

Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis IoT untuk Peternakan Kambing

IoT-Based Air Quality Monitoring System for Goat Farms

M. Taufiq Tamam¹, Latiful Hayat², Winarso³, Regawa Bayu Pamungkas⁴, Ahmad Dawam⁵

^{1,2,3,5} Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

⁴ Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

^{1,2,3,4,5} Jl. KH Ahmad Dahlan, Kembaran 53182, Indonesia

email: ¹tamam@ump.ac.id, ²latifulhayat@ump.ac.id, ³ewinarso@gmail.com, ⁴rbayup11@gmail.com,

⁵ahmaddawam1307@gmail.com

Informasi Artikel

Diajukan, 16 April 2026

Diterima, 2 Juni 2026

Diterbitkan, 19 Juni 2026

Kata Kunci :

Gas amonia, Gas metana,
Peternakan kambing,
Mikrokontroler, *Internet of Things*

Keyword :

Ammonia gas, Methane gas,
Goat farm, Microcontroller,
Internet of Things

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan kadar gas amonia (NH₃) dan metana (CH₄) pada peternakan kambing berbasis IoT (*Internet of Things*). Sistem ini menggunakan sensor gas MQ-135 untuk mendeteksi kadar amonia, sensor MQ-4 untuk mendeteksi kadar metana dan panel surya sebagai sumber energi. Data yang diperoleh dari sensor kemudian diolah oleh mikrokontroler ESP-32 dan ditampilkan secara real-time melalui aplikasi IoT Firebase. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini dapat memantau kadar gas amonia dan metana secara akurat dan efektif. Sistem ini juga dapat memberikan notifikasi jika kadar gas melebihi batas normal, sehingga dapat membantu peternak dalam mengelola kesehatan dan keselamatan hewan ternak serta mengurangi dampak lingkungan. Berdasarkan sampel hasil pengukuran, rata-rata kadar gas amonia terukur sebesar 11,105 ppm dan gas metana sebesar 0,386 ppm. Kelebihan sistem ini adalah dapat memantau kondisi kandang secara real-time, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan keselamatan operasional peternakan. Sistem ini juga dapat diintegrasikan dengan sistem lainnya untuk meningkatkan kemampuan *monitoring* dan *controlling*.

ABSTRACT

This research aims to develop an Internet of Things (IoT)-based system for monitoring ammonia (NH₃) and methane (CH₄) gas levels on goat farms. This system uses an MQ-135 gas sensor to detect ammonia levels, an MQ-4 sensor to detect methane levels, and solar panels as a power source. Data obtained from the sensors is then processed by an ESP-32 microcontroller and displayed in real time via a Firebase IoT application. The results show that this system can accurately and effectively monitor ammonia and methane gas levels. The system can also provide notifications if gas levels exceed normal limits, thus assisting farmers in managing livestock health and safety and reducing environmental impact. Based on the measured samples, the average measured ammonia gas level was 11.105 ppm and methane gas was 0.386 ppm. The advantage of this system is that it can monitor barn conditions in real time, thereby improving the efficiency and safety of farm operations. This system can also be integrated with other systems to enhance monitoring and control capabilities.

1. PENDAHULUAN

Peternakan adalah salah satu usaha agribisnis yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan karena meningkatnya jumlah penduduk akan mendorong meningkatnya kebutuhan akan pangan termasuk di antaranya yang bersumber dari protein hewani [1]. Para peternak sering kali menghadapi masalah dalam proses budidaya, yaitu adanya pencemaran udara yang disebabkan oleh kotoran itu sendiri. Kotoran yang menumpuk dan tidak didaur ulang menjadi pupuk akan menyebabkan polusi udara di sekitar peternakan itu, dan akan menghasilkan gas Amonia (NH₃) dan gas Metana (CH₄).

Pengendalian kualitas udara sangat penting dilakukan untuk menghindari beberapa penyakit dan meminimalisir efek kerusakan paru-paru. Sensor yang digunakan adalah sensor MQ-7 untuk gas CO, sensor Sharp GP2Y1010AU0F untuk debu, dan sensor DHT11 untuk suhu dan kelembaban. Masing-masing sensor dirangkai menjadi satu dengan mikrokontroler WeMos D1 R2. Sistem monitoring kualitas udara polutan gas CO dan debu dapat memberikan peringatan dini buruknya kualitas udara. Data kualitas udara yang didapat dari sensor dapat ditampilkan secara realtime melalui aplikasi Blynk dan juga tersimpan di server ThingSpeak yang dapat ditampilkan pada aplikasi ThingView dan aplikasi berbasis web [2] [3] [4].

Sistem berbasis mikrokontroler ESP32 dan mampu mendeteksi amonia, hidrogen sulfida, serta tingkat suhu dan kelembaban. Modul relai digunakan untuk secara aktif mengelola kipas pembuangan dan motor pompa submersible guna mencegah akumulasi gas dan mengatur suhu, sehingga memastikan kesejahteraan baik unggas maupun karyawan di peternakan unggas. Ketika terjadi penumpukan gas yang tidak terduga, modul GSM mengirimkan peringatan segera kepada peternak melalui SMS. Sistem mengirimkan data yang terkumpul ke server cloud. Akibatnya, data dapat diakses dari jarak jauh dan digunakan untuk tujuan pemantauan, penyimpanan, dan analisis [5].

