

**ECO-TECH: PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN GAS METANA
DARI LIMBAH RUMAH TANGGA KOSAKA (KOL, SAWI, KANGKUNG)
DENGAN CAMPURAN MOLASE DAN FESES SAPI BERBASIS IOT**

Ahmad Athfi Noor Laili^{1*}, Abdur Rohman Addakhil², Muhammad Amirul Falah³, Shafa Syuhada⁴, Azam Annadhif Abdillah⁵

^{1,2,3,4,5} MAS Tahfidz Yanbu'ul Qu'ran Kudus

Jl. Rahtawu Raya, Menawan, Kec. Gebog, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah 59333

*Email: athfilel@gmail.com

Abstrak

Pengelolaan limbah saat ini masih menjadi isu utama di berbagai belahan dunia. Berdasarkan riset yang dilakukan oleh Bank Dunia, rata-rata limbah / sampah yang dihasilkan dalam tiap tahun sekitar 1,3 miliar ton sampah secara global. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia menunjukkan bahwa sumber sampah terbesar berasal dari limbah rumah tangga. Tujuan dalam penelitian ini yaitu merancang sistem kontroling dan monitoring limbah rumah tangga seperti kol, sawi, dan kangkung (KoSaKa) dikombinasikan feses sapi dan molase yang dapat menghasilkan energi alternatif terbarukan. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini Mixed-Method yang mengkombinasikan studi literature review dan eksperimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah organik rumah tangga seperti kol, sawi, dan kangkung (KoSaKa), jika dikombinasikan dengan molase dan kotoran sapi, dapat menghasilkan biogas berupa gas metana (CH₄). Selain itu, penggunaan sistem Internet of Things (IoT) dengan menggunakan sensor MQ-4, DHT11, dan mikrokontroler NodeMCU ESP 12-E terbukti efektif dalam memantau parameter fermentasi secara real time, seperti suhu, kelembapan, dan konsentrasi gas metana dalam digester. Produksi gas metana mencapai puncaknya pada hari ke-14 dengan konsentrasi 173.514,12 ppm (sekitar 72,30%). Selain itu, rentang suhu optimal 34–37°C dan kelembapan sekitar 85% mendukung pertumbuhan mikroorganisme metanogenik yang menghasilkan gas metana secara efisien. Namun, produksi gas mulai menurun setelah hari ke-15 karena tidak adanya penambahan bahan baru.

Kata kunci: Limbah Rumah Tangga, Gas Metana, Internet of Things

1. PENDAHULUAN

Sampah atau limbah merupakan sisa material yang tidak lagi dimanfaatkan dan umumnya dianggap tidak memiliki nilai guna atau nilai ekonomis. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan yang lebih efektif agar nilai dari material tersebut dapat dimanfaatkan kembali (Alam dkk, 2024). Menurut data dari Bank Dunia, secara global sampah dihasilkan sekitar 1,3 miliar ton sampah tiap tahunnya. Data pada tahun 2023 dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia menunjukkan bahwa sumber sampah terbesar berasal dari limbah rumah tangga, yaitu mencapai 38,1% dari keseluruhan jumlah sampah yang dihasilkan (Kurniawati dkk, 2024). Hasil studi menunjukkan bahwa 232 juta masyarakat Indonesia dapat menghasilkan sekitar 38,5 juta ton sampah per tahunnya, dengan rata-rata 450 gram per orang per hari. Sampah di perkotaan sebagian besar terdiri dari sampah organik sebesar 62%, plastik 14%, kertas 9%, kaca 2%, karet dan kulit 2,5%, besi 2%, dan 13% lainnya berasal dari berbagai jenis sampah lainnya (Larasati dan Fitria, 2020).

Disisi lain, penggunaan bahan bakar fosil memberikan banyak efek negatif terhadap lingkungan, termasuk pencemaran, peningkatan emisi gas rumah kaca, dan terjadinya pemanasan global. Selain itu, pembakaran energi fosil juga dapat menimbulkan gangguan kesehatan bagi manusia (Lahope, G., 2024). Berdasarkan Perpres No. 22 Tahun 2017 dan UU No. 16 Tahun 2016 menunjukkan komitmen Indonesia dalam melakukan transisi menuju energi berkelanjutan (Angelina dkk, 2024). Kebijakan Energi Nasional (KEN) adalah petunjuk pengolahan energi yang mengedepankan asas keadilan, keberlanjutan, dan kepedulian lingkungan, yang bertujuan mewujudkan kemandirian dan ketahanan energi di tingkat nasional (Ahsan, 2021).

