

Pemanfaatan Biogas Berbasis *IoT* untuk Solusi Krisis Energi di Desa Hatu Kabupaten Maluku Tengah

Stevi Silahooy^{*1}, Fredrik Manuhutu², Ervina Rumpakwakra³, Delpina Nggolaon⁴, Jamaludin⁵, Jony Taihuttu⁶, Frandy Akyuwen⁷, Abdurrohman As Salafi⁸, Enjelina Riana Minaely⁹

^{1,8}Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura

^{2,7,9}Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pattimura

^{3,4}Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura

^{5,6}Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas KIP, Universitas Pattimura

e-mail: ^{*1}silahooystevi@gmail.com, ²fredmoluks@gmail.com, ³ervinarumpakwakra@gmail.com,
⁴dnggolaon@gmail.com, ⁵kacianjamal@gmail.com, ⁶jonytaihuttu@gmail.com, ⁷frandyakyuwen@gmail.com,
⁸abdurrohmanassalafi95@gmail.com, ⁹angelminaely04@gmail.com

Article History

Received: 19 September 2025

Revised: 5 Oktober 2025

Accepted: 5 Oktober 2025

Doi : 10.58794/jdt.v6i1.1713

Kata Kunci – Krisis energi, biogas, *IoT*, Energi terbarukan, Maluku Tengah

Abstract – The community of Batu Badiri Hamlet, Central Maluku Regency, still faces an energy crisis due to the scarcity of kerosene, which has long been the main source of household energy. This condition forces the community to rely on firewood, which is inefficient, poses health risks, and has negative environmental impacts. To address this issue, the Community Partnership Program (PKM) was implemented with the aim of introducing and applying biogas technology equipped with an automatic control system (*IoT*), while also improving the partners' skills in digester maintenance to ensure optimal and sustainable operation. The activities included socialization, technical training on digester construction and maintenance using a community development approach, and trials of biogas utilization integrated with an *IoT*-based control system. The results showed that biogas produced from cattle manure could be used for cooking for 5–7 days with an average of 40–60 minutes per day, thereby reducing dependence on kerosene and firewood. The application of *IoT* provides a novel contribution through real-time monitoring of key parameters (temperature, humidity, pH, conductivity, and methane gas volume), which not only ensures the reliability of the fermentation process but also improves energy efficiency and enables the community to detect potential digester disruptions at an early stage.

Abstrak – Masyarakat Dusun Batu Badiri, Kabupaten Maluku Tengah, masih menghadapi krisis energi akibat kelangkaan minyak tanah yang selama ini menjadi sumber utama kebutuhan rumah tangga. Kondisi ini memaksa masyarakat beralih menggunakan kayu bakar yang tidak efisien, berisiko terhadap kesehatan, serta berdampak negatif pada lingkungan. Menjawab permasalahan tersebut, Program Kemitraan Masyarakat (PKM) ini dilaksanakan dengan tujuan memperkenalkan dan menerapkan teknologi biogas berbasis sistem kontrol otomatis (*IoT*) sekaligus meningkatkan keterampilan mitra dalam pemeliharaan digester agar sistem dapat beroperasi optimal dan berkelanjutan. Metode kegiatan meliputi sosialisasi, pelatihan teknis pembuatan dan perawatan digester dengan pendekatan *community development*, serta uji

coba pemanfaatan biogas dan sistem kontrol *IoT*. Hasil menunjukkan biogas dari kotoran sapi mampu digunakan untuk memasak selama 5–7 hari dengan rata-rata 40–60 menit per hari, sehingga mengurangi ketergantungan terhadap minyak tanah dan kayu bakar. Penerapan *IoT* memberikan kontribusi baru berupa pemantauan real-time terhadap parameter penting (temperatur, kelembaban, pH, konduktivitas, dan volume gas metana), yang tidak hanya memastikan keandalan proses fermentasi tetapi juga meningkatkan efisiensi penggunaan energi dan memudahkan masyarakat dalam mengidentifikasi potensi gangguan pada digester sejak dini.

