Composting Skala Rumah Tangga Untuk Meretas Problem Sampah Organik. *JPKPM*, 3(1), 74-77.
- Hanum, A. M. & Kusyewitasari, N. D. (2014). Laju Dekomposisi Serasah Daun Trembesi (*Samanea Saman*) Dengan Penambahan Inokulum Kapang. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 3(1).
- Handayani, K., Royanti, V. & Ekowati, C. (2023). Indeks Keanekaragaman Bakteri Bacillus Sp. Dari Tanah Kebun Raya Liwa. *Gunung Djati Conference Series*, 18.
- Handayani, M. T., Riani, I. G., Utami, A. S. & Ichsan, O. A. (2023). Degradasi Protein Selama Fermentasi Koro Kratok (*Phaseolus Lunatus*) Menggunakan *Rhizopus oligosporus*. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 10(1).
- Hartari, W. R., Delvitasari, F., Maryanti, M., Undadraja, B., Hasbullah, F. & Deksono, G. A. (2023). Pengujian Lignoselulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Waktu Delignifikasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Menggunakan Uap Bertekanan. *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, 151-158.
- Hermana, I., Kusmarwati, A. & Yennie, Y. (2018). Isolasi dan Identifikasi Kapang Dari Ikan Pindang. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 13(1), 79.
- Ibrahim, A., Fridayanti, A & Delvia, F. (2015). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Asam Laktat (BAL) dari Buah Mangga (*Mangifera Indica L.*). *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 1(2), 159-163.
- Kayati, F. N., Syamsiah, S., Sediawan, W. B. & Sutijan, S. (2016). Studi Kinetika Hidrolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Dengan Proses Fermentasi Padat Menggunakan Jamur *Aspergillus niger*. *Reaktor*, 16(1), 1–8.

- Kurniawan, C. A., Afriani, M., Maulana, A. & Gusmawartati. (2021). Studi Literatur: Uji Kemampuan Konsorsium Isolat Bakteri Selulolitik dalam Mempercepat Dekomposisi Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 23(1), 28-32.
- Kurniawan, E., Badruzzaman, D. Z. & Marlina, E. T. (2023). Dinamika Populasi Dan Identifikasi Bakteri pada proses Dekomposisi Awal Campuran lumpur Susu Dan Jerami Padi dengan Perbedaan Nisbah C/N. *Jurnal Teknologi Hasil Peternakan*, 4(2), 141.
- Mahestri, L., Esti H. dan Agus S. (2021). Isolasi dan Penapisan Bakteri Termofilik Pemecah Amilum dan Protein dari Sumber Air Panas Way Panas Kalianda Lampung Selatan. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*.
- Mardawati, E., Putri, A. V., Yuliana, T., Rahimah, S., Nurjanah, S. dan Hanidah, I. (2019). Effects of substrate concentration on bioethanol production from oil palm empty fruit bunches with simultaneous saccharification and fermentation (SSF). *International Conference on Green Agroindustry and Bioeconomy*. IOP Publishing.
- Marlina, E. T., Badruzzaman, D. Z., Harlia, E., Hidayati, Y. A. & Sulistiawati, I. (2020). Microbial Population Dynamics And Fiber Reduction In The Initial Decomposition Of Beef Cattle Waste Composting. *Ziraa'ah*, 45(1), 94 - 102.
- Marlina, E. T., Badruzzaman, D. Z., Hidayati, Y. A., Harlia, E., Kurniawan, E., Meynadhea, N. & Rahayu, N. A. (2024). The Role of Indigenous Microbes and Earthworm in the Bioconversion of Dairy Wastewater Solids into Organic Fertilizer. *Himalayan Journal of Agriculture*, 5(1), 6-11.
- Meiniarti, Irdawati, Chatri, M. & Des, D. M. (2021). Identification of fungi in biogas mixed with buffalo dung and leaf onion waste (*Allium cepa L.*). *Bioscience*, 5(2), 127.
- Mukamto, Ulfah, S., Mahalina, W., Syauqi, A., Istiqfaroh, L. & Trimulyono, G. (2015). Isolasi dan Karakterisasi Bacillus sp. Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Tanaman Leguminosae. *Sains & Mat*, 3(2), 62-68.
- Mustami, R., Ainun, S. & Hartati, E. (2015). Karakteristik Substrat dalam Proses Anaerob Menggunakan Biodigester. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(3).