Oleh karna itu, limbah rumah tangga yang merupakan sisa material tidak bernilai guna dan dibuang. Pengelolaannya di tingkat rumah tangga menjadi langkah nyata dalam mendukung tercapainya tujuan *Sustainable Development Goals* (Apriliani dkk, 2024). Limbah ini mengandung

bahan organik dengan rasio karbon terhadap nitrogen (C/N) yang cukup tinggi. Biogas sendiri dikategorikan sebagai sumber energi terbarukan dari bahan organik (non-fosil), biasanya dihasilkan dari berbagai jenis limbah organik seperti kotoran manusia, limbah peternakan, dan sisa tanaman (Mamanua dkk, 2023). Biogas merupakan salah satu bentuk pemanfaatan sampah organik yang cukup efektif. Kandungan gas dapat dibentuk melalui proses fermentasi beberapa bahan organik seperti feses manusia atau hewan, sampah organik dalam kondisi anaerobik (tanpa udara), dan sampah rumah tangga. Gas ini mengandung metana dan karbon dioksida yang terbentuk dari aktivitas bakteri pengurai sampah organik di lingkungan (Rahmat dkk, 2023).

Dalam penelitian ini dilakukan analisis feses pada sapi sebagai energi alternatif melalui proses fermentasi. Kandungan gas metana (CH_4) yang tinggi pada feses sapi, disertai nilai kalor berkisar antara 4.800 hingga 6.700 kkal/ m^3 , menjadikan biogas sebagai sumber energi alternatif yang sangat potensial (Sunaryo dkk, 2023). Sisi lain, pemanfaatan teknologi yang semakin berkembang pesat diberbagai bidang seperti implementasi *Internet of Things* (IoT) yang dapat mengefisiensi dalam pengelolaan operasional melalui otomatisasi dan optimalisasi proses (Niko dkk, 2025). IoT merupakan konsep di mana berbagai objek di dunia nyata dapat saling terhubung dan berinteraksi sebagai bagian dari sebuah sistem terintegrasi melalui jaringan internet (Khalis dkk, 2024). IoT adalah konsep di mana berbagai perangkat dapat saling terhubung dan berkomunikasi melalui jaringan internet sebagai bagian dari satu sistem terpadu (Sari dkk, 2024).

Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini membahas terkait monitoring dan kontroling gas metana berbahan dasar limbah rumah tangga KOSAKA (Kol, Sawi, dan Kangkung) dengan campuran molase dan feses sapi berbasis *Internet of Things* (IoT).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, kami menggunakan tinjauan pustaka serta studi eksperimen. Tinjauan pustaka merupakan langkah awal yang krusial dalam merancang sebuah penelitian. Metode ini melibatkan pencarian dan peninjauan berbagai sumber referensi seperti buku, jurnal ilmiah, dan beberapa artikel lain yang relevan dengan topik penelitian, yang bertujuan menyusun teks yang membahas suatu isu atau tema tertentu (Subahan A, dkk., 2021). Dalam konteks penyusunan karya tulis ilmiah tinjauan pustaka dilakukan untuk menggali informasi terkait topik dan permasalahan yang diteliti. Hal ini mencakup penelusuran variabel penelitian, teori yang telah digunakan oleh peneliti sebelumnya, dan metode penelitian yang telah diterapkan dalam penelitian terkait sebelumnya (Subahan A, dkk., 2021).

Secara umum, terdapat dua tujuan utama dalam melakukan tinjauan pustaka. Pertama, menyusun artikel yang memperkenalkan penelitian terbaru dalam bidang tertentu agar dapat dipahami oleh mereka yang terlibat dalam disiplin ilmu tersebut. Penelitian seperti ini biasanya dipublikasikan secara luas, contohnya dapat ditemukan di jurnal seperti *Annual Review of Anthropology* atau *Annual Review of Sociology* (Subahan A, dkk., 2021).

