

Sistem Pemantauan Gas Methana berbasis IoT pada Biodigester menggunakan komunikasi LoRa

Oleh:

Mochammad Nasrullah,
Jamaaluddin

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
April 2026

Pendahuluan

Biogas dari biodigester berpotensi sebagai energi terbarukan, namun efisiensi produksinya sangat bergantung pada pemeliharaan kadar metana yang optimal. Pemantauan secara manual tidak hanya berisiko terhadap keselamatan, tetapi juga tidak memungkinkan akses jarak jauh. Di sisi lain, sistem IoT berbasis WiFi yang sudah ada sulit diimplementasikan di peternakan terpencil akibat ketergantungan pada koneksi internet yang tidak stabil. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini mengusulkan integrasi IoT dengan teknologi komunikasi LoRa guna memungkinkan transmisi data jarak jauh tanpa memerlukan akses internet di lokasi sumber. Melalui pendekatan ini, penelitian bertujuan merancang sistem monitoring metana yang andal, efisien, dan skalabel untuk aplikasi biodigester di daerah terpencil dengan infrastruktur jaringan terbatas.

Pertanyaan Penelitian (Rumusan Masalah)

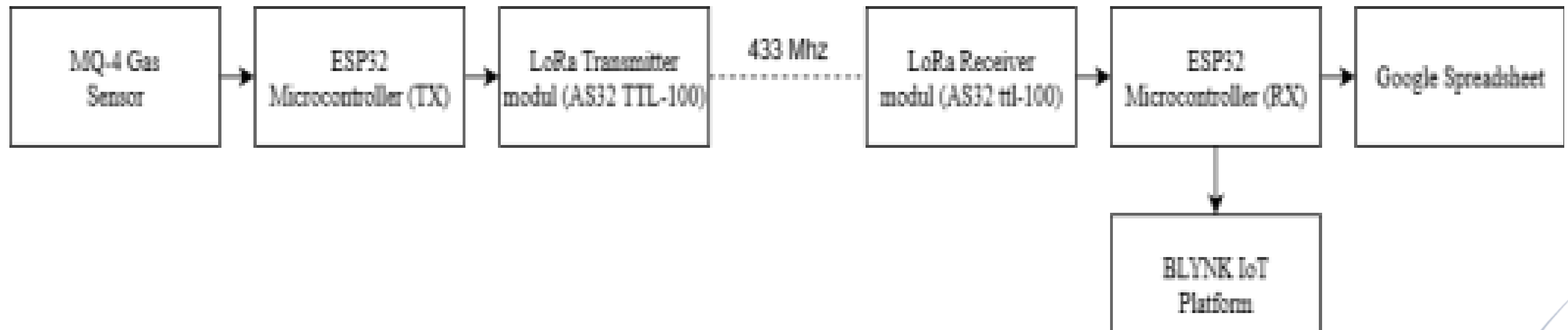
1. Bagaimana merancang sistem pemantauan konsentrasi metana pada biodigester secara real-time dan jarak jauh?
2. Seberapa efektif komunikasi LoRa dalam mentransmisikan data dari lokasi biodigester yang terpencil?
3. Bagaimana pengaruh variasi beban substrat terhadap produksi gas metana?
4. Apakah sistem dapat beroperasi handal tanpa akses internet di lokasi biodigester?

Metode

Penelitian kuantitatif eksperimental ini mengembangkan sistem monitoring metana berbasis IoT-LoRa dengan sensor MQ-4 dan mikrokontroler ESP32. Data konsentrasi metana yang telah diproses oleh ESP32 pada unit pemancar dikirimkan secara nirkabel melalui **modul LoRa transmitter** (AS32 TTL-100, 433 MHz). Data tersebut kemudian diterima oleh **modul LoRa receiver** pada unit penerima, yang selanjutnya diteruskan ke **ESP32 receiver** untuk diproses ulang dan dikirimkan ke platform **Blynk** serta **Google Spreadsheet** melalui koneksi WiFi. Pengujian dilakukan selama 14 hari dengan variasi substrat 2/4/6 kg (kotoran sapi:air 1:1 + molases 20 ml/kg) pada jarak transmisi 50 meter. Parameter yang diukur meliputi konsentrasi metana (ppm), kecepatan transmisi (bps), dan packet delivery ratio (PDR). Data dianalisis menggunakan rata-rata aritmatika dalam jendela 2 menit dengan mekanisme retry otomatis untuk menjamin keandalan transmisi.

