



Studi Literatur: Perbandingan Efektifitas Biogas dari Kotoran Sapi dan Sampah Sisa Sayur atau Buah

Taufik Dani¹, Purwanto², Sudarno Utomo^{3*}

^{1,2}Program Doktor Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

^{3*}Departemen Teknik Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

Email: ¹taufikdani999@gmail.com

Abstract

This study aims to compare the effectiveness of biogas from cow dung and vegetable or fruit waste materials. The research method in this study uses literature studies or literature reviews from several accredited journals and articles that match the screening criteria. This literature study was conducted through a search for scientific publications in the 2015-2023 range using the Google Scholar and Elvieser Journal websites. A total of 15 journal articles that match the criteria and themes discussed in the literature review. Biogas production process can use livestock waste and vegetable or fruit waste which is included in organic waste. The effectiveness of its use is used by combining both livestock waste materials and vegetable or fruit waste with a ratio according to the amount of composition that has been determined in experimental tests in several related studies. Some studies emphasize the optimal biogas production results where the mixture of livestock waste material composition is more than vegetable and fruit waste.

Keywords: Biogas, Cow Dung, Vegetable, Fruit Waste.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas biogas dari bahan kotoran sapi dan bahan sampah sisa sayur atau buah. Metode penelitian pada penelitian ini menggunakan studi literatur atau kajian pustaka dari beberapa jurnal dan artikel yang terakreditasi dan yang sesuai kriteria penyaringan. Studi literatur ini dilakukan melalui penelusuran publikasi ilmiah rentang tahun 2015 – 2023 dengan menggunakan website *google scholar* dan *Elvieser Journal*. Sebanyak 12 artikel jurnal yang sesuai dengan kriteria dan tema yang dibahas pada tinjauan pustaka. Proses produksi biogas dapat menggunakan limbah ternak dan limbah sayur atau buah yang termasuk kepada limbah organik. Efektivitas penggunaannya digunakan dengan mengombinasikan kedua bahan limbah ternak dan limbah sayur atau buah dengan perbandingan rasio sesuai jumlah komposisi yang telah ditentukan pada uji eksperimen di beberapa penelitian terkait. Beberapa penelitian menekankan hasil produksi biogas yang optimal dimana campuran komposisi bahan limbah ternak lebih banyak dibandingkan dengan limbah sayur dan buah.

Kata Kunci: Biogas, Kotoran Sapi, Sampah Sayur, Buah.

1. PENDAHULUAN

Semakin maju pertumbuhan penduduk di Indonesia, semakin meningkat juga kebutuhan yang dibutuhkan. Mulai dari kebutuhan akan makanan, pakaian, bahkan penggunaan energi dalam rumah tangga dan sehari-hari. Saat ini penggunaan energi utama berasal dari energi tak terbarukan yaitu minyak bumi. Isu global terkait semakin menipisnya energi bumi menjadi perhatian khusus untuk mencari alternatif energi lain yang lebih murah dan ramah lingkungan. Menurut Wisudawati dkk (2021), tren baru internasional sedang berlomba-lomba memanfaatkan Energi Baru Terbarukan (EBT)

dengan teknologi yang ramah lingkungan. Hal ini didukung oleh *International Renewable Energy Agency* (IRENA) yang menyebutkan bahwa dalam 10 tahun belakang ini terjadi kenaikan investasi pada pengembangan energi terbarukan.

Mengandalkan energi konvensional secara terus menerus tentunya akan berdampak pada pencemaran lingkungan. Di Indonesia sendiri ditambah belum meratanya pasokan energi ke daerah pelosok. Dalam penelitian Mustofa dkk (2023) pemenuhan energi listrik belum merata secara aktual ke daerah pelosok karena sulit akses dan mahal biaya operasional. Penelitian Pangesti dkk (2022) pun menyebutkan isu global saat ini adalah menipisnya sumber energi berbahan dasar baku fosil. Luthfiah dkk (2022) mengatakan masyarakat membutuhkan energi yang ramah lingkungan dan hemat biaya operasional. Melihat hal tersebut, diperlukan langkah strategi untuk membuat rencana alternatif pemanfaatan energi. Salah satunya dengan pemanfaatan energi biogas dari limbah organik.

Geng dkk (2023) dalam penelitiannya menegaskan bahwa kinerja energi dapat ditingkatkan sebesar 10-20% melalui pengelolaan limbah energi. Limbah energi dapat menghasilkan biogas. Biogas sendiri termasuk gas alami yang dihasilkan dari pemecahan bahan organik oleh bakteri anaerob dan digunakan dalam produksi energi terbarukan. Dalam penelitian O'Connor dkk (2021) penggunaan teknologi *small-scale anaerobic digestion* (SSAD) digunakan untuk menguraikan bahan organik menjadi biogas. Bahan organik tersebut berasal dari pengolahan kotoran ternak dan pengolahan sampah. Kemudian penelitian Shaibur dkk (2021) pun menegaskan sistem transfer energi terbarukan dalam bentuk instalasi biogas berhasil mengubah kotoran sapi menjadi energi dan pupuk organik yang kaya akan nutrisi, yang dapat mengurangi biaya pembelian pupuk kimia bagi pemilik pabrik.

Bahan dasar organik menjadi bahan utama dalam pemrosesan biogas. Menurut Cahyono dkk (2023) kotoran ternak menjadi pilihan terbaik sebagai bahan baku biogas karena mengandung bakteri metanogenik yang menghasilkan gas metana. Selain limbah ternak, limbah sayuran pun dapat menjadi bahan biogas. Dalam penelitian Rhozman (2021) untuk mengatasi permasalahan sampah, limbah sayuran dijadikan pupuk organik dengan proses fermentasi menggunakan sistem anaerob digester. Kedua bahan limbah tersebut dapat dikolaborasikan untuk menghasilkan biogas. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Husain dkk (2021) yang menggabungkan kotoran sapi dan pohon pisang untuk menjadi biogas dengan proses fermentasi dan menghasilkan biogas sesuai rasio campuran kedua bahan.

