

TEKNOLOGI GREEN ENERGY BIOSAM DAN BIO-SLURRY DARI SAMPAH ORGANIK

Suparni Setyowati Rahayu¹, Anak Agung Putu Susastriawan², Samuel Kristiyana³
^{1,2,3} Universitas AKPRIND Indonesia
e-mail: ¹ssrahayu@akprind.ac.id, ²agung589e@akprind.ac.id, ³yanaiستا@akprind.ac.id

ABSTRACT

This innovation has led to the development of the BIOSAM digester, which efficiently processes organic waste into renewable energy through an anaerobic process, producing high-quality biogas and bio-slurry as byproducts. Bio-slurry is a nutrient-rich sludge that serves as a high-quality organic fertilizer enriched with humus. It not only provides essential nutrients but also contains probiotic microbes that enhance soil fertility and health, improving the quality and yield of crops, vegetables, fruits, and plantation crops. Users need to understand proper reactor maintenance to ensure biogas production remains efficient, energy-saving, safe, and environmentally friendly. The processing of underutilized organic waste offers a solution to issues such as odor, air pollution, and health risks caused by waste burning. The BIOSAM digester is designed with state-of-the-art technology to process household organic waste using cow manure as a starter. This reactor has the potential to be utilized by various entities, such as village-owned enterprises (BumDes), the food industry, NGOs, and environmental CSR programs, enabling easy waste management, reduced operational costs, and increased productivity. Tests on liquid bio-slurry fertilizer have shown its potential for plants and livestock feed, with organic carbon content ranging from 0.08–0.62%, a C/N ratio of 0.16–22.85, pH levels of 7.4–8.2, and macro (N, P, K) and micro (Mn, Zn, Mo, B) nutrients that support plant growth and livestock health. Dried bio-slurry, with a dry matter content of 18.6–43.6%, ash content of 22–33.2%, crude protein of 10–12.6%, crude fiber of 27.8–35%, and energy of 3,035–3,284 Kcal/kg, shows great potential as livestock feed. Water quality tests in fish ponds indicate that using dried bio-slurry in feed does not affect water quality, reduces pollution risks, and improves fish farming efficiency.

Keywords: Bio-Slurry, BIOSAM digester, renewable energy, organic fertilizer, anaerobic fermentation

INTISARI

Inovasi ini menghasilkan pengembangan digester BIOSAM yang berfungsi mengolah sampah organik menjadi energi terbarukan secara efisien melalui proses anaerob, menghasilkan biogas berkualitas tinggi dan bio-slurry sebagai produk sampingan. Bio-slurry adalah lumpur kaya nutrisi yang bermanfaat sebagai pupuk organik berkualitas tinggi dengan kandungan humus. Kandungan ini tidak hanya memberikan nutrisi baik, tetapi juga memiliki mikroba probiotik yang meningkatkan kesuburan dan kesehatan tanah, berdampak pada kualitas dan kuantitas tanaman pangan, sayuran, buah, dan tanaman perkebunan. Pengguna digester perlu memahami pemeliharaan reaktor agar produksi biogas berjalan efisien, hemat energi, sehat, dan ramah lingkungan. Pengolahan sampah organik yang belum termanfaatkan ini menjadi solusi atas permasalahan bau, pencemaran udara, serta gangguan kesehatan dari pembakaran sampah. Teknologi digester BIOSAM dirancang dengan teknologi terkini untuk mengolah sampah organik rumah tangga dengan starter kotoran sapi. Reaktor ini berpotensi dimanfaatkan oleh berbagai pihak, seperti BumDes, industri makanan, NGO, serta program CSR lingkungan, yang bisa mengolah sampah dengan mudah, menekan biaya operasional, dan meningkatkan produktivitas. Hasil pengujian pupuk cair bio-slurry menunjukkan kandungan yang potensial untuk tanaman dan pakan ternak, dengan karbon organik 0,08–0,62%, rasio C/N 0,16–22,85, pH 7,4–8,2, dan nutrisi makro (N, P, K) serta mikro (Mn, Zn, Mo, B) yang mendukung pertumbuhan tanaman dan kesehatan ternak. Bio-slurry kering, dengan bahan kering 18,6–43,6%, abu 22–33,2%, protein kasar 10–12,6%, serat kasar 27,8–35%, serta energi 3.035–3.284 Kkal/kg, memiliki potensi baik sebagai pakan ternak. Pengujian kualitas air kolam ikan menunjukkan bahwa penggunaan bio-slurry kering dalam pakan tidak mengganggu kualitas air, mengurangi risiko pencemaran, dan meningkatkan efisiensi budidaya ikan.

Kata kunci: Bio-Slurry, digester BIOSAM, energi terbarukan, pupuk organik, fermentasi anaerob

