RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN DETEKSI KEBOCORAN BIOGAS DIGESTER BERBASIS IOT

Ahmad Zamzam[*1], Yanuar Guntur[*2] , Isac Ilham[*3]

[1] Program Studi Teknik Elektronika Kampus Kediri, Politeknik Negeri Malang, Indonesia
Email: [1]ahmadzamzamalfirdausi@gmail.com, [2]guntur.astono@email.ac.id, [3]isac.ilham@email.ac.id

Nomor Handphone 081336750612

Abstrak

Pemantauan kondisi biodigester pada mitra di Desa Ngadiluwih masih dilakukan secara manual sehingga informasi suhu, kelembapan, tekanan, dan indikasi kebocoran gas tidak dapat diperoleh secara real-time. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem monitoring serta deteksi kebocoran biogas digester berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pemantauan, pencatatan, dan peringatan secara otomatis. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali, BME280 untuk pengukuran suhu, kelembapan, dan tekanan, MQ-4 untuk pemantauan konsentrasi metana, LCD 20×4 untuk monitoring lokal, serta relay, valve, buzzer, dan LED sebagai perangkat pengaman. Data dikirim melalui Wi-Fi ke Google Spreadsheet dan aplikasi monitoring berbasis Flutter dengan Firebase sebagai basis data. Metode penelitian menggunakan Research and Development (R&D), meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, kalibrasi sensor, pengujian sistem, pengambilan data, serta analisis hasil. Pengujian menunjukkan akurasi rata-rata BME280 sebesar 97,51% untuk suhu dan 97,98% untuk kelembapan. Pengujian tekanan setelah koreksi offset menunjukkan sensor mampu membaca perubahan tekanan, dengan hasil monitoring biogas berada pada rentang 0–0,3 psi. Sensor MQ-4 hasil kalibrasi memberikan pembacaan yang mendekati data referensi dan mampu memantau perubahan konsentrasi metana secara real-time. Sistem juga berhasil memberikan peringatan kebocoran dan mengendalikan valve berdasarkan kondisi tekanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat meningkatkan kemudahan, efektivitas, dan keamanan pemantauan biodigester.

Kata kunci: Biogas Digester, Deteksi Kebocoran Gas, ESP32, Internet of Things, Monitoring Real-Time

Abstract

Monitoring the condition of the biodigester at the research partner in Ngadiluwih Village was still carried out manually, making real-time information on temperature, humidity, pressure, and gas leakage difficult to obtain. This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based monitoring and leakage detection system for a biogas digester that can perform monitoring, data logging, and automatic warning functions. The system uses an ESP32 as the main controller, a BME280 for temperature, humidity, and pressure measurement, an MQ-4 for methane concentration monitoring, and a 20×4 LCD for local monitoring. Relay, valve, buzzer, and LED devices are used as safety components. Measurement data are transmitted through Wi-Fi to Google Spreadsheet and a Flutter-based monitoring application, with Firebase used as the cloud database. The research applies a Research and Development (R&D) method consisting of hardware and software design, sensor calibration, system testing, data acquisition, and result analysis. The tests showed average BME280 accuracies of 97.51% for temperature and 97.98% for humidity. After offset correction, the pressure sensor was able to detect pressure changes, while biogas monitoring produced values in the range of 0–0.3 psi. The calibrated MQ-4 produced readings close to the reference data and was able to monitor methane concentration changes in real time. The system also successfully activated leakage warnings and controlled the valve according to pressure conditions. These results indicate that the developed system can improve the convenience, effectiveness, and safety of biodigester monitoring.

Keywords: *Biogas Digester, ESP32, Gas Leak Detection, Internet of Things, Real-Time Monitoring*

This work is an open access article and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

1. PENDAHULUAN

Biogas merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dihasilkan melalui fermentasi anaerobik bahan organik, seperti limbah pertanian dan kotoran hewan. Gas yang dihasilkan terutama tersusun atas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar rumah tangga maupun sumber energi skala kecil [1], [2]. Pemanfaatan limbah ternak sebagai bahan baku biogas juga memberikan manfaat lingkungan karena mengurangi penumpukan limbah dan menghasilkan produk samping yang masih dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik [3].

Jawa Timur memiliki potensi peternakan yang besar. Data yang digunakan dalam penelitian menunjukkan populasi sapi yang tinggi dan adanya aktivitas peternakan di Desa Ngadiluwih, Kabupaten Kediri. Pada lokasi penelitian, mitra memelihara dua ekor sapi yang menghasilkan sekitar 15–20 kg kotoran per hari untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi biogas. Program pemerintah daerah juga mendorong pemanfaatan limbah kotoran sapi menjadi produk bernilai tambah, termasuk pupuk organik dan biogas [4], [5].

