

Sistem Pengolahan Limbah Tahu Menjadi Biogas Dengan IoT

Studi Kasus Pabrik Tahu Pak Budi

Benni Agung Nugroho¹, Arya Fither Satria Utama², Kunti Eliyen³, Toga Aldila Cinderatama⁴

^{1,2,3}Manajemen Informatika, Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Malang

E-mail: *¹benni.agung@polinema.ac.id, ²aryafither@gmail.com, ³kunti.eliyen@polinema.ac.id,

⁴toga.aldila@polinema.ac.id

Abstrak – Pabrik tahu pak Budi menjadi ikon di desa Pandansari dan termasuk industri Tahu yang cukup besar di Kecamatan Purwoasri. Namun sayangnya pengolahan limbah cair dalam industri tahu pak Budi masih belum maksimal. Limbah hasil produksi selama ini masih di buang ke aliran irigasi persawahan di sekitar tempat industri, yang mana hal ini membuat masyarakat di sekitar tempat industri merasa tidak nyaman akan aroma dari limbah hasil produksi. Gas metana yang terkandung di dalam limbah cair juga cukup berbahaya dan pembuangan limbah secara langsung tanpa di proses terlebih dahulu dapat membahayakan masyarakat yang bertempat tinggal di sekitar area industri tahu milik pak Budi. Sistem Pengolahan Limbah Tahu Menjadi Biogas Menggunakan IoT Studi Kasus Pabrik Tahu Pak Budi yang dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor suhu, sensor pH dan sensor gas MQ4. Implementasi pengkodean menggunakan Micropython serta penyimpanan data monitoring dalam database Firebase diharapkan bisa membantu pemilik untuk mengolah dan menjalankan fungsi penyalan pompa secara otomatis maupun manual hanya melalui aplikasi mobile berbasis android.

Kata Kunci — Sistem Pengolahan, Internet of Things (IoT), Kontrol Pompa Otomatis, Pabrik Tahu, dan Biogas.

1. PENDAHULUAN

Industri tahu di Indonesia menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar setiap harinya. Apabila tidak dikelola dengan baik, limbah cair tersebut berpotensi mencemari lingkungan, khususnya perairan dan tanah di sekitar area produksi. Salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan mengolah limbah cair tahu menjadi biogas. Biogas merupakan energi alternatif terbarukan yang dihasilkan melalui proses fermentasi anaerob bahan organik oleh mikroorganisme. Pemanfaatan limbah tahu menjadi biogas tidak hanya mampu menekan dampak pencemaran lingkungan, tetapi juga menghasilkan sumber energi yang dapat dimanfaatkan kembali untuk kebutuhan rumah tangga maupun industri skala kecil.

Keberhasilan proses fermentasi biogas sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter penting, antara lain suhu, kelembapan, tekanan, pH, serta kadar gas metana. Parameter-parameter tersebut harus dijaga dalam kondisi optimal agar mikroorganisme dapat bekerja secara efektif menghasilkan gas metana. Apabila parameter fermentasi tidak terpantau dan dikendalikan dengan baik, proses produksi biogas dapat terhambat bahkan gagal menghasilkan gas dalam jumlah optimal [1]. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu melakukan pemantauan kondisi fermentasi secara kontinu dan akurat.

Perkembangan teknologi di era globalisasi, khususnya pada bidang mikrokontroler dan sensor, telah membawa perubahan signifikan dalam sistem otomasi dan monitoring [2]. Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah Internet of Things (IoT), yang memberikan peluang besar dalam mengotomatisasi sistem pengolahan limbah menjadi biogas [3]. Dengan integrasi IoT, proses fermentasi dapat dipantau secara real-time melalui sensor yang terhubung ke jaringan internet. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirimkan ke server atau aplikasi, sehingga pengguna dapat memantau dan mengontrol sistem dari jarak jauh secara lebih efisien.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji penerapan sistem monitoring pada proses fermentasi limbah organik untuk produksi biogas. Penelitian [4] bertujuan memantau proses fermentasi melalui pengukuran suhu dan kelembapan guna menjaga optimalisasi produksi gas metana. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa monitoring berbasis digital mampu menyediakan data yang lebih presisi dalam mendukung keberlangsungan proses fermentasi.

Penelitian lain [5] memanfaatkan limbah tahu sebagai bahan baku produksi biogas, namun sistem yang dikembangkan belum mengintegrasikan teknologi berbasis IoT. Meskipun demikian, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pemanfaatan limbah tahu sebagai sumber energi terbarukan yang berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut dengan sistem monitoring modern. Sementara itu, penelitian [6] telah menerapkan teknologi IoT untuk memantau parameter lingkungan seperti suhu dan kelembapan pada proses fermentasi limbah organik, yang menunjukkan adanya hubungan antara kondisi lingkungan dan efisiensi produksi biogas.

