

UJI RESPONSIVITAS SISTEM KONTROL DAN MONITORING TEKANAN GAS PADA BIODIGESTER BERBASIS Iot

Oki Saputra*, Fakhrul Irfan Khalil, Ida Ayu Widhiantari, Mahesa Ayu Harani
Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri Universitas
Mataram

Jl. Majapahit No.62, Mataram, Nusa Tenggara Barat. 83115

*Corresponding Author Email: oki.saputra@unram.ac.id

ABSTRAK.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem kontrol serta monitoring tekanan gas pada biodigester berbasis Internet of Things (IoT) dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 S3 Lilygo T Display S3. Latar belakang penelitian ini adalah meningkatnya kebutuhan untuk memantau secara real-time kondisi operasional biodigester guna meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan produksi biogas sebagai sumber energi terbarukan. Metode yang digunakan meliputi perancangan sistem kontrol yang mengintegrasikan sensor tekanan gas dan sensor DHT22 untuk pemantauan suhu dan kelembapan. Pengujian dilakukan dengan mengukur waktu koneksi WiFi, waktu koneksi cloud, serta akurasi data yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini dapat merespons perubahan kondisi tekanan gas dengan cepat, dengan waktu koneksi WiFi dan cloud masing-masing berkisar antara 15 hingga 30 detik. Selain itu, sensor DHT22 memberikan data akurat untuk pemantauan suhu dan kelembapan. Kesimpulannya, sistem kontrol dan monitoring ini terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi produksi biogas dan mendukung keberlanjutan energi berbasis energi terbarukan.

Keyword: ESP32 S3, biodigester, kontrol dan monitoring, kualitas komunikasi data, Internet of Things, energi terbarukan.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan biogas sebagai sumber energi terbarukan semakin memperoleh perhatian luas sebagai upaya untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menurunkan emisi karbon (Alemayehu et al., 2024; Hansupalak et al., 2016; Mahdavi et al., 2023; Ullah Khan et al., 2017). Indonesia, dengan kekayaan biomassa yang melimpah, memiliki potensi besar dalam mengembangkan biogas sebagai sumber energi yang ramah lingkungan untuk kebutuhan skala rumah tangga maupun industri (Erdiwansyah et al., 2024). Dalam hal ini, biodigester berperan sebagai alat utama yang memproses limbah organik menjadi biogas melalui proses fermentasi anaerob. Namun, untuk mengoptimalkan produksi biogas, diperlukan pemantauan yang akurat dan berkelanjutan terhadap parameter operasional biodigester, terutama terkait tekanan gas dan kondisi lingkungan lainnya (Mapantsela et al., 2024; Zaydi et al., 2023).

Pemantauan manual pada biodigester sering kali kurang efektif karena keterbatasan tenaga dan waktu. Oleh karena itu, pemanfaatan sistem kontrol dan monitoring berbasis Internet of Things (IoT) memberikan pendekatan baru dalam mengatasi keterbatasan ini. Dengan teknologi IoT, data dari berbagai sensor dapat dikumpulkan dan dianalisis secara real-time, memungkinkan pemantauan jarak jauh yang lebih efisien dan akurat. Mikrokontroler ESP32 S3 Lilygo T Display S3 yang digunakan dalam penelitian ini memungkinkan integrasi berbagai sensor, seperti

sensor tekanan gas dan sensor DHT22 untuk suhu dan kelembapan, yang mendukung tercapainya data pemantauan yang komprehensif (Robinson et al., 2023).