- Napitupulu, H. G., Rumengan, I.F.M., Wullur, S., Ginting, E.L., Rimper, J.R.T.S. & Toloh, B. H. (2019). *Bacillus* sp. As a Decomposition Agent in The Maintenance of *Brachionus rotundiformis* Which Uses Raw Fish as a Source of Nutrition. *Jurnal Ilmiah Platax*, 7 (1):2302-3589.
- Nurrochman, F. (2015). *Eksplorasi Bakteri Selulolitik Dari Tanah Hutan Mangrove Baros Yogyakarta*, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Oktavia, R. & Sumardi, S. (2022). Kemampuan *Bacillus* Sp. Sebagai Bioremediasi Bahan Pencemar. *Jurnal Bioterdidik: Wahana Ekspresi Ilmiah*, 10(2), 110-125.
- Pratama, B. A., Sabrina, T. & Sembiring, M. (2019). Uji Efektifitas Beberapa Jenis Dekomposer Pada Beberapa Jenis Bahan Kompos. *Jurnal Pertanian Tropik*, 6(1), 142 - 152.
- Presetyo, D. R., Aziz, M. T. & Febriyanti, R. (2021). Pengomposan Menggunakan Sampah Organik Dengan Bantuan M4. *EKSAKTA : Jurnal Penelitian dan Pembelajaran MIPA*, 6(2).
- Priharsanti, A. H. (2009). Populasi Bakteri Dan Jamur pada Daging sapi dengan Penyimpanan Suhu Rendah. *Sains Peternakan*, 7(2), 66.
- Rakhmawati, A., Yulianti, E. & Rohaeti, E. (2014). Seleksi Bakteri Termofilik Selulolitik Pasca Erupsi Merapi, *Jurnal Kaunia*, 10(2).
- Ratna, D. A., Samudro, G. & Sumiyati, S. (2017). Pengaruh Kadar Air Terhadap Proses Pengomposan Sampah Organik Dengan Metode Takakura. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 63.
- Ristiari, N. P., Julyasih, K. S. & Suryanti, I. A. (2018). Isolasi Dan Identifikasi Jamur Mikroskopis Pada Rizosfer Tanaman Jeruk Siam (*Citrus nobilis Lour.*) Di Kecamatan Kintamani, Bali. *Jurnal Pendidikan Biologi Undiksha*, 6(1).
- Safaria, S., Idiawati, N. & Zaharah, T. A. (2013). Efektivitas Campuran Enzim Selulase Dari *Aspergillus Niger* Dan *Trichoderma Reesei* Dalam Menghidrolisis Substrat Sabut Kelapa. *JKK*. 2 (1).
- Safari, A. A., Hidayati, Y. A. & Setiawati, M. R. (2023). Pengaruh Rasio C/N Campuran Feses sapi Perah Dan Daun Kirinyuh terhadap Kualitas POC (Pupuk Organik Cair). *Jurnal Teknologi Hasil Peternakan*, 4(1), 52.  
<https://doi.org/10.24198/jthp.v4i1.45739>

- Saraswati, R. & Praptana, R. H. (2017). Percepatan Proses Pengomposan Aerobik Menggunakan Biodekomposer. *Perspektif*, 16(1).
- Sari, A. R., Kusdiyantini, E. & Rukmi, M. I. (2017). Produksi Selulase Oleh Kapang *Aspergillus Sp.* Hasil Isolasi Dari Limbah Pengolahan Sagu (*Metroxylon Sp.*) Dengan Variasi Konsentrasi Inokulum Pada Fermentasi Terendam Statis. *Jurnal Akademika Biologi*, 6(1), 11-20.
- Shabariyah, S., Benito, T. & Badruzaman, D. Z. (2016). Identifikasi Kapang Pada Campuran Batubara Dan Feses Sapi Potong Pada Digester Tipe Batch. *Fakultas Peternakan Universitas Padjadjaran*.
- Sudiyani, Y., Sembiring, K. C., Hendarsyah, H., & Alawiyah, S. (2010). Alkaline pretreatment and enzymatic saccharification of oil palm empty fruit bunch fiber for ethanol production. *Menara Perkebunan*, 78(2), 70 – 74
- Sunarto & Lutojo. (2008). *Rancangan Pengolahan dan Produksi Bak Penampung dan Pengolah Pupuk Organik Cair Urin Sapi Berbahan Empon-empon*. Program Vucer. DP2M Kemdiknas Jakarta.
- Suryani, Y., Taupiqurrahman, O. & Kulsum, Y. (2020). *MIKOLOGI*. Freeline Cipta Granesia. Padang.
- Sutanto, R. 2002. *Pertanian Organik*. Kanisius, Yogyakarta.
- USDA. (2022). *Foreign Agriculture Service Production – Indonesia*. U.S Departement of Agriculture. <https://fas.usda.gov/data/production/country/id>
- Zaman, B. & Priyambada, I. B. (2007). Pengomposan Dengan Menggunakan Lumpur Dari Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Kertas Dan Sampah Domestik Organik. *TEKNIK*, 28(2).
- Zaman, B. & Sutrisno, E. (2007). Studi Pengaruh Pencampuran Sampah Domestik, Sekam Padi, dan Ampas Tebu Dengan Metode Mac Donald Terhadap Kematangan Kompos. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 2(1), 1