Penerapan otomatisasi dan pertanian presisi untuk mengurangi limbah dan meningkatkan produktivitas, sekaligus menekankan kemampuan pemantauan dan pengendalian jarak jauh melalui teknologi seluler untuk meningkatkan efisiensi operasional dan kualitas tanaman secara keseluruhan [6].

Iklim yang tidak pasti yang menyebabkan penyakit, suhu dan kualitas udara sangat penting sehingga diperlukan inovasi bagi peternak ayam agar dapat memonitoring kondisi dari suhu yang ada pada kandang ayam tersebut. *Internet of Things* (IoT) membuat perangkat dapat mengirim dan menerima data sebagai alat komunikasi [7].

Internet of Things (IoT) memungkinkan produksi sistem pendukung proses pertanian. Sistem-sistem tersebut masing-masing disebut sebagai sistem pemantauan jarak jauh, alat pendukung keputusan, sistem irigasi otomatis, sistem perlindungan embun beku, dan sistem pemupukan [8].

Sistem pemantauan suhu, kelembaban, dan kadar gas berbahaya di kandang ayam menggunakan sistem berbasis *internet of things* (IoT). Sistem ini menggunakan sensor DHT 22 untuk mendeteksi suhu dan kelembaban serta sensor MQ-135 untuk memantau kualitas gas amonia (NH₃). Data tersebut kemudian ditampilkan di LCD dan dikirim ke aplikasi ponsel pintar untuk notifikasi jarak jauh melalui SIM GSM 800L [9].

Sistem deteksi metana, dinitrogen oksida, dan amonia secara simultan di atmosfer. Kalibrasi dilakukan di lingkungan laboratorium dengan konsentrasi tersertifikasi. Sistem ini memiliki dua modul deteksi, masing-masing dilengkapi dengan laser kaskade kuantum sebagai sumber cahaya dan sebuah spektrofon yang terdiri dari garpu tala kuarsa berbentuk T yang digabungkan dengan tabung resonator akustik [10].

Teknik optik, yaitu penginderaan jauh dengan Solar Occultation Flux (SOF) dan Mobile Extractive FTIR (MeFTIR), digunakan untuk mengukur konsentrasi NH₃ dan CH₄ di kolom udara dan udara tanah. Studi ini mendemonstrasikan metode pengukuran udara baru, yang dapat digunakan untuk mengukur emisi di area yang luas dengan resolusi spasial tinggi dan dalam periode waktu yang relatif singkat [11].

Implementasi sistem yang mengintegrasikan sensor PM2.5, PM10, CO₂, dan NO₂ untuk pemantauan polutan secara *real-time*. Sistem notifikasi otomatis berhasil memberikan peringatan dini ketika kualitas udara melebihi ambang batas yang ditentukan, memungkinkan respons proaktif dari otoritas dan masyarakat [12].

Pemantauan kualitas udara di lingkungan peternakan komersial untuk mengurangi emisi polutan. Parameter yang diukur adalah suhu, kelembaban relatif, konsentrasi amonia (NH₃), dan karbon dioksida (CO₂). Data yang terkumpul disimpan dan diproses oleh program BASE-Q berbasis internet atau PC [13].

Pengembangan alat daring berbiaya rendah untuk memantau iklim kandang dan emisi polutan udara (OTICE) di kandang berventilasi alami. OTICE menggunakan jaringan sensor nirkabel dengan sensor berbiaya rendah untuk variabel gas dan iklim, yang memungkinkan penggunaan skalabel di berbagai kandang. Parameter yang diukur adalah CO₂, NH₃, dan CH₄ [14].

Sistem Deteksi, Pemantauan, dan Peringatan Gas Beracun Berbasis IoT dirancang untuk terus memantau tingkat gas beracun, memberikan peringatan waktu nyata untuk intervensi dini. Dengan memanfaatkan sensor multi-gas canggih, sistem mendeteksi meskipun konsentrasi H₂S, CH₄, dan CO sangat rendah. Mekanisme peringatannya mencakup alarm visual dan audio, serta notifikasi seluler, yang memungkinkan tindakan segera dari petugas keselamatan [15].

Sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan modul ESP8266 beserta sensor DHT11 dan MQ135. Sistem ini dirancang untuk memantau suhu, kelembaban, dan konsentrasi gas berbahaya di udara, dengan hasil yang dapat diakses secara real-time melalui aplikasi Blynk di perangkat Android [16].

Sistem pemantauan polusi udara berbasis *Internet of Things* (IoT) yang canggih telah dikembangkan. Sistem ini mampu mengidentifikasi dan mengukur gas dan senyawa berbahaya seperti karbon dioksida, nikotin,

alkohol, benzena, NH_3 , dan NO_2 . Sensor yang terhubung ke mikrokontroler ESP32 mengumpulkan data tentang lingkungan sekitar dan mengirimkannya ke cloud secara real-time menggunakan protokol MQTT [17].