Tujuan kedua dari tinjauan pustaka adalah mendukung penelitian yang sedang berlangsung. Dalam konteks ini, tinjauan pustaka berfungsi sebagai memperluas pemahaman para peneliti perihal topik yang diteliti, mendukung dalam perumusan masalah, dan memperkuat landasan teori serta metodologi yang akan digunakan. Tinjauan pustaka juga membantu peneliti dalam memilih teori serta cara paling tepat dalam penelitian yang sedang dilakukan. Dengan mempelajari hasil penelitian sebelumnya, peneliti dapat memutuskan apakah akan mengadopsi, mengulang, atau mengkritisi pendekatan penelitian tersebut (Subahan A, dkk, 2021). Peneliti dalam melakukan penelitian menggunakan metode tinjauan pustaka dengan menganalisis artikel ilmiah dari jurnal nasional yang terbit pada periode 2020 hingga 2025. Selain itu, pengumpulan data eksperimen biogas dibutuhkan dalam melakukan pengujian *Internet of Things* (IoT).

Biogas dalam penelitian ini membutuhkan alat dan bahan. Alat dan bahan yang diperlukan untuk melakukan penelitian ini adalah:

- Sampel limbah KoSaKa (Kubis, Sawi, dan Bayam Air) (substrat) dan feses sapi (inokulum) sebagai bahan utama penelitian.
- Sampel larutan molase sebagai indikator, bahan percobaan, dan bahan pendukung penelitian.
- Dua Tabung Digester untuk fermentasi campuran limbah KoSaKa, feses sapi, dan larutan

molase.

- Alat dan Bahan IoT, yaitu Mikrokontroler NodeMCU ESP 12E, OLED (Organic-Light Emitting Diode), Sensor Suhu dan Kelembapan (DHT11), Sensor Gas MQ-4, Aplikasi Blynk.
- Alat dan Bahan Biodigester, yaitu digester portabel (galon plastik 18 liter), alat pengaduk, ban dalam sepeda motor, dan pipa PVC.

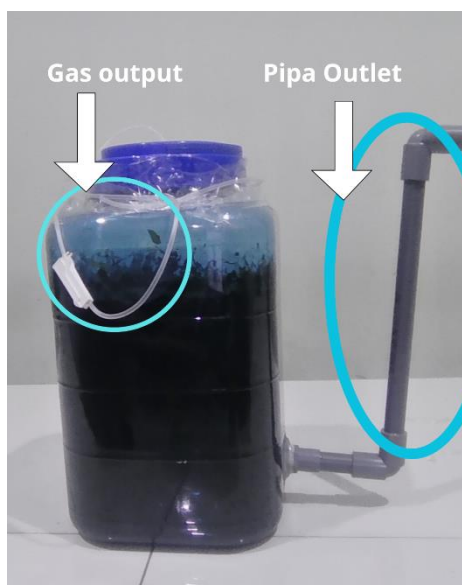
Prosedur eksperimen kontroling dan monitoring limbah rumah tangga dengan campuran molase dan feses sapi berbasis *internet of things* dalam penelitian ini adalah :

- Siapkan feses sapi sebesar 6 liter setiap digister.
- Masukkan limbah rumah tangga dengan perbandingan volume (Kol x Sawi x Kangkung : $\frac{1}{2}$ x $\frac{1}{2}$ x 1 : 250gr x 250gr x 500gr) kedalam digister.
- Tambah EM4 sebesar 200ml disetiap digister.
- Tambah Molase / Tetes Tebu dengan setiap digister 1 sebesar 400ml dan digister 2 sebesar 800ml.
- Aduk semua campuran tersebut dan taruh ditempat yang teduh.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Desain Digister Portable

Digester portabel adalah alat berukuran mini yang dirancang untuk menciptakan atmosfer anaerobik (tanpa udara) pada waktu fermentasi. Biasanya, digester yang digunakan adalah tangki tertutup hampa udara, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, yang terdiri dari selang masuk dan pipa keluar.