Metode

- Arsitektur Sistem

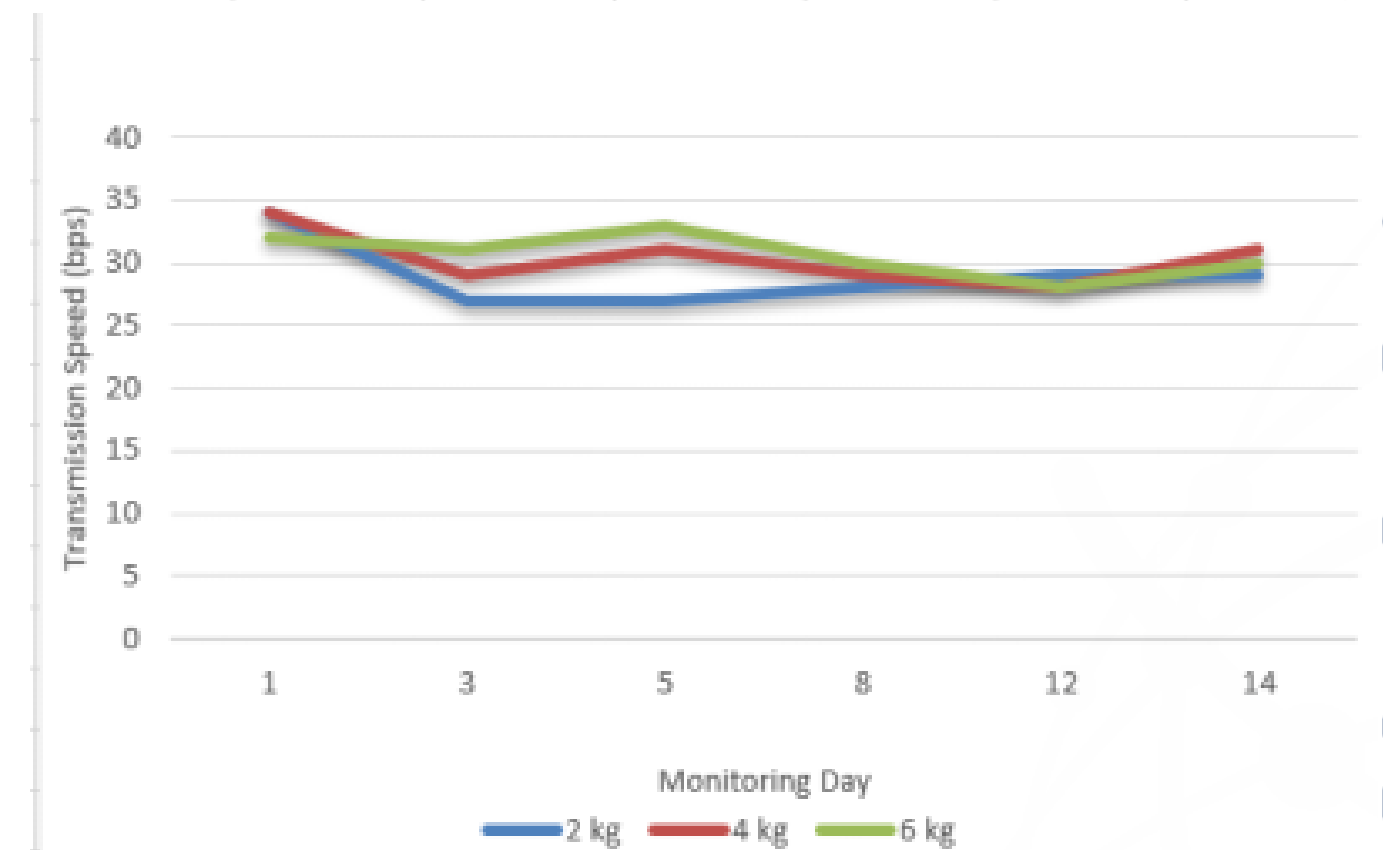