Memprediksi indeks polusi udara membantu manajemen lalu lintas dan mengidentifikasi polutan kritis. Studi ini membandingkan metode pembelajaran mesin—Regresi Logistik (LR), Analisis Diskriminan (DA), Pohon Keputusan (DT), K-Nearest Neighbors (KNN), dan Support Vector Machine (SVM)—untuk memperkirakan indeks kualitas udara di Dhaka, Bangladesh [18].

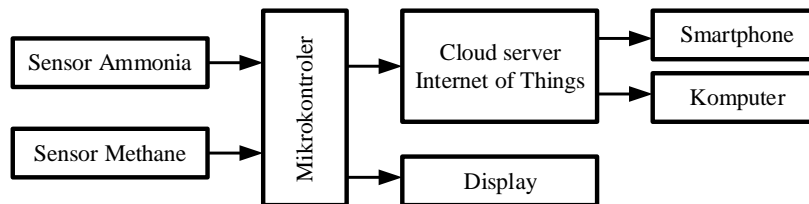
Proyek ini mencoba merancang teknologi IoT yang akan mendeteksi campuran gas, mendeteksi setiap jenis gas untuk mengukur kadarnya sekaligus memantau perubahan dinamis secara real-time pada faktor-faktor di atas. Kadar gas yang terukur diunggah ke Firebase [19].

Metode LSTM + CNN Proposed Ensemble dapat digunakan untuk menganalisis dampak polusi udara terhadap pertanian dengan mengkaji tren produksi tanaman dari waktu ke waktu dan memprediksi tanaman mana yang lebih tahan berdasarkan data polusi [20].

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu tentang sistem pemantauan kualitas udara, maka yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengembangan dan penerapan pemantauan gas amonia dan metana pada peternakan kambing dengan panel surya sebagai sumber energi. Konsentrasi gas amonia dan metana serta status atau kondisi panel surya ditampilkan pada OLED (Organic LED) dan dapat dipantau melalui aplikasi Firebase yang memberikan notifikasi kepada pengguna.

2. METODE PENELITIAN

Secara garis besar diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 1 yang memberikan penjelasan secara visual tentang bagaimana konsep penelitian, aliran informasi dan infrastruktur apa saja yang terlibat atau yang dibutuhkan.

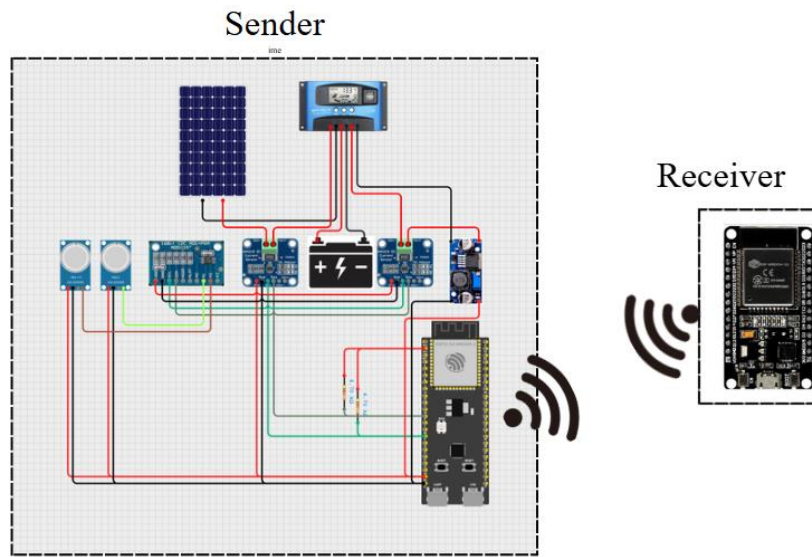


Gambar 1. Diagram Blok Sistem

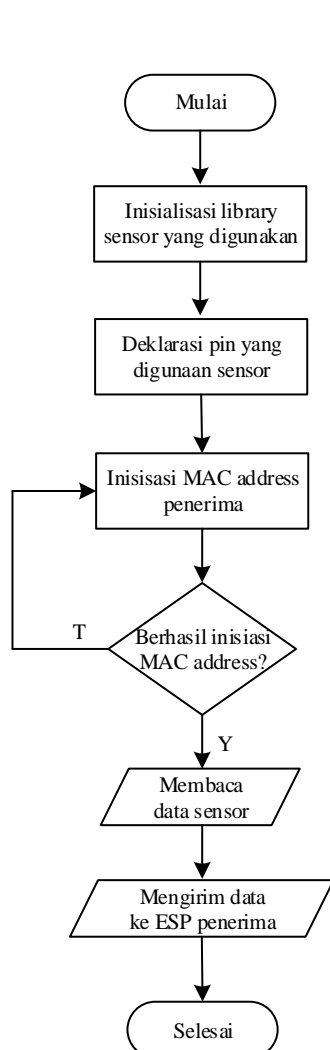
Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini meliputi mikrokontroler ESP32 DevKitC V4 dan ESP32-S3 sebagai unit pemroses data pada node pengirim dan penerima. Sensor MQ-135 dan MQ-4 digunakan untuk mendeteksi gas amonia dan metana, sedangkan sensor INA219 berfungsi memantau parameter kelistrikan sistem. Catu daya sistem berasal dari panel surya yang terhubung dengan baterai VRLA 12 V melalui *solar charge controller*. Tegangan keluaran distabilkan menggunakan modul *step-down* DC-DC LM2596. Layar OLED 0,91 inci digunakan sebagai media tampilan lokal.

Perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler, Google Firebase sebagai platform IoT berbasis cloud, Android Studio untuk pengembangan aplikasi monitoring, serta EasyEDA untuk perancangan skematik rangkaian elektronik.

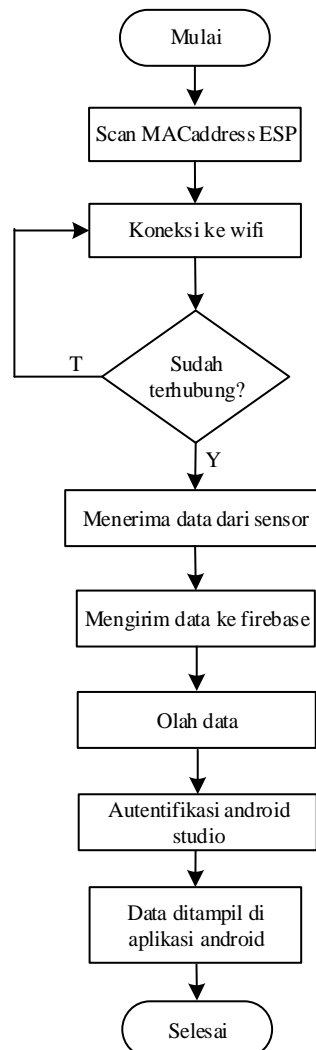
Rangkaian alat pada penelitian ini terdiri dari node pengirim (*sender*) dan node penerima (*receiver*) yang saling terhubung secara nirkabel. Node pengirim menggunakan mikrokontroler ESP32-S3 yang terhubung dengan sensor gas MQ-135 dan MQ-4 untuk mendeteksi konsentrasi gas amonia dan metana, serta sensor INA219 untuk memantau parameter kelistrikan sistem tenaga surya.



Gambar 2. Rangkaian Sistem



Gambar 3. Diagram Alir Pengirim



Gambar 4. Diagram Alir Penerima

Sistem deteksi gas metana (CH_4) dan amonia (NH_3) bekerja dengan cara mendeteksi perubahan konsentrasi gas di udara. Data tersebut kemudian diolah dan dikirim melalui jaringan internet agar bisa dipantau dari jarak jauh secara *real-time* menggunakan komputer atau *smartphone*. Sensor gas metana menggunakan sensor MQ-4 sedangkan sensor gas amonia menggunakan sensor MQ-135. Elemen pemanas di dalam sensor gas kana bereaksi saat bersentuhan dengan gas target. Reaksi kimia ini mengubah nilai konduktivitas atau resistansi material sensor yang selanjutnya menghasilkan sinyal tegangan analog. Sinyal listrik analog dari sensor ini diubah menjadi data digital oleh ADC (*Analog to Digital Converter*) yang di dalam mikrokontroler. Data digital ini dikonversi menjadi satuan konsentrasi gas ppm (*part per million*).

ESP32 memiliki modul wifi bawaan yang memungkinkan pengiriman data tanpa perangkat tambahan. Mikrokontroler terhubung ke jaringan internet lokal dan mengirimkan data ppm gas ke *cloud server*. Data yang diterima *cloud* ditampilkan di *dashboard* Firebase. Jika konsentrasi gas melebihi ambang aman sistem akan mengirimkan notifikasi ke aplikasi pengguna.