Penelitian lain yang mengombinasikan kedua bahan dilakukan oleh Lahbab dkk (2021) yang mencampurkan bahan kotoran sapi dengan limbah buah-buahan dan memproduksi biogas yang optimal dengan perbandingan 3:1 yang menghasilkan peningkatan hasil gas metana yang signifikan. Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, studi literatur ini membahas hasil penelitian yang memiliki hubungan dengan perbandingan efektifitas biogas dari kotoran sapi dan bahan sampah sisa sayur atau buah.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain studi literatur. Studi literatur adalah sebuah metode yang dipakai untuk mengumpulkan data-data atau sumber-sumber yang berkaitan dengan sebuah tema atau topik tertentu yang dikumpulkan dari berbagai sumber seperti jurnal dan artikel penelitian, buku referensi, dan *website* yang terpercaya (Alhawari & Pratiwi, 2021). Menurut Snyder (2019) studi literatur berfungsi sebagai dasar untuk pengembangan pengetahuan, menciptakan pedoman untuk kebijakan dan praktik, dan jika dilakukan dengan baik, memiliki kapasitas untuk menghasilkan ide-ide baru dan dan

arahan untuk bidang tertentu. Sedangkan menurut Paul & Criado (2020) studi literatur memberikan tinjauan komprehensif terhadap literatur yang terkait dengan suatu tema/teori/metode dan mensintesis penelitian-penelitian terdahulu untuk memperkuat fondasi pengetahuan. Penelitian studi literatur ini di rancang tidak didasari dari penelitian langsung tetapi bersumber langsung dari jurnal-jurnal dan buku-buku yang biasanya berisikan rangkuman dari referensi beberapa artikel jurnal maupun buku.

Pada penelitian ini digunakan beberapa sumber referensi literatur dengan tema atau topik judul yang selaras yaitu mengenai “*Perbandingan Efektifitas Biogas Dari Bahan Kotoran Sapi Dan Bahan Sampah Sisa Sayur Atau Buah*”. Proses pengumpulan data dilakukan dengan berdasarkan kriteria penyaringan yang telah ditetapkan, yaitu sebagai berikut:

1. Tahun penerbitan sumber literatur yang diambil mulai tahun 2015 – 2023, kesesuaian keyword penulisan dengan topik, keterkaitan hasil penulisan dan pembahasan.
2. Situs jurnal yang digunakan harus terakreditasi seperti *google schollar* dan Elsevier Journal.
3. Mencari topik penelitian yang sama dengan kata kunci biogas, limbah feses sapi, limbah sayuran, limbah buah.
4. Melakukan penilaian terhadap jurnal dan artikel mulai dari abstrak dan kesimpulan, apakah sesuai dengan tujuan penelitian atau tidak.

Pengumpulan data pada *database google schollar* dilakukan dengan menggunakan kata kunci efektifitas biogas kotoran sapi dan sampah sayur dengan filter 8 tahun ditemukan 477 jurnal/artikel. Pencarian menggunakan database Elsevier Journal dengan kata kunci *biogas cow dung* dengan filter 8 tahun dan *free access* ditemukan 216 jurnal/artikel. Dari hasil tersebut, peneliti melakukan penyaringan dengan *screening full text*, *double publikasi* dan *eligibility* yang kemudian digunakan 15 jurnal atau artikel. 15 jurnal ini disesuaikan dengan kriteria penyaringan yang telah ditetapkan.

Tabel 1. Analisis Studi Literatur

No	Sumber	Rancangan penelitian	Hasil Penelitian
1	Husain, S., Qiran, I., & Sartika, D. (2021). Pengaruh Efektifitas Rasio Campuran Bahan Limbah Kotoran Sapi Dan Limbah Pohon Pisang Terhadap Hasil Biogas. <i>Jurnal V-Mac</i> . 6 (1). 8 – 11. ISSN 2528-0112	Penelitian menggunakan variasi bahan campuran yang meliputi kotoran sapi dengan campuran limbah pohon pisang, air dan EM4 dengan rasio A (1:5:5:10:1), B (5:7:10:1) dan C (7:5:10:1). Proses fermentasi dilakukan selama 10 hari dengan disertai pengukuran tekanan gas/hari menggunakan nanometer U dan uji nyala api. Analisis nyala api meliputi pengukuran luas penampang api, warna api dan temperatur api.	Hasil penelitian ini dijelaskan sebagai berikut: 1. Variasi dengan menggunakan rasio campuran bahan limbah kotoran sapi yang lebih banyak dibandingkan limbah pohon pisang menghasilkan nilai tertinggi dari proses pengujian. 2. Proses pengujian nyala api menghasilkan warna api, biru, kuning, merah dipengaruhi oleh campuran bahan pembuatan biogas. 3. Suhu api tertinggi terdapat pada variasi bahan campuran 3. Hal tersebut dapat diketahui dari jumlah api biru terbesar pada uji nyala api. 4. Suhu api terendah terdapat pada variasi bahan campuran 1. Hal tersebut dapat diketahui dari jumlah api biru terkecil pada uji nyala api