1. PENDAHULUAN

Sampah rumah tangga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan alternatif sumber energi terbarukan. Hipotesis yang diajukan adalah bahwa sampah rumah tangga organik, dengan karakteristiknya yang kaya bahan organik dan rasio C/N yang mendekati ideal, memiliki potensi signifikan untuk diolah menjadi energi terbarukan melalui teknologi BIOSAM dan Bio-Slurry. Sampah rumah tangga organik memiliki unsur hara bahan organik 29%, N 1,5%, P₂O₅ 1,3%, K₂O 0,8%, CaO 4%, nisbah C/N 9-11% dan kadar air 57%, sedangkan sampah organik yang berupa sampah rumah tangga mempunyai kandungan rasio C/N 65-74 [1]. Pembentukan biogas optimum terjadi pada substrat dengan rasio C/N 10-30 sehingga sampah rumah tangga organik cukup potensial untuk bahan baku biogas dengan starter dari kotoran sapi. Pengolahan biologis anaerobik merupakan alternatif yang paling menarik untuk mengolah sampah organik rumah tangga dengan pertimbangan menjadi biogas [2]. Karakteristik sampah organik yang berupa sampah rumah tangga memang lebih sesuai diolah secara anaerobik karena mengandung bahan organik tinggi yang mudah terurai, konsentrasi tinggi karbon, nitrogen, dan mikronutrien yang sesuai dengan pertumbuhan mikroorganisme. Kandungan C, volatile solid, dan total solid yang tinggi menjadi sumber energi potensial dalam bentuk metana. Bakteri anaerobik juga dapat bertahan hidup dalam waktu lama tanpa adanya makanan/substrat. Lebih lanjut, dinyatakan bahwa harus ada transformasi kerangka kontekstual dalam pengelolaan lingkungan, yakni keyakinan bahwa perkembangan pengelolaan sampah organik rumah tangga secara keseluruhan harus menjamin keberlangsungan sistem lingkungan alam dalam batasan ekosistem lokal hingga biosfer [3].

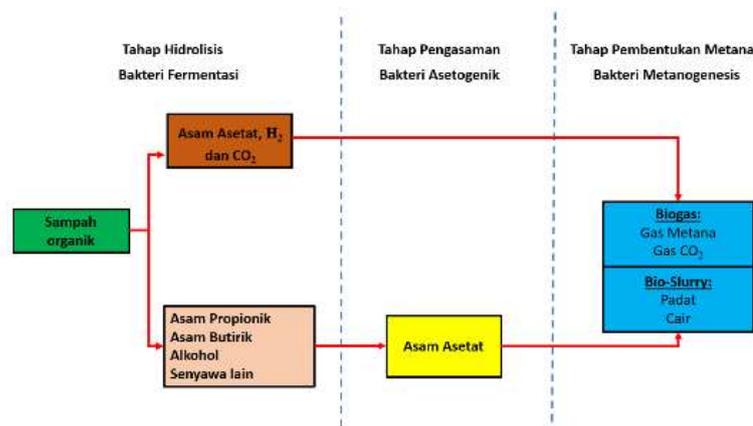
Kebaruan teknologi yang telah dilakukan menghasilkan inovasi *Design for Environment* dan pengembangan Iptek yang dapat menjadi media pembelajaran praktis bagi masyarakat, terutama terkait pengelolaan dan pengolahan sampah organik menjadi energi terbarukan berdasarkan tata cara manajemen lingkungan [4]. Upaya ini termasuk mengembangkan BIOSAM dan Bio-Slurry dari standar laboratorium menjadi standar industri yang dapat diandalkan dan diterima oleh pasar [5]. Hal ini melibatkan optimasi eksperimental potensi BIOSAM untuk mengolah sampah organik menjadi energi terbarukan, stabilitas proses, dan trouble shooting melalui uji jangka panjang skala pilot (long-term pilot plant assessment), pembuatan desain awal BIOSAM, serta evaluasi tekno-ekonomi untuk mendukung pengembangan energi terbarukan skala rumah tangga [6]. Produk sampingan seperti Bio-Slurry dapat dibuat menjadi kompos untuk menambah pendapatan harian dari aktivitas BIOSAM. Penggunaan BIOSAM berdampak signifikan secara sosial dan ekonomi karena mengubah sampah organik menjadi energi, menyelesaikan masalah lingkungan akibat penumpukan sampah, dan meningkatkan efisiensi operasional serta mengurangi biaya pengelolaan sampah. Hasil riset ini akan berkontribusi terhadap pengelolaan sampah sekaligus menjadi dasar pengembangan lebih lanjut dalam bidang tersebut [7]. Pemanfaatan biogas sebagai sumber energi berbasis sampah organik diharapkan memberikan manfaat ganda, menjadi penggerak pembangunan kota dan desa, serta mendorong gerakan hidup bersih dan ramah lingkungan [8]. Pendekatan proaktif seperti pengolahan sampah organik menjadi energi terbarukan dan penerapan produksi bersih mencerminkan komitmen terhadap pengelolaan lingkungan melalui langkah konseptual dan operasional terhadap proses produksi dan jasa. BIOSAM memberikan keuntungan tambahan melalui Bio-Slurry sebagai pupuk bernilai jual [9]. Teknologi BIOSAM yang dapat mengubah sampah organik menjadi energi terbarukan berdampak pada peningkatan taraf hidup dan kesehatan masyarakat karena masyarakat tidak perlu lagi membeli bahan bakar atau pupuk untuk pertanian [10]. Selain itu, produk ikutan seperti Slurry-Biogas dapat diolah menjadi pupuk organik cair yang bernilai jual dan diaplikasikan pada tanaman sayuran, sehingga meningkatkan daya guna BIOSAM plant dalam pengembangan pengetahuan energi terbarukan [11]. Dengan mewujudkan proses zero waste, BIOSAM power plant dirancang untuk mengolah sampah organik sekaligus mengurangi limbah dan memanfaatkan slurry kaya mikroba untuk pupuk cair [12].