Permasalahan utama pada lokasi penelitian adalah pemantauan kondisi digester yang masih dilakukan secara konvensional. Pengecekan suhu dan tekanan dilakukan secara langsung, sedangkan instalasi belum dilengkapi sistem pendeteksi kebocoran yang dapat memberikan peringatan secara cepat. Kondisi tersebut dapat meningkatkan risiko keterlambatan penanganan ketika terjadi kenaikan tekanan atau kebocoran metana. Penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa sensor MQ-4 dapat digunakan untuk memantau metana dan BME280 dapat digunakan untuk memantau parameter lingkungan pada sistem biodigester berbasis IoT [6]–[10].

Penelitian lain mengembangkan perangkat IoT untuk memantau emisi gas, tekanan, suhu, dan aliran pada reaktor anaerobik serta menggunakan valve otomatis untuk menjaga tekanan [11], [12]. Sistem monitoring dan kontrol pada biodigester skala pilot juga menunjukkan bahwa pemantauan real-time dapat membantu meningkatkan kestabilan proses dan keamanan operasional [13]. Pemantauan jarak jauh pada biodigester rumah tangga bahkan dapat digunakan untuk melihat pola penggunaan dan mendeteksi anomali secara lebih dini [14]. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring suhu, kelembapan, tekanan, keberadaan gas, serta kebocoran gas pada biodigester di Desa Ngadiluwih dengan dukungan IoT.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Jenis dan Tahapan Penelitian

Penelitian menggunakan metode Research and Development (R&D). Metode ini dipilih karena penelitian berfokus pada pengembangan produk berupa sistem monitoring biodigester, mulai dari perancangan hingga pengujian prototipe. Tahapan penelitian meliputi observasi, studi literatur, identifikasi masalah, pengadaan alat dan bahan, desain sistem, pengujian sensor, kalibrasi, pembuatan alat, pengujian menyeluruh, pengambilan data, analisis data, serta penyusunan laporan dan artikel ilmiah. Tahapan tersebut disusun agar sistem yang dikembangkan dapat diuji berdasarkan rumusan masalah dan parameter yang telah ditentukan.

2.2 Perancangan Sistem

Sistem menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali. BME280 membaca suhu, kelembapan, dan tekanan, sedangkan empat sensor MQ-4 digunakan untuk pemantauan konsentrasi metana, terdiri atas satu titik di biodigester dan tiga titik pengawasan kebocoran. Hasil pembacaan diproses oleh ESP32, ditampilkan pada LCD 20×4, serta dikirim melalui jaringan Wi-Fi. Google Apps Script digunakan sebagai penghubung pengiriman data menuju Google Spreadsheet, sedangkan Firebase digunakan untuk penyimpanan data yang dapat diakses aplikasi monitoring berbasis Flutter. Relay digunakan untuk mengendalikan valve dan buzzer digunakan sebagai peringatan kondisi tidak aman.

Tabel 2. 1 Komponen yang digunakan

komponen	Fungsi Utama	waktu(menit)
ESP32	Pengendali dan pemroses data	Data sensor dan kendali output
BME280	Mengukur suhu, kelembapan, tekanan	°C, %RH, psi
MQ-4	Memantau methana dan kebocoran	ppm
LCD I2C	Monitoring Lokal	Nilai dan Status
Relay & Valve	Pengaman Tekanan	Pengatur tekanan
Buzzer & Led	Peringatan dan lokasi kebodoran	Alarm dan Indikator
Firebase/Spreadsheet/ Flutter	Penyimpanan dan Monitoring	Data real-time

2.3 Kalibrasi dan Pengujian Sensor

Kalibrasi BME280 untuk suhu dan kelembapan dilakukan dengan metode offset melalui perbandingan dengan Thermo Hygrometer. Akurasi dihitung dari perbandingan nilai sensor terhadap nilai referensi, sedangkan error merupakan selisih relatif hasil pembacaan. Untuk tekanan, pembacaan absolut sensor dikoreksi menggunakan offset tekanan awal sehingga kondisi awal menjadi 0 psi. Pengujian kemudian dilakukan menggunakan kompresor pada tekanan 0,5 bar dan 1 bar.

Kalibrasi MQ-4 dilakukan dengan menentukan resistansi referensi R_0 pada kondisi udara bersih. Nilai ADC digunakan untuk menghitung tegangan keluaran dan resistansi sensor dengan resistor beban (R_l) sebesar 20 kΩ. Nilai R_0 kemudian digunakan sebagai parameter konversi konsentrasi gas. Validasi hasil kalibrasi dibandingkan dengan data referensi penelitian Lismana dkk. (2025) sebagaimana digunakan dalam skripsi.

