

SISTEM MONITORING DAN DATA LOGGER PRODUKSI GAS METANA PADA BIODIGESTER BERBASIS MIKROKONTROLER ESP32

MICROCONTROLLER-BASED MONITORING AND DATA LOGGING SYSTEM FOR METHANE GAS PRODUCTION IN BIODIGESTERS USING ESP32

Sona Aditya Putra¹, Ikhsan Shiddiq Adz-Dzikri², Gilang Permadi³, Qirom^{4*}

^{1,2,3,4}Politeknik Harapan Bersama Tegal

Email : ^{4*}qirom.bahagia2@gmail.com

*Penulis Korespondensi

Abstrak - Biogas, sebagai sumber energi terbarukan, semakin populer di kalangan masyarakat karena mudah dihasilkan melalui fermentasi kotoran hewan, limbah tanaman, dan sampah organik. Proses fermentasi ini menghasilkan biogas yang umumnya terdiri dari gas metana dan hidrogen, serta gas lainnya seperti karbon dioksida, hidrogen sulfida, uap air, dan silikon polimer. Meski begitu, biodigester yang digunakan untuk memproduksi biogas sering kali masih bersifat sederhana dan kurang efisien. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang lebih canggih untuk memantau dan mengoptimalkan proses produksi biogas. Dalam penelitian ini, dirancang sebuah alat biodigester dengan bahan utama berupa campuran kulit nanas, pengurai EM4, air, dan gula. Campuran ini akan dipantau selama dua hari untuk mengamati produksi biogas yang dihasilkan. Sistem pemantauan ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi dengan sensor gas metana MQ4 dan sensor DHT22 untuk memantau suhu serta kelembaban. Kedua parameter ini sangat penting dalam proses produksi biogas. Data yang diperoleh dari sensor akan diintegrasikan dengan Google Spreadsheet yang diperbarui setiap jam untuk memudahkan analisis. Berdasarkan hasil pengukuran gas metana, produksi biogas tertinggi tercatat pada pukul 21:00 dengan kadar 89.210 ppm. Pada saat itu, suhu biodigester tercatat sebesar 37°C dan kelembaban 67%. Sistem ini diharapkan dapat membantu meningkatkan efisiensi produksi biogas dan memudahkan pemantauan bagi pengguna.

Kata kunci: Biogas; Energi Terbarukan; Biodigester; Metana; Mikrokontroler;

Abstract - Biogas, as a renewable energy source, is becoming increasingly popular among communities because it can be easily produced through the fermentation of animal manure, plant waste, and organic waste. This fermentation process generates biogas, which typically consists of methane and hydrogen gases, along with other gases such as carbon dioxide, hydrogen sulfide, water vapor, and silicone polymers. However, the biodigesters used to produce biogas are often simple and inefficient. Therefore, a more advanced system is needed to monitor and optimize the biogas production process. In this study, a biodigester was designed using a mixture of pineapple peels, EM4 decomposer, water, and sugar as the main materials. This mixture will be monitored for two days to observe the biogas production. The monitoring system uses an ESP32 microcontroller equipped with an MQ4 methane gas sensor and a DHT22 sensor to monitor temperature and humidity. These two parameters are crucial in the biogas production process. The data collected from the sensors will be integrated with Google Spreadsheets, which will be updated every hour for easy analysis. Based on the methane gas measurements, the highest biogas production was recorded at 21:00 with a level of 89.210 ppm. At that time, the biodigester temperature was recorded at 37°C and the humidity at 67%. This system is expected to help improve the efficiency of biogas production and facilitate monitoring for users.