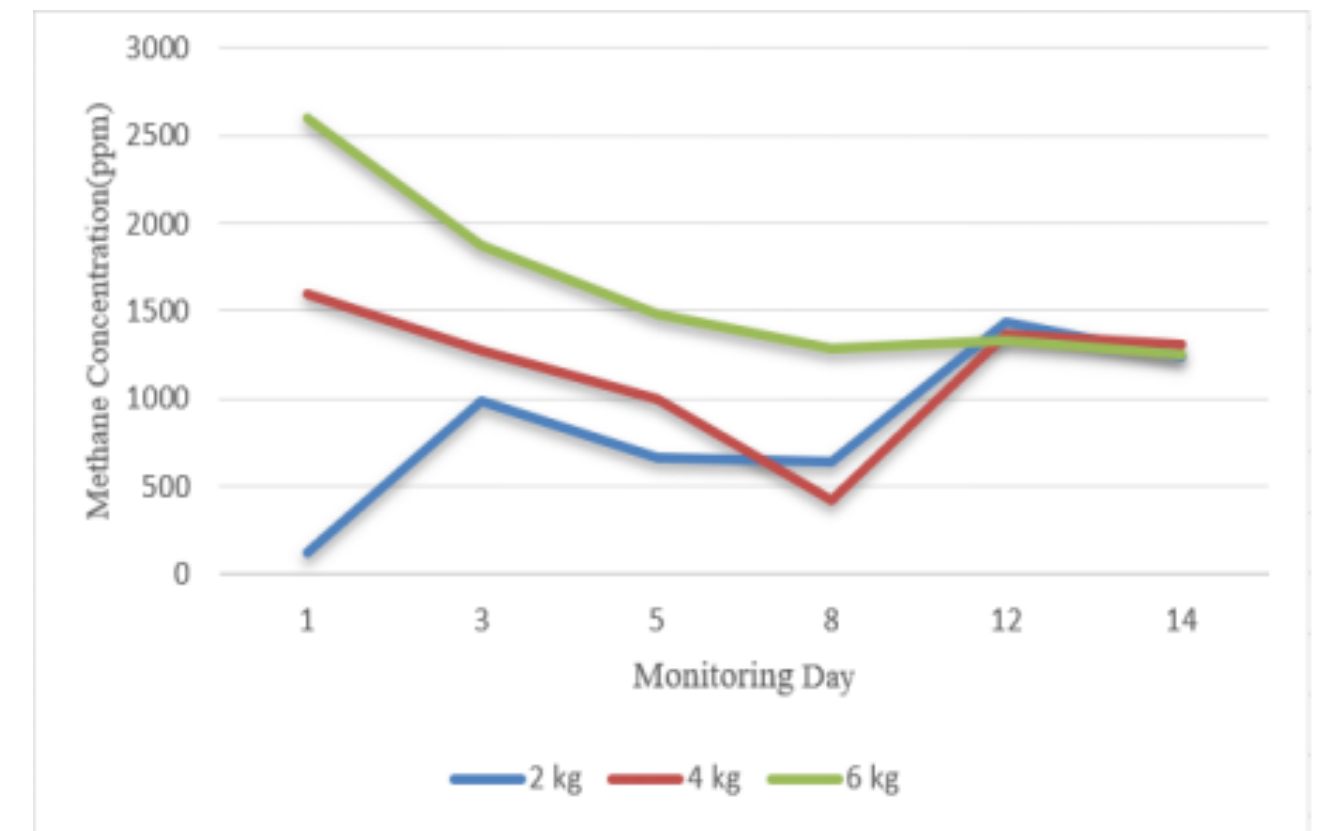


