

INOVASI ENERGI TERBARUKAN: BIOGAS DARI LIMBAH BUAH SEBAGAI SOLUSI PENGELOLAAN SAMPAH ORGANIK

Nayla Amalia Muthmainnah^{1*}, Sausan Nada Widana¹, Mohammad Danial¹, Ayu Aulia Asyhari¹,
Fuji Hernawati Kusuma¹

¹Prodi Tadris Fisika, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, Jl. Ir. H. Djuanda, Tangerang Selatan, 15412, Indonesia
e-mail*: enayyull16@gmail.com

ABSTRAK

Limbah organik dari sisa konsumsi rumah tangga, seperti buah-buahan, masih menjadi sumber pencemaran lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Salah satu solusi yang berkelanjutan adalah memanfaatkannya sebagai bahan baku energi terbarukan, yaitu biogas. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi produksi biogas dari tiga jenis limbah buah, yaitu nanas, apel, dan semangka, serta membandingkan efisiensi energi yang dihasilkan dari masing-masing bahan baku. Metode yang digunakan adalah eksperimen fermentasi sederhana menggunakan wadah tertutup yang dilengkapi sistem penyalur gas. Masing-masing jenis buah difermentasi selama lima hari dengan campuran air dan starter mikroba (EM4). Volume gas diamati secara visual, sedangkan kualitas gas diukur melalui uji nyala api menggunakan suntikan dan stopwatch. Hasil menunjukkan bahwa limbah nanas menghasilkan biogas paling banyak dengan waktu nyala api selama 5 detik, diikuti oleh apel 2 detik dan semangka 1 detik. Perubahan massa juga mencerminkan keluarnya gas, dengan nanas menunjukkan selisih berat paling besar. Dapat disimpulkan bahwa limbah nanas memiliki potensi tertinggi sebagai bahan baku biogas dibandingkan dua jenis buah lainnya. Penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah buah dapat menjadi alternatif solusi pengelolaan sampah organik sekaligus mendukung pengembangan energi terbarukan skala rumah tangga.

Kata Kunci : *biogas, limbah buah, fermentasi, energi terbarukan, pengelolaan sampah organik*

ABSTRACT

Organic waste from household consumption, such as fruits, is still a source of environmental pollution if not managed properly. One sustainable solution is to utilize it as raw material for renewable energy, namely biogas. This study aims to evaluate the potential of biogas production from three types of fruit waste, namely pineapple, apple and watermelon, and compare the energy efficiency produced from each raw material. The method used was a simple fermentation experiment using a closed container equipped with a gas delivery system. Each type of fruit was fermented for five days with a mixture of water and microbial starter (EM4). Gas volume was observed visually, while gas quality was measured through a flame test using an injection and a stopwatch. Results showed that pineapple waste produced the most biogas with a flame time of 5 seconds, followed by apple 2 seconds and watermelon 1 second. The change in mass also reflected the release of gas, with pineapple showing the greatest weight difference. It can be concluded that pineapple waste has the highest potential as a biogas feedstock compared to the other two types of fruit. This research shows that the utilization of fruit waste can be an alternative solution to organic waste management while supporting the development of household-scale renewable energy.

Keywords: *biogas, fruit waste, fermentation, renewable energy, organic waste management*

I PENDAHULUAN

Dalam konteks permasalahan lingkungan global yang semakin mendesak, pengelolaan limbah organik menjadi salah satu fokus utama untuk menciptakan solusi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Limbah organik, terutama dari hasil pertanian dan konsumsi rumah tangga, seringkali menjadi sumber pencemaran yang signifikan jika tidak dikelola dengan baik. Sebagai contoh, limbah buah dapat menciptakan masalah lingkungan yang serius jika dibuang sembarangan, di mana limbah tersebut dapat memunculkan bau tidak sedap dan menarik hama, serta meningkatkan risiko pencemaran tanah dan air (1,2). Penggunaan limbah organik tidak hanya sebagai mengurangi pencemaran tetapi juga dapat dimanfaatkan untuk produksi energi terbarukan,

yaitu biogas, yang berpotensi menjadi sumber energi alternatif yang lebih bersih dan efisien dibandingkan bahan bakar fosil (3).

