

# Optimalisasi Produksi Biogas dari Kotoran Sapi dengan Sistem Monitoring Wireless Sensor Network

<sup>1</sup>Gian Kurnia Putra, <sup>2</sup>Busran Busran, <sup>3</sup>Herix Sonata, <sup>4</sup>Eko Kurniawanto Putra, <sup>5</sup>Indra Warman  
<sup>1,2,3,4,5</sup>Institut Teknologi Padang  
Padang, Indonesia

<sup>1</sup>giankurnia007@gmail.com, <sup>2</sup>busran.nofit@gmail.com, <sup>3</sup>herix\_sonata@yahoo.com,  
<sup>4</sup>okeputra09@gmail.com, <sup>5</sup>indrawmn@gmail.com

\*Penulis Korespondensi

Diajukan : 08/03/2026

Diterima : 30/03/2026

Dipublikasi : 30/03/2026

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring produksi biogas dari kotoran sapi berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan metode Wireless Sensor Network (WSN) dengan modul komunikasi LoRa SX1278. Penelitian dilakukan di Desa Guo, Kecamatan Kuranji, dengan fokus pada pemantauan parameter suhu, pH, dan konsentrasi gas metana secara real-time. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor DS18B20, PH-4502C, dan MQ-4, serta didukung database MySQL dan antarmuka website untuk visualisasi data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan dan menampilkan data secara stabil dengan jangkauan komunikasi yang optimal, sehingga membantu meningkatkan efisiensi, keamanan, dan pengendalian proses fermentasi biogas. Implementasi sistem ini mendukung pengelolaan energi terbarukan yang lebih modern, efektif, dan berkelanjutan di tingkat masyarakat pedesaan.

**Kata Kunci:** Biogas, *Internet of Things (IoT)*, *Monitoring Real-Time*, *Wireless Sensor Network (WSN)*.

## I. PENDAHULUAN

Desa Guo, Kecamatan Kuranji, memiliki potensi besar dalam pengembangan energi terbarukan berbasis biogas karena ketersediaan limbah kotoran sapi yang melimpah. Biogas merupakan salah satu solusi energi ramah lingkungan yang mampu mengurangi emisi gas rumah kaca sekaligus memanfaatkan limbah organik secara optimal. Secara global, sektor peternakan khususnya sapi menyumbang sekitar 62–75% emisi gas rumah kaca dari sektor peternakan, sehingga pengelolaan limbah ternak menjadi sangat penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim. (Fischer & Herrero, 2026)

Selain itu, perkembangan industri biogas menunjukkan tren yang signifikan. Nilai pasar biogas global mencapai sekitar USD 65–82 miliar pada tahun 2024 dan terus mengalami pertumbuhan setiap tahunnya seiring meningkatnya kebutuhan energi bersih (Hale, 2025). Bahkan, jumlah fasilitas biogas di Amerika Serikat mengalami peningkatan dengan penambahan proyek baru sebesar 17% pada tahun 2024, yang menunjukkan meningkatnya adopsi teknologi biogas secara global (David Lademan, 2025). Permasalahan yang dihadapi saat ini adalah proses pemantauan yang masih dilakukan secara manual, sehingga kurang efektif dalam menjaga kestabilan parameter dan berpotensi menurunkan efisiensi produksi. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring yang mampu melakukan pengawasan secara real-time dan berkelanjutan. Penelitian ini mengusulkan penerapan teknologi *Internet of Things (IoT)* berbasis *Wireless Sensor Network (WSN)* dengan memanfaatkan modul komunikasi LoRa SX1278. Sistem dirancang menggunakan sensor DS18B20, PH-4502C, dan MQ-4 untuk memantau parameter suhu, pH, dan gas metana. Data dikirim secara nirkabel ke server dan ditampilkan melalui dashboard berbasis

web, sehingga memungkinkan pemantauan jarak jauh secara real-time. (Ktt et al., 2023)

Pemanfaatan LoRa dipilih karena memiliki jangkauan komunikasi yang luas dan konsumsi daya yang rendah, sehingga sesuai untuk diterapkan di wilayah pedesaan dengan keterbatasan infrastruktur jaringan. Dengan adanya sistem ini, diharapkan proses monitoring menjadi lebih efektif, efisien, dan mampu mendukung optimalisasi produksi biogas secara berkelanjutan. (Kinerja & Efisiensi, 2024).

## II. STUDI LITERATUR

### Penelitian Terdahulu

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa pengembangan sistem monitoring dan kontrol biogas telah mengalami kemajuan signifikan melalui pemanfaatan teknologi sensor dan Internet of Things (IoT). Penelitian oleh (Ismangil et al., 2023) menekankan pentingnya integrasi berbagai sensor, seperti MPX5700 untuk tekanan, MQ-137 untuk deteksi amonia, serta sensor ultrasonik HC-SR04 untuk memantau kapasitas penampungan, guna memastikan keamanan dan efisiensi pengelolaan biogas. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan multi-parameter sangat dibutuhkan untuk meminimalkan risiko kebocoran gas dan dampak lingkungan.

Di sisi lain, penelitian oleh (Hamimi et al., 2021) memperkenalkan konsep Wireless Sensor Network (WSN) berbasis LoRa SX1278 yang mampu mengirimkan data secara real-time dengan tingkat akurasi tinggi dan jangkauan komunikasi yang luas. Meskipun belum diterapkan pada sistem biogas, teknologi ini terbukti efektif untuk monitoring jarak jauh yang hemat energi, sehingga berpotensi besar untuk diadopsi pada lingkungan peternakan yang umumnya memiliki keterbatasan infrastruktur jaringan.

Selanjutnya, penelitian (Pustaka, 2024) menyoroti pentingnya sistem kontrol dalam proses produksi biogas dengan memanfaatkan sensor MQ-4, MQ-135, dan MPX5700 untuk mengoptimalkan produksi gas metana serta menjaga keamanan melalui pengaturan aliran gas secara otomatis. Penelitian ini menegaskan bahwa integrasi antara monitoring dan kontrol merupakan faktor penting dalam meningkatkan efisiensi sistem biogas.