2	Shaibur, M. R., Husain, H., & Arpon, S. H. (2021). Utilization of Cow Dung Residues of Biogas Plant For Sustainable Development Of A Rural Community. <i>Current Research in Environmental Sustainability</i> . 3. doi:10.1016/j.crsust.2021.100026	Lokasi penelitian ini berada di Desa Ziala di Kecamatan Tala, Kabupaten Satkhira. Prosedur pengumpulan data dilakukan menggunakan survei data primer yang diperoleh melalui kuesioner terstruktur dan wawancara tidak terstruktur yang bersifat terbuka. Sampel terdiri dari 12 peternakan sapi perah.	Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem transfer energi terbarukan dalam bentuk instalasi biogas berhasil mengubah kotoran sapi menjadi energi dan pupuk organik yang kaya akan nutrisi, yang mengurangi biaya pembelian pupuk kimia bagi pemilik pabrik. Pembangkit biogas pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan kondisi lingkungan dan pemulihan sumber daya yang pada akhirnya meningkatkan profil sosial-ekonomi dalam hal distribusi pekerjaan dan pencapaian pendidikan rumah tangga yang berpartisipasi.
3	Handayani, Y., Ridwan, K. A., & Febriana, I. (2023). Pemurnian Biogas Kotoran Sapi dan Limbah Cair Tahu Media Adsorben Karbon Aktif dan Silika Gel. <i>Jurnal Pendidikan Tambusai</i> . 7 (3). 21367 – 21374. ISSN: 2614-3097	Penelitian ini termasuk penelitian eksperimen. Sampel diambil dari tiap perubahan laju alir agar dapat diketahui pengaruh laju alir terhadap efektifitas pemurnian adsorben untuk menurunkan kadar gas CO ₂ , H ₂ S, dan meningkatkan kadar gas CH ₄ .	Penelitian ini berfokus pada pengaruh laju alir dimana semakin lambat laju alir maka semakin baik dan meningkat kandungan CH ₄ yang dihasilkan setelah proses pemurnian.
4	Lahbab, A., Djaafri, M., Kallom, S., Benatiallah, A., Atelge, M. R., Atabani, A. E. (2021). Co-Digestion Of Vegetable Peel With Cow Dung Without External Inoculum For Biogas Production: Experimental And A New Modelling Test In A Batch Mode. <i>Fuel</i> . doi:10.1016/j.fuel.2021.121627	Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dan pemodelan baru untuk produksi biogas berdasarkan Rasio Pencernaan Bersama dari kulit sayuran dengan kotoran sapi tanpa inokulum eksternal.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi metana kumulatif yang optimal dihasilkan dalam reaktor yang mengandung CoDigestion Ratio 3:1 dan adanya peningkatan hasil metana yang signifikan. Dalam konteks Aljazair, penelitian ini menekankan perlunya peningkatan praktik tentang pengelolaan limbah karena dengan adanya pengelolaan limbah yang baik dapat berpotensi menaikkan perekonomian dan peluang kerja.
5	Cahyono, Y. H., Ratni, N. (2023). Efektifitas Kombinasi Limbah Sayur dan Kotoran Sapi sebagai Bahan Utama Pembuatan Biogas dalam Digester Anaerob. <i>INSOLOGI</i> . 2 (4). 719 – 729. doi: 10.55123/insologi.v2i4.2275	Penelitian ini menggunakan metode uji eksperimental dengan mengombinasikan Limbah Sayur (LS) dan Kotoran Sapi (KS) dengan rasio 90:10, 70:30, 50:50, 30:70, 10:90. Waktu fermentasi dilakukan yaitu 5 hari, 10 hari, 15 hari, 20 hari dan 25 hari dengan menggunakan reaktor volume 19 liter.	Penelitian ini menghasilkan beberapa temuan yaitu: 1. Rasio C/N Kombinasi Limbah Sayur (LS) dan Kotoran Sapi (KS) yang efektif dalam produksi biogas didapatkan oleh kombinasi komposisi Limbah Sayur (LS) : Kotoran Sapi (KS) = 70% : 30%, Limbah Sayur (LS) : Kotoran Sapi (KS) = 50% : 50% dan Limbah Sayur (LS) : Kotoran Sapi (KS) = 30% : 70% dengan nilai rasio

		<p>C/N sebesar 21,39%, 21,60% dan 20,62%. Hal itu dikarenakan ketiga nilai rasio C/N tersebut masuk ke dalam range optimum dengan nilai 20%-30%.</p> <p>2. Produksi gas metana pada kombinasi Limbah Sayur (LS) dan Kotoran Sapi (KS) mempengaruhi nyala api dari biogas yang dihasilkan. Rasio kombinasi komposisi Limbah Sayur (LS) : Kotoran Sapi (KS) = 70% : 30% pada hari ke 25 fermentasi merupakan kombinasi paling optimum dalam pembentukan gas metana yaitu sebesar 93,78% dengan nyala api berwarna biru selama 102,35 detik.</p> <p>3. Rasio komposisi substrat dalam menghasilkan biogas terbaik adalah Limbah Sayur (LS) : Kotoran Sapi (KS) = 70% : 30% dengan waktu optimum pada hari ke 25, ditandai dengan tingginya kandungan gas metana yaitu sebesar 93,78% dan dapat menyalakan api paling lama yaitu 102,35 detik, selain itu juga dapat dilihat dari rasio C/N yang dihasilkan dan merupakan rasio C/N optimum dengan nilai 21,39%.</p> <p>4. Untuk pemanfaatan yang berkelanjutan bisa menggunakan <i>slurry</i> sisa pembuatan biogas sebagai pupuk kompos, namun perlu pengecekan lebih lanjut untuk parameter yang terkandung dalam <i>slurry</i>.</p>
6	<p>Isnaini, S. A., & Purnomo, Y. S. (2020). Pemanfaatan Kulit Ari Kedelai Dan Sampah Organik (Pasar) Sebagai Bahan Dalam Pembuatan Biogas Dengan Starter EM-16. <i>Seminar Nasional (ESEC)</i>.</p>	<p>Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilakukan di <i>home industry</i> tempe yang berada di daerah Ploso Jombang.</p> <p>Temuan pada penelitian ini adalah bahan kulit ari kedelai dan sampah organik (pasar) mampu memproduksi biogas dengan penambahan starter EM-16 serta efektifitas waktu terbaik produksi biogas adalah pada hari ke 25 pada campuran bahan kulit ari kedelai dan sampah organik pasar pada rasio 20:80 dengan penambahan EM-16 dengan tekanan sebesar 0,28 Psi dan suhu sebesar 35°C.</p>
7	<p>Pangesti, M. I., Dwityaningsih, R., & Satriawan, D. (2022).</p>	<p>Penelitian berfokus untuk membuat media filter karbon aktif dari sekam padi yang</p> <p>Hasil dari penelitian bahwa karbon aktif dari sekam padi mempunyai kadar air sebesar 1-</p>