Perkembangan lebih lanjut ditunjukkan oleh penelitian yang mengintegrasikan IoT secara langsung pada sistem biodigester. Sistem monitoring biodigester berbasis IoT memungkinkan pemantauan parameter fermentasi seperti suhu, kelembapan, tekanan, dan gas metana secara real-time melalui platform terkomputerisasi, sehingga pengguna dapat mengawasi kondisi biodigester secara berkelanjutan dari jarak jauh [7]. Sistem ini umumnya memanfaatkan mikrokontroler sebagai pusat pengolahan data yang terhubung dengan berbagai sensor, di mana data hasil pembacaan sensor dikirimkan ke server atau cloud untuk mendukung proses pemantauan dan evaluasi kinerja sistem biogas [8].

Selain itu, beberapa penelitian mengembangkan sistem monitoring produksi biogas dengan memanfaatkan mikrokontroler dan modul komunikasi seperti GSM untuk mendukung pengiriman data secara real-time. Pendekatan ini memungkinkan sistem monitoring diterapkan pada lokasi dengan keterbatasan infrastruktur jaringan internet lokal [9]. Penelitian lainnya juga mengembangkan prototipe digester yang dilengkapi dengan sensor pendeteksi gas metana berbasis IoT. Sensor tersebut berfungsi untuk memantau kadar gas metana yang dihasilkan selama proses fermentasi, sehingga potensi kebocoran atau kondisi abnormal pada biodigester dapat terdeteksi lebih dini dan meningkatkan keamanan sistem [10].

Berdasarkan hasil kajian dari berbagai penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa penerapan Internet of Things (IoT) pada sistem biodigester terbukti mampu meningkatkan efektivitas monitoring proses produksi biogas. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada fungsi pemantauan parameter tanpa mengintegrasikan sistem pengendalian otomatis serta penerapan langsung pada industri tahu skala rumah tangga. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem pengolahan limbah tahu menjadi biogas berbasis IoT yang mengintegrasikan fungsi monitoring dan kontrol secara optimal guna meningkatkan efisiensi dan kemudahan pengelolaan sistem.

2. METODE PENELITIAN

1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan metode perancangan dan implementasi sistem pengolahan limbah tahu menjadi biogas berbasis Internet of Things (IoT). Sistem dirancang untuk memantau dan mengendalikan proses fermentasi secara real-time menggunakan sensor dan mikrokontroler.

2. Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem terdiri dari sensor suhu DS18B20, sensor tekanan MPX5700, sensor pH, dan sensor gas metana MQ-4 yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Data sensor diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke Firebase Realtime Database melalui jaringan internet untuk ditampilkan pada aplikasi Android secara real-time.

3. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam sistem ini meliputi mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor DS18B20 untuk pengukuran suhu, sensor MQ-4 untuk pendeteksian gas metana, sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman limbah, serta sensor MPX5700 untuk mengukur tekanan gas. Sistem juga dilengkapi dengan relay untuk mengendalikan pompa dan katup solenoid.

4. Perangkat Lunak

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Micropython pada ESP32. Data hasil pembacaan sensor disimpan pada Firebase Realtime Database dan ditampilkan melalui aplikasi Android yang berfungsi sebagai antarmuka monitoring dan kontrol sistem.

5. Alur Kerja Sistem

Alur kerja sistem dimulai dari pembacaan data sensor suhu, tekanan, pH, dan gas metana. Data tersebut kemudian diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke Firebase. Berdasarkan nilai parameter yang terbaca, sistem dapat melakukan pengendalian pompa dan katup solenoid secara otomatis atau manual melalui aplikasi Android.

6. Metode Pengujian Sistem

Metode pengujian yang digunakan adalah Black Box Testing untuk memastikan setiap fungsi sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan pengguna. Selain itu, dilakukan User Acceptance Test (UAT) oleh pemilik industri tahu untuk menilai kemudahan penggunaan dan keandalan sistem. Pengujian kinerja sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat ukur standar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Selanjutnya memasuki tahap pengujian. Metode yang digunakan untuk pengujian adalah metode *Black Box Testing*, dimana hasil pengujian didapatkan dari proses observasi terhadap sistem. Pengujian dilakukan secara langsung oleh mitra tempat produksi tahu Pak Budi pada prototype yang telah dibuat sebelumnya.