Pemanfaatan sistem pemantauan berbasis IoT tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi biogas tetapi juga mendukung keberlanjutan energi terbarukan (Aworanti et al., 2023). Dengan pengelolaan yang lebih efektif, diharapkan produksi biogas dapat ditingkatkan, yang pada akhirnya akan mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca (Pera et al., 2024). Selain itu, pemantauan yang responsif memungkinkan deteksi dini terhadap potensi kegagalan operasional biodigester, yang dapat membantu meminimalkan risiko kebocoran dan menjaga stabilitas kinerja sistem (Abuan et al., 2024; Quijano et al., 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem kontrol dan monitoring tekanan gas pada biodigester berbasis IoT. Fokus utama dari penelitian ini adalah mengukur responsivitas sistem, dengan menguji waktu koneksi WiFi, waktu koneksi ke cloud, serta tingkat akurasi data yang dihasilkan. Pengujian dilakukan menggunakan model biodigester dengan tekanan udara dari kompresor untuk mensimulasikan kondisi operasi sesungguhnya. Melalui penelitian ini, diharapkan sistem IoT yang dikembangkan mampu memberikan kontribusi positif dalam meningkatkan kinerja operasional biodigester serta mendukung upaya keberlanjutan energi terbarukan di Indonesia (El-Khozondar et al., 2024; Nižetić et al., 2019; Patel et al., 2023; Quijano et al., 2021; Quintanilla-Mosquera et al., 2022; Rekeraho et al., 2024)

2. METODOLOGI

2.1 Bahan dan Alat

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

- a. *Hardware*: Mikrokontroller ESP32 S3 (Lilygo T Display S3), Sensor DHT22, *Pressure Gauge Analog*, Solenoid, Box casing, Baterai dan Laptop..
- b. *Software*: Fritzing, Arduino IDE, Arduino IoT Cloud dan Microsoft Office

2.2 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan Model Waterfall sebagai pendekatan untuk studi "Perancangan dan Pengembangan Sistem Kontrol dan Monitoring Tekanan Gas pada Biodigester Berbasis IoT". Model Waterfall diadopsi sebagai metode pengembangan yang terstruktur dan linier, dengan tujuan memastikan setiap tahap pengembangan sistem dapat dilakukan secara sistematis sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi yang telah ditetapkan (Senarath, 2021).

2.3 Teknik Analisis Data

Penelitian "Rancang Bangun dan Akuisisi Data Sistem Pemberian Nutrisi Otomatis Pada Hidroponik Vertical" menggunakan Analisis Statistik Deskriptif (Chiang, 2003), dengan tujuan untuk mendeskripsikan karakteristik dasar dari data (responsivitas sistem, ketepatan kontrol tekanan gas, dan hasil kalibrasi) yang diperoleh.

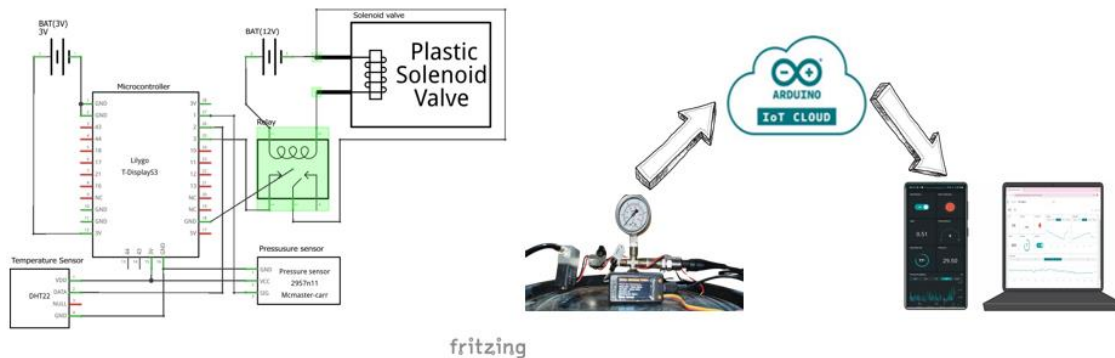
2.4 Parameter penelitian

Metode mencakup pengembangan perangkat lunak menggunakan web editor Arduino IoT Cloud untuk pemrograman dan pengiriman data sensor ke platform cloud. Fokus pengujian adalah pada tiga parameter utama:

- Waktu Koneksi WiFi: Mengukur waktu yang dibutuhkan untuk terhubung ke jaringan WiFi.