Penelitian ini berfokus pada eksplorasi potensi biogas yang dihasilkan dari fermentasi limbah organik, khususnya limbah buah. Proses fermentasi dengan memanfaatkan berbagai jenis bahan organik untuk menghasilkan biogas, yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis massa biogas yang dihasilkan dan waktu pembakaran sebagai indikator kualitas serta efisiensi energi dari biogas yang dihasilkan. Menurut Nurhayati et al., biogas memiliki potensi besar sebagai sumber energi yang tidak hanya dapat digunakan dalam rumah tangga tetapi juga dapat meminimalisir ketergantungan pada sumber energi fosil (4).

Kesadaran terhadap perlunya inovasi dalam teknologi energi ramah lingkungan menjadi semakin penting, mengingat dampak negatif dari penggunaan bahan bakar fosil yang terus menjadi sorotan. Selain itu, upaya untuk meningkatkan efisiensi proses produksi energi terbarukan harus didorong melalui penelitian yang memperhatikan teknik pemanfaatan limbah yang lebih baik, salah satunya melalui teknik fermentasi yang optimal (5,6). Keberhasilan dalam memanfaatkan limbah organik menjadi sumber energi yang sustainable juga berkontribusi terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca, sejalan dengan komitmen global terhadap keberlanjutan lingkungan (7,8).

Penelitian yang dilakukan oleh (9) menunjukkan bahwa proses fermentasi limbah organik yang dicampur dengan kotoran sapi dapat menghasilkan biogas dengan kuantitas dan kualitas yang berbeda. Hasil penelitian ini selaras dengan penelitian yang dilakukan, meskipun terdapat beberapa perbedaan dalam jenis bahan baku yang digunakan, durasi fermentasi dan bahan pendukungnya. Jika dibandingkan dengan penelitian dari (10) mengenai pirolisis limbah plastik, pendekatan ini berbeda secara prinsip. Pirolisis menggunakan panas untuk memecah struktur plastik menjadi bahan bakar cair (minyak tanah dan bensin), sedangkan penelitian ini menggunakan proses biologis fermentasi untuk menghasilkan biogas (metana) dari bahan organik. Namun keduanya sama-sama menargetkan pemanfaatan limbah sebagai sumber energi alternatif.

Secara umum, tujuan eksperimen ini adalah untuk mengevaluasi efisiensi dan hasil dari biogas yang dihasilkan dari limbah organik. Pengukuran terhadap massa hasil biogas dan lama nyala api akan memberikan gambaran yang jelas mengenai kualitas biogas tersebut dan berpotensi menjadi langkah awal bagi penelitian lanjutan yang lebih komprehensif mengenai konversi limbah organik menjadi energi terbarukan (5). Dalam konteks ini, biogas tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi alternatif tetapi juga dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pengelolaan limbah yang efektif dan berkelanjutan (11).

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengelolaan limbah organik serta menginspirasi inovasi lebih lanjut dalam pengembangan sumber energi terbarukan yang lebih berkelanjutan, sekaligus membantu mengatasi masalah keterbatasan sumber daya energi konvensional (12). Hasil dari penelitian ini diharapkan tidak hanya bermanfaat secara teoritis tetapi juga praktis, terutama dalam memberikan alternatif solusi bagi masalah lingkungan terkait dengan limbah organik yang ada saat ini.

II METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen sederhana yang bertujuan untuk membandingkan efisiensi produksi dan kualitas biogas yang dihasilkan dari berbagai jenis limbah buah. Dalam melaksanakan penelitian ini, proses fermentasi dilakukan dengan memanfaatkan limbah organik, terutama dari sisa potongan buah, yang memiliki kandungan karbohidrat tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa limbah organik, seperti kulit buah, dapat dijadikan substrat yang efektif dalam proses produksi biogas, terutama untuk menghasilkan energi alternatif yang ramah lingkungan (13,14). Proses ini dilakukan selama 5 hari dengan menggunakan campuran limbah buah, yaitu kulit apel, semangka, dan nanas, sebagai bahan baku utama. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pemahaman tentang potensi konversi

limbah organik, tetapi juga menawarkan solusi terhadap isu pengelolaan limbah yang ada saat ini (15).

Dalam eksperimen ini, setiap perlakuan menggunakan sekitar 0,5 kg gram limbah buah, untuk membantu proses fermentasi yang optimal. Campuran tersebut dimasukkan ke dalam wadah fermentasi tertutup yang telah dimodifikasi agar kedap udara dan mampu menyalurkan gas hasil fermentasi. Pemilihan jenis wadah fermentasi yang tepat, seperti botol plastik berkapasitas 1,5 liter, serta penggunaan selang infus. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa desain wadah yang baik dapat meningkatkan efisiensi produksi biogas dengan meminimalisir kehilangan gas yang dihasilkan (16).

Selama periode fermentasi, langkah pertama yang dilakukan adalah mempersiapkan bahan dengan pemilahan dan pemotongan limbah buah agar berukuran lebih kecil dan sedikit penghancuran guna mempercepat proses dekomposisi (17). Setelah itu, limbah ditimbang secara akurat menggunakan neraca digital sebanyak sekitar 700 gram per perlakuan. Proses pencampuran limbah dengan air diaduk secara merata, dan kemudian dituangkan ke dalam botol fermentasi. Pastikan sambungan selang dan wadah terpasang dengan baik dan tidak ada kebocoran gas yang terjadi, hal ini merupakan bagian integral dalam mendapatkan hasil eksperimen yang valid. Seiring dengan fermentasi yang berlangsung selama 5 hari, dilakukan pengamatan harian terhadap perkembangan gas yang dihasilkan dengan mencatat perubahan volume bahan yang terhubung.

Setelah masa fermentasi selesai, dilakukan uji pembakaran gas dengan mendekatkan api korek ke ujung selang gas, dan lama waktu nyala api dicatat dengan stopwatch sebagai indikator efisiensi dan kualitas energi dari biogas yang dihasilkan. Parameter pengujian ini memberikan informasi mengenai daya bakar biogas dan juga menggambarkan kehadiran gas metana yang merupakan komponen utama dalam biogas yang efisien. Penelitian ini berupaya untuk menentukan jenis limbah yang paling efektif dalam menghasilkan biogas yang optimal berdasarkan evaluasi terhadap kuantitas gas dan efisiensi pembakaran, yang merupakan aspek penting dalam pengembangan bioenergi dari limbah (13).

Setiap perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali untuk memperoleh data rata-rata, yang bertujuan mengurangi kemungkinan kesalahan eksperimen dan meningkatkan keandalan hasil. Data yang diperoleh dari masing-masing perlakuan meliputi massa limbah awal, volume biogas yang dihasilkan, serta lama waktu pembakaran yang dinyatakan dalam detik. Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk membandingkan ketiga jenis limbah buah terhadap jumlah dan kualitas biogas yang dihasilkan, sehingga menghasilkan rekomendasi yang dapat digunakan dalam praktik pengelolaan limbah yang lebih baik dan pengembangan teknologi energi terbarukan.

Dari keseluruhan proses dan metode yang diterapkan dalam penelitian ini, diharapkan dapat memberikan wawasan baru dan solusi yang inovatif dalam pemanfaatan limbah organik sebagai sumber energi alternatif (12,18). Melalui penelitian ini, diharapkan dapat semakin meningkatkan pemahaman dan kesadaran akan pentingnya pengelolaan limbah yang berkelanjutan serta menciptakan energi ramah lingkungan yang efisien dalam konteks pemanfaatan sumber daya lokal yang ada (3).

III HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menguji potensi biogas dari berbagai jenis limbah buah, yaitu nanas, apel, dan semangka, sebagai alternatif energi terbarukan sekaligus solusi pengelolaan sampah organik. Proses fermentasi dilakukan selama 5 hari dengan menggunakan Effective Microorganisme dalam wadah tertutup, dan indikator keberhasilan adalah nyala api hasil pembakaran gas serta perubahan massa selama fermentasi.

3.1 Hasil Percobaan Biogas

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semua jenis limbah buah mengalami proses fermentasi dan menghasilkan gas, namun dengan kuantitas dan kualitas berbeda-beda. Berikut adalah ringkasan data yang diperoleh:

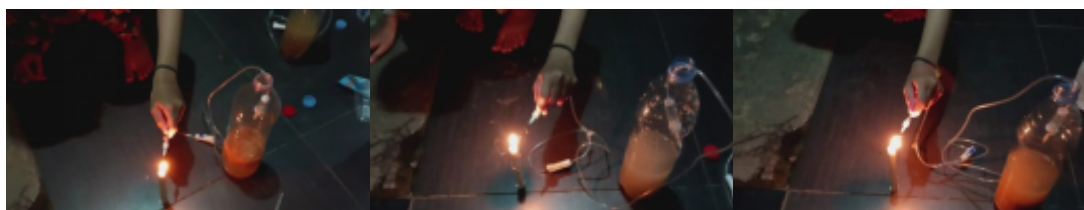
Tabel 1. Perbandingan berat awal dan akhir buah

Jenis Buah	Berat Awal (kg)	Berat Akhir (kg)
Nanas	0,792	0,405
Semangka	0,703	0,400
Apel	0,600	0,090

Tabel 2. Perbandingan nyala api dari gas

Nama Buah	Waktu	Catatan
Apel	2 detik	Gas yang dikeluarkan sedikit
Nanas	5 detik	Gas yang dikeluarkan banyak
Semangka	1 detik	Gas dikeluarkan sangat sedikit

Terdapat api pada ujung suntikan yang didekatkan pada lilin walaupun hanya terlihat sekilas dan terhalang cahaya lilin. Pada hasil percobaan, durasi api menyala bergantung pada kandungan gas dari buah yang sudah difermentasi. buah nanas memiliki gas yang cukup kuat dan konsisten sehingga memberikan durasi yang lebih lama. Selama fermentasi, berat cenderung tetap karena gas masih tertahan dalam botol. Perubahan signifikan terjadi setelah gas dilepaskan atau pada saat eksperimen dilakukan.



Gambar 1 Perobaan buah apel, Nanas dan Semangka

3.2 Pembahasan

Dari hasil yang diperoleh, limbah nanas merupakan bahan baku biogas paling potensial di antara tiga jenis buah yang diuji. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor:

1. Kadar gula tinggi dan serat kasar dalam nanas yang mendukung fermentasi metanogenik lebih optimal dibanding apel dan semangka.
2. Waktu fermentasi yang cukup lama memungkinkan gas metana menumpuk dalam botol, sehingga saat dilepaskan menghasilkan tekanan yang lebih besar.
3. Komposisi kimia nanas yang lebih kaya akan nutrien mikro dan makro mendukung aktivitas mikroba penghasil metana.

Hasil eksperimen juga menunjukkan bahwa semakin banyak gas yang dihasilkan dan tertahan dalam botol fermentasi, maka semakin lama dan kuat pula api yang dihasilkan saat gas dibakar. Sebaliknya, apel dan semangka menghasilkan gas dalam jumlah kecil. Apel bahkan menunjukkan pembakaran hanya selama 2 detik, yang bisa jadi disebabkan karena kadar air yang tinggi dan kandungan gula yang lebih rendah dibanding nanas. Semangka, dengan kadar air yang sangat

tinggi, diduga menghambat pembentukan gas yang mudah terbakar. Keterbatasan dari penelitian ini adalah tidak dilakukannya analisis kandungan gas secara kimiawi untuk mengidentifikasi kadar metana secara pasti. Selain itu, tidak digunakan alat ukur tekanan atau volume gas yang akurat, sehingga hasil yang diperoleh masih bersifat kualitatif dan estimatif.