	Efektivitas Karbon Aktif Dari Sekam Padi Dengan Aktivator H ₃ PO ₄ Sebagai Media Filter Penjerapan CO ₂ Dari Biogas. <i>SENOVTEK</i> . 100 – 107. ejournal.pnc.ac.id/index.php/senovtek	diaktivasi menggunakan asam fosfat (H ₃ PO ₄), mendapatkan karakteristik karbon aktif dari sekam padi, serta mengetahui efektivitas karbon aktif dari sekam padi sebagai penjerap CO ₂ yang terdapat di dalam biogas. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan metode yang digunakan untuk karakterisasi karbon aktif yaitu SNI 06-3730-1995 dan metode adsorpsi.	2%, kadar abu 30-43%, serta daya serap terhadap iodin 1200-1250 mg/g serta karbon aktif dari sekam padi efektif untuk menjerap CO ₂ . Dalam penelitian ini waktu sampling sangat mempengaruhi inlet, karena semakin lama waktu pengukuran maka semakin sedikit kandungan gas CO ₂ dalam biogas, karena gas CO ₂ sudah terjerap oleh karbon aktif, sehingga waktu yang paling efektif dalam penjerapan CO ₂ yaitu waktu awal pengukuran.
8	Arifan, F., Abdullah., & Sumardiono, S. (2021). Effect of Organic Waste Addition into Animal Manure on Biogas Production Using Anaerobic Digestion Method. <i>Int. Journal of Renewable Energy Development</i> . 10 (3). 623 – 633.	Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan limbah cair tahu dari pabrik tahu, limbah kubis dari pasar tradisional, serta kotoran sapi dan ayam dari lokasi tertentu di Indonesia. Bahan-bahan tersebut menjalani perlakuan awal untuk menentukan rasio C/N, total padatan, dan padatan mudah menguap, dengan analisis yang dilakukan sesuai dengan metode standar.	Penelitian ini menemukan bahwa perbandingan campuran limbah tahu dan kotoran domba menghasilkan hampir dua kali lipat jumlah biogas dibandingkan dengan campuran limbah tahu dan limbah sayuran kubis. Selain itu, manfaat pencernaan anaerobik dapat mengurangi limbah, menurunkan emisi, menghasilkan pupuk organik, dan mengurangi bau limbah.
9	Kinasih, R., & Qomariyah, N. (2021). Efektivitas Pemanfaatan Sampah Pasar Sebagai Sumber Energi. <i>Jurnal Purifikasi</i> . 20 (2). 1 – 7.	Penelitian ini dilakukan dengan meneliti langsung kondisi lapangan yaitu di Kabupaten Malang dengan observasi dan wawancara kepada pihak-pihak terkait. Terdapat beberapa unit yang menjadi pemanfaatan sumber energi yaitu Bak Inlet, Biodigester, Biogas Storage, dan Biogas Generator.	Penelitian ini memaparkan bahwa <i>Integrated Resource and Recovery Center</i> (IRRC) memanfaatkan sampah pasar dan manur dari peternakan sapi untuk pembuatan biogas dengan unit <i>fixed dome</i> biodigester. Gas metana dihasilkan melalui proses pengolahan sampah pasar dengan menggunakan biodigester yang bergantung pada mikroorganisme pengurai. Sebesar 70% gas metana dapat dihasilkan melalui proses <i>anaerobic digestion</i> dari sampah makanan yang dicampur dengan limbah manur. Pada IRRC Pasar Mantung gas metana yang dihasilkan dikonversi menjadi energi listrik oleh unit biodigester generator.
10	Gaballah, E., Abomohra, A.E., Xu, C., Elsayed, M., Abdelkader, T., Lin, J., & Yuan, Q. (2020). Enhancement Of Biogas Production From Rape Straw Using Different Copretreatment Techniques And	Penelitian ini menggunakan <i>rape straw</i> (RS) dan <i>cattle manure</i> (CM) dalam <i>anaerobic digestion</i> (AD). Metode <i>pretreatment</i> yang berbeda termasuk asam encer dan <i>steam explosion</i> (SE) diterapkan pada RS. Metode yang digunakan <i>pretreatment</i> ,	Hasil penelitian menunjukkan bahwa <i>pretreatment</i> dapat melarutkan struktur serat lignoselulosa, yang secara positif menstimulasi hasil metana. Penelitian ini mengkonfirmasi bahwa, di bawah parameter optimal <i>anaerobic digestion</i> , <i>pretreatment</i> dengan SEG180

	Anaerobic Co-Digestion With Cattle Manure. <i>Bioresource Technology</i> . doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123311	<i>anaerobic digestion, analytical techniques.</i> dan	secara signifikan dapat meningkatkan CMY dari pencernaan bersama <i>cattle manure</i> dan <i>rape straw</i> .
11	Septiariva, I. Y., Suhardono, S., Sari, M. M., & Suryawan, I. W. K. (2023). Evaluasi Kotoran Kelinci sebagai Bioaktivator untuk Produksi Biogas dari Sampah Sayuran. <i>Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah</i> . 11 (3). 810 – 817.	Metodologi penelitian ini menggunakan pendekatan <i>batch</i> dalam skala laboratorium, yang bertujuan memantau efektivitas degradasi sampah sayuran dengan periode fermentasi 40 hari melalui observasi laboratorium.	Temuan penelitian ini memaparkan bahwa potensi kotoran kelinci sebagai bioaktivator yang efektif dalam produksi biogas dapat menawarkan solusi ramah lingkungan untuk pengelolaan sampah sayuran dan memiliki kontribusi positif terhadap upaya energi berkelanjutan.
12	Luthfiyah, F., Dewi, E.R.S., dan Widyastuti, D. A. (2022). Efektivitas Eceng Gondok dan Feses Sapi sebagai Bahan Baku Produksi Biogas. <i>Bioeksperimen</i> . 8 (2). ISSN 2460 – 13665.	Tujuan penelitian ini untuk menganalisis volume dan rasio C/N biogas yang paling optimal dari bahan baku eceng gondok, kotoran sapi, dan campuran keduanya. Rancangan yang digunakan yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL). Penelitian terdiri dari 3 perlakuan dan 3 pengulangan.	Temuan penelitian ini adalah ada pengaruh penggunaan variasi bahan baku antar perlakuan, dimana H0 menyatakan ada pengaruh penggunaan variasi bahan baku eceng gondok, kotoran sapi, dan campuran keduanya terhadap volume dan rasio C/N biogas yang dihasilkan diterima sehingga terdapat perbedaan nyata antara volume biogas dan rasio C/N baik pada P1, P2, dan P3.
13	Marti-Herrero, J., Soria-Castellon, G., Diaz-de-Basurto, A., & Alvarez, R. (2019). Biogas From A Full Scale Digester Operated In Psychrophilic Conditions And Fed Only With Fruit And Vegetable Waste. <i>Renewable Energy</i> . 133. 676 – 684. doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.030	Penelitian ini menggunakan desain eksperimental reaktor anaerobik terdiri dari digester aliran steker kontinu dengan resirkulasi, dipasang di parit sedalam 1 m, lebar 2 m, dan panjang 6 m dengan total volume 13,90 m ³ .	Penelitian ini menyimpulkan bahwa pencernaan anaerobik psikrofilik dari limbah buah dan sayuran secara teknis dapat dilakukan dalam skala penuh dengan menggunakan teknologi berbiaya rendah tanpa memerlukan perlakuan awal, pemanasan aktif, alat pencampur, atau air tambahan untuk pengenceran.
14	Malik, W., Mohan, C., & Annachhatre, M. P. (2020). Community Based Biogas Plant Utilizing Food Waste and Cow Dung. <i>Proceedings</i> . 28. 1910 – 1915. doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.312	Penelitian ini memanfaatkan kotoran sapi sebagai lumpur benih yang dikumpulkan dari Gaushala di Sundarnagar untuk membangun reaktor anaerobik skala percontohan di IIT Mandi. Awalnya hanya kotoran sapi yang diberi pakan dan dikarakterisasi, kemudian dilanjutkan dengan penambahan sisa makanan dengan rasio yang semakin meningkat selama kurun waktu 5 bulan. Prosesnya dipantau pH, padatan, dan konsentrasi asam lemak volatil. Kinerja instalasi biogas dievaluasi berdasarkan kondisi	Penelitian ini berhasil mendirikan pabrik biogas berbasis masyarakat dengan menggunakan sisa makanan dan kotoran sapi sebagai pakannya. Selama 160 hari, <i>startup</i> membutuhkan waktu 3 minggu dengan kotoran sapi dan konversi operasional VS sebesar 70-80% tercapai. Produksi biogas mencapai 1620 l/d, dengan hasil metana sekitar 0,14 m ³ /kg VS removal dan kandungan metana 55-65% dalam biogas. Temuan ini menunjukkan kelayakan