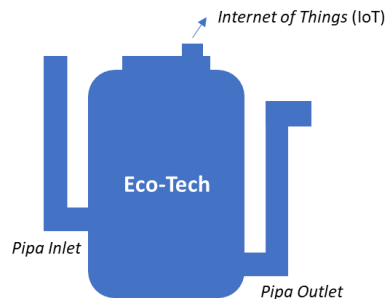


Gambar 1. Digester Portable

Gambar 1 menunjukkan digester yang digunakan sebagai media untuk penelitian gas metana (CH_4). Media pembentuk biogas ini ber kapasitas 18 liter dengan bahan PVC, dan dirancang hampa udara, sehingga pada waktu anaerob dapat berlangsung di dalam digester. Selain itu, ditambahkan ban dalam sepeda motor yang berfungsi sebagai balon penyimpanan gas. Di dalam digester, dipasang pendeteksi gas MQ-4, sensor suhu dan kelembapan yaitu DHT11 yang diisolasi pada bagian atas digester. Untuk menyalurkan gas hasil dekomposisi bakteri, digunakan aplikasi Blynk yang dapat dikendalikan melalui mikrokontroler dan relay. Sementara itu, Gambar 3 menunjukkan alat pemantau digester, yang terdiri dari rangkaian catu daya (*power supply*), relay driver, dan mikrokontroler. Secara visual, alat ini memiliki beberapa komponen

tampilan, yaitu dua voltmeter digital yang berfungsi untuk menampilkan nilai tegangan yang dihasilkan oleh catu daya, serta layar OLED yang dapat menampilkan suhu, kelembapan, konsentrasi, dan persentase gas metana (CH_4).

Sensor adalah jenis transduser sebagai pengubah besaran mekanis, magnetik, kalor, cahaya, dan kimia yang berubah menjadi tekanan arus listrik. DHT11 merupakan alat pendeteksi digital yang bisa mengukur tinggi rendahnya suhu dan kelembapan udara sekitar. Sensor ini mempunyai stabilitas yang baik dan fitur kalibrasi yang cukup akurat. Spesifikasinya meliputi: Tegangan Suplai: 3 Volt - 5 Volt, Jangka suhu yaitu $0-50^\circ\text{C}$, kesalahan sekitar 2°C , Kelembapan yakni 20°C , 90% RH, kesalahan kurang lebih 5% RH, dan spesifikasi sistem antarmuka digital.



Gambar 2. Desain konsep biodigester dan IoT

3.2 Perancangan Alat Pemantauan

Alat Pemantau Digester adalah perangkat yang memanfaatkan chip mikrokontroler Node MCU ESP-12e. Perangkat ini berfungsi untuk memantau aktivitas digester dengan memasang sensor di dalam digester sebagai pengukur suhu, kelembapan, dan konsentrasi gas metana (CH_4) pada digester. Proyeksi ditampilkan melalui layar LED yang terhubung pada internet, maka digester bisa dipantau melalui ponsel pintar secara langsung (real-time).

Secara luas, perangkat pemantau digester terdiri dari:

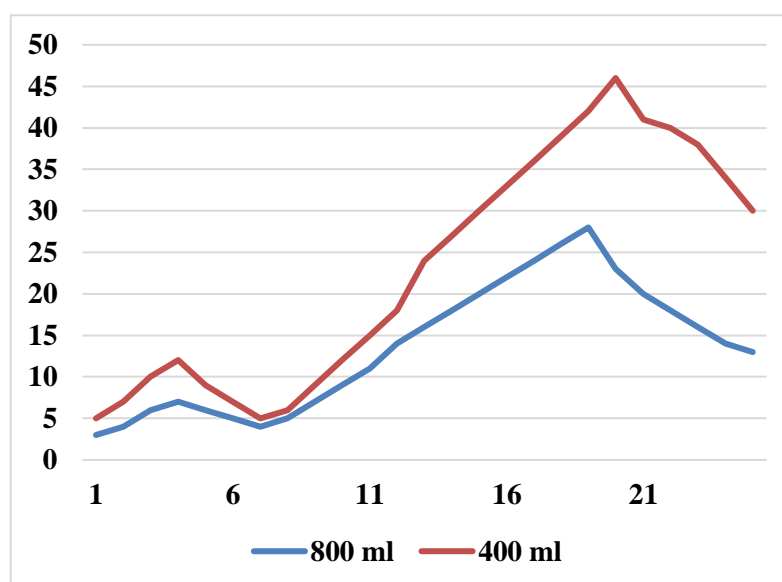
- Chip Mikrokontroler NodeMCU ESP 12-E ini berguna untuk mengontrol susunan elektronika yang desainnya terdiri atas CPU, memori seperti RAM, ROM dan EPROM dan I/O tertentu serta perangkat pendukung yaitu Analog-to-Digital Converter (ADC) yang terpadu di dalamnya.
- OLED (Organic-Light Emitting Diode) merupakan bahan semikonduktor padat, yaitu bahan LED (Light Emitting Diode), yang terbuat dengan memasukkan lapisan-lapisan organik tipis di antara dua konduktor. OLED mempunyai kelebihan perbedaan yang begitu tajam dan tidak membutuhkan lampu latar. OLED ini memiliki keunggulan konsumsi daya yang lebih efisien. Sementara itu, layar OLED memiliki kekurangan karena ukurannya relatif kecil dibandingkan LCD TFT/LCD Graphic.
- Pendeteksi Suhu dan kelembapan (DHT11).
- Pendeteksi MQ-4 memiliki sifat sensitif, terbuat dari semikonduktor, dan terbuat dari senyawa (SnO_2) yang memiliki keunggulan konduktivitas lebih rendah di udara jernih. Saat gas metana (CH_4) terlihat, konduktivitas sensor akan meningkat sebanding dengan peningkatan konsentrasi gas polutan.

Perolehan data pengukuran suhu, kelembapan, dan gas metana (CH_4) dari fermentasi limbah KoSaKa, campuran molase, dan feses sapi merupakan data pengukuran alat monitoring digester pada Periode Penyimpanan 27 hari. Pada Gambar 7, selain menunjukkan perkembangan gas selama 27 hari di dalam digester. Selama periode ini, kandungan gas metana perlahan mulai diproduksi dengan mengusahakan agar angka suhu digester tetap teratur. Pada eksperimen ini, angka suhu digester rata-rata adalah $35,60^\circ\text{C}$ dan kelembapan digester rata-rata adalah 85,15%. Kandungan gas digester,

beranjak diproduksi dari hari pertama pengisian dilakukan setelah bahan baku Limbah KoSaKa dan feses sapi dimasukkan ke dalam digester adalah 10,5% ppm.

Hal ini diperkuat oleh penelitian (Soebagia H, dkk., 2021) yang mengembangkan sistem digester portabel berbasis Internet of Things (IoT), yang mampu memantau proses fermentasi secara langsung (real-time) dan mencatat peningkatan kadar metana yang signifikan hingga 71,07% pada hari ke-29, dengan suhu operasi ideal di kisaran 32–37°C. Temuan ini sangat penting karena menunjukkan bahwa teknologi yang sederhana namun adaptif dapat memberikan hasil yang sangat efisien dalam mengubah sampah menjadi energi.

Dengan suhu digester distabilkan kisaran 37°C, kenaikan kandungan gas metana terlihat naik saat pekan kedua, tepatnya saat hari ke-8, angka kandungan gas menyentuh hampir 10%, setelah itu kandungan gas terus meningkat pada hari seterusnya. Selama rentang periode penyimpanan, angka kandungan biogas terus meningkat. Perihal ini dapat diukur dengan alat pemantau digester. Pola perkembangan gas metana yang diukur oleh alat pemantau digester selama rentang periode penyimpanan diperlihatkan pada grafik gambar 3 di bawah ini:



Gambar 3. Perkembangan Gas Metana

Selanjutnya, bahan dasar feses sapi dimasukkan di hari ke-7 sebagai pengujian kualitas peningkatan produksi biogas di dalam digester. Dengan rentang suhu kisaran 37,46°C, nilai kosentrasi terus naik hingga pada hari ke-14, kandungan gas menjadi sebanyak 173.514,12 ppm serta persentase gas sebanyak 72,30%.