Sementara itu, penelitian (Tahun et al., 2025) menunjukkan bahwa penggunaan sensor DS18B20 dan MQ-4 dalam sistem monitoring berbasis IoT mampu memberikan data suhu dan kadar metana secara real-time, yang berpengaruh langsung terhadap kestabilan proses fermentasi dan kualitas biogas yang dihasilkan. Namun demikian, dari keseluruhan penelitian tersebut masih terdapat beberapa keterbatasan, yaitu dominasi penggunaan komunikasi berbasis WiFi dengan jangkauan terbatas, belum optimalnya pemanfaatan teknologi Wireless Sensor Network berbasis LoRa pada sistem biogas, serta belum adanya integrasi parameter penting seperti pH yang berperan dalam menentukan kualitas proses fermentasi secara menyeluruh.

Oleh karena itu, kontribusi utama penelitian ini terletak pada pengembangan sistem monitoring biogas berbasis Wireless Sensor Network menggunakan LoRa SX1278 dengan integrasi multi-parameter yang lebih lengkap, yaitu sensor DS18B20 (suhu), MQ-4 (gas metana), dan pH4502C (tingkat keasaman). Dibandingkan penelitian sebelumnya, sistem yang diusulkan tidak hanya meningkatkan jangkauan komunikasi dan efisiensi energi melalui teknologi LoRa, tetapi juga menghadirkan pemantauan kondisi digester yang lebih komprehensif melalui kombinasi parameter fisik dan kimia secara simultan. penelitian ini juga memberikan kontribusi dalam bentuk arsitektur sistem yang lebih adaptif untuk implementasi di area peternakan terpencil, di mana keterbatasan jaringan menjadi kendala utama. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya melengkapi kekurangan pada studi sebelumnya, tetapi juga menawarkan solusi yang lebih aplikatif, efisien, dan berkelanjutan dalam pengelolaan biogas berbasis teknologi WSN.

### Konsep Dasar Biogas

Biogas adalah gas alami yang dihasilkan dari pemecahan bahan organik oleh bakteri anaerob dan digunakan dalam produksi energi, biogas berbeda dengan gas alam karena biogas merupakan sumber energi terbarukan yang diproduksi secara biologis melalui pencernaan anaerobik. Biogas utamanya terdiri dari gas metana, karbon dioksida, dan sejumlah kecil nitrogen, hidrogen, serta karbon monoksida, dikutip dari *Encyclopedia Britannica*, biogas dapat terbentuk

secara alami ditumpukan kompos, sebagai gas rawa, dan sebagai hasil dari fermentasi enterik pada hewan ruminansia (DISTANBUN ACEH, 2022) Proses produksinya melibatkan empat tahap: hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Sumber bahan baku untuk biogas meliputi limbah pertanian, kotoran hewan, limbah rumah tangga, dan limbah industri. Biogas memiliki berbagai keunggulan, seperti ramah lingkungan, mengurangi limbah, menjadi sumber energi terbarukan, dan mendukung ekonomi lokal dengan teknologi sederhana. Energi ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk memasak, penerangan, pembangkit listrik, transportasi setelah proses pemurnian, serta menghasilkan pupuk organik dari ampas fermentasi. Dengan demikian, biogas menawarkan solusi energi terbarukan yang berkelanjutan dan berkontribusi signifikan terhadap pengelolaan limbah dan pengurangan emisi gas rumah kaca.

### **Konsep Dasar Wireless Sensor Network (WSN)**

WSN (*Wireless Sensor Network*) terdiri dari sensor yang terdistribusi secara spasial, dan satu atau lebih sink node (disebut juga *base station*). Sensor memonitor secara *real-time* kondisi fisik, seperti suhu, getaran, atau gerakan, dan menghasilkan data sensorik. Node sensor dapat berperilaku baik sebagai data originator dan router data. Sink digunakan untuk mengumpulkan data dari sensor. Misalnya, dalam aplikasi untuk monitoring, sensor diperlukan untuk mengirim data ke sink saat mendeteksi terjadinya peristiwa yang diinginkan. Sink dapat berkomunikasi dengan pengguna akhir melalui koneksi langsung, Internet, satelit, atau semua jenis koneksi nirkabel.(University, 2023)

### **Mikrokontroler ESP-32**

ESP32 adalah modul mikrokontroler terintegrasi yang memiliki fitur lengkap dan kinerja tinggi. Modul ini merupakan pengembangan dari ESP8266, yang merupakan modul WiFi populer. ESP32 memiliki dua prosesor komputasi, satu prosesor untuk mengelola jaringan WiFi dan Bluetooth, serta satu prosesor lainnya untuk menjalankan aplikasi. Dilengkapi dengan memori RAM yang cukup besar untuk menyimpan data. Fitur yang berguna seperti TCP/IP, HTTP, dan FTP. Modul ini juga dilengkapi fitur pemrosesan sinyal analog, dukungan untuk sensor, dan dukungan untuk perangkat masukan/keluaran (I/O) digital. ESP32 juga memiliki dukungan untuk konektivitas Bluetooth. Dapat digunakan untuk mengendalikan perangkat yang terhubung dengan Bluetooth.(Maulana, 2022)

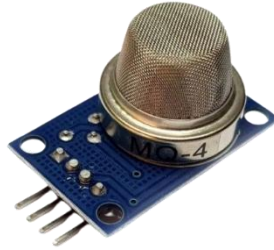


Gambar 1. Board ESP 32

### **Sensor MQ-4**

Sensor gas MQ-4 adalah SnO<sub>2</sub>, Di dalam bagian tersebut terdapat material semikonduktor SnO<sub>2</sub> (Tin Dioxide) yang berfungsi sebagai elemen utama pendeteksi gas. Sensor MQ-4 bekerja berdasarkan perubahan konduktivitas material SnO<sub>2</sub>, dimana pada udara bersih konduktivitasnya rendah dan resistansinya tinggi, tetapi ketika terdapat gas metana maka konduktivitas akan

meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi gas. Perubahan konduktivitas ini kemudian diubah menjadi sinyal tegangan melalui rangkaian sederhana pada modul sensor, sehingga dapat dibaca oleh mikrokontroler seperti Arduino atau ESP. (Lismana et al., 2025)