1. PENDAHULUAN

Kondisi energi Indonesia dalam mewujudkan ketahanan energi saat ini masih banyak permasalahan [1], [2]. Salah satunya adalah ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang berdampak pada rendahnya pemanfaatan energi terbarukan. Pada tahun 2019, pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT) di Indonesia mencapai 9,15%, yang berarti baru terealisasi sekitar 39,8% dari target yang ditetapkan untuk tahun 2025 [3]. Sesuai dengan program pemerintah dalam Asta Cita yang tertuang dalam Perpres RI No. 139 Tahun 2024, Indonesia mendukung ketersediaan pasokan energi jangka panjang dan mengamankan ketahanan nasional. Ketahanan energi diwujudkan melalui pengembangan energi terbarukan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan sesuai dengan Sustainable Development Goals (SDGs) [4]. Pemerintah Indonesia melalui target bauran energi primer (25% minyak bumi, 22% gas alam, 30% batubara, dan 23% EBT) pada tahun 2025, memiliki keinginan kuat untuk mewujudkan SDGs demi kemandirian dan ketahanan energi nasional [5].

Maluku merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang mengalami krisis energi, akibat kelangkaan minyak tanah. Pada tahun 2024, terjadi antrean panjang masyarakat untuk mendapatkan minyak tanah akibat kelangkaan pasokan [6], [7], [8]. Kondisi ini diperparah dengan keterbatasan infrastruktur distribusi energi, yang menyebabkan harga minyak tanah menjadi tidak stabil dan akses terhadap sumber energi menjadi semakin sulit [9], [10].

Pada bulan Maret 2025 (Gambar 1), sebagai langkah awal Tim PKM telah melakukan survei lokasi dan wawancara dengan salah satu perwakilan Kelompok Peternak ‘Kampung Ternak Mandiri’ di sebuah dusun bernama Batu Badiri yang terletak di Desa Hatu, Kabupaten Maluku Tengah. Kelompok peternak ini mengelola sapi sekitar 90 ekor dengan jumlah anggota sebanyak 11 orang. Permasalahan yang dihadapi oleh peternak di daerah ini adalah kelangkaan minyak tanah, yang hanya tersedia sesekali. Permasalahan ini bukan saja dihadapi oleh kelompok peternak, tetapi juga dirasakan oleh seluruh warga di Dusun Batu Badiri yang dihuni oleh 11 KK. Kelangkaan ini menyebabkan seluruh masyarakat akhirnya beralih menggunakan kayu bakar sebagai sumber energi utama (Gambar 2).



(a)



(b)

Gambar 1. (a) Survei lokasi lahan Peternakan (b) Wawancara dengan salah satu perwakilan kelompok peternak



Gambar 2. Kondisi dapur warga di Dusun Batu Badiri

Selain itu, permasalahan lain yang dihadapi oleh kelompok peternak adalah minimnya informasi mengenai pemanfaatan limbah kotoran sapi. Sehingga kotoran ternak masih dibuang begitu saja dan berserakan dilapangan dan jalan raya tanpa pemanfaatan yang optimal (Gambar 3). Solusi dari permasalahan tersebut ialah dengan membuat teknologi biogas sebagai energi alternatif dengan memanfaatkan kotoran sapi sebagai bahan baku utama.

Biogas adalah salah satu sumber energi yang dihasilkan melalui proses fermentasi berbagai limbah, seperti sampah, kotoran ternak, kotoran manusia, jerami, dan bahan organik lainnya dalam kondisi tanpa oksigen (anaerob). Proses ini menghasilkan gas metana yang sebagian besar terdiri dari karbon dioksida dan karbon. Gas metana dapat dimanfaatkan sebagai energi terbarukan untuk memasak [11]. Akhir-akhir ini banyak sekali inovasi teknologi biogas. Salah satunya adalah teknologi biogas berbasis sistem kontrol dan *IoT*. Teknologi ini berhasil meningkatkan produksi gas metana dan efisiensi proses produksi biogas [12], [13].