Uji fungsionalitas dilakukan menggunakan metode *User Acceptance Test* (UAT) dengan penguji yang sekaligus merupakan salah satu anggota keluarga pemilik tempat produksi. Pengujian ini menggunakan *Black Box Testing* dikarenakan penguji tidak perlu mengetahui secara teknis mengenai system yang diuji.

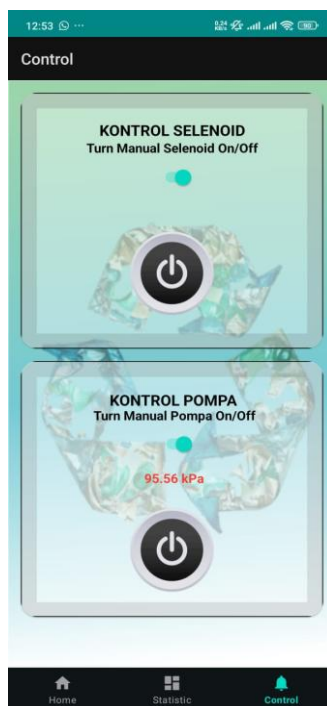
Pengujian fungsi kontrol selenoid dan pompa merupakan langkah untuk memastikan fungsi kontrol berjalan dengan baik, mulai dari kontrol manual hingga kontrol otomatis. Kontrol manual atau otomatis dapat dipilih melalui aplikasi android sesuai kebutuhan atau keinginan pengguna. Pengujian dilakukan oleh pemilik industri tahu yang dalam kesehariannya memproduksi tahu.

Selanjutnya tahap pengujian kontrol manual dilakukan dengan mengontrol selenoid dan pompa secara manual melalui aplikasi android. Pengujian fokus pada kesesuaian fungsi kontrol dan status selenoid serta pompa pada aplikasi dan keadaan sebenarnya. Pengujian dimulai dengan mengubah kontrol selenoid dan pompa menjadi manual. Tampilan aplikasi disajikan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Antarmuka Halaman Kontrol

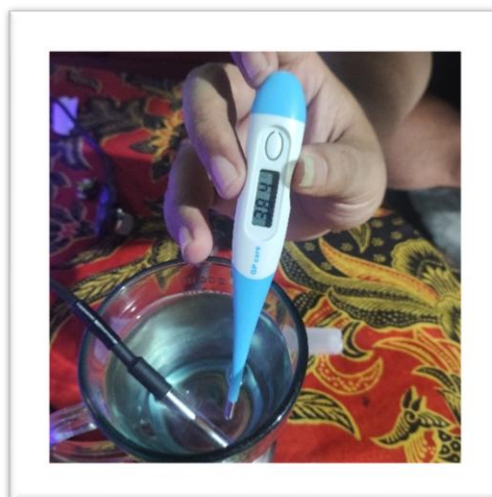
Selanjutnya uji kontrol otomatis adalah uji coba penyalan selenoid dan pompa secara otomatis berdasarkan tekanan dan CH₄. Pengujian dilakukan menggunakan beberapa kondisi sebagai percobaan. Percobaan pertama dilakukan dengan menyalakan kontrol otomatis pada aplikasi dan mencoba menambah tekanan dan kadar gas CH₄. Tampilan uji control otomatis tersaji pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan Uji Kontrol Otomatis

Selanjutnya masuk ke tahap Uji Kinerja merupakan pengujian terhadap kinerja alat yang digunakan pada sistem ini. Pengujian dilakukan terhadap sensor-sensor yang mendukung kinerja dari sistem pengolahan ini. Fungsi dari pengujian ini adalah memastikan alat yang digunakan bekerja dengan baik sehingga saat diimplementasikan ke dalam sistem tidak terjadi galat atau ketidakakuratan data.

Pertama, terdapat uji kinerja sensor DS18B20 adalah pengujian untuk melihat apakah sensor DS18B20 bekerja dengan baik dan apakah nilai yang dihasilkan akurat dengan suhu sebenarnya seperti yang ditampilkan pada Gambar 3. Pengujian ini dilakukan menggunakan air dengan berbagai kemungkinan suhu, mulai air dingin hingga hangat dengan pembandingan nilai menggunakan *thermometer*.