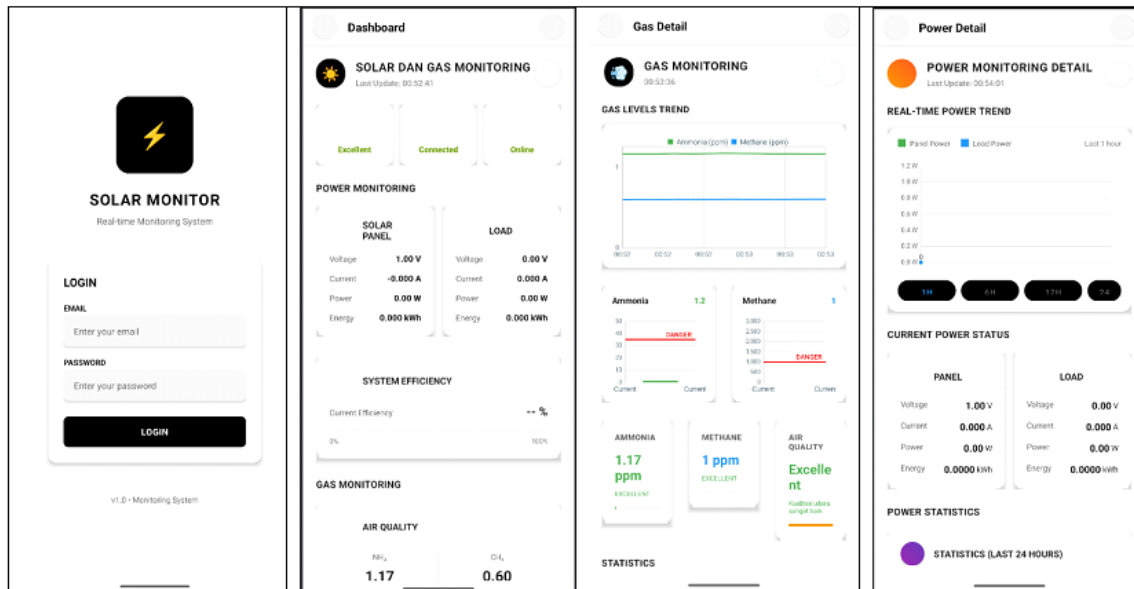
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dirancang, meliputi sensor gas, sistem catu daya, konektivitas jaringan, serta komunikasi nirkabel ESP-NOW. Pengujian dilakukan baik secara fungsional maupun pada kondisi lapangan untuk memastikan sistem bekerja sesuai dengan tujuan penelitian.



Gambar 5. Hasil Prototipe

Gambar 5 menunjukkan posisi atau penempatan system di lokasi kandang. Panel surya diletakkan di atap kandang supaya mendapatkan cahaya matahari yang maksimal. Rangkaian mikrokontroler dan baterai ditempatkan di dalam kotak panel supaya aman terlindung dari air saat hujan. Sensor gas diletakkan dekat dengan kotoran hewan supaya hasil pembacaannya baik.

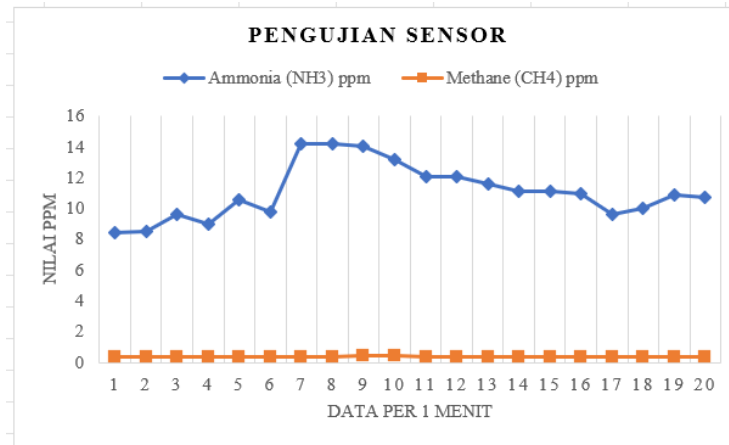


Gambar 6. Contoh Tampilan Aplikasi

Gambar 6 menunjukkan contoh tampilan IoT (*Internet of Things*). Sebelum masuk ke aplikasi pengguna harus login terlebih dahulu. Setelah berhasil login akan tampil parameter-parameter yang terukur, yaitu konsentrasi gas metana (CH_4), konsentrasi gas amonia (NH_3), status kualitas udara dan kondisi baterai. Pengujian lapangan dilakukan di peternakan kambing wilayah Desa Tambaksari Kidul Kecamatan Kembaran Kabupaten Banyumas dengan pengambilan data setiap satu menit sebanyak 20 sampel.