Keywords: Biogas; Renewable Energy; Biodigester; Methane; Microcontroller;

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



1. PENDAHULUAN

Biogas adalah gas yang mudah terbakar yang dihasilkan melalui proses fermentasi aerobik dan anaerobik dari bahan organik seperti kotoran ternak dan manusia, limbah pertanian, atau campuran keduanya dalam ruang pencernaan (digester) [1]. Peningkatan volume sampah organik telah menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat. Namun, sampah organik memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan, terutama melalui produksi biogas [2]. Biogas merupakan salah satu alternatif yang dapat dimanfaatkan dari limbah kotoran ternak yang terdiri dari senyawa karbondioksida dan metana [3]. Biodigester adalah sistem yang mengumpulkan gas metana, karbondioksida, dan gas campuran lainnya yang dihasilkan dari penguraian material organik seperti kotoran sapi oleh bakteri metanogen dalam kondisi anaerob [4]. Selain itu, biogas memiliki berbagai keunggulan, termasuk penggunaannya sebagai bahan bakar untuk motor atau genset, sifatnya yang dapat diperbaharui, serta kemampuannya mengurangi pencemaran udara, emisi gas rumah kaca, dan pemanasan global. Keuntungan ini berasal dari gas metana yang dihasilkan dari kotoran sapi yang masuk ke biodigester dan kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik [5]. Proses anaerobik ini terjadi tanpa udara dalam lingkungan yang terkontrol, biasanya dalam reaktor biogas. Proses ini menghasilkan campuran gas utama yang terdiri dari metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2), bersama dengan beberapa gas lain seperti nitrogen, hidrogen, dan sulfida hidrogen.

Gas metana (CH_4), sebagai komponen utama biogas, dapat menjadi bahan bakar yang berguna karena memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu sekitar 4800-6700 kkal/m³, sedangkan gas metana murni mengandung energi 8900 kkal/m³ (Sutarto dan Feris, 2007). Karena nilai kalor yang cukup tinggi ini, biogas dapat digunakan untuk penerangan, memasak, menggerakkan mesin, dan lain sebagainya. Selain itu, sistem produksi biogas juga memiliki beberapa keuntungan yaitu mengurangi pengaruh gas rumah kaca, mengurangi polusi bau tidak sedap, berfungsi sebagai pupuk, serta untuk produksi daya dan panas [6].

Meskipun alat ini cukup efektif dalam menghasilkan biogas, sebagian besar biodigester yang ada saat ini belum dilengkapi dengan sistem monitoring yang dapat mengukur volume gas yang dihasilkan secara akurat. Hal ini menyebabkan kesulitan dalam mengoptimalkan dan memaksimalkan produksi biogas.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah sistem monitoring yang dapat memantau konsentrasi gas metana di dalam biodigester. Selain itu, sistem ini juga dirancang untuk mengukur beberapa faktor penting yang mempengaruhi produksi biogas, yaitu suhu, kelembaban, dan tekanan di dalam biodigester. Untuk mencapai tujuan tersebut, alat yang dikembangkan menggunakan sensor MQ4 untuk mengukur kadar gas metana. Sensor ini akan terhubung dengan mikrokontroler ESP32, yang bertugas mengolah data dari sensor dan mengirimkan hasilnya ke *Google Spreadsheet* dan *SDCard*. Penggunaan *Google Spreadsheet* dan *SDCard* memungkinkan data kadar gas metana untuk diperbarui dan diakses secara *real-time* melalui internet dan *offline*.

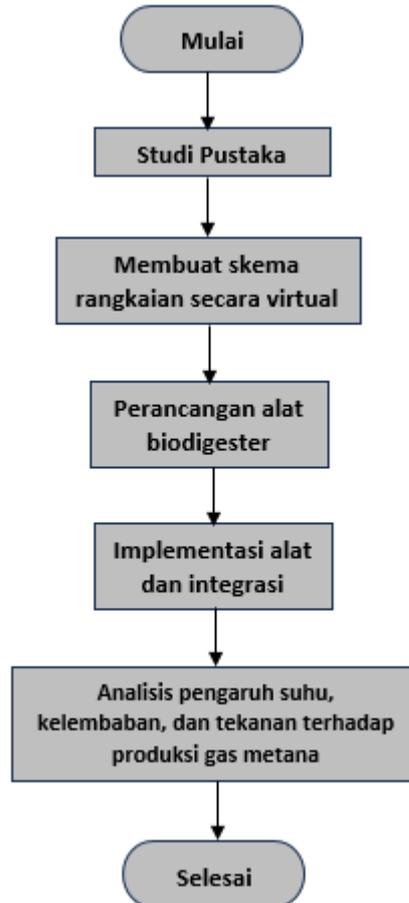
Sistem monitoring ini dirancang dengan tujuan utama untuk memudahkan pengguna dalam membaca dan memantau kadar gas metana yang dihasilkan oleh biodigester. Dalam sistem ini, data yang dikumpulkan oleh sensor kemudian diproses dan ditampilkan melalui antarmuka yang mudah dipahami oleh pengguna, sehingga mereka dapat mengetahui kondisi biodigester mereka secara *real-time* tanpa harus melakukan pengecekan manual.