Gambar 3. Uji Kinerja Secara Manual

Kedua, terdapat pengujian sensor MQ4 dilakukan untuk melihat apakah sensor ini dapat bekerja sesuai yang diharapkan atau tidak. Pengujian dilakukan dengan menyemprotkan gas metana ke dalam tabung fermentasi dengan beberapa dosis tertentu. Penyemprotan metana dilakukan secara langsung ke dalam tabung fermentasi yang sudah terpasang sensor MQ4. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian

Pengujian Sensor Gas Metana		
Metana	Value Sensor MQ4 (ppm)	Rata-rata (ppm)
Udara Bersih	0,60	0,605
	0,59	
	0,62	
	0,61	
1 Semprotan	2417,79	2414,99
	2422,54	
	2420,99	
	2398,67	
2 Semprotan	2985,32	3022,64
	3016,56	
	3034,45	
	3009,75	

Selanjutnya ada pengujian sensor pH dilakukan untuk melihat apakah sensor ini dapat bekerja dengan baik untuk melihat keasaman atau pH dari limbah. Pengujian ini di lakukan dengan menyelupkan sensor pH ke dalam beberapa cairan dengan nilai pH yang berbeda, yaitu air aki, air mineral, dan air minuman jeruk. Proses pengujian sensor pH disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Antarmuka Pengujian Sensor pH

Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah sensor MPX5700 dapat bekerja dengan baik. Pengujian sensor MPX5700 dilakukan dengan memberikan tekanan gas ke dalam sensor. Pemberian tekanan dilakukan menggunakan pompa dengan *pressure gauge* untuk membandingkan dengan nilai dari sensor seperti pada Gambar 5.



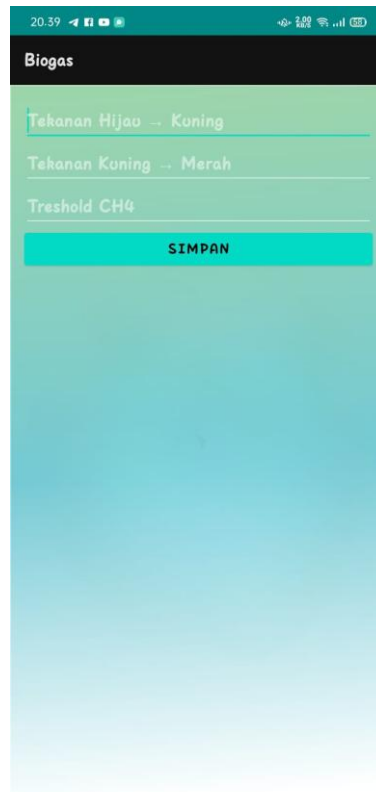
Gambar 5. Proses Pengujian Sensor MPX5700

Hasil pengujian sensor MPX5700 disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujia sensor MPX5700

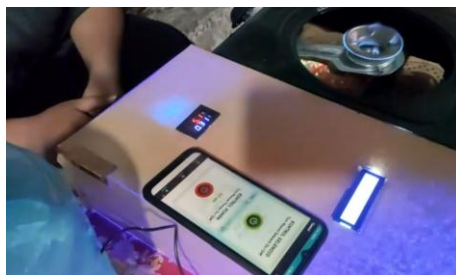
Pengujian Sensor Gas Metana			
Tekanan Pompa (kPa)	Nilai Sensor (kPa)	Akurasi Absolut	Akurasi Relatif (%)
100	97,56	2,44	2,44
135	130,63	4,37	3,24
200	195,90	4,10	2,05
300	289,49	10,51	3,50
Rata-rata		5,355	2,80

Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah threshold dapat berfungsi dengan baik untuk otomatisasi. Pengujian ini dilakukan dengan cara memasukan jumlah threshold ke dalam menu di aplikasi android dan juga menyalakan opsi kendali pompa secara otomatis. Proses pengujian disajikan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Antarmuka Input Jumlah Threshold

Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah sistem pengolahan berhasil menghasilkan gas yang dapat membakar. Pengujian dilakukan dengan membuka solenoid untuk mengeluarkan gas dari tabung penampungan gas pada tekanan threshold maksimal 300 dengan minus 100. Proses pengujian disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengujian Berdasarkan Threshold