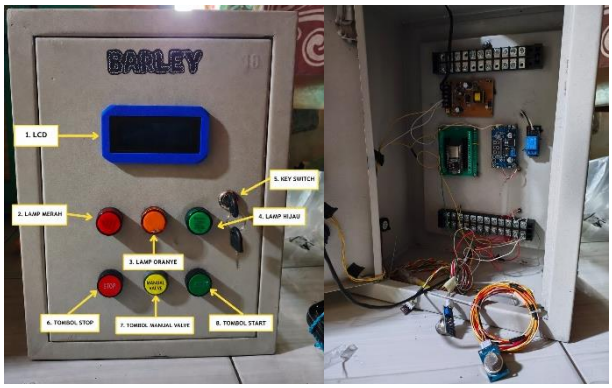
Persentase akurasi dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Akurasi (\%)} = [1 - |\text{Nilai sensor} - \text{Nilai referensi}| / \text{Nilai referensi}] \times 100 \quad (1)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

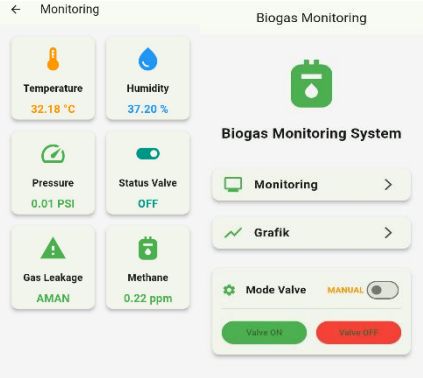
3.1. Hasil Perancangan Sistem

Hasil perancangan menunjukkan bahwa komponen perangkat keras dapat diintegrasikan menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali. BME280 ditempatkan pada bagian biodigester untuk membaca suhu, kelembapan, dan tekanan. Sensor MQ-4 digunakan untuk membaca konsentrasi metana serta memantau titik yang berpotensi mengalami kebocoran. LCD 20×4 menampilkan parameter utama secara lokal, sedangkan relay mengendalikan valve. Sistem juga dilengkapi tombol manual sebagai pengamanan tambahan apabila pengendalian otomatis membutuhkan intervensi pengguna.



Gambar 2. 1 Tapilan Hardware

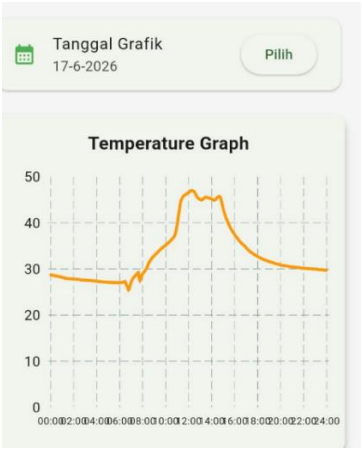
Pada sisi perangkat lunak, aplikasi monitoring menampilkan temperature, humidity, pressure, gas leak, konsentrasi gas methane, dan status valve. Data dikirim oleh ESP32 melalui Wi-Fi dan dapat disimpan serta dipantau dari jarak jauh. Integrasi cloud memungkinkan data hasil pengukuran terdokumentasi sehingga dapat digunakan untuk evaluasi perubahan kondisi biodigester.



Gambar 2. 2 Tampilan Software

3.2. Hasil Monitoroing Suhu

Pengujian monitoring suhu dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam memantau perubahan suhu pada biodigester secara real-time selama proses fermentasi berlangsung. Pengambilan data dilakukan menggunakan sensor BME280 yang terhubung dengan sistem monitoring. Data suhu yang diperoleh kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik untuk memudahkan proses analisis terhadap perubahan suhu yang terjadi setiap harinya. Secara keseluruhan hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring mampu merekam dan menampilkan data suhu secara kontinu selama periode pengamatan. Grafik yang dihasilkan dapat menggambarkan kondisi suhu biodigester dari waktu ke waktu sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan pemantauan dan analisis terhadap proses fermentasi yang berlangsung. Berikut merupakan grafik pengujian suhu:



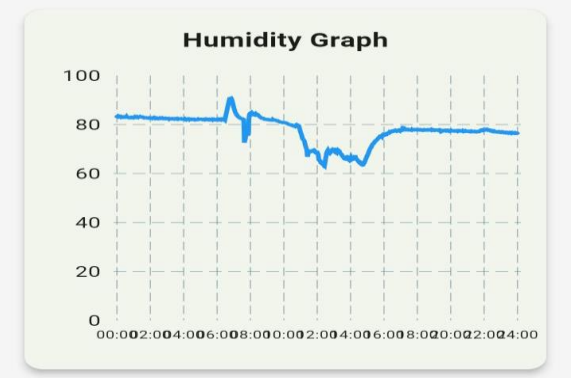
Gambar 3. 1 Grafik Monitoring Suhu

Pada pemantauan diperolah data rata-rata nilai pembacaan dan grafik *Temperature* pada gambar 3.1, dapat dijelaskan bahwa suhu biodigester mengalami perubahan selama periode pengamatan. Pada awal pengukuran suhu berada pada kisaran 28-29°C dan cenderung mengalami penurunan secara perlahan hingga mencapai sekitar 25-26°C. Setelah itu, terjadi peningkatan suhu yang cukup signifikan hingga mencapai suhu maksimum sekitar 45-47°C. Peningkatan suhu ini menunjukkan adanya aktivitas fermentasi yang berlangsung lebih aktif di dalam biodigester, di mana mikroorganisme menghasilkan panas selama proses penguraian bahan organik. Setelah mencapai suhu puncak, suhu mulai mengalami penurunan secara bertahap hingga berada pada kisaran 29-30°C pada akhir periode pengamatan.