- Waktu Koneksi Cloud: Mengukur waktu yang diperlukan untuk mengirim data ke platform cloud.
- Akurasi Data (Latensi): Latensi adalah waktu yang dibutuhkan untuk data berpindah dari satu titik ke titik lain dalam jaringan.

2.5 Desain Sistem



Gambar 1 Desain Sistem Kontrol Dan Monitoring Tekanan Gas Pada Biodigester Berbasis IoT

Gambar 1 menunjukkan desain sistem kontrol dan monitoring tekanan gas pada biodigester yang berbasis IoT. Sistem ini dirancang untuk memantau dan mengendalikan tekanan gas secara real-time dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT). Komponen utama yang digunakan meliputi sensor tekanan untuk mendeteksi tingkat tekanan gas dalam biodigester, mikrokontroler sebagai unit pengolahan data, serta modul komunikasi yang terhubung ke platform IoT untuk memungkinkan pemantauan jarak jauh. Desain ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan operasional biodigester, memastikan tekanan gas tetap berada dalam batas yang optimal, serta memberikan kemudahan dalam proses monitoring dan kontrol melalui *smartphone* atau laptop.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 Hasil Uji Responsivitas Sistem

Waktu	Waktu Koneksi WiFi (s)	Waktu Koneksi Cloud (s)	Kualitas Sinyal (RSSI)	Latensi (ms)	Status WiFi	Status Cloud
15:52:40	15.21	16.93	-77 dBm	379	Connected	Connected
15:54:19	15.17	16.89	-77 dBm	415	Connected	Connected
15:55:43	24.69	26.41	-77 dBm	416	Connected	Connected
15:58:14	15.46	17.18	-79 dBm	3	Connected	Connected
16:00:09	15.07	16.79	-80 dBm	3	Connected	Connected
16:01:29	27.11	28.83	-80 dBm	3	Connected	Connected
16:02:54	15.20	16.92	-78 dBm	0	Connected	Connected
16:03:46	28.10	29.82	-80 dBm	1	Connected	Connected
16:05:07	15.15	16.87	-81 dBm	415	Connected	Connected
16:06:33	15.21	16.93	-80 dBm	6	Connected	Connected

Analisis Waktu Koneksi WiFi

Waktu koneksi WiFi bervariasi dari 15.07 detik hingga 28.10 detik. Untuk menghitung rata-rata waktu koneksi $\bar{X}_{WiFi}$ dan deviasi standar σ_{cloud} , digunakan rumus berikut:

$$\bar{x}_{WiFi} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$
$$\sigma_{WiFi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_{WiFi})^2}{n-1}}$$

Di mana:

- X_i adalah waktu koneksi WiFi untuk setiap pengukuran.
- n adalah jumlah pengukuran (10).

Setelah melakukan perhitungan, diperoleh:

$$\bar{X}_{WiFi} \approx 18,63s$$

$$\sigma_{WiFi} \approx 5.58s$$

Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun ada fluktuasi, sistem dapat terkoneksi dengan baik dalam waktu yang wajar, dan deviasi standar yang relatif rendah menunjukkan konsistensi dalam performa koneksi.

Analisis Waktu Koneksi Cloud

Waktu koneksi cloud berkisar antara 16.79 detik hingga 29.82 detik. Rata-rata waktu koneksi cloud ($\bar{X}_{cloud}$) dan deviasi standar (σ_{cloud}) dihitung dengan cara yang sama:

$$\bar{X}_{cloud} \approx 20.35s$$

$$\sigma_{cloud} \approx 5.58s$$

Peningkatan waktu koneksi cloud pada beberapa pengukuran menunjukkan bahwa latensi dalam mengirim data ke server cloud dapat dipengaruhi oleh kondisi jaringan dan beban data.

Analisis Latensi

Latensi bervariasi dari 0 ms hingga 416 ms. Rata-rata latensi ($\bar{L}$) dihitung dengan rumus yang sama:

$$\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n}$$

Setelah perhitungan, diperoleh:

$$\bar{L} \approx 164.1 \text{ ms}$$

Dengan deviasi standar latensi (σ_L):

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n-1}} \approx 208.67 \text{ ms}$$

Latensi yang lebih tinggi pada beberapa pengukuran menunjukkan delay yang signifikan, dan analisis lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab utama. Latensi yang rendah (0-3 ms) menunjukkan bahwa dalam kondisi optimal, sistem dapat mengirim dan menerima data dengan cepat.