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring dan pengolahan limbah tahu menjadi biogas berbasis **Internet of Things (IoT)** dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem pengolahan limbah tahu menjadi biogas dengan menggunakan iot telah berhasil dirancang juga mampu membaca dan mengirim data parameter penting seperti **suhu (DS18B20)**, **tekanan (MPX5700AP)**, **pH**, dan **gas metana (MQ-4)** secara **real-time**.
2. Sistem ini mampu melakukan **pengendalian otomatis dan manual** terhadap perangkat seperti **pompa dan katup solenoid**, melalui **relay** yang dikendalikan oleh **mikrokontroler ESP32**, sesuai kondisi yang dibaca oleh sensor maupun berdasarkan perintah dari pengguna melalui aplikasi Android.
3. Telah dikembangkan pula **antarmuka monitoring** menggunakan **LCD dan aplikasi Android**, serta sistem ini telah berhasil **mengirim dan menyimpan data** ke **Firestore Realtime Database** secara berkala, baik untuk data real-time, mingguan, maupun bulanan.
4. Sistem berjalan dengan cukup baik, meskipun masih terdapat beberapa tantangan teknis seperti **kalibrasi sensor gas metana** yang membutuhkan ketelitian tinggi, serta **delay respons** ketika koneksi internet atau

beban mikrokontroler sedang tinggi. Namun secara keseluruhan, sistem ini telah mendukung **pemantauan proses fermentasi biogas** secara efisien dan dapat menjadi solusi yang ramah lingkungan untuk pengolahan limbah tahu.

Beberapa kendala yang dialami penulis adalah adanya penundaan dalam pengiriman data dan eksekusi perintah kontrol perangkat. Penundaan ini berasal dari keterbatasan kapasitas RAM (Random Access Memory) ESP32 yang hanya sebesar 520 KB, sehingga saat banyak proses berjalan bersamaan, waktu respons menjadi lebih lama. Kendala lainnya adalah kalibrasi sensor metana yang cukup rumit dan pembacaan sensor suhu yang sensitif terhadap gangguan daya, meskipun rata-rata tingkat keakuratannya tetap berada pada kisaran 98,08% hingga 99,09%.

5. SARAN

Untuk penelitian lebih lanjut, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan mekanisme kalibrasi otomatis sensor gas metana dan sensor pH guna meningkatkan akurasi pembacaan data dalam jangka panjang. Selanjutnya, optimasi pada sisi perangkat keras, khususnya manajemen memori dan proses pada mikrokontroler ESP32, perlu dilakukan untuk mengurangi keterlambatan pengiriman data dan respons kontrol ketika sistem berjalan secara bersamaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. R. Pansari, S. R. Patil, and M. S. Khan, "Development of IoT based Monitoring of Biogas Plant," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 11, no. 8, pp. 1326–1333, 2020.
- [2] A. P. Aryaputra, M. F. Shodiq, P. D. A. D. S, and J. Sulaksono, "Perancangan Sistem Pendeteksi Isi Tempat Sampah Berbasis IoT Menggunakan Sensor Ultrasonik HC SR04," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Sains*, vol. 4, pp. 44–48, 2025.
- [3] P. D. W. Michael, Meta Kallista, "Sistem Integrasi dan Implementasi Alat Produksi Biogas Berbasis Internet of Things (IoT)," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 11, no. 6, pp. 6748–6752, 2024.
- [4] F. Oktafiani, A. Mukminin, I. Darmiyati, S. K. Wijaya, A. Mutaqim, and F. Bagus, "Rancang Bangun Sistem Monitoring IoT pada Biodigester Limbah Industri Tahu di Sumber Balikpapan," *JTE UNIBA*, vol. 10, no. 1, pp. 657–664, 2025.
- [5] C. Sumarno, Achmad Buchori, "Diseminasi Teknologi Pemanfaatan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas untuk Skala Industri Rumah Tangga Desa Adiwerna," *Comvice Journal of Community Service*, vol. 5, no. 2, pp. 65–70, 2022.
- [6] B. I. Maulana, A. Suryamiharja, P. C. Wisesa, R. Munadi, and S. Sussi, "JURNAL RESTI Utilization of Household Organic Waste into Biogas and Integrated with IoT," *Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi*, vol. 5, no. 158, pp. 5–7, 2026.
- [7] F. Paulo *et al.*, "Monitoring of Biodigesters Through A Computerized System Integrated to IoT Platform," *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, vol. 6495, no. 2, pp. 270–278, 2022.
- [8] H. E. Prasetya, I. D. Sari, R. Amalia, A. Fawaidz, and B. Azisa, "Smart Biogas Plant Monitoring System Using Internet of Things (IoT) Technology," *International Conference on Applied Science and Technology on Engineering Science*, pp. 915–920, 2023.
- [9] M. Junus, A. D. Rahman, and R. F. Shodiq, "Micro-Controller Based Biogas Production Monitoring System," *Indonesian Journal of Electrical Electronics Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 69–75, 2025.
- [10] M. Zhaky and E. Supriadi, "Prototype Digester Berpengaduk dan Sensor Pendeteksi Gas methane Berbasis IoT," *Jurnal Sains dan Teknologi*, 2024.