Penurunan suhu tersebut dapat dipengaruhi oleh berkurangnya aktivitas fermentasi, perubahan kondisi lingkungan sekitar, atau proses pelepasan panas dari biodigester ke lingkungan. Meskipun terjadi fluktuasi suhu yang cukup besar, sistem monitoring berhasil merekam perubahan suhu secara *real-time* dan menampilkan data dalam bentuk grafik dengan baik. Grafik ini menunjukkan bahwa suhu biodigester bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh aktivitas biologis yang terjadi selama proses fermentasi.

3.3 Hasil Monitoring Kelembapan

Pengujian monitoring kelembapan dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam memantau perubahan kelembapan pada biodigester secara real-time selama proses fermentasi berlangsung. Pengambilan data dilakukan menggunakan sensor BME280 yang terhubung dengan sistem monitoring. Data kelembapan yang diperoleh kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik untuk memudahkan proses analisis terhadap perubahan kelembapan yang terjadi setiap harinya. Secara keseluruhan hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring mampu merekam dan menampilkan data kelembapan secara kontinu selama periode pengamatan. Grafik yang dihasilkan dapat menggambarkan kondisi kelembapan biodigester dari waktu ke waktu sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan pemantauan dan analisis terhadap proses fermentasi yang berlangsung. Berikut merupakan grafik pengujian:

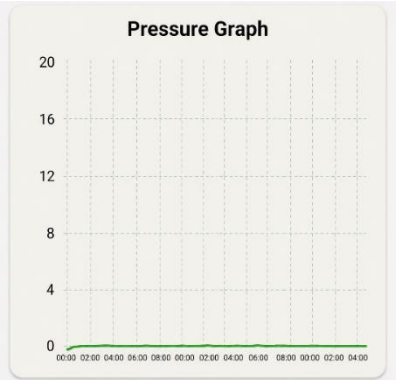


Gambar 3. 2 Grafik Monitoring Kelembapan

Berdasarkan grafik monitoring kelembapan, terlihat bahwa nilai kelembapan di dalam biodigester mengalami perubahan selama periode pengamatan. Pada awal pengukuran, kelembapan berada pada kisaran 82–84% RH dan cenderung stabil. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa lingkungan di dalam biodigester memiliki kandungan uap air yang cukup tinggi sehingga dapat mendukung aktivitas mikroorganisme selama proses fermentasi. Pada pertengahan periode pengamatan, grafik menunjukkan adanya fluktuasi kelembapan yang cukup signifikan. Nilai kelembapan sempat meningkat hingga sekitar 90% RH, kemudian mengalami penurunan secara cepat hingga berada pada kisaran 65–70% RH. Perubahan ini dapat dipengaruhi oleh meningkatnya suhu di dalam biodigester, proses pembentukan gas, maupun perubahan kondisi lingkungan sekitar yang memengaruhi kadar uap air di dalam ruang biodigester. Setelah mengalami penurunan, nilai kelembapan kembali meningkat secara bertahap dan berada pada kisaran 76–78% RH hingga akhir periode pengamatan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kelembapan di dalam biodigester kembali mencapai keadaan yang relatif stabil setelah terjadi fluktuasi pada pertengahan pengujian. Secara keseluruhan, hasil monitoring menunjukkan bahwa sistem mampu merekam perubahan kelembapan secara *real-time* dengan baik. Grafik yang dihasilkan memperlihatkan adanya perubahan kelembapan yang dipengaruhi oleh dinamika proses fermentasi dan perubahan suhu di dalam biodigester. Meskipun terjadi fluktuasi pada beberapa waktu pengamatan, kelembapan tetap berada pada rentang yang cukup tinggi, yaitu sekitar 65–90% RH, sehingga kondisi di dalam biodigester masih mendukung berlangsungnya proses fermentasi secara optimal.