		suhu sekitar, yang menunjukkan kelayakan instalasi biogas berbasis masyarakat untuk pengolahan limbah makanan.	pemulihan energi dari sisa makanan dan kotoran sapi.
15	Panin, S., Setthapun, W., Sinsuw, A. A. E., Sintuya, H., & Chu, C. (2021). Biohydrogen and Biogas Production From Mashed and Powdered Vegetable Residues By an Enriched Microflora in Dark Fermentation. <i>ScienceDirect</i> . 14073 – 14082.	Penelitian ini menggunakan mikroflora yang diperkaya dari fermentor produksi hidrogen berkelanjutan dan limbah rumah tangga sebagai inokulum untuk fermentor. Tiga jenis limbah sayuran (brokoli, bawang merah, dan ubi jalar) yang digunakan, diperoleh dari supermarket lokal.	Penelitian ini berfokus pada konversi limbah sayuran menjadi biohidrogen melalui fermentasi anaerobik. Perubahan pH mempengaruhi pertumbuhan mikroba, yang menyebabkan penurunan produksi biohidrogen. Perubahan pH dan peningkatan total padatan dalam reaktor menyebabkan penurunan produksi hidrogen. Bawang tumbuk dan inokulum spesifik mencapai produksi hidrogen maksimum. Penggunaan sayuran tumbuk tanpa pengeringan atau penggilingan dapat mengurangi konsumsi daya. Penelitian ini menunjukkan potensi degradasi limbah sayuran untuk menghasilkan energi hijau.

3. PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis studi literatur pada 15 artikel jurnal yang sesuai kriteria penyaringan, artikel penelitian tersebut memiliki topik utama tentang biogas. Hasil review terhadap 15 artikel penelitian tersebut dipaparkan dalam penjelasan berikut:

3.1 Efektivitas Biogas Hasil dari Limbah Ternak

Kotoran ternak dapat berguna jika dilakukan pengolahan dengan baik supaya tidak mencemari lingkungan. Salah satunya dijadikan bahan dasar biogas. Hal ini memanfaatkan energi terbarukan yang dapat menjawab isu global saat ini tentang berkurangnya energi karena efek gas rumah kaca. Penelitian yang dilakukan oleh Septiariva dkk (2023) dimana dilakukan uji eksperimen terhadap kotoran kelinci sebagai bioaktivator untuk produksi biogas. Uji eksperimen dilakukan selama 40 hari yang menghasilkan kotoran kelinci terbukti berpotensi sebagai bioaktivator yang efektif dalam produksi biogas dan menawarkan solusi energi yang ramah lingkungan.

Dalam penelitian yang serupa, Arifan dkk (2021) menguji campuran limbah tahu dan limbah domba yang mana menghasilkan hampir dua kali lipat jumlah biogas. Penelitian ini pun berpotensi menurunkan gas emisi, menghasilkan pupuk organik, dan mengurangi bau limbah yang menjadi sorotan utama. Lahbab dkk (2021) pun meneliti limbah kotoran sapi dengan kulit sayuran tanpa inokulum eksternal. Hasilnya menemukan bahwa produksi metana yang optimal dihasilkan dalam reaktor yang mengandung bahan kedua limbah tersebut dengan perbandingan 3:1. Tak hanya menghasilkan energi terbarukan, penelitian ini pun dapat mengatasi pencemaran lingkungan dan membuka lapangan pekerjaan bagi masyarakat sekitar.

Penelitian-penelitian tersebut menjelaskan bagaimana efektivitasnya kotoran ternak yang berguna untuk produksi energi terbarukan. Kotoran ternak tersebut biasanya berasal dari kotoran sapi, domba, kerbau, kelinci, dan lainnya. Kotoran ternak ini diolah melalui proses fermentasi dalam biodigester dengan mengumpulkan kotoran-kotoran ternak baik skala besar maupun kecil yang kemudian dicampur dengan komposisi tertentu. Proses

fermentasi biasanya membutuhkan waktu yang tidak sedikit tergantung skala produksi yang dilakukan. Umumnya proses fermentasi dilakukan rentang 15 – 30 hari untuk menghasilkan biogas yang ramah lingkungan.

Penelitian yang dilakukan oleh Bagdadee dkk (2023) yang mengeksplorasi integrasi antar biogas kotoran sapi, panas matahari, dan energi kinetik untuk produksi listrik. Temuannya didapatkan ketiga bahan tersebut dapat menjadi sumber energi terbarukan yang secara sinergis menawarkan banyak manfaat, termasuk peningkatan efisiensi energi, pengurangan emisi karbon, dan peningkatan keandalan energi. Tak hanya itu, *slurry* yang dihasilkan sebagai produk sampingan dapat digunakan sebagai pengganti urea sebagai pupuk (Kusmiyati dkk, 2023). Hal ini tentunya dapat memberikan keuntungan energi, ekonomi, dan lingkungan dari biogas yang dihasilkan melalui kotoran ternak.