IV SIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa limbah buah-buahan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku penghasil biogas melalui proses fermentasi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa limbah nanas menghasilkan biogas terbanyak, ditunjukkan dengan waktu nyala api paling lama dibandingkan limbah apel dan semangka. Temuan ini mendukung hipotesis bahwa limbah organik, khususnya jenis buah tertentu, memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga memperlihatkan bahwa lamanya waktu nyala api berkorelasi dengan banyaknya gas metana yang terbentuk selama fermentasi, menjadikan biogas dari limbah buah sebagai solusi praktis dalam pengelolaan sampah organik sekaligus penyedia energi alternatif berskala kecil. Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya tidak dilakukannya pengujian laboratorium terhadap kandungan gas secara kimiawi, serta tidak digunakannya alat pengukur tekanan atau volume gas untuk memperoleh data kuantitatif yang lebih akurat.

Berdasarkan temuan tersebut, disarankan agar penelitian lanjutan dilakukan dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi produksi biogas, seperti perbandingan rasio karbon dan nitrogen (C/N), variasi jenis buah, serta lama waktu fermentasi. Penggunaan bahan tambahan seperti katalis mikroba juga dapat diteliti untuk meningkatkan produksi metana. Selain itu, pengembangan reaktor biogas sederhana skala rumah tangga dengan desain murah dan mudah diterapkan sangat potensial untuk mendorong adopsi teknologi ini di tingkat masyarakat. Kolaborasi antara pemerintah, akademisi, dan pelaku industri sangat diperlukan untuk memperluas pemanfaatan teknologi biogas dari limbah buah, baik sebagai solusi lingkungan maupun sebagai kontribusi terhadap ketahanan energi lokal. Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem biogas ini dapat diuji integrasinya dengan teknologi penyimpanan energi atau konversi listrik guna meningkatkan nilai aplikatifnya dalam skenario energi terdesentralisasi di masa depan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Fuji Hernawati Kusuma, M.Si., selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, arahan, serta dukungan yang telah diberikan selama proses penyusunan penelitian ini. Nasihat dan masukan yang beliau berikan sangat membantu dalam merumuskan kerangka dan arah penelitian secara sistematis.