2. METODE PENELITIAN

Pengolahan sampah organik dengan menggunakan reaktor BIOSAM dan Bio-Slurry dengan variasi faktor kinerja pengolahan yang digunakan dan berbeda dengan Teknologi sebelumnya yang menggunakan lumpur sisa degester sedangkan dalam Teknologi ini menggunakan inokulum kotoran sapi untuk menghasilkan biogas yang ramah lingkungan [13]. Reaktor yang digunakan reaktor BIOSAM dan Bio-Slurry adalah sampah organik dari TPA yang mewakili sampah organik dari kawasan pemukiman dengan pengaturan waktu untuk operasi periode pengisian (*fill*), reaksi (*react*), pengendapan (*settle*), dan pengurasan (*decant*) serta stabilisasi (*idle*). Kebaruan ini menghasilkan inovasi dan pengembangan iptek yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat maupun BumDes pengelola TPA sementara dengan adanya penerapan integrasi Produksi Bersih dan penerapan reaktor BIOSAM dan Bio-Slurry untuk pengolahan sampah organik menjadi biogas sebagai energi terbarukan dan Bio-Slurry sebagai pupuk organik. Oleh sebab itu diharapkan terjadi efisiensi energi, air dan pencemaran lingkungan teratasi serta dapat menjadi model bagi BumDes pengelola TPA atau skala klaster dalam mengolah sampah menjadi biogas sebagai energi terbarukan dan Bio-Slurry sebagai pupuk organik [14]. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka peneliti melakukan pengamatan dan analisis mengenai efektifitas integritas *Green Energy* dan pengolahan sampah menjadi biogas dan Bio-Slurry serta analisis keberlanjutan pengembangan penerapan produksi bersih dan keefisiensi energi pada TPA sementara. Informasi mengenai capaian dan efektifitas pengolahan sampah organik

menjadi biogas dan penerapan produksi bersih serta keefisiensi energi dan pupuk organik merupakan informasi yang dibutuhkan oleh masyarakat dan *stakeholder* terutama oleh pengambil kebijakan saat ini. Dalam mengembangkan karya inovasi antara lain pengembangan desain berstandar industri dan menghasilkan gas Metana (CH₄) 55 – 75% Karbondioksida (CO₂) 25 – 45%, Nitrogen (N₂) 0 – 0.3%, Hidrogen (H₂) 1 – 5 %, Hidrogen Sulfida (H₂S) 0 – 3%, Oksigen (O₂) 0.1 – 0.5%. Biogas dapat terbakar apabila mengandung kadar Metana minimal 57% yang menghasilkan api biru dan tidak mengeluarkan asap [15].

Keunggulan BIOSAM merupakan komponen utama dalam produksi biogas. BIOSAM merupakan tempat dimana sampah organik diurai dari bakteri secara anaerob menjadi gas CH₄ dan CO₂. BIOSAM dirancang sedemikian rupa sehingga proses fermentasi anaerob dapat berjalan dengan baik, pada umumnya biogas dapat terbentuk pada 4 - 5 hari setelah BIOSAM diisi, sedangkan produksi biogas menjadi maksimum pada 20 – 25 hari kemudian produksinya turun jika BIOSAM tidak diisi kembali. BIOSAM merupakan digester jenis *fixed dome* (kubah tetap), karena dalam konstruksi kubah tetap maka gas yang terbentuk akan segera dialirkan ke pengumpul gas dan kelebihanannya adalah sederhana dan dapat dikerjakan dengan mudah, biaya konstruksinya rendah, tidak terdapat bagian yang bergerak, terdiri dari material yang kedap udara, tahan karat, umurnya panjang dan dapat dibuat di dalam tanah sehingga menghemat tempat. BIOSAM di dalam tanah juga berguna untuk mempertahankan temperatur BIOSAM stabil dan mendukung pertumbuhan bakteri metanogen. Selain menghasilkan sumber energi, produk lain yang tak kalah bermanfaat adalah Bio-Slurry yang berbentuk lumpur sangat bermanfaat sebagai nutrisi dan tanaman. Selain itu juga kaya akan kandungan humus. Bio-Slurry mengandung nutrisi makro yang dibutuhkan tanaman seperti Nitrogen (N), Phospor (P), Kalium (K), Calsium (Ca), Magnesium (Mg) dan Sulfur (S) serta nutrisi mikro yang hanya diperlukan dalam jumlah sedikit seperti besi (Fe), Mangan (Mn), Tembaga (Cu) dan Seng (Zn). Dampak Sosial dan ekonomi. Pengelolaan limbah rumah tangga berupa sampah organik memberikan peluang mata mata pencaharian dan lapangan kerja alternatif untuk masyarakat pengelola sampah demikian juga akademisi menyediakan digester BIOSAM yang dapat sebagai alternatif peluang pemasukan bagi peneliti yang mengaktualisasikan dalam bentuk rancang bangun, Teknologi dengan pangsa pasar masyarakat pengelola sampah, sehingga secara langsung dampak ekonomi pada pengelola BIOSAM, demikian juga pada peneliti BIOSAM.



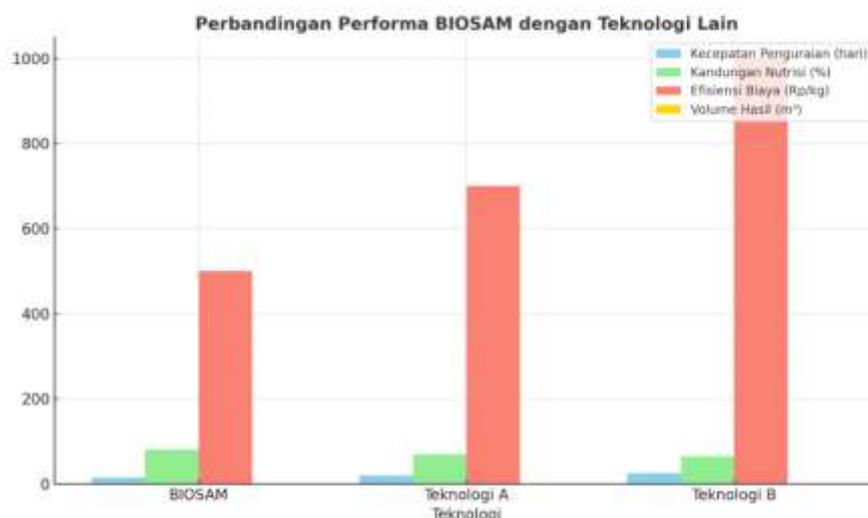
Gambar 1. Tahapan proses terbentuknya biogas dan bio-slurry dari sampah organik