Tabel 1. Data Pengujian Sensor

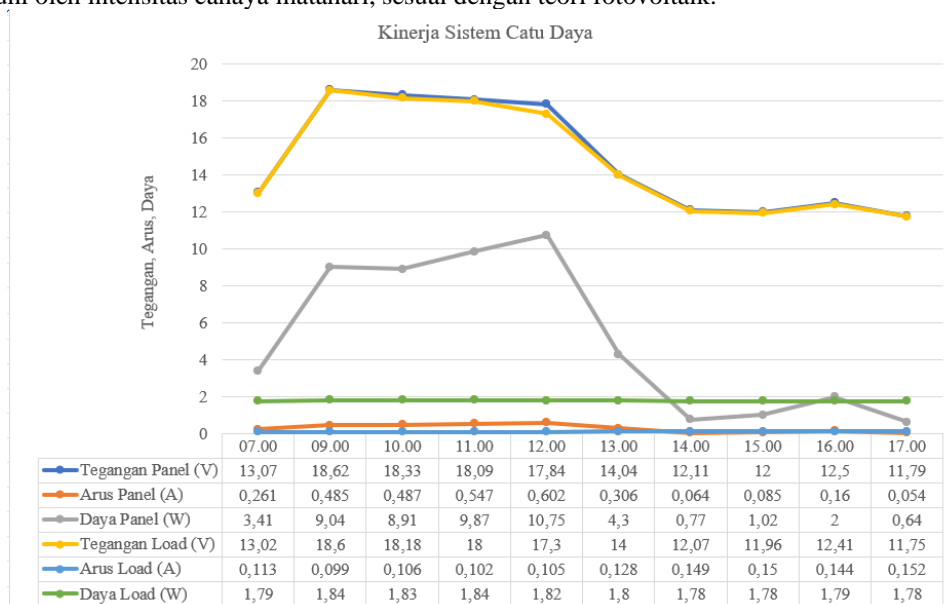
| No | Ammonia (NH_3) (ppm) | Methane (CH_4) (ppm) |
|-----------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 8,43 | 0,41 |
| 2 | 8,54 | 0,37 |
| 3 | 9,64 | 0,38 |
| 4 | 9,02 | 0,37 |
| 5 | 10,55 | 0,35 |
| 6 | 9,82 | 0,36 |
| 7 | 14,24 | 0,37 |
| 8 | 14,24 | 0,37 |
| 9 | 14,07 | 0,44 |
| 10 | 13,22 | 0,44 |
| 11 | 12,1 | 0,39 |
| 12 | 12,11 | 0,39 |
| 13 | 11,59 | 0,39 |
| 14 | 11,11 | 0,39 |
| 15 | 11,11 | 0,39 |
| 16 | 10,96 | 0,37 |
| 17 | 9,64 | 0,37 |
| 18 | 10,06 | 0,38 |
| 19 | 10,92 | 0,39 |
| 20 | 10,73 | 0,39 |
| Rata-rata | 11,105 | 0,386 |



Gambar 7. Grafik Pengujian Sensor

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi gas amonia (NH₃) memiliki variasi yang lebih tinggi dibandingkan metana (CH₄). Variasi ini dipengaruhi oleh aktivitas ternak dan kondisi lingkungan kandang, sedangkan konsentrasi metana cenderung lebih stabil karena karakteristik pelepasan gas dari proses pencernaan ternak. Hasil ini membuktikan bahwa sensor mampu bekerja dengan baik dalam kondisi lingkungan sebenarnya.

Pengujian panel surya dilakukan pada rentang waktu pukul 07.00–17.00 WIB dengan interval satu jam pada berbagai kondisi cuaca. Daya maksimum panel surya tercatat sebesar 10,75 W pada kondisi cuaca cerah, sedangkan pada kondisi hujan daya menurun hingga 0,77 W. Total energi listrik yang dihasilkan panel surya selama pengujian adalah sebesar 50,71 Wh. Hasil ini menunjukkan bahwa keluaran daya panel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, sesuai dengan teori fotovoltaik.



Gambar 8. Grafik dan Data Pengujian Catu Daya

Pengujian daya tahan baterai menunjukkan bahwa dengan daya beban rata-rata sebesar 1,81 W, total energi yang dikonsumsi sistem adalah 18,05 Wh. Energi bersih yang tersimpan pada baterai sebesar 32,66Wh setara dengan kapasitas pengisian 2,72 Ah pada tegangan 12 V. Berdasarkan perhitungan, baterai mampu menyuplai beban sistem selama kurang lebih 18 jam tanpa bantuan panel surya, sehingga sistem dinilai cukup andal untuk beroperasi secara mandiri.

Pengujian koneksi ESP32 ke jaringan Wi-Fi dilakukan sebanyak sepuluh kali. Seluruh pengujian berhasil terhubung dengan waktu koneksi bervariasi antara 15 hingga 30 detik. Variasi waktu koneksi dipengaruhi oleh kekuatan sinyal dan kondisi lingkungan jaringan.

Tabel 2. Pengujian Konektivitas Wifi

| No | Pengujian | Waktu Koneksi (detik) | Keterangan |
|----|--------------|-----------------------|------------|
| 1 | Pengujian 1 | 22 | Terhubung |
| 2 | Pengujian 2 | 17 | Terhubung |
| 3 | Pengujian 3 | 15 | Terhubung |
| 4 | Pengujian 4 | 30 | Terhubung |
| 5 | Pengujian 5 | 18 | Terhubung |
| 6 | Pengujian 6 | 15 | Terhubung |
| 7 | Pengujian 7 | 29 | Terhubung |
| 8 | Pengujian 8 | 22 | Terhubung |
| 9 | Pengujian 9 | 25 | Terhubung |
| 10 | Pengujian 10 | 24 | Terhubung |

Setelah terhubung, ESP32 *receiver* berhasil mengirimkan data ke Firebase Realtime Database secara periodik setiap 5 detik dengan ukuran data sekitar ± 96 byte per siklus pengiriman. Data yang dikirim meliputi parameter gas, daya listrik, dan informasi sistem, yang kemudian dapat divisualisasikan secara *real-time*.