Gambar 2. Sensor MQ-4

### Sensor DS18B20

Sensor DS18B20 adalah sensor suhu digital yang menggunakan protokol komunikasi 1-Wire, memungkinkan pembacaan suhu dengan akurasi tinggi melalui satu jalur data. Sensor ini memiliki berbagai keunggulan seperti kemudahan penggunaan, kemampuan untuk dihubungkan secara paralel dengan banyak sensor lain, dan rentang suhu operasional yang luas [-55°C hingga +125°C]. Selain itu, setiap sensor memiliki alamat unik, sehingga beberapa sensor dapat dihubungkan pada satu jalur data yang sama. Karena keakuratannya dan kemampuannya bekerja di lingkungan yang lembap atau cair, sensor DS18B20 sering digunakan dalam berbagai aplikasi seperti monitoring suhu air, sistem pendingin, industri makanan, serta sistem pemantauan suhu pada proses fermentasi atau produksi biogas berbasis IoT. (Purnama Dewi et al., 2024)



Gambar 3. Sensor DS18B20

### Sensor Ph-4502c

pH Meter (PH-4502C) adalah perangkat elektronik yang dirancang untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan dengan presisi tinggi. Sensor ini secara khusus digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk hidroponik, akuarium, pengolahan air limbah, serta sistem pemantauan berbasis IoT. PH-4502C memiliki kemampuan untuk memberikan pembacaan pH secara *real-time* dan akurat melalui probe elektrokimia yang mendeteksi konsentrasi ion hidrogen dalam cairan. Sensor ini kompatibel dengan berbagai mikrokontroler seperti Arduino, Raspberry Pi, dan ESP8266, berkat *output* analog yang sederhana. Selain itu, PH-4502C dilengkapi dengan modul elektronik untuk kalibrasi dan pengolahan sinyal, sehingga pengguna dapat dengan mudah mengintegrasikan perangkat ini ke dalam sistem otomatis atau monitoring lingkungan. (Mufida et al., 2020)



Gambar 4. Sensor PH-4502C

### LoRa SX1278

LoRa SX1278 adalah modul komunikasi nirkabel berbasis teknologi LoRa (*Long Range*) yang dirancang untuk pengiriman data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. Modul ini menggunakan teknik modulasi spektrum lebar (*spread spectrum modulation*) yang memungkinkan transmisi data stabil meskipun pada lingkungan dengan interferensi tinggi. SX1278 beroperasi pada frekuensi ISM (*Industrial, Scientific, and Medical*), biasanya di rentang 433 MHz hingga 470 MHz atau 868 MHz hingga 915 MHz, tergantung pada wilayah penggunaannya. LoRa SX1278 banyak digunakan dalam aplikasi *Internet of Things* (IoT) karena keunggulannya dalam mendukung komunikasi jarak jauh hingga beberapa kilometer, dengan penetrasi yang baik di area urban maupun pedesaan. Modul ini mendukung koneksi point-to-point atau dalam jaringan lebih kompleks seperti LoRaWAN. LoRa SX1278 cocok untuk berbagai aplikasi seperti pemantauan lingkungan, pertanian cerdas, sistem pengukuran energi, hingga sistem pemantauan biogas, terutama dalam penerapan teknologi berbasis jaringan sensor nirkabel (*Wireless Sensor Network/WSN*). (Satria, 2025)

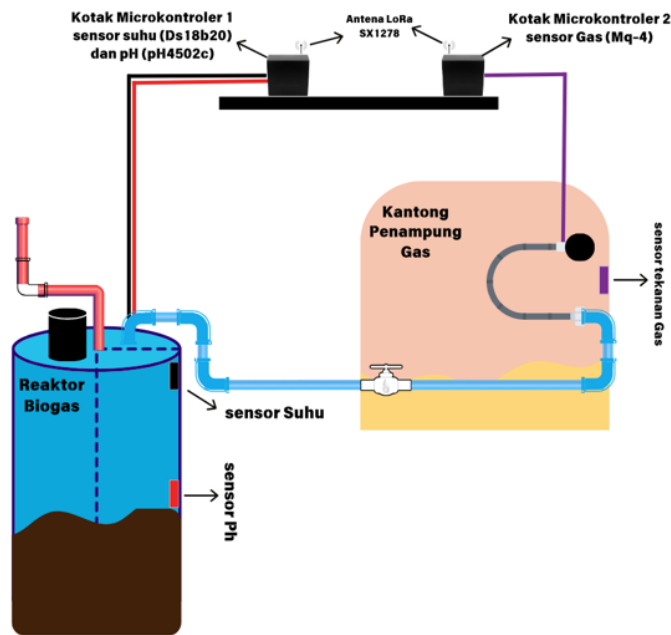


Gambar 5. LoRa SX1278

## III. METODE

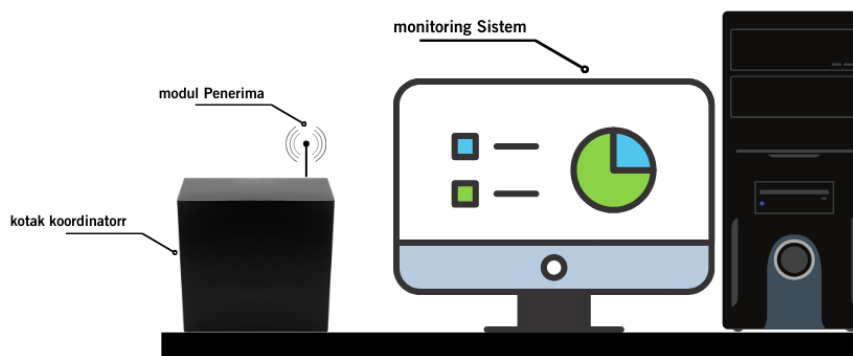
Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan merancang sistem monitoring biogas berbasis *Wireless Sensor Network*. Perangkat utama yang digunakan meliputi mikrokontroler ESP32, sensor suhu DS18B20, sensor pH PH-4502C, sensor gas MQ-4, serta modul komunikasi LoRa SX1278. Sistem terdiri dari node sensor (transmitter) dan gateway (receiver). Sensor membaca parameter suhu, pH, dan gas metana pada digester biogas kemudian data dikirim melalui LoRa ke gateway. Data diterima oleh server dan disimpan pada database MySQL kemudian ditampilkan melalui website monitoring.