Dengan adanya sistem monitoring ini, masyarakat tidak perlu lagi khawatir tentang ketidakpastian dalam pemanfaatan energi terbarukan dari biogas. Sebelumnya, ketidakpastian ini sering kali menjadi hambatan utama dalam adopsi teknologi biogas, karena sulit untuk memprediksi dan mengontrol produksi gas metana. Namun, dengan alat monitoring ini, pengguna dapat memantau kinerja biodigester mereka dengan lebih akurat, sehingga dapat mengambil tindakan yang diperlukan untuk mengoptimalkan produksi gas metana.

Selain itu, alat ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam mempercepat pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia. Data yang akurat dan *real-time* mengenai kondisi di dalam biodigester memungkinkan pengguna untuk melakukan penyesuaian dan perbaikan secara cepat dan efektif. Hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi biogas, tetapi juga memastikan bahwa energi yang dihasilkan dari biodigester selalu berada pada tingkat optimal. Dengan demikian, alat monitoring ini berpotensi untuk mendorong lebih banyak masyarakat dan industri untuk beralih ke penggunaan energi terbarukan, yang pada akhirnya akan mendukung upaya nasional dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meningkatkan keberlanjutan energi.

2. METODE PENELITIAN

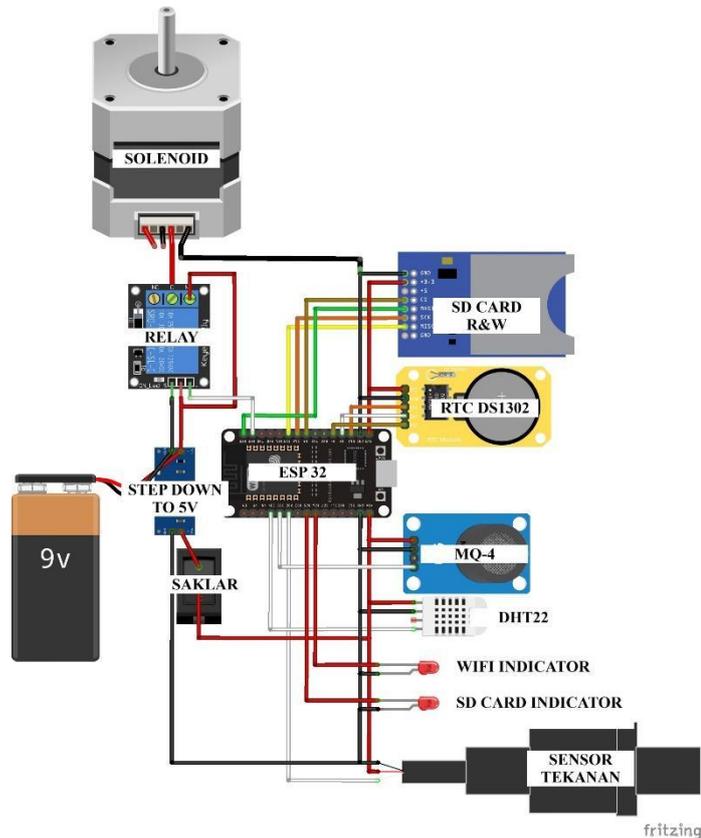
Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* dengan mengembangkan penelitian sebelumnya. Adapun alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur proses penelitian