Berdasarkan permasalahan yang ditemui, kelompok peternak “Kampung Ternak Mandiri” selaku mitra membutuhkan pendampingan dalam mendapatkan solusi yang tepat. Tujuan dari PKM ini adalah sebagai berikut:

1. Menerapkan teknologi biogas menggunakan sistem kontrol otomatis berbasis *IoT* sebagai solusi energi alternatif bagi masyarakat Dusun Batu Badiri.
2. Menerapkan metode pemeliharaan dan pengelolaan digester biogas untuk memastikan sistem produksi biogas dapat berjalan secara optimal dan berkelanjutan.



Gambar 3. Kotoran sapi yang berserakan di lapangan dan jalan raya

Pelaksanaan kegiatan ini mendukung SDG 7 tentang energi bersih dan terjangkau dengan memanfaatkan teknologi biogas untuk menyediakan energi terbarukan yang ramah lingkungan. Selain itu, kegiatan ini juga berkontribusi pada SDG 10 dengan mengurangi kesenjangan sosial dan ekonomi khususnya di daerah

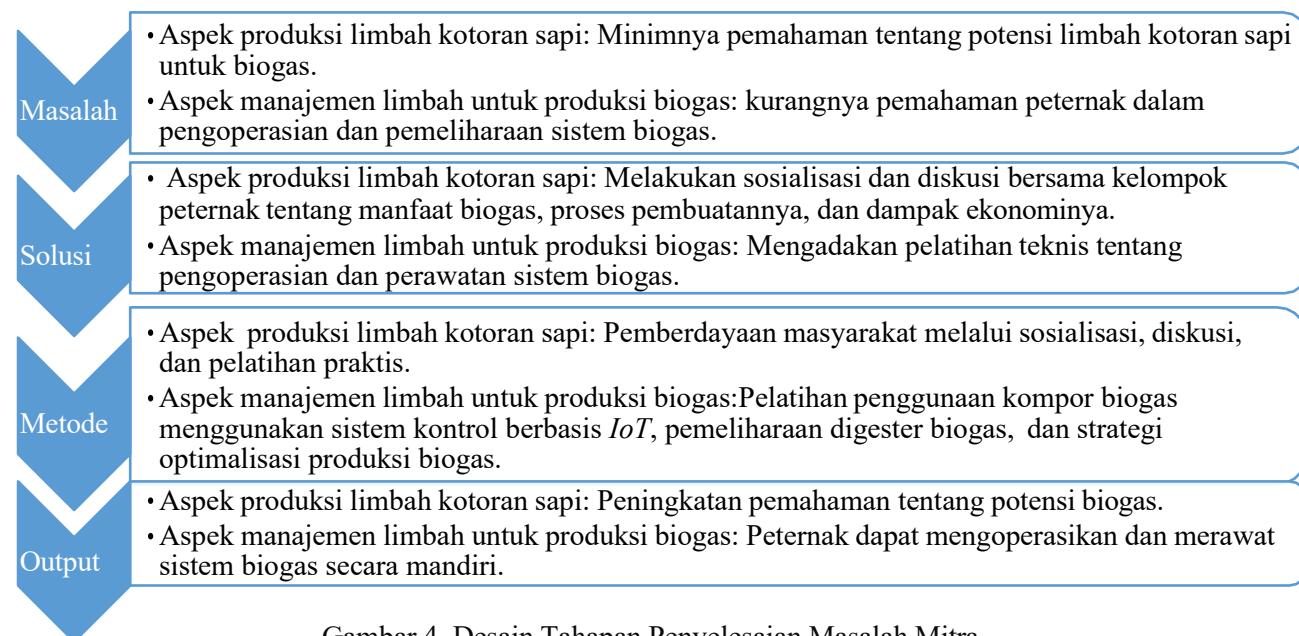
terpencil. Kegiatan ini juga mendukung IKU dengan memberikan pengalaman langsung bagi mahasiswa (IKU 2), keterlibatan dosen dalam menyelesaikan permasalahan masyarakat (IKU 3), dan penerapan riset dosen yang bermanfaat bagi masyarakat (IKU 5). Selain itu, kegiatan ini sejalan dengan Asta Cita dalam Perpres No. 139 Tahun 2024, yang bertujuan untuk mengamankan ketahanan energi nasional melalui energi terbarukan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Dalam konteks RIRN, kegiatan ini mendukung pengembangan energi baru dan terbarukan, berkontribusi pada ketahanan energi, dan mengatasi masalah distribusi energi di daerah terpencil.