Pengujian komunikasi ESP-NOW dilakukan pada jarak 10 m, 20 m, 30 m, dan 40 m dalam kondisi ruang terbuka. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh data berhasil dikirim dan diterima tanpa kehilangan paket data pada semua jarak pengujian. Keberhasilan komunikasi hingga jarak 40 meter menunjukkan bahwa ESP-NOW memiliki jangkauan dan stabilitas yang memadai untuk aplikasi monitoring lapangan.

Tabel 3. Pengujian jarak ESP-NOW

| No | Jarak | Keterangan |
|----|----------|------------|
| 1 | 10 meter | Berhasil |
| 2 | 20 meter | Berhasil |
| 3 | 30 meter | Berhasil |
| 4 | 40 meter | Berhasil |

Kecepatan transmisi data dianalisis berdasarkan ukuran paket data sebesar ± 96 byte dengan interval pengiriman 5 detik. Kecepatan transmisi efektif sistem diperoleh sebesar 19,2 byte/detik atau setara dengan 153,6 bps. Nilai ini dinilai cukup untuk kebutuhan sistem monitoring gas dan energi yang bersifat periodik dan tidak memerlukan transmisi data berkecepatan tinggi. Interval sampling 5 detik juga dinilai relevan untuk menangkap dinamika perubahan konsentrasi gas di lingkungan kandang sehingga sistem mampu mendukung pemantauan kondisi udara secara kontinu dan responsif.

4. KESIMPULAN

Sistem perangkat keras yang mencakup sensor INA219, ADS1115, MQ-135, dan MQ-4 berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik. Seluruh komponen mampu berfungsi secara stabil, ditunjukkan oleh pembacaan tegangan, arus, daya, serta konsentrasi gas yang konsisten pada pengujian lapangan, serta respons sensor yang menunjukkan perubahan nilai ADC secara signifikan saat terpapar gas. Sistem komunikasi ESP-NOW terbukti mampu mentransmisikan data secara stabil hingga jarak 40 meter tanpa kehilangan paket data, sehingga layak digunakan sebagai protokol komunikasi jarak pendek pada aplikasi IoT monitoring lingkungan dan energi. Integrasi ESP32 *receiver* dengan *Firestore Realtime Database* berjalan optimal, ditandai dengan pengiriman dan pembaruan data secara real-time tanpa jeda yang signifikan, serta didukung oleh konektivitas Wi-Fi ESP32 yang menunjukkan waktu koneksi antara 15 hingga 30 detik dengan tingkat kestabilan yang memadai. Aplikasi Android yang dikembangkan mampu menampilkan data daya panel surya, kondisi gas, dan riwayat energi harian secara real-time melalui grafik dan indikator visual yang informatif, sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan pemantauan. Pengujian lapangan sensor gas menunjukkan bahwa konsentrasi amonia (NH_3) bersifat fluktuatif akibat aktivitas ternak, sedangkan metana (CH_4) cenderung stabil, sesuai dengan karakteristik lingkungan peternakan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Muhammadiyah Purwokerto yang telah menjadi penyandang dana untuk kegiatan ini.