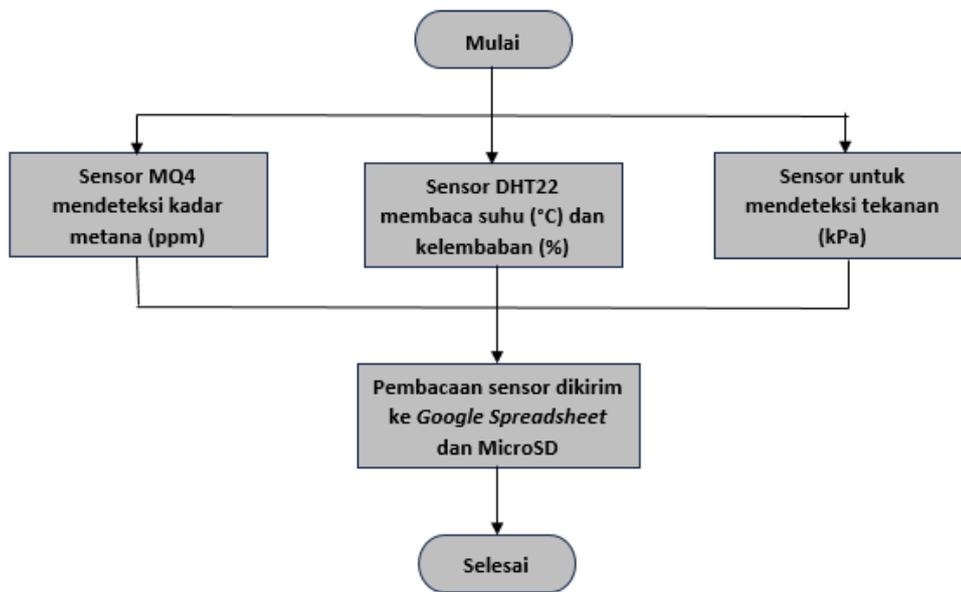
Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi pustaka untuk mendapatkan informasi dan literatur yang relevan dikumpulkan untuk memahami teori dan hasil penelitian sebelumnya tentang biogas dan biodigester. Setelah memiliki pemahaman yang cukup, skema rangkaian dibuat secara virtual untuk merancang model atau simulasi dari sistem biodigester yang akan digunakan. Langkah ini penting untuk memastikan bahwa desain awal dapat bekerja secara efektif sebelum dibuat dalam bentuk fisik.

Tahap selanjutnya adalah perancangan alat biodigester yang mencakup desain mekanis dan komponen-komponen yang diperlukan. Setelah itu, alat biodigester dirakit dan diintegrasikan menjadi satu sistem yang utuh. Implementasi ini melibatkan perakitan, pengujian, dan penyetalan untuk memastikan sistem bekerja dengan baik. Analisis pengaruh suhu, kelembaban, dan tekanan dilakukan untuk melihat bagaimana faktor-faktor tersebut mempengaruhi produksi gas metana, dengan tujuan mengoptimalkan kinerja biodigester. Akhirnya, penelitian ini diselesaikan dengan merangkum hasil dan melaporkan kesimpulan dari proyek ini. Untuk lebih jelasnya, skema rangkaian virtual dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema rangkaian mikrokontroler ESP32