### Rancangan Prototype



Gambar 6. Rancangan Prototype Pemancar

Pada gambar 6 prototype sistem pemantauan biogas berbasis Wireless Sensor Network (WSN) yang menggunakan modul komunikasi LoRa SX1278 untuk pengiriman data secara nirkabel. Sistem ini terdiri dari reaktor biogas atau tangki fermentasi yang berfungsi sebagai tempat proses penguraian bahan organik untuk menghasilkan biogas. Pada tangki tersebut dipasang beberapa sensor untuk memantau kondisi proses fermentasi, yaitu sensor pH yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaaan di dalam reaktor agar proses fermentasi tetap berada pada kondisi optimal, serta sensor suhu yang berfungsi memantau suhu di dalam tangki karena suhu yang stabil sangat berpengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme dalam menghasilkan gas metana. Selain itu, terdapat sensor gas metana yang ditempatkan pada jalur keluaran gas untuk mendeteksi kandungan metana yang dihasilkan dari proses fermentasi. Data dari seluruh sensor kemudian dibaca oleh mikrokontroler ESP32 yang berada di dalam kotak sistem kontrol, kemudian dikirimkan secara nirkabel menggunakan modul LoRa SX1278 menuju sistem pemantauan jarak jauh. Proses pengiriman data ini dibantu oleh antena yang berfungsi memperkuat sinyal komunikasi sehingga data dapat ditransmisikan dengan jangkauan yang lebih jauh. Dengan memanfaatkan teknologi Wireless Sensor Network (WSN), sistem ini memungkinkan pemantauan kondisi produksi biogas secara real-time dari lokasi yang berbeda melalui sistem monitoring atau server.

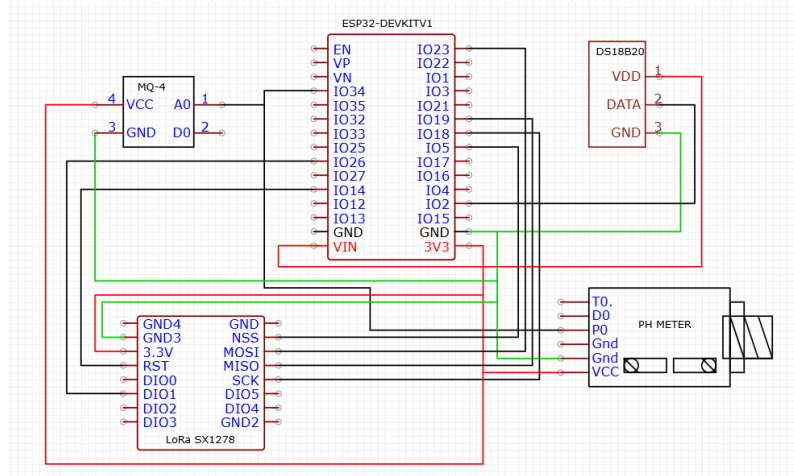


Gambar 7. Rancangan Prototype Penerima

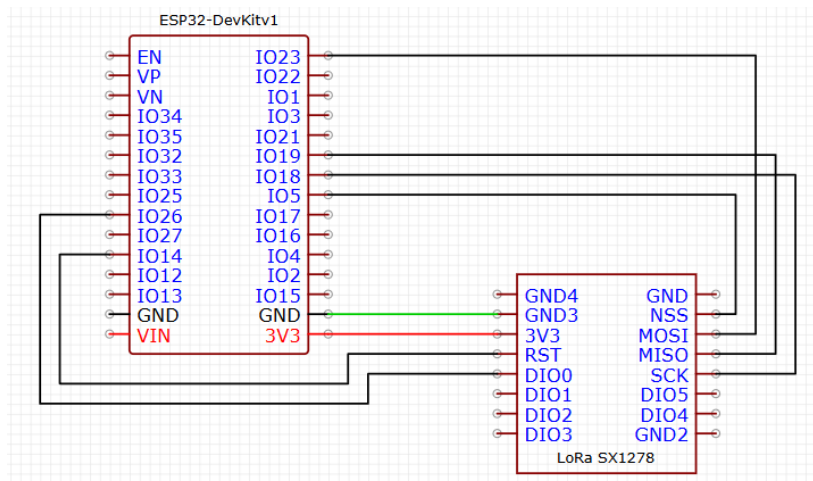
Pada gambar 7 menunjukkan sistem pemantauan data berbasis LoRa yang terdiri dari beberapa komponen utama untuk menerima, mengolah, dan menampilkan data sensor dari sistem pemantauan biogas. Sistem ini memiliki kotak koordinator yang berfungsi sebagai pusat

penerimaan data dari modul pemancar yang berada di lokasi sensor. Di dalam kotak tersebut biasanya terdapat mikrokontroler seperti ESP32 yang bertugas mengelola komunikasi dengan modul LoRa SX1278, mengolah data yang diterima dari perangkat pemancar, dan meneruskannya ke sistem monitoring. Selanjutnya terdapat modul penerima yang dilengkapi antena komunikasi LoRa untuk menerima data yang dikirim dari node sensor secara nirkabel dengan jangkauan jarak jauh dan konsumsi daya yang rendah. Data yang diterima oleh modul ini kemudian diteruskan ke perangkat pemantauan melalui koneksi kabel atau jaringan nirkabel. Komponen terakhir adalah sistem monitoring berupa komputer, yang berfungsi menampilkan serta menganalisis data yang diterima dari sensor, seperti data pH, suhu, dan tekanan gas metana. Data tersebut biasanya disajikan dalam bentuk grafik, tabel, atau dashboard berbasis web maupun aplikasi, sehingga pengguna dapat memantau kondisi produksi biogas secara real-time serta menyimpan riwayat data untuk analisis lebih lanjut.