3.4 Hasil Monitoring Tekanan

Pengujian monitoring tekanan dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam memantau perubahan tekanan pada biodigester secara *real-time* selama proses fermentasi berlangsung. Pengambilan data dilakukan turut menggunakan sensor BME280 yang terhubung dengan sistem monitoring. Data tekanan yang diperoleh kemudian ditampilkan dalam bentuk tampilan pnilai dan grafik untuk memudahkan proses analisis terhadap perubahan kelembapan yang terjadi setiap harinya. Secara keseluruhan hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring mampu merekam dan menampilkan data tekanan secara kontinu selama periode pengamatan. Grafik yang dihasilkan dapat menggambarkan kondisi tekanan biodigester dari waktu ke waktu sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan pemantauan dan analisis terhadap proses fermentasi yang berlangsung. Berikut merupakan tabeldata dan grafik pengujian tekanan :

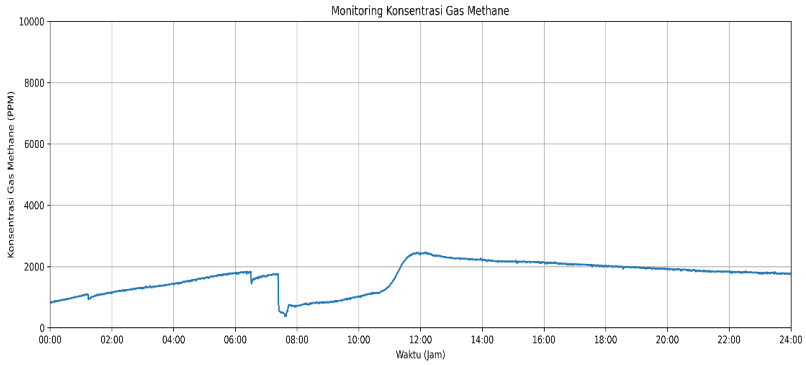


Gambar 3. 3 Grafik Monitoring Tekanan

Berdasarkan hasil data dan grafik monitoring tekanan terlihat bahwa nilai tekanan di dalam biodigester berada pada kondisi stabil, pada grafik nilai pembacaan awal berada pada nilai **0ps**i dikarekan pembacaan berdekatan dengan awal pengolahan biogas setelah itu grafik mengalami kenaikan yang sangat kecil di rentang nilai **0,1 – 0,3psi** pada kisaran pukul 07.00 menunjukkan bahwa ada proses frementasi yang di hasilkan dan menimbulkan adanya tekanan gas, meskipun kenaikan tekanan gas belum terlihat signifikan tekanan tersebut cukup aman untuk biogasdigester, selain itu juga bisa di sebabkan karena ada kebocoran di selala sambungan digester dengan pipa pemghubung yang menyebabkan tekanan belum bisa maksimal dalam beberapa periode pengujian. Akan tetapi bisa disimpulkan bahwa BME280 dapat bekerja untuk membaca kenaikan ataupun penurunan tekanan gas secara *realtime* meskipun nilainya cukup kecil.

3.5 Hasil Monitoring Konsentrasi Gas Methana

Pengujian monitoring kosentrasi gas methane dilakukan untuk mengetahui mengetahui kemampuan sistem dalam memantau perubahan konsentrasi gas methane pada biodigester secara real-time selama proses fermentasi berlangsung. Pengambilan data dilakukan menggunakan sensor MQ-4 yang terhubung dengan sistem monitoring. Data yang diperoleh kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik untuk memudahkan proses analisis terhadap perubahan konsentrasi gas methane dalam satuan *(parts per million)* PPM yang terjadi setiap harinya. Secara keseluruhan hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring mampu merekam dan menampilkan data secara kontinu selama periode pengamatan. Grafik yang dihasilkan dapat menggambarkan konsentrasi gas methane pada biodigester dari waktu ke waktu sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan pemantauan dan analisis terhadap proses fermentasi yang berlangsung. Berikut merupakan grafik pengujian konsentrasi gas methana:



Gambar 3. 4 Monitoring Konsentrasi Gas Methana

Berdasarkan grafik konsentrasi gas methana, terlihat bahwa konsentrasi gas metana di dalam biodigester mengalami perubahan selama periode pengamatan 24 jam. Pada awal pengamatan (00.00–06.00), konsentrasi gas methana berada pada kisaran 650–1.800ppm dan menunjukkan tren meningkat secara bertahap. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa proses fermentasi di dalam biodigester mulai menghasilkan gas metana sehingga konsentrasinya terus bertambah seiring waktu. Akan tetapi sekitar pukul (06.30–08.00) grafik menunjukkan penurunan konsentrasi gas methana yang cukup signifikan hingga mencapai sekitar 500ppm. Penurunan tersebut disebabkan oleh pelepasan gas dari biodigester yang mengalami kebocoran. Setelah dilakukan perbaikan konsentrasi gas methana mengalami kenaikan yang stabil dengan kisaran 600 – 2200ppm, Peningkatan ini menunjukkan bahwa aktivitas mikroorganisme metanogen kembali berlangsung secara optimal sehingga produksi gas metana meningkat. Kondisi tersebut merupakan indikasi bahwa proses fermentasi masih berlangsung dengan baik di dalam biodigester. Setelah itu konsentrasi gas methana Kembali mengalami penuruan hingga kisaran 1800 – 1700ppm akan tetapi penurunannya masih terhitung stabil kemungkinan penurunan itu disebabkan karena ada perubahan suhu yang terjadi pada biogasdigester. Bisa dilihat pdan Gambar 3.1 monitoring suhu yang menunjukkan bahwa ada penurunan suhu yang cukup signifikan pada rentang waktu yang sama ketika penurunan konsentrasi gas methana.