DAFTAR PUSAKA

- [1] Rusdiana, S, dan A Maesya, (2017), “Pertumbuhan ekonomi dan kebutuhan pangan di Indonesia”. *Agriekonomika*, Vol. 6, No. 1, Hal. 12–25.
- [2] Octaviano, A., Sofiana, S., Agustino, D. O., dan Rosyani, P., (2022), “Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Internet Of Things”, *KLIK: Kajian Ilmiah Informatika dan Komputer*, Vol. 3, No. 2, ISSN 2723-3898., Hal. 147-156.
- [3] Hasanuddin, M. dan Herdianto, (2023), “Sistem Monitoring dan Deteksi Dini Pencemaran Udara Berbasis Internet of Things (IoT)”, *Journal of Computer System and Informatics (JoSYC)*, Vol. 4, No. 4, ISSN 2714-8912 (media online), ISSN 2714-7150 (media cetak), Hal. 976-984.
- [4] Susatyono, J. D. dan Fitrianto, Y. (2021), “Sistem Monitoring Kualitas Udara dan Otomatisasi Pemberian Pakan Ayam Berbasis IoT”, *KREA-TIF: JURNAL TEKNIK INFORMATIKA*, Vol. 9, No. 2, p-ISSN: 2338-2910, e-ISSN:2658-5836, pp. 1 – 10.
- [5] Anisha, L., Bala, D. B., Sabitha, S., and Beby, M. L. A., (2024), “Smart IoT System for Gas Monitoring and Environmental Control in Poultry Farms”, *Irish Interdisciplinary Journal of Science & Research (IIJSR)*, Vol. 8, No. 2, pp. 102-112.
- [6] Tan, Y.S., Tan, S.Z., Chew, L. W., and Tan, Y. X., (2024), “IoT-based Smart Farming System”, *International Journal of Emerging Multidisciplinaries: Computer Science and Artificial Intelligence. IJEMD-CSAI*, Vol. 3, No. 1, pp. 1 – 14.
- [7] Idofitraramdhan, Bustami, M. I. dan Riyadi, W., (2023), “Perancangan Smart System Ternak Ayam berbasis IoT menggunakan Arduino UNO”, *Jurnal Informatika Dan Rekayasa Komputer (JAKAKOM)*. Vol. 3, No. 1, ISSN 2808-5469 (media cetak), ISSN 2808-5000 (media online).
- [8] Dankan, G. V., Sandeep, P. M., Ramesha, M., Jayashree, M. K. and Ansuman, S., (2021), “Smart Agriculture and Smart Farming using IoT Technology”, *Journal of Physics: Conference Series*. 2089 (2021) 012038, doi:10.1088/1742-6596/2089/1/012038.
- [9] Syafar, F., Anwar, M. and Ridwansyah, (2021), “Smart Chicken Poultry Farm Using IoT Techniques”, *International Journal of New Technology and Research (IJNTR)*, Volume-7, Issue-10, ISSN: 2454-4116, pp. 40-43, doi:10.31871/IJNTR.7.10.11.
- [10] Menduni, G., Andrea Zifarelli, A., Kniazeva, E., Russo, S. D., Ranieri, A. C., Ranieri, E., Patimisco, P., Sampaolo, A., Giglio, M., Manassero, F., Dinuccio, E., Provolo, G., Wu, H., Lei, D., and Spagnolo, V., (2023), “Measurement of methane, nitrous oxide and ammonia in atmosphere with a compact quartz-enhanced photoacoustic sensor”, *Sensors and Actuators: B. Chemical*, doi:10.1016/j.snb.2022.132953.
- [11] Vecchi, N. T., Mellqvist, J., Samuelsson, J., Offerle, B., and Scheutz, C., (2022), “Ammonia and methane emissions from dairy concentrated animal feeding operations in California, using mobile optical remote sensing”, *Atmospheric Environment*, doi:10.1016/j.atmosenv.2022.119448.
- [12] Azizah, D. N., Heranurweni, S., and Idris, L. O. M., (2025), “Internet of Things Based Air Quality Monitoring System with Automatic Notification”, *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, Vol. 5, Iss. 3, ISSN(P): 2797-2313 | ISSN(E): 2775-8575, pp: 776-787.
- [13] Banhazi, T. M., (2009), “Uer-Friendly Air Quality Monitoring System”, *Applied Engineering in Agriculture*, Vol. 25(2): 281-290, ISSN 0883-8542.
- [14] Janke, D., Bornwin, M., Coorevits, K., Hempel, S., Overbeke, P. V., Demeyer, P., Rawat, A., Declerck, A., Amon, T., and Amon, B., (2023), “A Low-Cost Wireless Sensor Network for Barn Climate and Emission Monitoring—Intermediate Results”, *Atmosphere*, doi:0.3390/atmos14111643.
- [15] Gosavi, A., Dhamdhere, A., Gore, A. and Sardar, V. M., (2025), “IoT Based Poisonous Gas Detection, Monitoring and Alert System”, *IJIRT (INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE RESEARCH IN TECHNOLOGY)*, Vol. 11 Issue 11, ISSN: 2349-6002, pp. 6570-6574.
- [16] Al-Faris, M. G., and Elsi, Z. R. S., (2024), “Air Quality Monitoring System Based Internet Of Things”, *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, Vol. 4, No. 2, E-ISSN: 2807-9035, pp. 669-673.
- [17] Kulshrestha, D., Asati, A., Vyas, S., Sharma, S., and Bhadouria, A. S., (2024), “Air Pollution Detection & Monitoring Using Internet of Things (IoT)”, *MULTIDISCIPLINARY INNOVATIONS IN TECHNOLOGY AND SCIENCE JOURNAL*, Vol. 01, Issue 01, pp. 48-62.
- [18] Sakib, M., Sarkar, T., Das, S., Jannat, M., Akter, S, Shahjalal, M., (2024), “Real-Time IoT-Based Toxic Gas Monitoring and Comparative Analysis of Machine Learning Techniques for Air Quality Index Prediction in Dhaka”, 4th Int. Conf. on Innovations in Science, Engineering and Technology (ICISSET), DOI: 10.1109/ICISSET62123.2024.10939534.
- [19] Revanth, M. S, Sanjay, S, Puta, Y. R., Sreeja, B.S., (2021), “Smart IoT Device For Sewage Gas Mooitoring And Alert System”, *International Research Journal of Education and Technology*, Volume: 02 Issue: 03, ISSN: 2581-7795, pp. 52-57.
- [20] Shobana, J., Venkata, S. A., Balamurugan, P., Sivakumar, P., Sankari, V., Eldho, K. J., and Nareshkumar, R., (2025), “Smart Agriculture: Integrating Air Quality Monitoring With Deep Learnig For Process Optimization”, *Scalable Computing: Practice and Experience*, Volume 26, Issues 3, ISSN 1895-1767, pp. 1005–1016