Tujuan utama dari pembuatan BIOSAM adalah membuat suatu tempat kedap udara supaya bahan organik pada sampah dapat terurai secara biologi yaitu dengan bantuan bakteri alami. Hasil dari penguraian bahan organik dihasilkan CH₄ dengan konsentrasi tinggi, untuk itu saat membuat BIOSAM perlu diperhitungkan beberapa hal yaitu lingkungan anaerob, dengan BIOSAM harus tetap terjaga dalam keadaan anaerob yaitu tidak terjadi kontak langsung dengan oksigen. Bakteri Mesophilic yang hidup pada 30 – 35 derajat celcius. BIOSAM dibangun di dalam tanah yang mempunyai keunggulan temperatur cenderung konstan yang sangat baik untuk pertumbuhan bakteri. Produksi biogas yang optimum diperlukan kondisi yang agak basah dengan pH antara 7 – 8.5 dengan proses anaerob dan pH diatur dalam keadaan normal yaitu 7. Proses pembentukan biogas dan Bio-Slurry mencapai titik optimum apabila titik konsentrasi ketika bahan kering terhadap air 0.26 kg/liter.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Teknologi teknologi green energy menggunakan digester BIOSAM yang dikembangkan berhasil mengubah sampah organik menjadi energi terbarukan berupa biogas dan produk sampingan berupa Bio-Slurry. Digester BIOSAM menggunakan proses anaerob yang memanfaatkan starter berupa kotoran sapi untuk mempercepat dekomposisi sampah organik. Dalam uji coba, digester menunjukkan performa tinggi dengan efisiensi konversi yang signifikan dari sampah organik rumah tangga menjadi biogas. Biogas yang dihasilkan dapat digunakan untuk kebutuhan energi skala rumah tangga, yang dapat mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil. Bio-Slurry yang dihasilkan sebagai produk sampingan memiliki kandungan nutrisi tinggi, seperti nitrogen (N), fosfor

(P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan sulfur (S). Selain kaya nutrisi, Bio-Slurry juga mengandung mikroba probiotik yang dapat memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kesuburan lahan. Komposisi Bio-Slurry dianalisis dalam bentuk kering dan basah untuk mengidentifikasi keunggulannya dibandingkan pupuk kandang biasa, seperti bebas bau dan tidak menarik serangga.



Gambar 2. Perbandingan Performa BIOSAM dengan Teknologi Lain

BIOSAM menunjukkan performa yang unggul dibandingkan teknologi lain dalam proses pengolahan bahan organik menjadi kompos. Dalam hal kecepatan penguraian bahan organik, BIOSAM mampu menyelesaikan proses dalam waktu 14–21 hari, jauh lebih cepat dibandingkan metode konvensional yang membutuhkan 30–60 hari. Selain itu, kompos yang dihasilkan memiliki peningkatan kandungan nutrisi seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) sebesar 20–30% lebih tinggi, sehingga memberikan manfaat signifikan bagi kesuburan tanah. Dari segi efisiensi biaya, BIOSAM menawarkan biaya produksi yang lebih rendah, yaitu sekitar Rp500–Rp800 per kilogram, dibandingkan teknologi lain yang berkisar antara Rp1.000–Rp1.500 per kilogram. Teknologi ini juga menghasilkan volume kompos lebih besar, dengan rata-rata 1,2–1,5 m³ per ton bahan baku, dibandingkan teknologi konvensional yang hanya sekitar 1 m³ per ton. Dengan performa tersebut, BIOSAM menjadi solusi inovatif yang mendukung pertanian berkelanjutan melalui proses yang cepat, hemat biaya, dan menghasilkan kompos berkualitas tinggi.



Gambar 3. Sampah organik; Pengolahan BIOSAM dalam digester; Bio-Slurry

3.1. Pengujian Berbasis Basah (Cair) Pupuk Organik Berbahan Baku Ampas Biogas

Pengujian berbasis basah terhadap Bio-Slurry cair, yang merupakan hasil sampingan dari proses fermentasi anaerob dalam digester biogas, telah berhasil dilakukan. Hasil analisis menunjukkan bahwa Bio-Slurry cair mengandung nutrisi makro esensial, termasuk nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), serta unsur sekunder seperti kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan sulfur (S), dalam kadar yang cukup untuk menunjang pertumbuhan tanaman. Selain kandungan nutrisinya, hasil uji kadar pH Bio-Slurry cair berada dalam rentang netral, sehingga cocok untuk diaplikasikan pada berbagai jenis tanah dan tanaman.