3.6 Hasil Monitoring Deteksi Kebocoran Gas

Pengujian monitoring kebocoran gas dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi adanya kebocoran gas pada instalasi biodigester secara *real-time*. Pengujian menggunakan sensor MQ-4 yang dipasang pada beberapa titik yang berpotensi mengalami kebocoran gas, seperti di area digester dan saluran keluaran gas. Sensor MQ-4 berfungsi mendeteksi keberadaan gas yang mudah terbakar, seperti LPG, metana, dan gas hasil fermentasi lainnya, kemudian mengirimkan data hasil pembacaan ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses dan ditampilkan pada aplikasi monitoring. Proses pengujian dilakukan dengan mensimulasikan kebocoran gas menggunakan gas metahana itu sendiri. Ketika sensor mendeteksi adanya peningkatan konsentrasi gas di atas nilai ambang batas yang telah ditentukan yaitu di nilai >300ppm, sistem akan menampilkan status kebocoran pada aplikasi monitoring serta mengaktifkan buzzer dan led sebagai indikator peringatan kepada pengguna. Sebaliknya ketika konsentrasi gas kembali berada pada kondisi normal atau <300ppm, buzzer dan led indikator akan off dan status sistem kembali menunjukkan kondisi aman. Berikut merupakan tabel hasil uji coba monitoring kebocoran gas:

Tabel 2. 2 Data Monitoring Kebocoran Gas

Jenis gas	Gas buang terbaca	Status leak
Gas Methana	1575	Bocor
	98	Aman
	578	Bocor
	182	Aman
	21,5	Aman

4. PENGUJIAN SISTEM PEANGAMAN

Pengujian sistem pengaman dilakukan untuk memastikan buzzer dan valve otomatis bekerja sesuai kondisi yang telah ditentukan. Saat sensor MQ-2 mendeteksi kebocoran gas atau BME280 mendeteksi tekanan melebihi ambang batas, buzzer akan aktif sebagai peringatan. Selain itu, valve otomatis akan terbuka ketika tekanan melebihi batas dan tertutup kembali saat tekanan berada di bawah nilai aman. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pengaman dapat merespons kondisi secara otomatis dan bekerja sesuai dengan logika yang dirancang.

4.1 Pengujian Valve

Pengujian valve sebagai sistem pengaman tekanan dilakukan untuk memastikan sistem mampu mencegah terjadinya tekanan berlebih pada biodigester. Valve dikendalikan oleh ESP32 melalui relay berdasarkan nilai tekanan yang terbaca oleh sensor tekanan. Pada kondisi normal valve berada dalam keadaan tertutup. Ketika tekanan di dalam biodigester mencapai atau melebihi batas maksimum yang telah ditentukan yaitu sebesar 3 Psi, relay akan aktif sehingga valve terbuka secara otomatis untuk melepaskan sebagian tekanan dan menjaga kondisi sistem tetap aman. Setelah tekanan turun hingga mencapai nilai 2,8 Psi, relay akan nonaktif dan valve kembali menutup. Penggunaan dua nilai ambang batas tersebut bertujuan untuk menghindari kondisi valve yang sering membuka dan menutup akibat fluktuasi tekanan yang kecil.

Selain pengendalian otomatis, sistem juga dilengkapi dengan mode pengoperasian manual melalui tombol panel yang terhubung langsung dengan relay. Fitur ini digunakan sebagai langkah pengamanan tambahan apabila pengguna perlu membuka atau menutup valve secara langsung tanpa menunggu respons otomatis dari sistem. Berdasarkan hasil pengujian, valve mampu beroperasi dengan baik baik pada mode otomatis maupun manual, sehingga dapat berfungsi sebagai sistem pengaman tekanan yang membantu menjaga kestabilan tekanan dan meningkatkan keamanan operasional biodigester.