Gambar yang ditunjukkan merupakan skema rangkaian elektronik yang menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk mengendalikan proses biodigester. Sistem ini dimulai dari sumber daya 9V yang diturunkan menjadi 5V menggunakan modul step-down, memastikan tegangan yang sesuai untuk ESP32 dan komponen lainnya. Sebuah saklar memungkinkan pengendalian manual untuk menghidupkan atau mematikan daya ke seluruh rangkaian. Mikrokontroler ESP32 bertindak sebagai pusat kendali, menghubungkan berbagai sensor dan modul untuk mengumpulkan data dan mengendalikan aktuator. Sensor MQ-4 digunakan untuk mendeteksi konsentrasi gas metana yang dihasilkan oleh biodigester, sedangkan sensor DHT22 mengukur suhu dan kelembaban lingkungan dalam biodigester. Real-Time Clock (RTC) DS1302 membantu melacak waktu dengan akurat, penting untuk penjadwalan tugas atau pencatatan waktu. Data yang dikumpulkan dari sensor-sensor ini disimpan ke dalam modul SD Card oleh ESP32 untuk analisis lebih lanjut dan penyimpanan jangka panjang. Selain itu, relay berfungsi sebagai saklar elektronik yang dikendalikan oleh ESP32 untuk mengaktifkan atau menonaktifkan solenoid, yang dapat mengontrol aliran cairan atau gas dalam sistem biodigester. Sensor tekanan memonitor tekanan dalam biodigester, memastikan proses berlangsung dengan aman dan efisien. LED indikator menunjukkan status koneksi WiFi dan status operasi kartu SD, membantu memantau apakah sistem terhubung ke jaringan dan apakah data disimpan dengan benar. Dalam keseluruhan sistem ini, ESP32 berfungsi sebagai otak yang mengumpulkan data dari sensor, menyimpannya, dan mengendalikan aktuator berdasarkan kondisi yang terdeteksi, memungkinkan pengendalian proses biodigester secara otomatis dan efisien. Terkait alur proses kerja dari biodigester bisa dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Alur proses kerja biodigester

Proses kerja biodigester dimulai dengan sensor MQ4 yang mendeteksi kadar metana (ppm) di dalam sistem. Sensor ini mengukur konsentrasi gas metana yang dihasilkan dalam proses pencernaan bahan organik oleh biodigester. Bersamaan dengan itu, sensor DHT22 membaca suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan kelembaban (%) di dalam biodigester. Sensor ini penting untuk memantau kondisi lingkungan yang mempengaruhi efisiensi produksi gas metana. Di sisi lain, sensor tambahan digunakan untuk mendeteksi tekanan (kPa) di dalam sistem. Informasi dari dua sensor dikumpulkan dan dikirim ke Google Spreadsheet dan MicroSD untuk pencatatan dan analisis lebih lanjut. Dengan data yang tersimpan, dapat terpantau performa biodigester secara real-time dan melakukan penyesuaian yang diperlukan untuk mengoptimalkan produksi gas metana. Adapun bahan yang digunakan saat pengujian di dalam biodigester adalah kulit nanas 2 kg, pengurai bakteri EM4 20 ml, gula 30 gram, dan air 3 liter.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

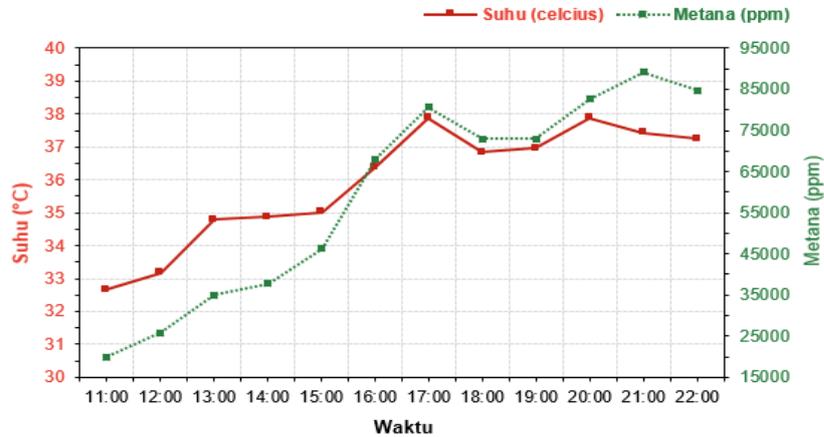
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan apakah sistem dapat berfungsi dengan baik saat digunakan untuk memonitor produksi gas metana dalam biodigester. Pengujian dilakukan dengan memantau proses produksi biogas sejak campuran bahan dibuat. Proses monitoring dilakukan dengan dua cara, menggunakan *Google Spreadsheet* dan melalui *datalogging* yang menyimpan data pada *SDCard* selama dua hari. Pada penyajian data kali ini, akan ditampilkan grafik selama 11 jam di hari kedua sejak kadar metana pada biodigester terdeteksi karena di hari pertama tidak terjadi perubahan produksi gas metana yang signifikan karena suhu masih dalam kondisi yang stabil dan bakteri belum aktif mengurai limbah kulit nanas. Bentuk alat biodigester bisa dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Bentuk produk biodigester