3.2 Efektivitas Biogas Hasil dari Limbah Sayuran

Limbah sayuran yang dibuang dan dibiarkan menumpuk menjadi masalah pencemaran pada lingkungan. Limbah sayuran ini salah satunya adalah kulit ari kedelai yang merupakan limbah tempe yang dibiarkan karena tidak memiliki nilai ekonomis lagi. Isnaini dkk (2020) mencoba melakukan uji eksperimen terhadap limbah kulit ari kedelai dan sampah organik yang dijadikan bahan pembuatan biogas. Temuannya menegaskan kedua limbah tersebut dengan penambahan starter EM-16 menghasilkan biogas yang optimal dengan perbandingan 20:80. Eksperimen ini menjawab isu pencemaran lingkungan dimana limbah yang semula tidak memiliki nilai ekonomis dapat berguna untuk pemanfaatan energi terbarukan jika diolah dengan benar.

Penelitian Pangesti dkk (2022) yang mencampurkan karbon aktif dari sekam padi dengan H₃PO₄ untuk mengetahui efektivitas karbon aktif dari sekam padi sebagai penjerap CO₂ yang terdapat di dalam biogas. Hasil yang optimal didapatkan pada awal pengujian dimana kandungan CO₂ masih banyak dalam biogas karena belum terjerap karbon aktif. Selain itu, Kinasih dkk (2021) pun menguji efektivitas pemanfaatan sampah pasar untuk sumber energi. Sebesar 70% gas metana dapat dihasilkan melalui proses *anaerobic digestion* dari sampah makanan yang dicampur dengan limbah manur. Proses pengujian ini dapat menjadi temuan untuk beberapa tahun kedepan agar pemanfaatan sampah pasar memiliki nilai yang ekonomis dan berguna.

Marin dkk (2022) mengintegrasikan pencernaan anaerobik limbah makanan dengan peningkatan biogas fotosintetik pada skala pilot untuk mendapatkan biometana berkualitas tinggi dan biomassa alga yang sarat nutrisi sebagai produk sampingan utama dari pengolahan limbah makanan. Kualitas tinggi dari biometana yang dihasilkan menunjukkan bahwa proses teknologi ini dapat diimplementasikan pada skala penuh di instalasi pengolahan *food waste* kota. Penelitian lain yang dilakukan Azevedo dkk (2023) memaparkan proses pencernaan tunggal limbah buah dan sayuran memperoleh hasil biogas yang lebih tinggi daripada pencernaan tunggal lumpur limbah kota. Hal ini dikarenakan limbah sayur dan buah terdiri dari karbohidrat dan protein dan memiliki kandungan air yang tinggi, yang berarti mudah terurai secara hayati. Limbah sayuran pun menunjukkan potensi degradasi untuk menghasilkan energi hijau (Pain dkk, 2021).

Mrosso dkk (2023) menguji sampah organik dapur dan kota untuk produksi biogas. Berdasarkan karakterisasi dan hasil biogas yang diperoleh, limbah nasi dapat dicerna secara tunggal untuk produksi biogas dan tidak ada penelitian yang dipublikasikan yang menunjukkan hasil yang tinggi seperti penelitian saat ini, sementara substrat lain membutuhkan pencernaan bersama untuk meningkatkan hasil biogas. Dalam penelitian Marcelino dkk (2022) jenis limbah sayur sawi termasuk bahan organik yang memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan pembuatan biogas karena mengandung bahan penyusun seperti karbohidrat, protein dan lemak. Dengan memanfaatkan limbah sayur dan buah untuk diolah menjadi biogas dapat meminimalisir isu lingkungan akibat sampah sayur dan buah yang selama ini di nilai tidak ada manfaatnya lagi.

3.3 Perbandingan Efektifitas Biogas dari Bahan Kotoran Sapi dan Bahan Sampah Sisa Sayur atau Buah

Bahan bakar energi saat ini berasal dari bahan bakar fosil. Semakin lama digunakan bahan bakar fosil akan menipis. Diperlukan adanya bahan bakar alternatif sebagai penggantinya. Salah satunya dengan menggunakan biogas. Proses pembuatan biogas dapat dilakukan dengan proses fermentasi dengan bahan limbah organik. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Cahyono dkk (2023) yang memaparkan kombinasi antara kotoran sapi dan limbah sayur dengan rasio 70:30 merupakan kombinasi yang optimum untuk menghasilkan gas metana pada biogas.

Penelitian lain yang dilakukan Husain dkk (2021) menekankan campuran bahan limbah kotoran sapi yang lebih banyak dibandingkan limbah pohon pisang menghasilkan nilai tertinggi dari proses pengujian pada biogas. Arifan dkk (2021) pun menyebutkan kombinasi antara limbah sayur dan limbah ternak menghasilkan jumlah biogas yang lebih banyak daripada kombinasi limbah sayur keduanya. Kombinasi antara limbah ternak dan limbah sayur dengan perbandingan rasio limbah ternak yang lebih banyak memang menghasilkan biogas yang lebih optimal. Hal ini dikarenakan proses fermentasi dan komposisi bahan-bahan tertentu yang terdapat pada kotoran ternak lebih pekat dan mengandung komposisi yang lebih kuat.

Gaballah dkk (2020) menekankan kotoran ternak menghasilkan biometana yang mana hasil dari biogas dengan metode pretreatment. Selain itu, penelitian Karman dkk (2019) menguji efektifitas antara feses kerbau, sapi, dan kuda. Kemudian didapatkan hasil yang optimal menghasilkan biogas dengan volume gas tertinggi ada pada feses kerbau namun pada uji nyala api tidak lama karena gas CO₂ lebih banyak dibanding gas CH₄.

Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Malik dkk (2020) memanfaatkan kotoran sapi yang dikarakterisasi dengan menambahkan sisa makanan selama 5 bulan. Temuannya menemukan bahwa terdapat kelayakan instalasi biogas yang berbasis masyarakat untuk pengolahan limbah sisa makanan. Sejalan dengan penelitian Marti-Herrero dkk (2019), proses produksi biogas dengan metode pencernaan psikrofilik anaerob dari limbah buah dan sayur termasuk proses produksi berbasis teknologi yang efektif menghasilkan biogas dan minim biaya serta *treatment* awalyang dilakukan tidak terlalu sulit.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, perbandingan efektivitas biogas kotoran sapi dan sampah sayur menunjukkan bahwa proses biogas yang lebih optimal merupakan campuran kedua bahan antara kotoran sapi dan sampah sayur. Campuran kedua bahan tersebut dengan catatan rasio perbandingan kotoran sapi lebih banyak bahkan dua kali lipat jumlah sampah sayur dan buah. Hal tersebut dikarenakan kandungan CH₄ yang terdapat pada kotoran sapi lebih kuat dibandingkan sampah sayur dan buah. Akan tetapi, untuk menghasilkan proses biogas yang optimal tetap mengharuskan dari beberapa komposisi campuran bahan kotoran ternak dan limbah sayur.