4.2 Pengujian Buzzer dan LED Indikator

Pengujian buzzer dan LED indikator dilakukan untuk memastikan sistem mampu memberikan peringatan dini ketika terjadi kondisi yang berpotensi membahayakan pada biodigester yaitu kebocoran gas dan tekanan tinggi. Buzzer dikendalikan oleh ESP32 berdasarkan data yang diperoleh dari sensor MQ-4 sebagai pendeteksi kebocoran gas metana dan sensor BME 280 sebagai pemantau tekanan di dalam biodigester. Pada kondisi normal buzzer berada dalam keadaan tidak aktif dan ketika konsentrasi gas yang terdeteksi melebihi nilai ambang batas yang telah ditentukan buzzer akan aktif sebagai indikator adanya potensi kebocoran gas sehingga pengguna dapat segera melakukan pemeriksaan dan penanganan lebih lanjut. Selain buzzer, sistem juga dilengkapi dengan tiga buah LED indikator yang berfungsi sebagai penanda lokasi kebocoran gas. Ketiga LED tersebut masing-masing terhubung dengan tiga sensor MQ-4 yang ditempatkan pada titik pengawasan yang berbeda di sekitar instalasi biodigester. Apabila salah satu sensor MQ-4 mendeteksi adanya kebocoran gas maka LED yang bersesuaian dengan lokasi sensor akan menyala sehingga pengguna dapat dengan mudah mengetahui titik terjadinya kebocoran. Dengan adanya indikator visual ini proses identifikasi lokasi kebocoran dapat dilakukan lebih cepat dan lebih akurat tanpa harus memeriksa seluruh bagian instalasi. Selain sebagai indikator kebocoran gas buzzer juga berfungsi sebagai sistem peringatan tekanan tinggi. Ketika tekanan di dalam biodigester mencapai atau melebihi batas maksimum sebesar 3 Psi maka buzzer akan aktif bersamaan dengan sistem pengaman lainnya (valve) untuk memberikan informasi kepada pengguna bahwa tekanan berada pada kondisi yang tidak aman. Buzzer akan kembali nonaktif setelah konsentrasi gas atau tekanan kembali berada pada rentang normal. Sementara itu, LED indikator akan padam apabila sensor MQ-4 tidak lagi mendeteksi adanya kebocoran gas pada titik pengawasan masing-masing.

	A	B	C	D	E
672	0	0,8	0,5	AMAN	2026-07-12 21:16:16
673	0	0,7	0,7	AMAN	2026-07-12 21:16:20
674	0	0,7	0,7	AMAN	2026-07-12 21:16:25
675	0	0,6	0,6	AMAN	2026-07-12 21:16:40
676	10000	8902	0,6	BOCOR	2026-07-12 21:16:45
677	0,1	0,7	0,5	AMAN	2026-07-12 21:16:49
678	0	0,6	0,5	AMAN	2026-07-12 21:16:55
679	0	0,7	0,5	AMAN	2026-07-12 21:17:15
680	0	0,7	0,4	AMAN	2026-07-12 21:17:21
681	0,2	9,2	8247	BOCOR	2026-07-12 21:17:26
682	0	0,6	10000	BOCOR	2026-07-12 21:17:30
683	0	0,7	1694	BOCOR	2026-07-12 21:17:34
684	0	0,7	7,8	AMAN	2026-07-12 21:18:05
685	0	0,6	6,6	AMAN	2026-07-12 21:18:10
686	0	0,5	3,2	AMAN	2026-07-12 21:18:44
687	0,5	10000	48,3	BOCOR	2026-07-12 21:18:49
688	0	10000	3,7	BOCOR	2026-07-12 21:19:12
689	0	875,5	3	BOCOR	2026-07-12 21:19:16
690	0	171,2	2,3	AMAN	2026-07-12 21:19:20
691	0	24,5	1,7	AMAN	2026-07-12 21:19:37

Sheet1 | Leakage | BIOGAS

Gambar 4.1 Data pengujian Kebcoran Gas Tiap Titik lokasi



(a) (b) (c)

Gambar 4.2 Data pengujian Kebcoran Gas Tiap Titik lokasi

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 4.2, ketika sensor MQ-4 pada titik 1 mendeteksi adanya kebocoran gas, maka LED merah akan menyala dan LCD menampilkan informasi (Leak Bocor 1) seperti terlihat pada Gambar 4.2(a). Kondisi ini menunjukkan bahwa kebocoran gas terdeteksi pada titik pengawasan pertama sehingga pengguna dapat segera melakukan pemeriksaan pada lokasi tersebut. Selanjutnya pada Gambar 4.2(b), dilakukan simulasi kebocoran gas pada titik 2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa LED kuning menyala dan LCD menampilkan informasi (Leak Bocor 2) hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan lokasi kebocoran berdasarkan sensor yang aktif dan memberikan informasi yang sesuai kepada pengguna. Sementara itu pada Gambar 4.2(c) pengujian dilakukan pada titik 3 ketika sensor MQ-4 pada titik tersebut mendeteksi adanya kebocoran gas, LED hijau menyala dan LCD menampilkan informasi Leak Bocor 3. Indikator ini menunjukkan bahwa kebocoran terjadi pada titik pengawasan ketiga sehingga lokasi kebocoran dapat diketahui dengan cepat dan tepat.

Selain sebagai indikator tekanan tinggi, buzzer juga berfungsi sebagai peringatan dini terhadap kebocoran gas. Pada Gambar 4.2 pengujian ini buzzer akan aktif apabila sensor MQ-4 mendeteksi konsentrasi gas lebih dari 300 ppm atau status dalam kondisi bocor, yang mengindikasikan adanya potensi kebocoran gas di sekitar instalasi biodigester. Sebaliknya apabila konsentrasi gas berada di bawah 300 ppm atau status dalam kondisi aman, buzzer akan tetap tidak aktif karena kondisi tersebut masih dianggap aman. Dengan menggunakan nilai ambang tersebut sistem mampu memberikan peringatan secara cepat ketika terjadi peningkatan konsentrasi gas yang berpotensi membahayakan.