2. METODE PENGABDIAN

Pelaksanaan kegiatan Pemberdayaan Kemitraan Masyarakat (PKM) didasarkan pada analisis situasi, identifikasi permasalahan yang dihadapi mitra, serta solusi yang telah disepakati antara tim pelaksana dan mitra. Rancangan tahapan penyelesaian permasalahan mitra disajikan pada Gambar 4. Metode yang digunakan adalah *Community Development*, yaitu pendekatan yang berorientasi pada pemberdayaan masyarakat dengan melibatkan mereka secara aktif sebagai subjek dan objek dalam pembangunan. Dalam hal ini, masyarakat dilibatkan secara langsung dalam seluruh proses pengabdian yang bertujuan untuk meningkatkan pemanfaatan limbah kotoran sapi sebagai sumber energi alternatif melalui teknologi biogas menggunakan sistem kontrol otomatis berbasis *IoT*. Kegiatan ini dilaksanakan selama 5 bulan dan terbagi dalam lima tahapan, yaitu:

2.1 Sosialisasi

Sosialisasi dilakukan pada awal kegiatan pelaksanaan pengabdian kepada masyarakat terkait inovasi pemanfaatan limbah pertanian untuk produksi biogas. Tim pelaksana memberikan informasi kepada mitra mengenai tujuan kegiatan, tahapan pelaksanaan, serta manfaat yang diharapkan. Kegiatan ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman masyarakat mengenai potensi limbah pertanian dalam menghasilkan energi alternatif yang berkelanjutan.



Gambar 4. Desain Tahapan Penyelesaian Masalah Mitra

2.2 Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan untuk mengidentifikasi potensi dan ketersediaan limbah pertanian yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biogas. Selain itu, survei ini juga mencakup penentuan lokasi pembangunan digester anaerobik serta evaluasi kondisi lingkungan yang mendukung proses fermentasi biogas secara optimal.

2.3 Pembuatan Sistem Biogas Menggunakan Sistem Kontrol Otomatis Berbasis *IoT*

Berdasarkan hasil survei dan analisis data, perancangan dan pembuatan sistem biogas menggunakan digester anaerobik akan dilakukan. Digester ini dirancang sesuai dengan kondisi lokal dan kebutuhan energi

masyarakat. Pemasangan digester akan melibatkan mitra secara langsung untuk meningkatkan keterampilan mereka dalam membangun, mengoperasikan, dan merawat sistem biogas secara mandiri, dengan dukungan sistem kontrol otomatis berbasis *IoT* untuk memantau kondisi digester secara *real-time*.

2.4 Pelatihan dan Pendampingan

Pelatihan diberikan untuk meningkatkan pemahaman mitra dalam pengelolaan biogas, meliputi:

- Pengoperasian Digester: prinsip kerja, pengisian bahan baku, penggunaan sensor (suhu, kelembaban, konduktivitas, pH, gas metana) untuk menjaga fermentasi optimal.
- Pemanfaatan Biogas: penggunaan biogas sebagai energi alternatif (memasak) serta pemantauan tekanan gas secara *real-time* melalui *IoT*.
- Perawatan dan Perbaikan: perawatan rutin dan penanganan masalah teknis.