Indonesia berpotensi dan berpeluang dalam mengembangkan energi terbarukan untuk mengatasi permasalahan global terkait berkurangnya energi tak terbarukan yang semakin lama menipis karena penggunaannya. Indonesia sendiri memiliki enam jenis sumber daya EBT yakni energi surya, energi air, energi angin, arus laut, bioenergi dan panas bumi (Wisudawati & Fijra, 2021). Salah satu pemanfaatan energi dengan strategi alternatif adalah pemanfaatan biogas dari limbah organik. Dalam penelitian Feiz dkk (2022) untuk memaksimalkan penggunaan energi terbarukan dari biogas diperlukan analisis yang lebih integratif produksi biogas dari limbah makanan, kinerja lingkungan dan ekonominya, lingkungan dan ekonomi, dan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Mustikawati (2019) memaparkan pemanfaatan biogas adalah masyarakat dapat memperoleh energi terbarukan yang relatif lebih murah dan dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam kegiatan rumah tangga sehari-hari.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan kajian studi literatur, kesimpulan pada penelitian ini bahwasannya proses produksi biogas dapat menggunakan limbah ternak dan limbah sayur atau buah yang tergolong ke dalam limbah organik. Efektivitas penggunaannya dilakukan dengan mengombinasikan kedua bahan limbah ternak dan limbah sayur atau buah dengan perbandingan rasio sesuai jumlah komposisi yang telah ditentukan pada uji eksperimen di beberapa penelitian terkait. Beberapa penelitian menegaskan hasil produksi biogas yang optimal didapatkan dari campuran komposisi bahan limbah ternak yang lebih banyak dibandingkan dengan limbah sayur dan buah. Perbandingan rasio jumlah limbah ternak dapat dua kali lipat jumlah limbah sayuran untuk mendapatkan hasil yang optimal. Akan tetapi, tidak menutup kemungkinan penelitian selanjutnya Berdasarkan kajian studi literatur, kesimpulan pada penelitian ini bahwasannya proses produksi biogas dapat menggunakan limbah ternak dan limbah sayur atau buah yang tergolong ke dalam limbah organik. Efektivitas penggunaannya dilakukan dengan mengombinasikan kedua bahan limbah ternak dan limbah sayur atau buah dengan perbandingan rasio sesuai jumlah komposisi yang telah ditentukan pada uji eksperimen di beberapa penelitian terkait. Beberapa penelitian menegaskan hasil produksi biogas yang optimal didapatkan dari campuran komposisi bahan limbah ternak yang lebih banyak dibandingkan dengan limbah sayur dan buah. Perbandingan rasio jumlah limbah ternak dapat dua kali lipat jumlah limbah sayuran untuk mendapatkan hasil yang optimal. Akan tetapi, tidak menutup kemungkinan penelitian selanjutnya.

REFERENCES

- Alhawari, V. A., & Pratiwi, A. (2021). Study Literature Review : Pengaruh Efektivitas Terapi Aktivitas Kelompok Terhadap Tingkat Depresi Pada Lansia. *Artikel Penelitian*. 10 (1). 82 – 90. DOI 10.37048/kesehatan.v10i1.342
- Arifan, F., Abdullah., & Sumardiono, S. (2021). Effect of Organic Waste Addition into Animal Manure on Biogas Production Using Anaerobic Digestion Method. *Int. Journal of Renewable Energy Development*. 10 (3). 623 – 633.
- Azevedo, A., Lapa, N., Moldao, M., & Duarte, E. (2023). Opportunities And Challenges in The Anaerobic Co-Digestion of Municipal Sewage Sludge and Fruit and Vegetable Wastes: A Review. *Energy Nexus*. 10. doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100202
- Bagdadee, A., Maitraya, A. M., Islam, A., & Siddique, M. N. (2023). A Review on Hybrid Energy Generation: Cow Dung Biogas, Solar Thermal and Kinetic Energy Integration for Power Production. *Energy and Built Environment*. doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.09.004.
- Cahyono, Y. H., Ratni, N. (2023). Efektifitas Kombinasi Limbah Sayur dan Kotoran Sapi sebagai Bahan Utama Pembuatan Biogas dalam Digester Anaerob. *INSOLOGI*. 2 (4). 719 – 729. doi: 10.55123/insologi.v2i4.2275.
- Feiz, R., Johansson, M., Lindkvist, E., Jan Moestedt, J., Paledal, S., & Ometto, F. (2022). The Biogas Yield, Climate Impact, Energy Balance, Nutrient Recovery, and Resource Cost of Biogas Production From Household Food Waste—A Comparison of Multiple Cases From Sweden. *Journal of Cleaner Production*. 378. doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134536
- Gaballah, E., Abomohra, A.E., Xu, C., Elsayed, M., Abdelkader, T., Lin, J., & Yuan, Q. (2020). Enhancement Of Biogas Production From Rape Straw Using Different Copretreatment Techniques And Anaerobic Co-Digestion With Cattle Manure. *Bioresource Technology*. doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123311.