Kualitas Sinyal

Kualitas sinyal (RSSI) menunjukkan kisaran antara -77 dBm hingga -81 dBm. Meskipun dalam batas toleransi, kualitas sinyal yang lebih rendah dapat mempengaruhi kecepatan koneksi dan latensi. Hasil ini menunjukkan bahwa ada hubungan antara kekuatan sinyal dan performa sistem secara keseluruhan.

Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol dan monitoring berbasis IoT yang dikembangkan efektif dalam memantau biodigester. Rata-rata waktu koneksi WiFi dan cloud serta latensi menunjukkan bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik. Namun, penting untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang dapat menyebabkan fluktuasi pada waktu koneksi dan latensi.

Pengembangan lebih lanjut dari sistem ini dapat meliputi optimasi jaringan, penempatan perangkat untuk meningkatkan kualitas sinyal, dan pengujian di lingkungan yang berbeda untuk meningkatkan keandalan sistem. Hasil ini menegaskan pentingnya pemantauan kualitas komunikasi data dalam pengembangan sistem kontrol yang efektif untuk biodigester berbasis IoT.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem kontrol dan monitoring tekanan gas pada biodigester berbasis IoT yang menggunakan ESP32 S3 Lilygo T Display S3 mampu berfungsi dengan baik, dengan waktu koneksi rata-rata ke WiFi dan cloud masing-masing sebesar 18.64 dan 20.36 detik serta latensi rata-rata 164.1 ms. Meskipun sistem memiliki konektivitas yang stabil, variasi dalam waktu koneksi dan latensi menunjukkan perlunya optimalisasi sinyal untuk kinerja lebih baik.

Untuk meningkatkan efisiensi sistem, disarankan penempatan perangkat di area dengan sinyal lebih kuat, penerapan enkripsi untuk keamanan data, dan pengujian lebih lanjut di kondisi lingkungan yang beragam.

5. DAFTAR REFERENSI

1. Abuan, C. M., Fajardo, S. L. J., Motilla, N. M., Nuevo, L. M. B., Orjalesa, J. L., Solver, E. L., & Tuiza, J. C. O. (2024). Development of Bio-Conversion Device of Market Wastes into Methane Gas with Solar-Powered Monitoring System using Microcontroller at Tanauan City, Batangas. *2024 5th Technology Innovation Management and Engineering Science International Conference (TIMES-ICON)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/TIMES-ICON61890.2024.10630729>
2. Alemayehu, A., Kelemu, S., Derib, G., & Amente, B. (2024). Sustainability of biogas technology adoption in Ethiopia. *Next Research*, 1(2), 100037. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nexres.2024.100037>
3. Aworanti, O. A., Ajani, A. O., Agbede, O. O., Agarry, S. E., Ogunkunle, O., Laseinde, O. T., Kalam, M. A., & Fattah, I. M. R. (2023). Enhancing and upgrading biogas and biomethane production in anaerobic digestion: a comprehensive review. In *Frontiers in Energy Research* (Vol. 11). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1170133>
4. Chiang, C. L. (2003). *Statistical Methods of Analysis*. WORLD SCIENTIFIC. <https://doi.org/doi:10.1142/5224>
5. El-Khozondar, H. J., Mtair, S. Y., Qoffa, K. O., Qasem, O. I., Munyarawi, A. H., Nassar, Y. F., Bayoumi, E. H. E., & Halim, A. A. E. B. A. El. (2024). A smart energy monitoring system using