Hasil

- Hasil pengujian sensor

Day	2kg (ppm)	4kg (ppm)	6kg (ppm)
1	115,67	1.597	2600
3	980.16	1.266	1.871
5	655	966	1479
8	640	420	1286
12	1428	1362	1364

Day Kecepatan LoRa (bps)	2kg	4kg	6kg
1	77,01	33,66	31,67
3	27,39	29.20	31
5	27	31	33
8	28	28	30
12	29	28	28



Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian, sistem pemantauan metana berbasis IoT-LoRa menunjukkan kinerja yang andal dengan akurasi pembacaan sensor MQ-4 yang memadai serta stabilitas komunikasi LoRa pada kecepatan 27–33 bps dan packet delivery ratio (PDR) di atas 85% pada jarak 50 meter. Variasi beban substrat (2 kg, 4 kg, dan 6 kg) memengaruhi dinamika produksi metana, di mana ketersediaan bahan organik turut menentukan durasi fase adaptasi mikroba. Meskipun demikian, ketiga perlakuan menunjukkan kesamaan konsentrasi ke kisaran 1.200–1.300 ppm pada hari ke-14, yang mengindikasikan tercapainya kondisi kesetimbangan sistem pasca fase adaptasi. Selain itu, integrasi platform Blynk dan Google Spreadsheet berhasil memfasilitasi visualisasi data secara real-time serta pencatatan berbasis cloud tanpa bergantung pada konektivitas internet di lokasi biodigester. Dengan demikian, konfigurasi dual-ESP32 yang diterapkan dalam penelitian ini menawarkan solusi teknis yang skalabel dan ekonomis untuk mendukung manajemen energi terbarukan di wilayah peternakan terpencil dengan keterbatasan infrastruktur jaringan.

Temuan Penting Penelitian

- Beban substrat memengaruhi dinamika produksi metana pada fase awal fermentasi, namun tidak memengaruhi kondisi akhir sistem: Variasi 6 kg: konsentrasi awal tertinggi (2.600 ppm) → fermentasi awal lebih cepat, Variasi 2 kg: puncak tertunda (hari 12) → adaptasi mikroba lebih lama
- LoRa beroperasi stabil dan independen terhadap kondisi fermentasi biodigester: Kecepatan transmisi konsisten: 27–33 bps (mulai hari ke-3), Packet Delivery Ratio (PDR): >85% tanpa kehilangan paket signifk, Jarak 50 meter dengan hambatan fisik (kandang, vegetasi) tetap anda, Beban substrat tidak memengaruhi kinerja tautan nirkabel
- Sistem menawarkan solusi skalabel dan biaya rendah untuk manajemen energi terbarukan di area terpencil: Komponen off-the-shelf (ESP32, MQ-4, LoRa AS32) mudah diperoleh dan dirakit, Konfigurasi dapat diperluas untuk pemantauan multi-biodigester di lahan terdistribusi, Cocok untuk peternakan skala kecil-menengah dengan infrastruktur jaringan terbatas

Manfaat Penelitian

Dari perspektif keberlanjutan, penelitian ini mendukung kemandirian energi terbarukan di wilayah pedesaan dengan menghadirkan teknologi yang adaptif terhadap keterbatasan infrastruktur jaringan. Implementasi sistem pemantauan ini berpotensi meningkatkan efisiensi konversi limbah ternak menjadi energi, mengurangi emisi gas rumah kaca yang tidak terkontrol, serta mendorong praktik peternakan berkelanjutan yang selaras dengan prinsip circular economy. Dalam jangka panjang, adopsi teknologi tepat guna ini dapat menurunkan biaya operasional produksi biogas, meningkatkan nilai tambah limbah organik, dan berkontribusi pada pencapaian target pembangunan berkelanjutan terkait energi bersih dan mitigasi perubahan iklim.

Referensi

- [1] “F. N. A. Zubaydah, A., Sabilah, A. Z., Sari, D. P., dan Hidayah, ‘Mengurangi Emisi: Mendorong Transisi Ke Energi Bersih Untuk Mengatasi Polusi Udara,’ *BIOCHEPHY: Journal of Science Education*, vol. 04, no. 1, pp. 11–21, doi: 10.52562/biochephy.v4i1.1062.”
- [2] “M. R. A. Wardhana, R. A. Budivisanti, S. Rochmah, and D. I. C. Sary, ‘Dari Kotoran Sapi ke Energi Terbarukan: Pengabdian Masyarakat di Dusun Jambuweer, Desa Balesari,’ *Jurnal Dedikasia : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 4, no. 1, pp. 24–37, 2024, [Online]. Available: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>”.
- [3] “Z. W. Dzulfiqar, M. M. Rizki, and K. Sumada, ‘Studi Kuantitas dan Kualitas Biogas dari Berbagai Jenis Limbah Organik dan Waktu Fermentasi,’ vol. X, no. 3, pp. 13898–13902, 2025.”
- [4] “F. M. Alsyadilah, K. H. S, and Y. Oktaviani, ‘Pengelolaan Limbah Kotoran Ternak Sapi Menjadi Biogas Sebagai Sumber Pupuk Organik Rumah Tangga,’ *Social Engagement*, vol. 1, no. 1, pp. 18–23, 2024.”
- [5] J. Pengabdian Magister Pendidikan IPA *et al.*, “Pemanfaatan Limbah Organik (Kotoran Sapi) Menjadi Biogas dan Pupuk Kompos,” *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, vol. 4, no. 1, 2021, doi: 10.29303/jpmpi.v3i2.615.
- [6] P. Kotoran Sapi Menjadi Biogas Sebagai Upaya Pengendalian Limbah Peternakan Wita Fidela *et al.*, “Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Sebagai Upaya Pengendalian Limbah Peternakan,” 2024, doi: 10.55448/ems.
- [7] “F. Palallo and I. Oskar, ‘Pengaruh Ukuran Arang Aktif Sebagai Filter Terhadap Reduksi Hidrogen Sulfida Pada Biogas,’ *Jurnal Nasional Teknik Mesin Cycloid*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2023.”
- [8] I. Afifah and A. Ariani, “PENGARUH PENURUNAN SUHU GAS ALAM DI DALAM COOLER TERHADAP KEMAMPUAN PENYERAPAN GAS H₂S PADA UNIT ACID GAS REMOVAL,” *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 10, no. 3, pp. 526–531, Sep. 2024, doi: 10.33795/distilat.v10i3.5057.
- [9] H. N. Aulia, “SIMULASI ASPEN HYSYS PADA KOLOM ABSORBSI GAS CO₂ DENGAN SOLVEN METILDIETANOLAMINE (MDEA),” *JURNAL TEKNOLOGI TECHNOSCIENTIA*, pp. 85–90, Mar. 2022, doi: 10.34151/technosciantia.v14i2.3579.