a. Pengaruh suhu terhadap produksi gas metana

Proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme anaerob dalam biodigester sangat bergantung pada suhu lingkungan. Pada umumnya, suhu antara 25°C hingga 40°C digunakan dan mendukung aktivitas mikroorganisme mesofilik yang stabil dalam jangka waktu panjang. Apabila suhu rendah (di bawah 20°C) mengakibatkan proses penguraian bahan organik menjadi lebih lambat dan produksi gas metana berkurang, bahkan dalam kondisi yang sangat dingin, aktivitas mikroorganisme bisa terhenti sama sekali. Sedangkan, jika suhu tinggi (di atas 60°C) menyebabkan denaturasi enzim dan kematian mikroorganisme sehingga menghambat produksi gas metana [9].

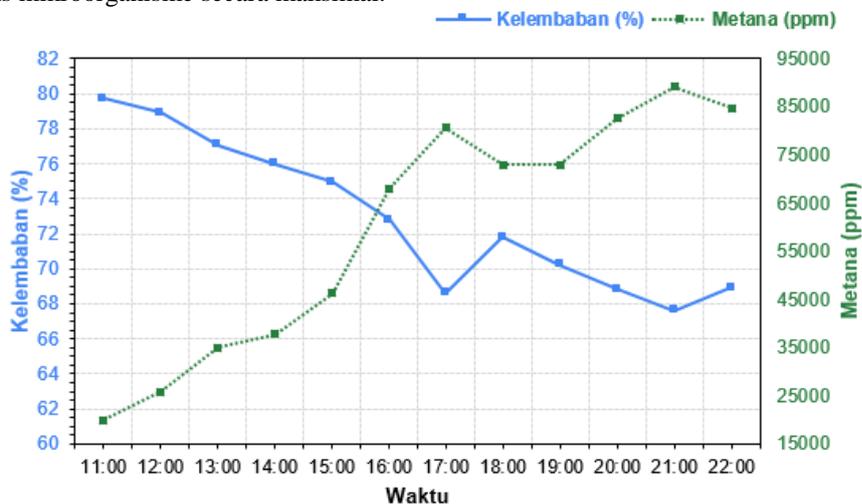


Gambar 5. Pengaruh suhu terhadap produksi gas metana
 Sumber: Penelitian, 2024

Berdasarkan pengujian yang ditampilkan pada Gambar 5 diperoleh data pengujian pengaruh parameter suhu terhadap pembentukan gas metana dalam biodigester. Pada pukul 11:00 menunjukkan pembentukan gas metana sebesar 20.014 ppm pada suhu 32,67°C. Hal tersebut terus meningkat hingga pukul 17:00 dengan kadar gas metana sebesar 80.641 ppm dengan suhu 37,88°C. Setelah itu, pukul 18:00 pada suhu 36,83°C produksi gas metana menurun menjadi 72.935 ppm. Konsentrasi gas metana kembali naik hingga 89.210 ppm yang menjadi titik tertingginya saat pukul 21:00 pada suhu 37,44°C sebelum kembali turun menjadi 84.769 ppm.

b. Pengaruh kelembaban terhadap produksi gas metana

Mikroorganisme anaerob yang bertanggung jawab atas produksi gas metana memerlukan lingkungan dengan kelembaban tertentu untuk berkembang dan berfungsi secara optimal. Kelembaban optimal biasanya berkisar antara 50% hingga 75% [9]. Dalam rentang ini, kondisi lingkungan mendukung aktivitas mikroorganisme secara maksimal.