- Geng, D., Evans, S., & Kishita, Y. (2023). The Identification and Classification of Energy Waste For Efficient Energy Supervision In Manufacturing Factories. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 182. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113409>.
- Handayani, Y., Ridwan, K. A., & Febriana, I. (2023). Pemurnian Biogas Kotoran Sapi dan Limbah Cair Tahu Media Adsorben Karbon Aktif dan Silika Gel. *Jurnal Pendidikan Tambusai*. 7 (3). 21367 – 21374. ISSN: 2614-3097
- Husain, S., Qiran, I., & Sartika, D. (2021). Pengaruh Efektifitas Rasio Campuran Bahan Limbah Kotoran Sapi Dan Limbah Pohon Pisang Terhadap Hasil Biogas. *Jurnal V-Mac*. 6 (1). 8 – 11. ISSN 2528-0112
- Isnaini, S. A., & Purnomo, Y. S. (2020). Pemanfaatan Kulit Ari Kedelai Dan Sampah Organik (Pasar) Sebagai Bahan Dalam Pembuatan Biogas Dengan Starter EM-16. *Seminar Nasional (ESEC)*.
- Karman, I., Umam, K., & Witarto, A. B. (2019). Uji Efektifitas Feses Ternak (Sapi, Kerbau Dan Kuda) terhadap Produksi Biogas yang Dihasilkan di Dusun Batu Alang, Sumbawa. *Jurnal Tambora*. 3 (3). 101 – 106. [doi.org/ 10.36761/jt.v3i3.402](https://doi.org/10.36761/jt.v3i3.402)
- Kinasih, R., & Qomariyah, N. (2021). Efektivitas Pemanfaatan Sampah Pasar Sebagai Sumber Energi. *Jurnal Purifikasi*. 20 (2). 1 – 7.
- Kusmiyati, K., Wijaya, D. K., Hartono, R., Shidik, G. F., & Fudholi, A. (2023). Harnessing The Power of Cow Dung: Exploring The Environmental, Energy, and Economic Potential of Biogas Production in Indonesia. *Result in Engineering*. 20. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101431>.
- Lahbab, A., Djaafri, M., Kallom, S., Benatallah, A., Atelge, M. R., Atabani, A. E. (2021). Co-Digestion Of Vegetable Peel With Cow Dung Without External Inoculum For Biogas Production: Experimental And A New Modelling Test In A Batch Mode. *Fuel*. [doi:10.1016/j.fuel.2021.121627](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121627)
- Luthfiyah, F., Dewi, E.R.S., dan Widyastuti, D. A. (2022). Efektivitas Eceng Gondok dan Feses Sapi sebagai Bahan Baku Produksi Biogas. *Bioeksperimen*. 8 (2). ISSN 2460 – 13665.
- Malik, W., Mohan, C., & Annachhatre, M. P. (2020). Community Based Biogas Plant Utilizing Food Waste and Cow Dung. *Proceedings*. 28. 1910 – 1915. doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.312
- Marcelino, Viktor, & Anggorowati, D. A. (2023). Karakteristik Produk Biogas Dari Berbagai Jenis Limbah Sayur Sawi. *Jurnal ATMOSPHERE*. 3 (2). 30 – 36. doi.org/10.36040/atmosphere.v3i2.6065
- Marin, D., Mendez, L., Suero, I., Diaz, I., Blanco, S., Fdz-Polanco, M., Munoz, R. (2022). Anaerobic Digestion of Food Waste Coupled with Biogas Upgrading in an Outdoors Algal-Bacterial Photobioreactor at Pilot Scale. *Fuel*. 324 A. [doi.org/ 10.1016/j.fuel.2022.124554](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124554).
- Marti-Herrero, J., Soria-Castellon, G., Diaz-de-Basurto, A., & Alvarez, R. (2019). Biogas From A Full Scale Digester Operated In Psychrophilic Conditions And Fed Only With Fruit And Vegetable Waste. *Renewable Energy*. 133. 676 – 684. [doi.org/ 10.1016/j.renene.2018.10.030](https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.030)
- Mustikawati, I. (2019). Manfaat Biogas Sebagai Bahan Bakar Alternatif Bagi Rumah Tangga. *Majalah Ilmiah Pelita Ilmu*. 2 (2). 27 – 34. doi.org/10.37849/mipi.v2i2.170
- Mustofa, A., Hendrawan, Y., Putra, R. R. (2023). Analisis Transformasi Energi Biogas Kotoran Sapi Menjadi Energi Listrik di Kecamatan Bumiaji, Kota Batu. *JKPTB*. 11 (2). [doi.org/ 10.21776/ub.jkptb.2023.011.02.11](https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2023.011.02.11).
- Mrosso, R., Mecha, A. C., & Kiplagat, J. (2023). Characterization of Kitchen and Municipal Organic Waste for Biogas Production: Effect of Parameters. *Heliyon*. 9 (5). [doi.org/ 10.1016/j.heliyon.2023.e16360](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16360)
- O'Connor, S., Ehimen, E., Pillai, S. C., Black, A., Tormey, D., & Bartlett, J. (2021). Biogas production from small-scale anaerobic digestion plants on European farms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 139. doi.org/10.1016/j.rser.2020.110580.

- Panin, S., Setthapun, W., Sinsuw, A. A. E., Sintuya, H., & Chu, C. (2021). Biohydrogen and Biogas Production From Mashed and Powdered Vegetable Residues By an Enriched Microflora in Dark Fermentation. *ScienceDirect*. 14073 – 14082.
- Pangesti, M. I., Dwityaningsih, R., & Satriawan, D. (2022). Efektivitas Karbon Aktif Sekam Padi Dengan Aktivator H₃PO₄ Sebagai Media Filter Penjerapan CO₂ Dari Biogas. *SENOVTEK*. 100–107. ejournal.pnc.ac.id/index.php/senovtek.
- Paul, J., & Criado, A. R. (2020). The art of writing literature review: What do we know and what do we need to know? *International Business Review*. doi:10.1016/j.ibusrev.2020.101717.
- Rhohman, F., Nuryosuwito., Sulthoon, M. (2021). Analisa Matematis Hasil Biogas Dari Sampah Sayuran Berdasarkan Perbedaan Jumlah Bahan. *Jurnal Mesin Nusantara*. 4 (2). 84 - 89. doi.org/10.29407/jmn.v4i2.17092
- Septiariva, I. Y., Suhardono, S., Sari, M. M., & Suryawan, I. W. K. (2023). Evaluasi Kotoran Kelinci sebagai Bioaktivator untuk Produksi Biogas dari Sampah Sayuran. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*. 11 (3). 810 – 817.
- Shaibur, M. R., Husain, H., & Arpon, S. H. (2021). Utilization of Cow Dung Residues of Biogas Plant For Sustainable Development Of A Rural Community. *Current Research in Environmental Sustainability*. 3. doi:10.1016/j.crsust.2021.100026
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*. 104. 333–339. doi:10.1016/j.jbusres.2019.07.039.
- Wisudawati, N., & Fijra, R. (2021). Analisis Efektivitas Penggunaan Energi Baru Dan Terbarukan Di Provinsi Sumatera Selatan Guna Mendukung REUN 2025. *Integrasi Jurnal Ilmiah Teknik Industri*. 6 (1). 1 – 9