- ESP32 microcontroller. *E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100666>
6. Erdiwansyah, Gani, A., Mamat, R., Bahagia, Nizar, M., Yana, S., Mat Yasin, M. H., Muhibbuddin, & Rosdi, S. M. (2024). Prospects for renewable energy sources from biomass waste in Indonesia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100880>
 7. Hansupalak, N., Piromkraipak, P., Tamthirat, P., Manitsorasak, A., Sriroth, K., & Tran, T. (2016). Biogas reduces the carbon footprint of cassava starch: a comparative assessment with fuel oil. *Journal of Cleaner Production*, 134(Part B), 539–546. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.138>
 8. Mahdavi, M., Awaifo, A., Jurado, F., Vera, D., & Verdú Ramos, R. A. (2023). Wind, solar and biogas power generation in water-stressed areas of Morocco considering water and biomass availability constraints and carbon emission limits. *Energy*, 282. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128756>
 9. Mapantsela, Y., Mukumba, P., Obileke, K., & Lethole, N. (2024). Portable Biogas Digester: A Review. *Gases*, 4(3), 205–223. <https://doi.org/10.3390/gases4030012>
 10. Nižetić, S., Djilali, N., Papadopoulos, A., & Rodrigues, J. J. P. C. (2019). Smart technologies for promotion of energy efficiency, utilization of sustainable resources and waste management. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 231, pp. 565–591). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.397>
 11. Patel, K., Mistry, C., Gupta, R., Tanwar, S., & Kumar, N. (2023). A systematic review on performance evaluation metric selection method for IoT-based applications. *Microprocessors and Microsystems*, 101. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2023.104894>
 12. Pera, L., Gandiglio, M., Marocco, P., Pumiglia, D., & Santarelli, M. (2024). Trace contaminants in biogas: Biomass sources, variability and implications for technology applications. In *Journal of Environmental Chemical Engineering* (Vol. 12, Issue 6). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.114478>
 13. Quijano, S. A. C., Misajel, J. P. A., Esteban, D. M. C., Cabana, R. B. Q., & Grados, R. A. M. (2021). Design of an Automatic System of an Accelerated Biogas Biodigester for Rural Areas in Peru. *2021 IEEE 7th International Conference on Control Science and Systems Engineering (ICCSE)*, 149–152. <https://doi.org/10.1109/ICCSE52761.2021.9545172>
 14. Quintanilla-Mosquera, I. L., Ortiz-Zacarias, J. R., Carpio-Ramirez, S. I. Del, Rosales-Fierro, J. E., Valenzuela-Lino, Y. S., Coaquira-Rojo, C., & Moggiano, N. (2022). Design of an automated manure collection system for the production of biogas through biodigesters. *2022 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IEMTRONICS55184.2022.9795763>
 15. Rekeraho, A., Cotfas, D. T., Cotfas, P. A., Tuyishime, E., Balan, T. C., & Acheampong, R. (2024). Enhancing Security for IoT-Based Smart Renewable Energy Remote Monitoring Systems. *Electronics (Switzerland)*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/electronics13040756>
 16. Robinson, B. L., Clifford, M. J., & Selby, G. (2023). Towards fair, just and equitable energy ecosystems through smart monitoring of household-scale biogas plants in Kenya. *Energy Research and Social Science*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103007>
 17. Senarath, U. S. (2021). *Waterfall Methodology, Prototyping and Agile Development*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17918.72001>
 18. Ullah Khan, I., Hafiz Dzarfan Othman, M., Hashim, H., Matsuura, T., Ismail, A. F., Rezaei-DashtArzhandi, M., & Wan Azelee, I. (2017). Biogas as a renewable energy fuel – A review of biogas upgrading, utilisation and storage. In *Energy Conversion and Management* (Vol. 150, pp. 277–294). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.08.035>
 19. Zaydi, H., Zaydi, M., & Bakoury, Z. (2023). Chapter 1 - AI and IoT working for healthcare: general aspects and application examples. In Y. Maleh, A. A. A. El-Latif, K. Curran, P. Siarry, N. Dey, A. Ashour, & S. J. Fong (Eds.), *Computational Intelligence for Medical Internet of Things (MIoT) Applications* (Vol. 14, pp. 3–32). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99421-7.00018-0>