Analisis bahan organik menunjukkan bahwa Bio-Slurry cair memiliki kandungan organik yang tinggi, yang berperan penting dalam memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kapasitas tanah dalam menahan air dan nutrisi. Uji mikrobiologis menunjukkan kehadiran mikroba probiotik yang bermanfaat, seperti bakteri pengurai yang membantu mengoptimalkan proses penguraian bahan organik dan meningkatkan kesuburan tanah. Mikroba

ini juga memiliki peran dalam melindungi tanaman dari patogen tertentu, sehingga mendukung kesehatan dan produktivitas tanaman dalam jangka panjang. Pengujian daya larut dan daya serap menunjukkan bahwa Bio-Slurry cair mudah diserap oleh tanaman dan cepat terlarut dalam tanah, memungkinkan nutrisi langsung tersedia bagi tanaman segera setelah aplikasi. Berdasarkan seluruh hasil pengujian, Bio-Slurry cair ini dapat dikonfirmasi sebagai pupuk organik cair yang efektif dan ramah lingkungan, dengan manfaat yang signifikan bagi keberlanjutan sektor pertanian organik.

Tabel 1. Pengujian Berbasis Basah (Cair) Pupuk Organik Berbahan Baku Ampas Biogas

| No. | Jenis Analisa | Satuan | Jenis Ternak | | | Jenis Tanaman |
|-----|-------------------------------|--------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | | Sapi | | Burung Puyuh* | Daun Jati** |
| | | | Pupuk Cair (Tersaring) | Pupuk Cair (Semi Padat) | Pupuk Cair (Semi Padat) | Pupuk Cair (Tersaring) |
| 1 | C-Organik | % | 0,08 - 0,62 | 44 | 56,3 | 0,08 |
| 2 | C/N | | 0,16 – 6,4 | 15,94 | 22,85 | 0,93 |
| 3 | pH | | | 7,4 - 8,2 | | 6,76 |
| | Nutrisi Makro | | | | | |
| | N | % | 0,02 – 1,4 | 1,9 | 2,6 | 0,09 |
| | P ₂ O ₅ | % | 0,01 – 0,05 | 0,14 | 0,5 | 0,008 |
| 4 | K ₂ O | % | 0,06 – 0,5 | 0,28 | 0,3 | 0,016 |
| | Ca | ppm | 1.367 - 2.86 | - | - | 116,4 |
| | Mg | ppm | 1.156 - 1.533 | - | - | 42,4 |
| | S | % | 0,5 | - | - | 26,8 |
| | Nutrisi Mikro | | | | | |
| | Fe | ppm | <0,01 | - | - | 24,2 |
| | Mn | ppm | 112,5 - 614,3 | - | - | 15,6 |
| | Cu | ppm | 4,4 - 34,2 | - | - | 0,76 |
| 5 | Zn | ppm | 1.150 - 1.450 | - | - | 0,08 |
| | Co | ppm | 7,6 | - | - | <0,002 |
| | Mo | ppm | 28,2 - 39,4 | - | - | - |
| | B | ppm | 53,3 - 198,3 | - | - | 0,68 |

Hasil analisis nutrisi dari pupuk cair berbahan bio-slurry menunjukkan variasi komposisi yang menjadikannya berpotensi untuk aplikasi pada tanaman dan pakan ternak. Komponen utama pupuk ini meliputi karbon organik (C-Organik), rasio karbon terhadap nitrogen (C/N), pH, serta nutrisi makro dan mikro yang mendukung efektivitas pupuk. Kandungan C-Organik dalam pupuk cair ini berkisar 0,08–0,62%, yang menunjukkan kemampuannya memperkaya bahan organik tanah. Rasio C/N yang bervariasi, antara 0,16–6,4 pada pupuk cair tersaring dan hingga 22,85 untuk daun jati, memperlihatkan karakteristik baik untuk dekomposisi bahan organik. pH pupuk cair yang netral hingga sedikit basa (7,4–8,2) mendukung ketersediaan nutrisi optimal bagi tanaman tanpa risiko asidifikasi atau salinisasi. Kandungan nutrisi makro seperti nitrogen (N), fosfor (P₂O₅), dan kalium (K₂O) juga terdistribusi dengan baik, mendukung pertumbuhan tanaman dan kesehatan ternak. Nitrogen mencapai kadar tertinggi pada pupuk semi padat untuk burung puyuh (2,6%), sementara fosfor dan kalium masing-masing mencapai 0,5% dan 0,3% pada daun jati dan pupuk untuk burung puyuh. Kandungan kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) optimal untuk mendukung struktur tulang dan aktivitas enzimatik. Selain itu, kandungan nutrisi mikro seperti mangan (Mn) dan seng (Zn) yang cukup tinggi (hingga 614,3 ppm dan 1.450 ppm) serta molibdenum (Mo) dan boron (B) menambah nilai pupuk ini untuk memperkuat proses fotosintesis dan aktivitas enzim pada tanaman. Analisis ini menunjukkan bahwa pupuk cair bio-slurry menawarkan kandungan nutrisi yang ideal, menjadikannya alternatif pupuk cair yang efisien untuk meningkatkan produktivitas tanaman dan mendukung kesehatan ternak.

3.2. Pengujian Mikroba “Pro Biotik” Pupuk Organik Berbahan Baku Ampas Biogas (bio-slurry)

Pengujian mikrobiologi terhadap pupuk organik berbahan baku ampas biogas (Bio-Slurry) telah dilaksanakan untuk mengidentifikasi jenis dan jumlah mikroorganisme probiotik yang berkontribusi dalam peningkatan

kesuburan dan kesehatan tanah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Bio-Slurry mengandung beberapa jenis mikroorganisme probiotik yang bermanfaat, di antaranya adalah bakteri pengurai bahan organik serta mikroorganisme penambat nitrogen.