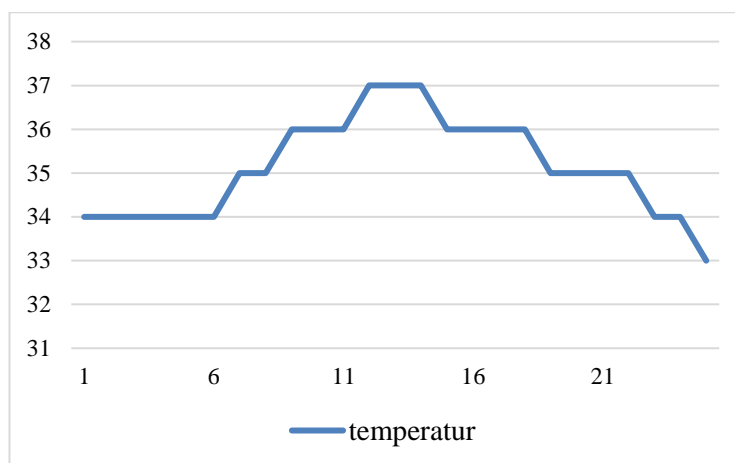
Penelitian (Ulma Z, dkk., 2025) menunjukkan bahwa limbah organik, terutama kotoran sapi dan limbah sayuran, merupakan sumber daya yang sangat potensial dalam produksi energi alternatif berupa biogas. Kombinasi 70% kotoran sapi dan 30% limbah sayuran, dengan dukungan mikroorganisme berdaya guna tinggi (EM4), terbukti menghasilkan produksi gas metana yang optimal (rumen + feses): tertinggi sekitar 18,80% CH₄.

Berbagai referensi dari jurnal terdahulu, menunjukkan komposisi rumen + feses dan limbah sayuran sekitar 70% dan 30%, dapat meningkatkan produksi biogas. Oleh karena itu, dapat dibentuk hipotesis berdasarkan penelitian terdahulu, yaitu pencampuran komposisi feses sapi, Limbah KoSaKa, molase, EM4 dapat meningkatkan produksi dari sebelumnya dengan total volume 12 liter, yang berisi 6 liter feses sapi, Limbah KoSaKa (250 gram kol, 250 gram sawi, 500 gram kangkung), molase (variasi 400ml-800ml), EM4 (200ml). Sampai pada hari ke-21, nilai kandungan gas metana mengalami penurunan. Karena tidak adanya pengisian limbah sejak hari ke-7, maka konsentrasi gas metana tidak dapat mengalami peningkatan. Dalam pengujian ini, proses biogas berjalan lambat, hal

tersebut disebabkan karena nilai suhu yang tidak konstan, maka berkembangnya bakteri tidak optimal.

3.3 Analisis Kandungan Gas Metana dengan Parameter Pengukuran

Analisis ini diperlukan sebagai sarana menentukan adanya produksi biogas yang diuji dengan rentang periode penyimpanan selama 27 hari menggunakan pengukuran yang meliputi suhu dan kelembapan digester. Hubungan antara konsentrasi gas metana dan parameter suhu terukur ditunjukkan pada grafik pada Gambar 4 di bawah ini:

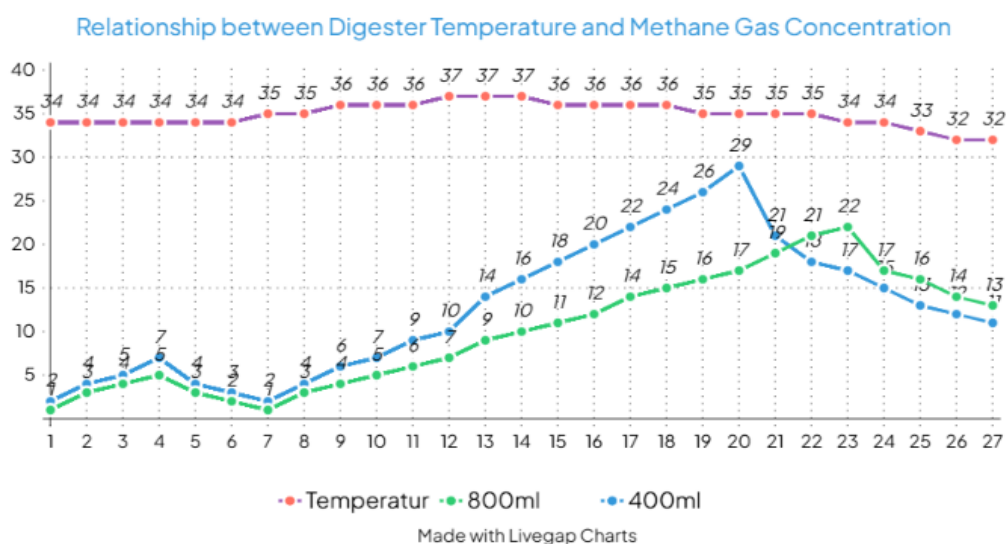


Gambar 4. Grafik suhu

Gambar 4 di atas menunjukkan statistik suhu. Agar dapat bekerja di suhu yang optimal, penting juga untuk mempertimbangkan jenis mikroorganisme yang ada dan sesuai dengan kondisi habitat.

3.4 Hubungan antara suhu digester dan kandungan gas metana

Dalam mekanisme pembuatan biogas pada digester selama rentang waktu 27 hari, perubahan tersebut disebabkan oleh adanya peningkatan suhu pada digester. Hasil dari studi literatur, biogas akan bekerja lebih optimal saat suhu digester 34-37°C. Hubungan antara nilai suhu dengan perkembangan gas metana ditampilkan pada grafik Gambar 11 di bawah ini:



Gambar 5. Hubungan antara Suhu Digester dan Kandungan Gas Metana

Bersandarkan pada grafik tersebut, suhu di dalam digester berfluktuasi, ditunjukkan dengan angka suhu digester terendah sebesar 34°C, sementara nilai suhu maksimum yang diperoleh adalah 37°C. Pada uji gas, mencapai 72,30%, nilai suhu digester sebesar 37,00°C. Pada uji ini, nilai suhu tersebut tidak mewakili isi biogas maksimum yang diproduksi, karena gas metana telah terbentuk dari hari pertama eksperimen, tetapi fluktuasi suhu digester memengaruhi keadaan kehidupan bakteri pada digester.

3.5 Hubungan antara kelembaban digester dan kandungan gas metana

Kelembaban rata-rata pada digester adalah 85,15%. Ini menunjukkan konsentrasi uap air pada digester. Uap air diproduksi dari kadar air yang terdapat selama pembentukan *slurry* yaitu campuran limbah KoSaKa, feses sapi, molase, dan air dengan rasio yang telah ditentukan.

Angka kelembaban yang tinggi dapat mempengaruhi nilai kadar biogas yang disebabkan gas metana (CH₄) yang diproduksi terkandung uap air yang bisa menghambat proses pembakaran gas metana. Berdasarkan hasil di atas, angka kelembaban dalam digester yang diperoleh cukup tinggi, seperti pada hari ke-21 dimana kandungan gas metana sebanyak 173.514,12 ppm yang persentase gasnya sebanyak 72,30%, dan suhu digester sebanyak 37°C, kelembaban digester mencapai 85,15%, dari hasil percobaan yang dilakukan, kelembaban dalam digester tidak terlalu berdampak signifikan pada perkembangan gas metana. Hal ini dibuktikan dengan adanya perubahan kandungan gas metana yang terus naik selama masa penyimpanan dalam digester.

4. KESIMPULAN

Studi ini menunjukkan bahwa sampah organik rumah tangga seperti kol, sawi, dan kangkung (KoSaKa), yang dicampur dengan 400 ml molase dan feses sapi, dapat menghasilkan biogas berupa gas metana (CH₄) dalam kadar yang signifikan. Penggunaan sistem Internet of Things (IoT) berbasis sensor MQ-4, DHT11, dan mikrokontroler NodeMCU ESP 12-E, terbukti efektif dalam memantau parameter fermentasi secara langsung (real-time), seperti suhu, kelembaban, dan konsentrasi gas metana di dalam digester. Sementara itu, reaktor variasi 800 ml menunjukkan proses fermentasi yang lambat karena faktor utama, yaitu molase berlebih yang memengaruhi kinerja mikroorganisme dalam menghasilkan gas metana dan faktor lainnya, yaitu perubahan pH, suhu, rasio C/N, dan sebagainya.