Referensi

- [10] P. Biogas, P. Risiko, P. Limbah, P. Agita, and C. I. Prasasti, "Jurnal Pengabdian Nasional (JPN) Indonesia," vol. 6, no. 3, 2025, doi: 10.35870/jpni.v6i3.1539.
- [11] H. Elvian Gayuh Prasetya, ah Amalia, A. Fawaidz Bintang Azisa, A. Lailatul Fitri, and M. Rizal Jibrán, "RANCANG BANGUN SMART BIOGAS PLANT MENGGUNAKAN TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS (IOT)," 2022.
- [12] J. Jamaaluddin, I. Anshory, S. Galih R, and A. Fudholi, "Automatic Power Factor Correction Using Fuzzy Inference System And Internet Of Things," *Journal FORTEI-JEERI*, vol. 6, no. 1, pp. 20–35, May 2025, doi: 10.46962/forteijeeri.v6i1.28.
- [13] A. Ezrafi, Y. Fitriyani, and M. Wijayanti, "SISTEM MONITORING BIODIGESTER BERBASIS ARDUINO NANO," *JUIT*, vol. 2, no. 2.
- [14] E. Purnama Dewi, J. Sumarsono, and I. Gusti Made Kompyang, "Pengembangan akuisisi data pada sistem pemantauan biogas berbasis IoT Development of data acquisition biogas monitoring system based on IoT," vol. 11, no. 1, p. 2024.
- [15] I. PENULIS Awal Maulid Sari and I. Artikel, "Jurnal Sains dan Teknologi (AJST) Keberhasilan Peternak dalam Mengembangkan Usaha Peternakan Sapi Bali di Kabupaten Muna Provinsi Sulawesi Tenggara," *Arus Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 1, pp. 216–221, 2024, [Online]. Available: <http://jurnal.ardenjaya.com/index.php/ajst><http://jurnal.ardenjaya.com/index.php/ajst>
- [16] M. F. Ilmi, S. Syahririni, and S. D. Ayuni, "Automatic Water Quality and Fish Feed Monitoring System in Aquarium Using LORA," *Journal of Computer Networks, Architecture and High Performance Computing*, vol. 5, no. 2, pp. 444–457, Jul. 2023, doi: 10.47709/cnahpc.v5i2.2479.
- [17] Z. N. Ayudya, R. Sumiharto, S. Si, and M. Cs, "ENHANCING FORMULA STUDENT TELEMETRY: IMPROVED RANGE AND DATA RELIABILITY WITH 433 MHZ LONG-RANGE MODULES. ENHANCING FORMULA STUDENT TELEMETRY: IMPROVED RANGE AND DATA RELIABILITY WITH 433 MHZ LONG-RANGE MODULES." [Online]. Available: <http://etd.repository.ugm.ac.id/>
- [18] S. Wahjuni, A. R. Akbar, M. Maxiwinata, and H. Rahmawan, "Analisis Kinerja Komunikasi Data Berbasis LoRa pada IoT untuk Pemantauan Lingkungan Kandang Ayam Performance Analysis of LoRa-Based Data Communication on IoT for Monitoring Chicken Coop Environmental." [Online]. Available: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jika>
- [19] G. Cipta Lismana, M. A'an Auliq, and B. S. Rintyarna, "Perancangan Dan Implementasi Sensor MQ-4 Gas Metana (CH₄) Pada Sistem Biogas Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)*, vol. 7, pp. 99–108, 2025, doi: 10.32528/elkom.v7i1.11458.
- [20] H. A. Putra and A. Rosano, "Implementasi IOT Dalam Sistem Monitoring Kualitas Air Menggunakan Platform Blynk Dan GoogleSheet," 2024. [Online]. Available: <http://jurnal.bsi.ac.id/index.php/insantek>