**Rancangan Sistem**

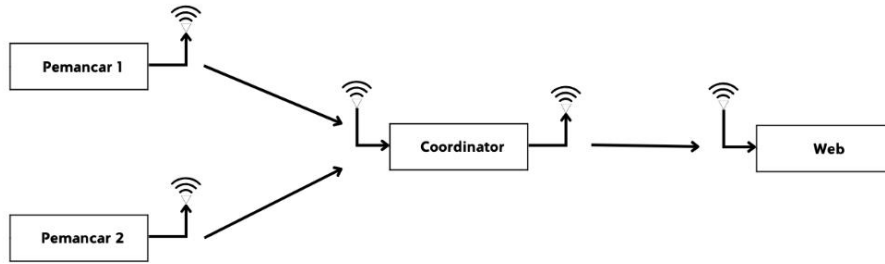


Gambar 8. Rancangan Sistem Pemancar



Gambar 9. Rancangan Sistem Penerima

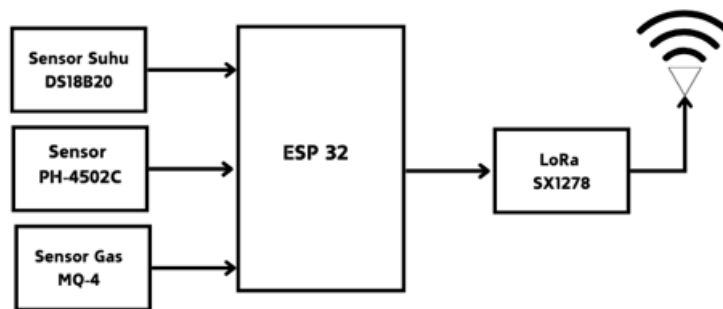
**Rancangan Topologi Jaringan**



Gambar 10. Rancangan Topologi Jaringan

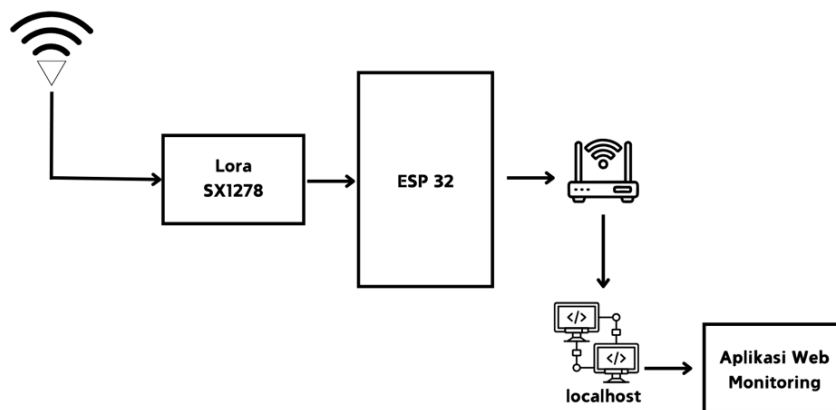
Dalam penelitian ini, pada gambar 10 struktur jaringan menggunakan pola komunikasi topologi star, di mana seluruh modul pengirim (sensor node) terhubung langsung ke satu modul penerima (gateway). Meskipun tidak menggunakan simbol topologi secara konvensional, hubungan antar node divisualisasikan dalam Gambar 3.7. lokasi titik pengujian pada peta satelit area penelitian. Titik-titik tersebut meliputi Pemancar 1, Pemancar 2, sebagai lokasi modul pengirim, serta satu titik pusat sebagai modul penerima. Masing-masing node hanya berkomunikasi secara langsung dengan penerima tanpa saling terhubung satu sama lain, sehingga pola komunikasi tetap merepresentasikan karakteristik topologi star.

**Diagram Blok Sistem**



Gambar 11. Diagram Blok Pemancar

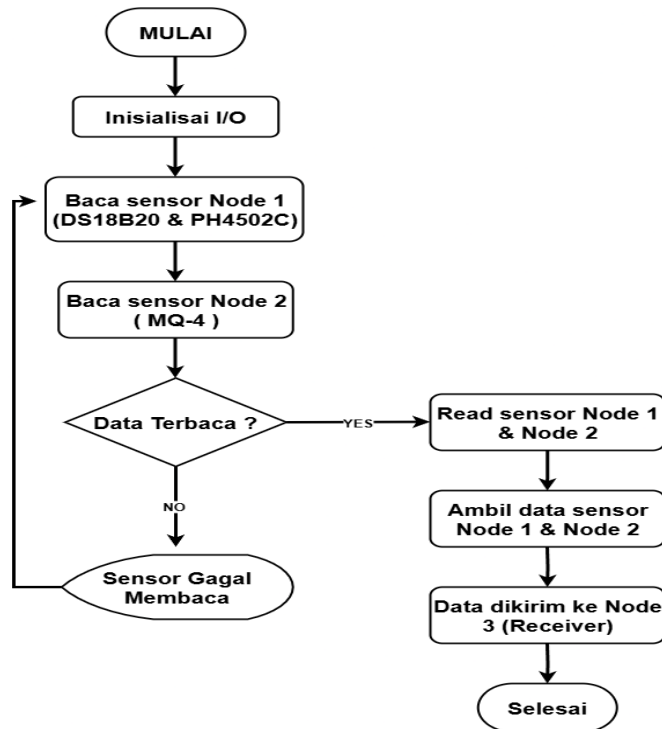
Pada gambar 11 Merupakan diagram blok pemancar untuk modul 1 dan 2 yang merupakan sebuah rancangan yang berfungsi sebagai pengirim data sensor tekanan gas ke *Coordinator*.