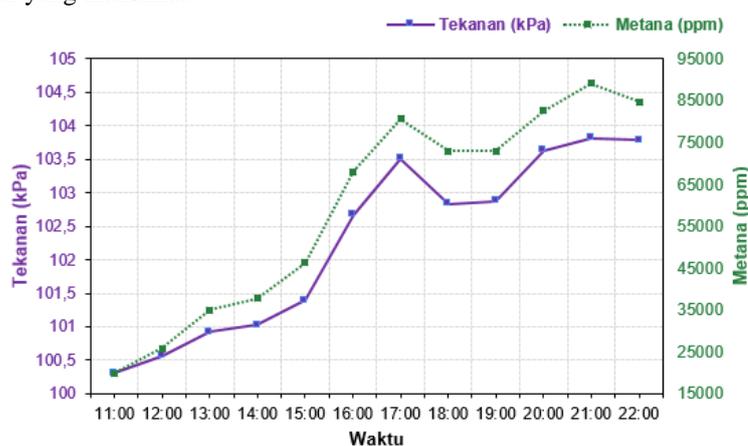


Gambar 6. Pengaruh kelembaban terhadap produksi gas metana
 Sumber: Penelitian, 2024

Pada Gambar 6 hasil pengujian menunjukkan bahwa kelembaban juga berpengaruh terhadap produksi gas metana dalam biodigester. Pada saat kelembaban menurun dari 79% ke 78% pada pukul 12:00, produksi gas metana mengalami kenaikan dari 20.014 ppm menjadi 25.812 ppm dan ketika kelembaban kembali menurun dari 72% ke 69% produksi gas metana naik menjadi 80.641 ppm pada pukul 17:00. Sementara pada saat kelembaban naik menjadi 72%, produksi gas metana mengalami penurunan hingga 72.935 ppm pada pukul 18:00. Produksi gas metana tertinggi terjadi pada kondisi kelembaban 67% pada pukul 21:00 yang menghasilkan gas metana sebesar 89.210 ppm.

c. Pengaruh tekanan terhadap produksi gas metana

Perubahan tekanan dapat mempengaruhi kinerja mikroorganisme anaerob yang berperan atas proses penguraian bahan organik dan produksi metana. Dalam pemanfaatan di industri, tekanan optimal unit pemurnian biogas menjadi biometana berada dalam rentang 7-10 bar [11]. Dalam kondisi tekanan tersebut, mikroorganisme dapat berkembang biak dan berfungsi dengan baik, menghasilkan metana dalam jumlah yang maksimal.



Gambar 7. Pengaruh tekanan terhadap produksi gas metana

Sumber: Penelitian, 2024

Tekanan juga menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi produksi biogas, seperti terlihat pada Gambar 7. Data percobaan menunjukkan bahwa tekanan memengaruhi produksi biogas, khususnya gas metana, dalam biodigester. Pada pukul 11:00, ketika tekanan adalah 100,31 kPa, gas metana terdeteksi sebesar 20.014 ppm. Seiring waktu berjalan hingga pukul 17:00, dengan tekanan meningkat menjadi 103,51 kPa, jumlah gas metana juga meningkat menjadi 80.641 ppm. Namun, pada pukul 18:00, meskipun tekanan tetap tinggi (102,84 kPa), produksi gas metana menurun menjadi 72.935 ppm. Namun, pada pukul 21:00, gas metana mencapai puncaknya pada 89.210 ppm saat tekanan mencapai 103,82 kPa, sebelum kemudian turun menjadi 84.769 ppm pada tekanan 103,79 kPa.

4. KESIMPULAN

Sistem monitoring berbasis ESP32 yang dikembangkan mampu mencatat dan memantau parameter seperti suhu, kelembaban, dan tekanan secara *real-time*, menunjukkan efektivitasnya dalam mengoptimalkan kondisi operasi biodigester untuk menghasilkan gas metana secara maksimal. Implementasi sistem ini dapat meningkatkan efisiensi dan kontrol dalam proses produksi biogas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu dan tekanan berbanding lurus dengan produksi metana. Artinya, ketika suhu dan tekanan meningkat, produksi metana juga meningkat. Sebaliknya, kelembaban menunjukkan hubungan negatif dengan produksi metana, di mana peningkatan kelembaban mengurangi produksi metana.