Referensi

- [21] Moch. F. Laksono Hadi, I. Sulistiyowati, J. Jamaaluddin, and I. Anshory, "Design of a Height and Weight Measurement Tool for Toddlers at Spreadsheet-Based Posyandu," *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, vol. 7, no. 2, pp. 163–175, Oct. 2023, doi: 10.21070/jeeeu.v7i2.1677.
- [22] I. Kadek Cahyadi Arta, "ANIMAL TRACKING BERBASIS IOT PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO POLITEKNIK NEGERI BALI 2022."
- [23] D. H. R. Saputra, S. Syahririni, A. Ahfas, and J. Jamaaluddin, "SMS Application in bird feed scheduling automation," in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Dec. 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1402/4/044008.
- [24] J. STAI Al-Ma and arif Buntok, "Aida dkk, Jenis Data Penelitian Kuantitatif ...," vol. 10, no. 1.
- [25] L. Moiroux-Arvis, C. Cariou, and J.-P. Chanet, "Evaluation of LoRa technology in 433-MHz and 868-MHz for underground to aboveground data transmission," 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169922000874>
- [26] I. Sulistiyowati, Y. Findawati, S. K. A. Ayubi, J. Jamaaluddin, and M. P. T. Sulistyanto, "Cigarette detection system in closed rooms based on Internet of Thing (IoT)," in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Dec. 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1402/4/044005.
- [27] A. Galajdova and R. Rakay, "Long range iot communication," *MM Science Journal*, vol. 2021-October, pp. 4781–4885, Oct. 2021, doi: 10.17973/MMSJ.2021_10_2021038.
- [28] I. G. A. Negara, D. S. Anakottapary, I. A. A. Arsani, I. N. L. Antara, and T. G. T. Nindhia, "Quantitative Analysis of Methane in a Biogas Reactor Using an MQ-4 Sensor for Low-Cost Monitoring," 2025, pp. 175–183. doi: 10.2991/978-94-6463-878-3_21.
- [29] C. Yang et al., "Improving the Accuracy of Methane Sensor with Dual Measurement Modes Based on Off-Axis Integrated Cavity Output Spectroscopy Using White Noise Perturbation," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 15, no. 10, May 2025, doi: 10.3390/app15105562.
- [30] S. D. Ayuni, S. Syahririni, and J. Jamaaluddin, "Lapindo Embankment Security Monitoring System Based on IoT," *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, vol. 6, no. 1, pp. 40–48, Sep. 2021, doi: 10.21831/elinvo.v6i1.40429.
- [31] A. R. Elniski, S. G. Chatterjee, C. Mondal, and K. Doelle, "Effects of Substrate to Inoculum Ration on Biogas Production from Anaerobic Co-digestion of Office Paper and Cow Manure," *Journal of Energy Research and Reviews*, pp. 1–15, Dec. 2019, doi: 10.9734/jenrr/2019/v3i430112.
- [32] F. Zaid, N. Al-Awwal, J. Yang, S. H. Anderson, and B. T. B. Alsunuse, "Effects of Biochar-Amended Composts on Selected Enzyme Activities in Soils," *Processes*, vol. 12, no. 8, Aug. 2024, doi: 10.3390/pr12081678.
- [33] K. D. Irianto, "Performance Evaluation of LoRa in Farm Irrigation System with Internet of Things," *Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control*, Nov. 2022, doi: 10.22219/kinetik.v7i4.1551.