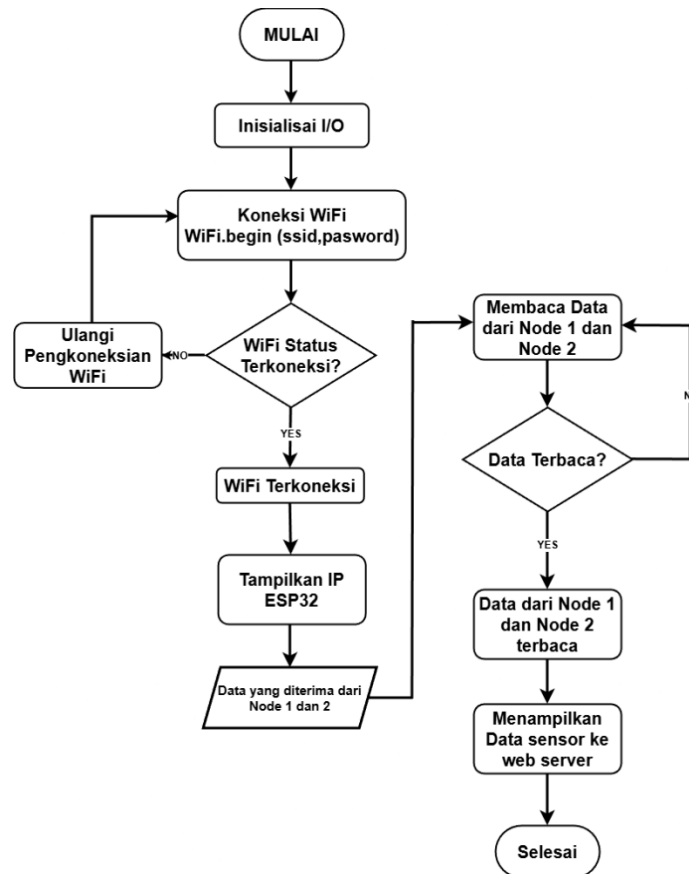
Gambar 12. Diagram Blok Penerima

Pada gambar 12 ini menunjukkan hubungan antara modul NodeMCU ESP32, router, dan server *local*. Data yang diterima dari modul LoRa SX1278 dikirimkan ke ESP32 melalui komunikasi nirkabel. NodeMCU bertindak sebagai pusat pengolahan dan penghubung ke sistem jaringan. Informasi yang diproses oleh NodeMCU dapat memberikan informasi langsung kepada pengguna. Selain itu, NodeMCU mengirimkan data ke server *local* melalui koneksi Wi-Fi yang dihubungkan melalui router. Server *local* berfungsi untuk menyimpan data, menganalisisnya, dan menyediakan akses jarak jauh kepada pengguna melalui antarmuka web atau aplikasi. Diagram ini mencerminkan arsitektur sistem berbasis IoT untuk pengawasan.

**Flowchart**

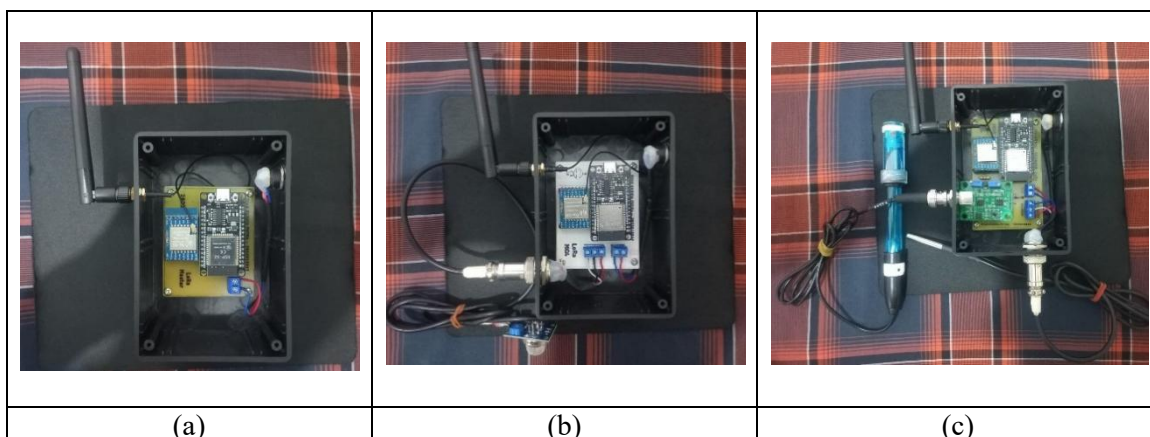


Gambar 13. Flowchart Pemancar



Gambar 14. Flowchart Penerima

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN Implementasi



Gambar 15. Hardware Alat

Gambar (a) merupakan modul penerima, Gambar tersebut menunjukkan sebuah modul penerima berbasis mikrokontroler WiFi (ESP32) yang ditempatkan dalam kotak pelindung dengan antena eksternal untuk memperkuat penerimaan sinyal. Pada papan sirkuit cetak khusus juga terpasang modul LoRa SX1278, yang memungkinkan perangkat menerima atau mengirim data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah menggunakan teknologi komunikasi LoRa.

Gambar (b) merupakan modul gas MQ4 menunjukkan sebuah perangkat sensor gas berbasis modul LoRa SX1278. Di dalam kotak pelindung (*enclosure*) terdapat papan sirkuit cetak yang memuat modul mikrokontroler ESP32 dan modul LoRa SX1278 untuk komunikasi nirkabel

jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. Pada bagian luar kotak terhubung sensor gas MQ-4 yang berfungsi mendeteksi konsentrasi gas metana (CH<sub>4</sub>) atau gas alam lainnya.

Sedangkan gambar (c) merupakan modul PH4502C dan Suhu DS18B20 menunjukkan sebuah perangkat pemantauan kualitas air berbasis komunikasi LoRa. Terpasang dua sensor utama: modul PH4502C untuk mengukur tingkat keasaman (pH) air dan sensor suhu DS18B20 untuk mengukur temperatur. Kedua sensor ini mengirimkan data ke mikrokontroler, kemudian data dikirim secara nirkabel melalui jaringan LoRa menggunakan antena eksternal untuk jangkauan lebih luas.

### Pengujian Alat LoRaSX1278

Pengujian jarak sensor LoRa SX1278 dilakukan untuk mengetahui kemampuan modul dalam mengirimkan data secara nirkabel dari node transmitter ke node receiver. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan jarak maksimum komunikasi serta mengetahui kestabilan pengiriman data pada berbagai jarak pengujian.

Tabel 1. Pengujian Modul LoRa SX1278

Pengujian jarak modul LoRa				
Pengujian	Jarak (m)	Data Transmitter	Data Receiver	Status
1	10	Data terkirim	Data diterima	Berhasil
2	20	Data terkirim	Data diterima	Berhasil
3	30	Data terkirim	Data diterima	Berhasil
4	40	Data terkirim	Data diterima	Berhasil
5	50	Data terkirim	Data diterima	Berhasil
6	60	Data terkirim	Data diterima	Berhasil
7	70	Data terkirim	Data diterima	Berhasil
8	80	Data terkirim	Data diterima	Berhasil
9	90	Data terkirim	Data diterima	Berhasil
10	100	Data terkirim	Data diterima	berhasil
11	110	Data terkirim	Data diterima	Tidak stabil
12	120	Data tidak terkirim	Data Tidak diterima	Gagal

Pada tabel 1 pengujian modul LoRa SX1278 dilakukan untuk mengetahui kemampuan modul dalam mengirimkan data secara nirkabel pada berbagai variasi jarak. Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 4.5, modul LoRa SX1278 mampu mengirimkan data dengan baik pada jarak 10 meter hingga 80 meter. Pada rentang jarak tersebut, data yang dikirim oleh transmitter dapat diterima oleh receiver dengan kondisi komunikasi yang stabil. Pada pengujian dengan jarak 90 meter, data masih dapat diterima oleh receiver, namun kondisi pengiriman data mulai tidak stabil. Ketidakstabilan ini ditandai dengan terjadinya gangguan pada penerimaan data, seperti adanya delay atau kemungkinan kehilangan paket data. Selanjutnya, pada pengujian jarak 100 meter, data yang dikirimkan oleh transmitter tidak dapat diterima oleh receiver, sehingga proses komunikasi dinyatakan gagal.