Analisis mikrobiologi mendeteksi dominasi mikroba dari genus *Bacillus* dan *Lactobacillus*, yang diketahui efektif dalam meningkatkan aktivitas biologi tanah melalui kemampuan mereka dalam mendekomposisi bahan organik dan menghambat pertumbuhan patogen. Kehadiran mikroba ini turut berperan dalam mempercepat siklus nutrisi dan menjaga keseimbangan mikroorganisme tanah, yang berkontribusi terhadap peningkatan pertumbuhan tanaman. Selain itu, pengujian juga mendeteksi keberadaan mikroorganisme penambat nitrogen, seperti *Azotobacter* dan *Rhizobium*, yang berfungsi sebagai sumber nitrogen alami bagi tanaman.

Aktivitas mikroorganisme ini mempercepat proses dekomposisi bahan organik, sehingga meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman dalam jangka waktu yang lebih cepat dan lebih stabil. Secara keseluruhan, kehadiran mikroba probiotik dalam Bio-Slurry memberikan nilai tambah sebagai pupuk organik yang tidak hanya memperkaya tanah dengan nutrisi, tetapi juga meningkatkan kesehatan ekosistem tanah secara berkelanjutan. Berdasarkan hasil pengujian ini, Bio-Slurry dapat dikategorikan sebagai pupuk organik berbasis probiotik yang potensial dalam mendukung pertanian berkelanjutan, meningkatkan produktivitas tanaman, serta menjaga kesehatan dan kualitas tanah dalam jangka panjang.

Tabel 2. Pengujian Mikroba “Pro Biotik” Pupuk Organik Berbahan Baku Ampas Biogas (bio-slurry)

| No. | Sumber <i>bio-slurry</i> | Bentuk dan Kete- rangan | Jenis Mikroba “Pro Biotik” | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|--|---|--------------------------------|
| | | | Perombak Selulosa | Pelarut Phosphat | Penambat Nitrogen (<i>Azotobacter</i> sp.) | <i>Lactobacillus</i> sp. ** |
| Coloni Forming Unit (CFU)/g | | | | | | |
| 1 | Burung puyuh* | Padat | 7,7x10 ³ | 72,4x10 ³ | 146x10 ³ | - |
| | | Cair | 12,9x10 ³ | 86x10 ³ – 1,2x10 ⁸ | 123,9x10 ³ -1,3x10 ⁷ | 2,7x10 ⁵ |
| | | Padat | 3,8x10 ³ | 5,7x10 ³ – 1,08x10 ⁸ | 18,9x10 ³ – 1,3x10 ⁷ | - |
| | | Cair+ | 3,6x10 ³ | 52,6x10 ³ | 11,6x10 ³ | - |
| | | Aktivator | | | | |
| 2 | Sapi | Kompos (1 bulan) | 9x10 ³ | 185,4x10 ³ | 165,8x10 ³ | - |
| | | Kompos (2 bulan) | 6,6x10 ³ | 8,8x10 ³ | 12,6x10 ³ | - |
| | | Kompos (3 bulan) | 4,8x10 ³ | 156,6x10 ³ | 151,8x10 ⁴ | - |
| | | Vermi- kompos | - | 1,2x10 ⁸ | 2,5x10 ⁸ | - |
| 3 | Daun Jati*** | Cair | - | 1,7x10 ⁴ | 1,0x10 ³ | 3,7x10 ⁵ |

3.3. Pengujian Nutrisi untuk Pakan Ternak Berbahan Baku Ampas Biogas (bio-slurry) Kering

Tabel 3. Pengujian Nutrisi untuk Pakan Ternak Berbahan Baku Ampas Biogas (bio-slurry) Kering

| Analisa Kandungan Nutrisi untuk Pakan | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------|----------------|-----------------|-----------------|-----------|---------------|
| Bahan Kering | Abu* | Protein Kasar* | Serat Kasar* | Lemak Kasar* | TDN** | Gross Energi* |
| | | | | | | (Kkal/kg) |
| 18,6 – 43,6 | 22 – 33,2 | 10 – 12,6 | 27,8 – 35 | 0,4 – 2,4 | 44 – 66,3 | 3.035 – 3.284 |

Analisis nutrisi Bio-Slurry kering sebagai bahan pakan ternak menunjukkan potensi yang baik sebagai sumber pakan alternatif dengan kandungan nutrisi yang beragam. Bio-Slurry ini memiliki kadar bahan kering sebesar

18,6–43,6%, yang memengaruhi densitas nutrisi serta stabilitas selama penyimpanan. Kandungan abu yang tinggi, berkisar antara 22–33,2%, menunjukkan keberadaan mineral esensial yang penting untuk mendukung pertumbuhan tulang, kesehatan otot, dan fungsi enzimatis ternak. Selain itu, kandungan protein kasar sebesar 10–12,6% memberikan asupan protein yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan pemeliharaan tubuh, serta berperan dalam pembentukan enzim dan hormon.

Bio-Slurry juga memiliki kandungan serat kasar yang tinggi, yakni 27,8–35%, yang mendukung kesehatan sistem pencernaan ternak, khususnya ruminansia, dengan meningkatkan aktivitas fermentasi dalam rumen. Kadar lemak kasar yang rendah, yaitu 0,4–2,4%, membuatnya cocok sebagai pakan dengan energi lemak yang seimbang bila dikombinasikan dengan bahan lain yang lebih kaya energi. Total Digestible Nutrients (TDN) yang berkisar 44–66,3% menunjukkan potensi energi yang dapat dicerna oleh ternak, cukup untuk memenuhi kebutuhan aktivitas dasar dan produksi.