Untuk perkembangan kedepannya, disarankan agar penelitian lebih lanjut dilakukan dengan berbagai variasi kondisi lingkungan untuk mengidentifikasi parameter optimal lainnya yang mempengaruhi produksi gas metana. Integrasi sistem dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) juga dapat dipertimbangkan untuk memungkinkan pemantauan jarak jauh dan analisis data secara *real-time* melalui platform *cloud*. Peningkatan akurasi sensor dan penggunaan algoritma *machine learning* untuk prediksi dan optimasi produksi juga bisa menjadi langkah selanjutnya untuk meningkatkan efisiensi sistem. Selain itu, studi mengenai berbagai jenis campuran bahan baku pada produksi metana juga akan memberikan kontribusi penting untuk pengembangan lebih lanjut sistem biodigester ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Alfanz, A. Nurhadi, J.A. Laksmono, “Perancangan dan Implementasi Sistem Monitoring Produksi Biogas pada Biodigester”, *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Vol.5 No.1.
- [2] F.A. Nugroho, E. Kurniawan, J. Raharjo, “Perancangan Sistem Monitoring Tekanan dan Konsentrasi Gas Metana Pada Biodigester”, *e-Proceeding of Engineering*, Vol.11, No.1 Februari 2024
- [3] A. S. R. S. Y. Iin Novianty, "Pemanfaatan Sensor Gas MQ-4 Untuk Mendeteksi Gas Metana Pada Limbah Ternak Sapi, Kerbau, Dan Kuda," *Ilmu Fisika*, vol. II, no. 2, pp. 35-44, 2020.
- [4] A. Ezrafi, Yuli Fitriyani, M. Wijayanti, “Sistem Monitoring Biodigester Berbasis Arduino Nano”, *JUIT Vol 2 No. 2 Mei 2023*, 107-105
- [5] Yulianto, M. H., Ferdiansyah, E., & Wastumirad, A. W. (2024). Rancang Bangun Sistem Monitoring Gas CH₄ dan CO₂ Berbasis Internet of Things Studi Kasus TPST Bantar Gebang. *Jurnal JTIC (Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi)*, 8(2), 247–254.
- [6] Muliadi, M., Imran, A., & Rasul, M. (2020). Pengembangan tempat sampah pintar menggunakan ESP32. *Jurnal Media Elektrik*, 17(2), 73-79.
- [7] G. Romadhona and A. Mukholik, “Pemanfaatan Biogas Sebagai Sumber Alternatif Tenaga Listrik Di BBPTU HPT Baturraden,” vol. 21, no. 1, pp. 21–28, 2020.
- [8] T. Suryana, Implementasi Modul Sensor MQ2 Untuk Mendeteksi Adanya Polutan Gas di Udara, Universitas Komputer Indonesia, Bandung, 2021.
- [9] Manyi-Loh CE, Mamphweli SN, Meyer EL, Okoh AI, Makaka G, Simon M. Microbial anaerobic digestion (bio-digesters) as an approach to the decontamination of animal wastes in pollution control and the generation of renewable energy. *Int J Environ Res Public Health*. 2013 Sep 17;10(9):4390-417. doi: 10.3390/ijerph10094390. PMID: 24048207; PMCID: PMC3799523.
- [10] Sri Utami, 2019, Sistem Monitoring pH dan Volume Biogas Digester dua tahap menggunakan Mikrokontroler, *Jurnal ilmiah Teknik Konversi Politeknik Negeri Bandung*. Vol 7, No 3, Januari 2019 Halaman 126 – 137
- [11] A. Raksajati, T.P. Adhi, D. Ariono, “Pengaruh Tekanan Dan Tahap Kompresi Dalam Pemurnian Biogas Menjadi Biometana Dengan Absorpsi CO₂ Menggunakan Air Bertekanan”, *Indo. J. Chem. Res.*, 8(1), 1-5, 2020.
- [12] Sinta Sri Ramadania, 2017, Uji Kinerja Sistem Pemantauan Volume Biogas Berbasis Mikrokontroler Arduino Pada Biodigester Tipe Floating Drum. *Jurnal Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri Universitas Mataram*. Vol 5, No 2 Halaman 429 – 439