### Sensor MQ-4

Pengujian dan kalibrasi sensor gas MQ-4 dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor dalam mendeteksi konsentrasi gas metana dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi. Pada penelitian ini, alat referensi yang digunakan adalah gas detector Mestek CGD02A yang berfungsi untuk mengukur konsentrasi gas mudah terbakar dalam satuan parts per million (PPM).

Tabel 2. Pengujian kalibrasi Sensor MQ-4 dan Alat referensi

Uji sensor MQ-4 dengan referensi				
Tekanan Gas (mq-4)		Referensi (mestek)		Selisih
13.82		13.37		0.45
13.86		13.40		0.46
13.90		13.44		0.46
13.92		13.47		0.45
13.95		13.50		0.45

Berdasarkan Tabel 2, nilai pembacaan sensor MQ-4 berada pada rentang 13,82 hingga 13,95, sedangkan nilai pembacaan alat referensi Mestek berada pada rentang 13,37 hingga 13,50. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, selisih pembacaan antara sensor MQ-4 dan alat referensi berada pada rentang 0,45 hingga 0,46. Hal ini menunjukkan bahwa sensor MQ-4 memiliki tingkat kestabilan dan akurasi yang cukup baik dalam mendeteksi tekanan gas. Dengan selisih nilai yang relatif kecil dan konsisten, sensor MQ-4 dinilai layak digunakan dalam sistem monitoring gas yang dirancang pada penelitian ini.

#### Sensor DS18B20

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor DS18B20 dalam mengukur suhu dan kelembapan udara, dengan membandingkan hasil bacaannya terhadap alat referensi yaitu mini digital thermometer dengan media tabung berisi air biasa dan air es.

Tabel 3. Pengujian kalibrasi pada tabung berisi air biasa

Uji sensor DS18B20 dengan referensi		
DS18B20 (°C)	Referensi (°C)	Selisih
27.8	27.6	0.2
28.0	27.9	0.1
28.2	28.0	0.2
27.9	27.8	0.1
28.1	27.9	0.2

berdasarkan Tabel 3, pengujian kalibrasi pada tabung berisi air biasa menunjukkan bahwa nilai pembacaan sensor DS18B20 berada pada rentang 27,8°C hingga 28,2°C, sedangkan hasil pengukuran menggunakan alat referensi berada pada rentang 27,6°C hingga 28,0°C. Selisih antara pembacaan sensor dengan alat referensi berada pada rentang 0,1°C hingga 0,2°C. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor DS18B20 juga mampu memberikan pembacaan suhu yang stabil dan akurat pada suhu ruang. Secara keseluruhan, berdasarkan kedua pengujian tersebut, sensor DS18B20 menunjukkan performa yang baik dengan tingkat kesalahan yang relatif kecil, sehingga sensor ini layak digunakan sebagai alat pengukur suhu pada sistem yang dirancang.

Tabel 4. Pengujian kalibrasi pada tabung berisi air es

Uji sensor DS18B20 dengan referensi		
DS18B20 (°C)	Referensi (°C)	Selisih
3.1	3.0	0.1
3.3	3.2	0.1
3.5	3.4	0.1
3.2	3.0	0.2
3.4	3.3	0.1

Pada Tabel 4, pengujian kalibrasi pada tabung berisi air es menunjukkan bahwa nilai pembacaan sensor DS18B20 berada pada rentang 3,1°C hingga 3,5°C. Sementara itu, hasil pengukuran menggunakan alat referensi berada pada rentang 3,0°C hingga 3,4°C. Selisih antara pembacaan sensor dan alat referensi berkisar antara 0,1°C hingga 0,2°C. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor DS18B20 memiliki tingkat akurasi yang cukup baik pada suhu rendah dengan nilai penyimpangan yang relatif kecil.

**Sensor pH4502c**

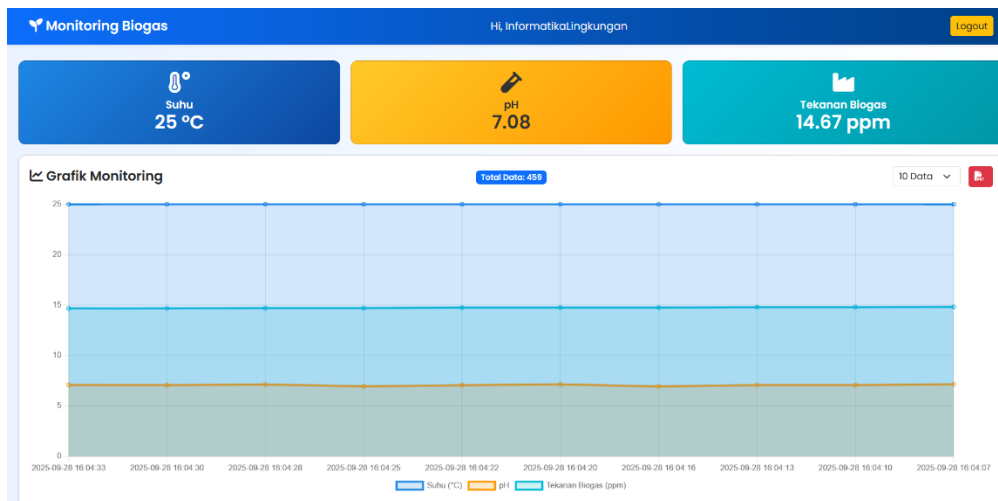
Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap nilai pH referensi yang diukur menggunakan larutan buffer standar. Sensor pH4502C dicelupkan secara bergantian ke dalam larutan buffer dengan nilai pH yang berbeda (pH 4, pH 7, dan pH 10). Pada setiap tahap, nilai pH yang terbaca dari sensor dicatat dan dibandingkan dengan nilai pH sebenarnya dari larutan standar. Proses ini dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor dan melakukan kalibrasi jika terdapat selisih antara hasil pembacaan sensor dan nilai referensi.