2.5 Evaluasi

Evaluasi dilakukan untuk menilai keberhasilan dan keberlanjutan program, meliputi:

- Produksi dan Pemanfaatan: efektivitas produksi dan pola penggunaan biogas dengan pemantauan sistem kontrol *IoT*.
- Kualitas dan Efisiensi Digester: pemantauan suhu, kelembaban, konduktivitas, pH, gas metana untuk menjaga fermentasi serta identifikasi masalah teknis.
- Keberlanjutan Program: kemampuan masyarakat mengelola sistem secara mandiri serta pemanfaatan aplikasi web dalam operasional.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sosialisasi

Tahap awal kegiatan PKM dilaksanakan dalam bentuk sosialisasi kepada masyarakat Dusun Batu Badiri pada 25 Juli 2025. Kegiatan ini dihadiri oleh Pejabat Desa Hatu beserta perangkat desa, kelompok mitra peternak, masyarakat sekitar, serta siswa SMA Negeri 14 Maluku Tengah dengan jumlah peserta sebanyak 30 orang (Gambar 5).



Gambar 5. Kegiatan sosialisasi kepada mitra “Kampung Ternak Mandiri”

Sosialisasi bertujuan untuk memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai urgensi pengembangan energi alternatif melalui pemanfaatan limbah kotoran sapi, sekaligus memperkenalkan rencana penerapan teknologi biogas berbasis sistem kontrol otomatis (*IoT*).

Pada kegiatan ini, tim PKM menyampaikan materi terkait kondisi energi nasional, krisis energi yang dialami masyarakat Maluku akibat kelangkaan minyak tanah, serta potensi besar biogas sebagai energi terbarukan yang ramah lingkungan dan terjangkau. Selain itu, tim juga menjelaskan manfaat langsung dan jangka panjang dari teknologi biogas berbasis *IoT*, baik dari sisi lingkungan, ekonomi, maupun kesehatan masyarakat. Melalui sesi diskusi, peserta diberikan kesempatan untuk menyampaikan pandangan, harapan, maupun kendala yang mereka hadapi terkait pemenuhan kebutuhan energi dan pengelolaan limbah ternak.

Kegiatan sosialisasi ini menjadi langkah penting dalam membangun kesadaran, menumbuhkan rasa memiliki, dan meningkatkan partisipasi aktif masyarakat pada setiap tahap kegiatan PKM. Kehadiran perangkat desa dan siswa sekolah menambah nilai positif karena menunjukkan dukungan dari berbagai pihak serta membuka ruang pembelajaran lintas generasi mengenai pentingnya energi terbarukan untuk masa depan desa.

3.2 Pelatihan Pembuatan Teknologi Biogas

Setelah kegiatan sosialisasi, tahap berikutnya adalah pelatihan teknis pembuatan teknologi biogas yang difokuskan pada kelompok peternak mitra di Dusun Batu Badiri (Gambar 6). Pada tahap ini, tim PKM memberikan materi mengenai prinsip dasar kerja digester biogas, mulai dari konsep fermentasi anaerob, mekanisme pembentukan gas metana, hingga kebutuhan bahan baku utama berupa kotoran sapi. Peserta juga diperkenalkan pada aspek teknis berupa desain, konstruksi, dan instalasi digester dengan kapasitas skala kecil hingga menengah yang disesuaikan dengan kondisi lokal dan jumlah ternak yang dikelola oleh mitra.

Pelatihan dilakukan menggunakan metode *hands-on training*, sehingga peserta tidak hanya memperoleh teori, tetapi juga langsung dilibatkan dalam proses praktik. Mitra diajak untuk memahami langkah demi langkah pembuatan digester, pengoperasian sistem, serta teknik perawatan agar instalasi dapat berfungsi optimal dalam jangka panjang. Selain itu, pada sesi ini juga diberikan materi tambahan mengenai perhitungan rata-rata produksi biogas dari kotoran sapi, misalnya estimasi volume gas yang dapat dihasilkan dari jumlah sapi yang dikelola, serta cara menyesuaikan kapasitas digester dengan kebutuhan energi rumah tangga masyarakat.