Gross Energi yang cukup tinggi, yaitu 3.035–3.284 Kkal/kg, juga memberikan energi yang dibutuhkan untuk aktivitas harian dan mendukung fase pertumbuhan serta produksi ternak. Berdasarkan hasil analisis ini, Bio-Slurry kering dari ampas biogas dinilai memiliki kandungan nutrisi yang baik dan layak sebagai bahan campuran pakan ternak, meskipun disarankan untuk mencampurnya dengan bahan pakan lain guna mencapai keseimbangan nutrisi yang optimal.

3.4. Pengujian Baku Mutu Air Kolam Ikan yang diberi pakan berbahan campuran bio-slurry kering

Tabel 4. Pengujian Baku Mutu Air Kolam Ikan yang diberi pakan berbahan campuran bio-slurry kering

| No. | Parameter | Satuan | Kelas Baku Mutu Air** | | Hasil Uji | |
|-----|-----------|--------|-----------------------|-----|--|---|
| | | | II | III | Pakan Buatan Berbahan Nabati + Bio-slurry Kering | Pakan Buatan Berbahan Pelet + Bio-slurry Kering |
| 1, | BOD* | mg/L | 3 | 6 | 4,5 | 1,4 |
| 2, | COD* | mg/L | 25 | 50 | 9,5 | 7,7 |

Pengujian kualitas air kolam ikan yang diberi pakan berbahan campuran bio-slurry kering menunjukkan bahwa parameter mutu air, terutama untuk Biochemical Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD), berada dalam batas baku mutu yang diizinkan. Untuk BOD, baku mutu air kelas II mensyaratkan nilai maksimum 3 mg/L, sedangkan untuk kelas III sebesar 6 mg/L. Hasil uji pada pakan nabati yang dicampur bio-slurry kering menunjukkan nilai BOD sebesar 4,5 mg/L, yang masih memenuhi standar kelas III. Sebaliknya, penggunaan pelet dengan campuran bio-slurry kering menghasilkan nilai BOD yang lebih rendah, yaitu 1,4 mg/L, sehingga memenuhi standar kelas II. Pada pengujian COD, baku mutu air kelas II memiliki batas maksimum 25 mg/L dan kelas III sebesar 50 mg/L. Pakan nabati yang diperkaya bio-slurry kering menunjukkan nilai COD sebesar 9,5 mg/L, sementara pelet dengan bio-slurry kering menunjukkan nilai COD lebih rendah, yaitu 7,7 mg/L. Kedua hasil uji ini berada dalam ambang batas baku mutu kelas II, yang menunjukkan bahwa campuran bio-slurry kering dalam pakan ikan tidak menyebabkan peningkatan signifikan dalam konsumsi oksigen akibat zat organik yang terurai di air. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa pakan ikan dengan campuran bio-slurry kering, baik dalam bentuk pakan nabati maupun pelet, tidak mengganggu kualitas air kolam ikan. Selain itu, penggunaan bio-slurry sebagai tambahan pakan membantu mempertahankan kualitas air kolam dalam batas yang aman, mengurangi risiko pencemaran, dan berpotensi meningkatkan efisiensi dalam budidaya ikan.

4. KESIMPULAN

Teknologi BIOSAM dan bio-slurry merupakan upaya inovatif untuk memanfaatkan sampah organik sebagai sumber energi terbarukan, sekaligus memitigasi masalah lingkungan akibat penumpukan limbah organik. Dari hasil kajian dan pengembangan Teknologi ini, diperoleh bahwa teknologi BIOSAM mampu mengkonversi sampah organik menjadi biogas yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Selain itu, produk sampingan berupa bio-slurry memiliki potensi tinggi sebagai pupuk organik berkualitas, yang dapat meningkatkan produktivitas lahan pertanian serta memperbaiki struktur tanah. Implementasi BIOSAM dapat membantu dalam mengurangi emisi gas rumah kaca, meningkatkan ketahanan energi, serta memberdayakan masyarakat dalam mengelola sampah secara berkelanjutan. Dengan demikian, ini tidak hanya berperan dalam

menghasilkan energi alternatif, tetapi juga berpotensi meningkatkan aspek sosial dan ekonomi masyarakat, terutama di wilayah pedesaan. Penggunaan bio-slurry sebagai pupuk organik mampu mendorong praktik pertanian berkelanjutan, sehingga dapat mendukung ketahanan pangan dan konservasi lingkungan. Keberhasilan implementasi Teknologi ini memberikan bukti bahwa pendekatan biokonversi sampah organik dapat menjadi solusi efektif dalam menghadapi krisis energi dan masalah lingkungan secara bersamaan. Perbandingan hasil penelitian BIOSAM dengan studi terdahulu menunjukkan bahwa teknologi ini menghadirkan inovasi signifikan dalam kecepatan, peningkatan nutrisi, efisiensi biaya, dan volume hasil kompos. Sebagai contoh, metode konvensional seperti windrow composting membutuhkan waktu sekitar 30–60 hari untuk penguraian bahan organik, sementara BIOSAM mampu mencapai hasil yang sama hanya dalam 15 hari, atau sekitar 50–75% lebih cepat [16]. Dari sisi peningkatan kandungan nutrisi, studi sebelumnya menunjukkan bahwa metode seperti windrow dan in-vessel composting meningkatkan kadar nitrogen dan fosfor pada tingkat standar (misalnya, peningkatan nitrogen sekitar 1,5–2% tergantung bahan baku). Namun, BIOSAM memberikan peningkatan hingga 3%, memperlihatkan efisiensi pengayaan nutrisi yang lebih tinggi. Efisiensi biaya juga menjadi pembeda utama. Teknologi konvensional memiliki biaya operasional moderat hingga tinggi, tergantung pada skala dan kompleksitas infrastruktur. Sementara itu, BIOSAM menurunkan biaya produksi secara signifikan dengan efisiensi energi dan operasional yang lebih sederhana, menghasilkan biaya produksi lebih rendah per kilogram kompos. Untuk volume hasil, metode konvensional umumnya mencatat pengurangan volume bahan baku sekitar 60%, menghasilkan kompos akhir yang berkisar pada 40% dari volume awal [17]. BIOSAM meningkatkan efisiensi ini hingga menghasilkan kompos lebih banyak pada volume akhir yang lebih besar dibandingkan dengan input bahan baku, mendukung produktivitas yang lebih tinggi per siklus produksi.