Penulis juga memberikan apresiasi yang tinggi kepada seluruh anggota kelompok yang telah bekerja sama secara aktif dalam seluruh tahapan pelaksanaan penelitian, mulai dari perencanaan, pengumpulan bahan, perakitan alat, hingga pelaksanaan eksperimen secara mandiri. Tanpa dedikasi dan kerja sama yang baik dari seluruh anggota, penelitian ini tidak dapat terlaksana dengan optimal. Semoga penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang energi terbarukan dan pengelolaan limbah organik secara mandiri dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Widyabudiningsih D, Troskialina L, Fauziah S, Shalihatunnisa S, Riniati R, Djenar N, et al. Pembuatan dan pengujian pupuk organik cair dari limbah kulit buah-buahan dengan penambahan bioaktivator em4 dan variasi waktu fermentasi. *Ijca (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*. 2021;4(1):30–9.
2. Halimah A. Analisis finansial usaha pemanfaatan limbah ternak sapi sebagai bahan baku biogas. *Mimbar Agribisnis Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis*. 2024;10(1):9–14.
3. Setiawan R, Eddy S, Setiawan A. Pemanfaatan logam tembaga dan seng sebagai sel volta dalam media limbah buah-buahan. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Terapannya (Jupiter)*. 2023;5(1):1–9.
4. Nurhayati N, Alawiyah T, Yuwindry I. Entrepreneurship training for innovative banana peel products as sasirangan waste filtration. *pros konf pengab masy*. 2023;1:15–20.
5. Mutmainnah Z, Ain U, Alfanisah N, Sya'rani I, Suryani L, Rahman R, et al. Pembuatan biogas dan pupuk kompos dengan memanfaatkan limbah kotoran sapi berbasis zero waste di desa lenek daya. *Jurnal Pendidikan Dan Pengabdian Masyarakat*. 2023;6(1):71–6.
6. Widarsih W, Rosalina R, Supriatna D, Amalia A, Anwar C, Kholidinata F. Sosialisasi pemanfaatan limbah cair tahu menjadi pupuk cair organik di ikm kota manis kecamatan gunung putri kota bogor. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Aka*. 2023;3(1):11–5.
7. Chusniasih D, Nurhayu W, Fahni Y, Purmadi F, Putri K. Biofermentasi limbah pertanian dengan teknologi fermentor dan biocomposter untuk mewujudkan pertanian organik di desa rawa selapan. *Jurnal Kreativitas Pengabdian Kepada Masyarakat (Pkm)*. 2023;6(12):5393–403.
8. Susanto J, Santoso A, Suwedi N. Perhitungan potensi limbah padat kelapa sawit untuk sumber energi terbarukan dengan metode lca. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 2017;18(2):165.
9. Mutiara RS. Analysis Of Biogas Yield From Organic Waste (Vegetables, Cassava Peels And banana Leaves). *Jurnal Energi dan Ketenagalistrikan*. 2023;
10. Mamuji T, Az Zahra HH, Sholihah B, Kusumah FH. Utilization of waste types on the quantity of fuel oil produced from the pyrolysis process. *Jurnal Energi dan Ketenagalistrikan*. 2023;1(2):214–20.
11. Praharasti A, Febrisiantosa A, Jatmiko T, Wahono S, Prasetyo D, Pratiwi D, et al. Pembuatan pupuk padat dari hasil samping biogas di gunungkidul. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 2023;23(2):167–74.
12. Widjanarko S, Aulia L, Khoirunnisa Y. Profil sifat fisiko-kimia dan mikrobiologi cairan eco-enzyme dari beberapa jenis buah dan daun cemara udang (*casuarina equisetifolia*). *Jurnal Teknologi Pertanian*. 2023;24(2):117–26.
13. Yunilas Y, Mirwhandhono E, EFRATA E. Evaluasi kualitas larutan mikroorganisme lokal (mol) berbasis limbah buah dan potensi sebagai bioaktivator. *Knowledge Jurnal Inovasi Hasil Penelitian Dan Pengembangan*. 2024;4(1):1–8.

14. Pangaribuan R, Tambunan G, Martgrita M, Manurung A. Kajian pustaka: potensi kulit buah untuk menghasilkan bioetanol dengan mengkaji kondisi, substrat, dan metode fermentasi. *Journal of Applied Technology and Informatics Indonesia*. 2021;1(1).
15. Reni Anggia Damayanti N, Izzah Ravelina N, Sunan Gunung Djati Bandung U. Etika Bisnis Islam : Implementasi pada Perbankan Syariah [Internet]. 2023. Available from: www.sebi.ac.id
16. Haryanto A, Irawan D, Suharyatun S, Rahmawati W, Telaumbanua M, Wisnu F, et al. Rancang bangun dan uji kinerja digester biogas rumah tangga tipe floating tank dengan substrat kotoran sapi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*. 2021;9(2):130–42.
17. Suprayogi D, Asra R, Mahdalia R. Analisis produk eco enzyme dari kulit buah nanas (ananas comosus l.) dan jeruk berastagi (citrus x sinensis l.). *Jurnal Redoks*. 2022;7(1):19–27.
18. Khasanah H, Purnamasari L, Suciati L. Pakan amoniasi untuk mendorong pengembangan sentra ternak unggul di jember. *JPPM (Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Masyarakat)*. 2023;7(1):65.