Gambar 6. Kegiatan pelatihan kepada mitra “Kampung Ternak Mandiri”

3.3 Uji Coba Teknologi Biogas dan Sistem Kontrol berbasis *IoT*

Tahap selanjutnya dalam kegiatan PKM adalah uji coba teknologi biogas yang terintegrasi dengan sistem kontrol otomatis berbasis *IoT*. Pada tahap ini, digester biogas yang telah dirancang mulai dioperasikan dengan memanfaatkan kotoran sapi sebagai bahan baku utama. Uji coba dilakukan untuk memastikan bahwa proses fermentasi anaerob dapat menghasilkan biogas secara optimal dan stabil sesuai dengan kebutuhan energi masyarakat Dusun Batu Badiri (Gambar 7).



Gambar 7. Proses memasukkan kotoran ke dalam digester untuk di lakukan fermentasi

Hasil uji coba menunjukkan bahwa teknologi biogas yang dikembangkan sudah berhasil digunakan oleh mitra untuk kegiatan memasak sehari-hari (Gambar 8). Berdasarkan pengamatan, biogas yang dihasilkan

mampu dimanfaatkan untuk memasak selama 5–7 hari, dengan estimasi waktu penggunaan sekitar 40–60 menit per hari. Hal ini membuktikan bahwa sistem biogas yang diterapkan dapat secara nyata membantu masyarakat dalam mengurangi ketergantungan terhadap minyak tanah maupun kayu bakar, sekaligus memberikan pengalaman langsung bagi mitra dalam memanfaatkan energi terbarukan.



Gambar 8. Uji coba nyala api dari gas metana yang dihasilkan dari proses fermentasi menggunakan teknologi biogas

Penerapan sistem kontrol otomatis berbasis *IoT* menjadi aspek inovatif dalam program ini. Sistem tersebut memungkinkan pemantauan parameter penting seperti temperatur, kelembaban, konduktivitas, pH, dan volume gas metana secara real-time (Gambar 9).



Gambar 9. Uji coba Teknologi *IoT*

Data yang terekam dari sensor memberikan gambaran awal mengenai kestabilan proses fermentasi, seperti fluktuasi temperatur dan pH dapat segera terdeteksi sehingga potensi gangguan proses dapat diantisipasi lebih cepat. Dengan demikian, *IoT* berperan penting dalam meningkatkan efisiensi operasional digester sekaligus memudahkan masyarakat dalam melakukan perawatan mandiri.

Hasil implementasi *IoT* pada tahap uji coba awal menunjukkan seluruh sensor berfungsi dengan baik tanpa kendala teknis berarti. Pemantauan berbasis *IoT* ini terbukti mampu merekam kondisi fermentasi secara konsisten dan menyediakan data yang bermanfaat untuk evaluasi kinerja digester. Kendala yang masih ditemui lebih pada aspek kemampuan mitra yang masih perlu beradaptasi dan belajar dalam menggunakan perangkat monitoring secara mandiri.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pelaksanaan kegiatan PKM di Dusun Batu Badiri, dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi biogas berhasil dilakukan dengan memanfaatkan limbah kotoran sapi sebagai bahan baku utama. Teknologi biogas yang diterapkan tidak hanya mampu menyediakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terjangkau, tetapi juga telah diuji coba langsung oleh mitra untuk kebutuhan memasak sehari-hari dengan durasi pemakaian sekitar 5–7 hari. Selanjutnya, sistem kontrol otomatis berbasis IoT mulai diuji cobakan dengan mengukur parameter penting seperti temperatur, kelembaban, konduktivitas, pH, dan volume gas metana (CH_4). Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi produksi biogas serta memudahkan peternak dalam memantau dan mengelola digester secara modern dan berkelanjutan.