5. KESIMPULAN

Sistem monitoring dan deteksi kebocoran biogas digester berbasis IoT berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan ESP32, BME280, MQ-4, LCD 20×4, relay, valve, buzzer, LED, Firebase, Google Spreadsheet, dan aplikasi monitoring berbasis Flutter. Sistem mampu memantau suhu, kelembapan, tekanan, konsentrasi metana, serta kondisi kebocoran secara real-time dan menyajikan informasi melalui media lokal maupun jarak jauh. Setelah kalibrasi, BME280 menghasilkan akurasi rata-rata 97,51% untuk suhu dan 97,98% untuk kelembapan, sedangkan pengujian tekanan menunjukkan sensor mampu membaca perubahan tekanan pada sistem meskipun nilai monitoring biodigester masih rendah, yaitu 0–0,3 psi. Sensor MQ-4 juga mampu memberikan pembacaan yang lebih konsisten setelah penentuan R_0 dan dapat mendeteksi perubahan konsentrasi metana. Sistem

pengaman berhasil memberikan peringatan ketika konsentrasi gas melewati 300 ppm serta mengendalikan valve ketika tekanan mencapai ambang 3 psi. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat membantu meningkatkan efektivitas, kemudahan, dan keamanan pemantauan biodigester di lokasi penelitian.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] M. A. Miradji, P. Mariana, and A. F. Nadira, "Analisis Model Bisnis Biogas dari Limbah Ternak Sebagai Solusi Energi Terbarukan di Era Ekonomi Hijau," 2025.

[2] J. Sains, P. Febrianti, and N. Sitorus, "Pembuatan Biodigester Type Batch Skala 120 Liter untuk menghasilkan Biogas dari Campuran Bahan Baku Kotoran Kambing , Kotoran Ayam dan Limbah Sayur," 2024.

[3] M. F. Lubis, W. Hadinata, and G. Syahputra, "Analisis Perkembangan Populasi Dan Produktivitas Ternak Sapi Di Indonesia," no. 1, 2025.

[4] BPS, "Populasi Ternak Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Ternak di Provinsi Jawa Timur (ekor), 2023," *Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur*, 2023. .

[5] C. Asmaul, "Pemkab Kediri dorong pemanfaatan limbah kotoran sapi untuk pupuk dan biogas," *Antara Jatim*, 2022. .

[6] D. Ekita, P. Febrian, A. Wisaksono, I. Anshory, and J. Jamaaluddin, "Gas and Temperature Monitoring System on Biogas Digester to Improve Stove Performance [Sistem Monitoring Gas dan Suhu pada Biogas Digester Untuk Meningkatkan Kinerja Kompor]," vol. d, pp. 1–8.

[7] M. Khaery, A. H. Pratama, P. Wipradnyana, and A. A. Ngurah, "Perancangan Alat Ukur Tekanan Udara Menggunakan Sensor Barometric Pressure 280 (BMP280) Berbasis Arduino Uno Design of Air Pressure Measuring Devices Using a Barometric Pressure 280 (BMP280) Sensor Based on Arduino Uno," vol. 280, pp. 14–19.

[8] A. A. Ridowi *et al.*, "PROTOTYPE KONTROL TEKANAN AIR MENGGUNAKAN SENSOR PRESSURE TRANSDUSER," vol. 05, no. 01, pp. 1–9, 2023.

[9] F. A. Suharyadi *et al.*, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Tekanan dan Laju Aliran (Flow rate) Pada Instalasi Biogas," 2023.

[10] W. Damayanti *et al.*, "Implementasi Internet of Things (IoT) Pada Sistem Monitoring Kadar Gas Metana Pada Biodigester," vol. 11, no. 6, pp. 6407–6415, 2024.

[11] H. Hadiyanto, F. Muhammad, J. Nabila, and A. Kusuma, "Preliminary Observation of Biogas Production from a Mixture of Cattle Manure and Bagasse Residue in Different Composition Variations," vol. 12, no. 2, pp. 390–395, 2023.

[12] A. Pandey, S. Member, and O. Momeni, "Design and Implementation of IoT-Enabled Device for Real-Time Monitoring of Greenhouse Gas Emissions , and Pressure in Anaerobic Reactors," vol. 12, no. September, 2024.

[13] C. Series, "Design of monitoring and control device for biogas production in a pilot scale anaerobic digester Design of monitoring and control device for biogas production

in a pilot scale anaerobic digester," doi: 10.1088/1742-6596/2972/1/012030.
[14] J. Chaney, E. H. Owens, B. L. Robinson, and M. J. Clifford, "Energy for Sustainable Development Digesting data : Improving the understanding of biogas use through remote sensing," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 86, no. September 2024, p. 101668, 2025, doi: 10.1016/j.esd.2025.101668.