Produksi metana mencapai puncaknya pada hari ke-21 dengan konsentrasi 173.514,12 ppm (sekitar 72,30%), menunjukkan bahwa komposisi dan kondisi fermentasi sangat memengaruhi hasil biogas. Selain itu, suhu optimal berkisar antara 34–37°C dan kelembaban sekitar 85% mendukung pertumbuhan mikroorganisme metanogenik yang menghasilkan gas metana secara efisien. Namun, produksi gas mulai menurun setelah hari ke-22 karena tidak adanya material baru.

Dengan demikian, pengelolaan limbah sayuran rumah tangga dengan teknologi sederhana namun adaptif seperti biodigester portabel berbasis IoT memiliki potensi besar dalam menghasilkan energi alternatif terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- AIM UK - Ian Smith, C.-o. P.-P.-P.-o. (2009). RFID dan Model Inklusif untuk Internet of Things. UK ENGLAND: CASAGRAS (Koordinasi dan Dukungan Aksi untuk Aktivitas dan Standardisasi Global yang Terkait RFID).
- Aldy Bahaduri Indraloka, ER (2022). Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi Menjadi Pupuk Bokashi Organik di Desa Wongsorejo, Kabupaten Banyuwangi. Pertanian: Jurnal Pengabdian Masyarakat, 59-64.
- Alpi Subahan, DX (2021). Tinjauan Pustaka Tentang Kebijakan Pendidikan Dasar Selama Pandemi Dan Dampaknya Terhadap Pembelajaran. Jurnal JRPP Jurnal Tinjauan Pendidikan dan Pengajaran, 1-8.
- Ambar Wulan, MR (2020). Analisis Produksi Energi Listrik Sistem Sedimen Sel Bahan Bakar Mikroba Menggunakan Limbah Lumut Tebu. e-Prosiding Teknik, 9263-9271.

- Antarlina, AK (2017). Pengaruh Penambahan Pasta Mustard Dalam Pembuatan Kerupuk. *Senaspro*, 1172-1181.
- Arief Selay, GD (2022). Internet Of Things. *Karimah Tauhid*, 860-868.
- Edelina Christmas, YA (2022). Pengaruh Lama Penyimpanan terhadap Sifat Fisik Wafer Ransum Lengkap Berbasis Limbah Kol dengan Perekat Molase. *Jurnal Ilmu dan Industri Peternakan*, 96-107.
- Elmas, JL (2020). Penerapan Teknologi Hidroponik Sawi Hijau sebagai Upaya Pencegahan Stunting di Desa Pikatan, Kecamatan Gending, Kabupaten Probolinggo. *Jurnal Abdi Panca Marga*, 1-5.
- Hasto Soebagia, DN (2021). Analisis Peningkatan Gas Metana (Ch₄) Pada Digester Portabel Dengan Kotoran Sapi Sebagai Sumber Energi Biogas Berbasis Internet Of Things (IoT). *Jurnal Teknik | Majalah Ilmiah Fakultas Teknik UNPAK*, 19-26.
- Merry Sunaryo, JS (2023). Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi untuk Pembuatan Biogas dan Pupuk Organik di Desa Madureso, Mojokerto. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Nusantara (JPkMN)*, 711-720.
- Mukasi Wahyu Kurniawati, AN (2021). Pemanfaatan Limbah Sayuran dan Kotoran Sapi sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 74-80.
- Niko Crysostomus, (2025). Perkembangan dan Implementasi Internet of Things di Berbagai Sektor : Systematic Literature Review. *Jurnal Konvergensi Teknologi dan Sistem Inforansi.*, Vol. 5, No. 1, 2025
- Puput Eka Suryania, AP (2022). Jurnal Tinjauan: Analisis Modifikasi Komposisi Substrat Limbah Cair Tahu dalam Produksi Biogas Menggunakan Metode Anaerobik. *SIMETRIS*, 1-8.
- Utomo Budiyanto, TF (2021). Pengenalan Internet of Things (IoT) sebagai Upaya Peningkatan Kualitas Pegawai Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. *KRESNA: Jurnal Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat*, 82-86.
- [15] Zeni Ulma, MN (2025). Potensi Produksi Biogas dari Campuran Feses Sapi, Rumen Sapi, dan Kulit Pisang. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 63-70.