5. SARAN

Masyarakat dan kelompok peternak perlu mengembangkan biogas tidak hanya untuk memasak, tetapi juga untuk penyediaan listrik rumah tangga. Kapasitas masyarakat harus terus ditingkatkan melalui pelatihan perawatan digester, pemanfaatan *IoT*, serta replikasi teknologi dalam skala yang lebih besar. Dukungan dari pemerintah desa, akademisi, dan pihak swasta sangat diperlukan dalam bentuk pendanaan, penyediaan teknologi, serta kebijakan agar program ini dapat berkelanjutan. Selain itu, diperlukan penelitian lanjutan pada aspek teknis *IoT*, khususnya dalam peningkatan akurasi sensor, integrasi data, serta kemudahan antarmuka pengguna. Ke depan, pengembangan *IoT* diharapkan tidak hanya berfungsi sebagai sistem monitoring, tetapi juga sebagai sistem kontrol yang memungkinkan pengaturan parameter penting seperti temperatur, pH, dan besaran fisis lain yang berpengaruh terhadap proses fermentasi, sehingga produksi biogas dapat lebih stabil dan optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada BIMA Kemendikti Saintek yang telah memberikan dukungan pendanaan sehingga kegiatan ini dapat terlaksana dengan baik. Dukungan tersebut menjadi bagian penting dalam upaya mendorong pemanfaatan teknologi biogas berbasis *IoT* untuk ketahanan energi di Dusun Batu Badiri, Desa Hatu, Maluku Tengah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Hilda, R. Lubis, and Replita, "Biogas : Renewable Energy," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1156, no. 1, p. 012013, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1156/1/012013.
- [2] N. Loy, I. Rachmawati, S. Issundari, and J. Soesilo, "Barriers to Indonesia ' s Energy Transition," vol. 9, no. 2, pp. 1–13, 2024, doi: 10.14710/ijpd.9.2.1-13.
- [3] R. Ruslan, "Status Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan dan Opsi Nuklir dalam Bauran Energi Nasional," *J. Pengemb. Energi Nukl.*, vol. 23, no. 1, p. 39, 2021, doi: 10.17146/jpen.2021.23.1.6161.
- [4] P. P. RI, "Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 139 Tahun 2024," no. 243903. 2024.
- [5] Y. D. Kuntjoro, K. Khotimah, and R. Agustiani, "Indonesia energy security concept to improve sustainability of new and renewable energy utilization in Indonesia with quintuple helix model: 4A+1S for national defense," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 753, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755- 1315/753/1/012045.
- [6] M. Maturbongs, "Minyak Tanah Langka Lagi, Masyarakat Mengeluh," rri.co.id.
- [7] "Minyak Tanah di Maluku Langka, Warga Terpaksa Antre Berjam-jam," Liputan 6 SCTV.
- [8] "Krisis Minyak Tanah di Maluku! Warga Rela Antre Berjam-jam, Tapi Tetap Kosong," Nusantara TV.
- [9] "Mitan Langka di Kabupaten Penghasil Minyak, Harga Naik Sampai Rp10 Ribu per Liter," AMEKS.FAJAR.CO.ID.
- [10] "Minyak Tanah Sulit, Harga Tembus Rp 8.000,00 Per Liter, Disperindag Kota Tual Tutup 7 Pengecer," REFERENSImaluku.id.
- [11] M. Z. Arifin, M. Khoir, and B. E. Purwanto, "Community attitudes towards biogas as an alternative energy and environmental quality improvement," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1517, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1517/1/012043.
- [12] A. Roja, Jamluddin, and Azhar, "Rancang bangun sistem kendali proses produksi biogas," vol. 8, no. 1, pp. 1–7, 2024.
- [13] E. Elashry, A. Ahmed, H. Dorgham, and R. Youssef, "Design and Installation of a Biogas Production Unit Operating With Automatic Control System," *Misr J. Agric. Eng.*, vol. 0, no. 0, pp. 0–0, 2023, doi: 10.21608/mjae.2023.240634.1125.