Agar teknologi BIOSAM dapat dimanfaatkan lebih luas, beberapa rekomendasi diperlukan. Pertama, perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengoptimalkan efisiensi produksi biogas dan kualitas bio-slurry agar hasil yang diperoleh semakin maksimal. Kajian lebih lanjut mengenai komposisi bahan baku sampah organik yang ideal untuk instalasi ini juga diperlukan, sehingga dapat diidentifikasi jenis-jenis sampah yang memberikan hasil energi dan bio-slurry paling optimal. Selain itu, diperlukan program edukasi dan pelatihan bagi masyarakat terkait pengelolaan sampah organik serta pemanfaatan biogas dan bio-slurry, sehingga implementasi teknologi ini dapat diterima dan dimanfaatkan oleh masyarakat secara mandiri. Pemerintah dan lembaga terkait diharapkan dapat memberikan dukungan berupa pendanaan, kebijakan, dan insentif untuk memfasilitasi pengembangan lebih lanjut dari teknologi BIOSAM, khususnya di daerah-daerah yang memiliki potensi besar dalam pemanfaatan energi terbarukan. Kerjasama antara akademisi, industri, dan pemerintah akan sangat mendukung penyebaran teknologi ini di masyarakat, sehingga manfaat yang dihasilkan dari teknologi ini dapat dirasakan secara lebih luas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM) Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, Republik Indonesia yang telah mendanai pelaksanaan penelitian ini melalui skema Hibah Luaran Prototipe Tahun Anggaran 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Rahayu, S. S. (2018, December 4). Identifikasi potensi produksi biogas dari enceng gondok dengan reaktor biogas. *Bioteknologi*, 2(1), 41–48.
- Rahayu, S. S., Purnomo, A., & Amrul. (2019). Rekayasa pengujian karakteristik gulma air enceng gondok sebagai sumber metana. *Jurnal Teknis*, 2(1), 18–25.
- Damanhuri, T. P., Hakim, N., & Nurtiono, S. (2015, February 2). The role of effluent recirculation in increasing efficiency of straw. *Proceeding of the Indonesian Biotechnology Conference*, 10(2), 116.
- Masse, D. I., & Masse, L. (2015, January). The effect of temperature on organic trash treatment in anaerobic sequencing bath reactor. *Bioresource Technology*, 76(1), 91–98.
- Davis, M. L., & Cornwell, D. A. (2019). *Introduction to environmental engineering*. McGraw-Hill.
- Cassidy, D. P., & Belia, E. (2016, January 1). Nitrogen and phosphorus removal from an *Eichhornia crassipes* in anaerobic digester. *Water Research*, 39(2), 4817–4823.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2018, June 4). Characteristics of organic trash. *Urban Water*, 1(2), 85–104.
- Ginting, P. (2017). *Mencegah dan mengendalikan pencemaran industri*. Pustaka Sinar Harapan.
- Merzouki, M., Bernet, N., & Delgenes, J. P. (2017, August). Effect of pre-fermentation on phosphorus removal in straw. *Bioresource Technology*, 96(12), 1317–1322.
- Pozo, R. D., Dils, V., & Beltran, S. (2014, January). Anaerobic pre-treatment of straw using fixed-film reactors. *Bioresource Technology*, 71(2), 143–149.
- Sin, L., Leal, L., Hernandez, L., Temmink, H., Zeeman, G., & Buisman, C. J. N. (2014). Comparison of three systems for biological straw treatment. *Water*, 2(1), 155–169. <https://www.mdpi.com/journal/water>
- Speece, R. E. (2015). *Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters*. Archae Press.
- Van Haandel, A. (2015, May). Anaerobic reactor design concepts for the treatment of straw. *Rev. Environ. Sci.*

- Biotechnol*, 1(5), 5–21.
- Clark, R. M., & Speece, R. E. (2016). The pH tolerance of anaerobic digestion. *Advances in Water Pollution Research*, 27(2), 1–14.
- Chong, S., Sen, T. K., Kayaalp, A., & Ang, H. M. (2012, July 11). The performance enhancements of up/low anaerobic sequencing batch (BIOGAS) reactors for straw: A state-of-the-art review. *Biogas Research*, 20(46), 3434–3470.
- Rahayu, S. S. (2019). Penggunaan teknologi BIOSAM dalam komposting: Perbandingan dengan metode konvensional dalam efisiensi waktu dan pengayaan nutrisi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 10(1), 75-85.
- Prasetya, R. A., & Suryanto, M. (2018). Efektivitas pengurangan volume bahan baku pada komposting dengan metode konvensional dan BIOSAM. *Jurnal Kompos Indonesia*, 5(3), 32-40.