Tabel 5. Pengujian kalibrasi pada PH air dengan PH Buffer

PH Buffer	Uji sensor PH-4502C dengan referensi		
	PH-4502C	Referensi (°C)	Selisih
PH 4	3.52	3.50	0.2
PH 7	6.40	6.37	0.3
PH 10	8.43	8.54	0.11

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.3, pada larutan buffer pH 4, sensor PH-4502C menghasilkan pembacaan sebesar 3,52, sedangkan nilai referensi menunjukkan angka 3,50. Selisih antara pembacaan sensor dengan nilai referensi sebesar 0,02. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor mampu membaca nilai pH asam dengan tingkat akurasi yang cukup baik.

**Tampilan Website**



Gambar 16. Tampilan Dashboard Website

Pemantauan data hasil pengukuran sensor dilakukan melalui antarmuka berbasis web yang dapat diakses menggunakan perangkat komputer maupun laptop. Berdasarkan Gambar 16 tersebut, sistem web digunakan untuk menampilkan data hasil monitoring secara real-time, sehingga pengguna dapat memantau kondisi parameter yang diukur tanpa harus berada langsung di lokasi alat.

Pada bagian atas halaman dashboard terdapat header bertuliskan *Monitoring Biogas* serta informasi akun pengguna yang sedang aktif dan tombol logout sebagai fitur untuk keluar dari

sistem. Di bawah header tersebut ditampilkan tiga panel utama yang menunjukkan nilai parameter terkini, yaitu suhu, pH, dan tekanan biogas. Masing-masing parameter ditampilkan dalam bentuk kartu (card) dengan warna yang berbeda untuk memudahkan identifikasi, di mana suhu ditampilkan dalam satuan derajat Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH dalam skala keasaman, dan tekanan biogas dalam satuan ppm. Tampilan ini memberikan informasi kondisi terbaru secara ringkas dan mudah dipahami.

Selain itu, pada bagian bawah dashboard terdapat grafik monitoring yang menampilkan perubahan nilai suhu, pH, dan tekanan biogas dalam bentuk grafik garis. Grafik ini memungkinkan pengguna untuk melihat tren kenaikan atau penurunan masing-masing parameter dari waktu ke waktu. Tersedia pula informasi jumlah total data yang tersimpan, serta opsi untuk menampilkan jumlah data tertentu sesuai kebutuhan pengguna. Dengan adanya tampilan tabel dan grafik secara bersamaan, sistem web ini membantu pengguna dalam melakukan analisis kondisi produksi biogas secara lebih efektif dan terstruktur.

Tabel 6. Data hasil pemantauan biogas

No	Tanggal	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	Tekanan Gas (ppm)	Keterangan
1	27/09/2025	31.4	6.6	14.80	Gas mulai terbentuk, kantong gas belum mengembang
2	28/09/2025	31.6	6.7	15.10	Gas terbentuk, kantong gas mulai mengembang
3	29/09/2025	31.8	6.8	15.45	Gas meningkat, kantong gas mengembang sebagian
4	30/09/2025	32.0	6.9	15.80	Gas stabil, kantong gas terlihat jelas mengembang
5	1/10/2025	32.4	7.0	16.15	Gas terbentuk optimal, kantong gas mengembang baik
6	2/10/2025	32.4	7.1	16.50	Produksi gas meningkat, kantong gas mengembang baik
7	3/10/2025	32.3	7.1	16.75	Produksi gas stabil, kantong gas mengembang baik
8	4/10/2025	32.1	7.0	17.00	Produksi gas optimal, kantong gas terisi dan stabil

Berdasarkan Tabel 4.6, hasil pemantauan biogas pada tanggal 27 September 2025 sampai dengan 4 Oktober 2025 menunjukkan adanya perubahan kondisi pada reaktor biogas. Suhu selama pengamatan berada pada kisaran  $31,4^{\circ}\text{C}$  hingga  $32,4^{\circ}\text{C}$  dan relatif stabil. Nilai pH mengalami peningkatan dari 6,6 menjadi sekitar 7,0–7,1, yang menandakan kondisi reaktor semakin mendekati netral. Tekanan gas biogas juga meningkat secara bertahap dari 14,80 ppm hingga 17,00 ppm. Peningkatan tekanan gas ini sejalan dengan kondisi kantong gas, yang pada awal pengamatan belum mengembang, kemudian mulai mengembang, dan pada akhir pengamatan terisi penuh serta stabil. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses pembentukan biogas berjalan dengan baik dan mencapai kondisi optimal.

## V. KESIMPULAN

Pengujian sistem monitoring produksi biogas berbasis Wireless Sensor Network (WSN) menggunakan mikrokontroler ESP32 dan modul komunikasi LoRa SX1278 menunjukkan bahwa sensor DS18B20, PH-4502C, dan MQ-4 mampu mendeteksi parameter suhu, pH, dan konsentrasi gas metana secara stabil dan real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu fermentasi berada pada rentang 28°C sampai dengan 32°C yang termasuk dalam kategori mesofilik dan sesuai untuk produksi biogas yang optimal, dengan tingkat kesalahan sensor relatif kecil berdasarkan hasil kalibrasi. Nilai pH berada pada rentang netral hingga sedikit asam sesuai kondisi fermentasi anaerob, serta pembacaan gas metana oleh sensor MQ-4 mampu mendeteksi peningkatan konsentrasi gas selama proses produksi berlangsung.

Pengujian komunikasi modul LoRa SX1278 menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data dengan baik pada jarak optimal dengan tingkat keberhasilan pengiriman data yang stabil. Data yang dikirimkan dari node sensor dapat diterima oleh coordinator dan ditampilkan pada website secara real-time tanpa kendala berarti. Implementasi sistem monitoring ini mampu membantu proses pengawasan produksi biogas di Desa Guo Kecamatan Kuranji menjadi lebih efektif, efisien, dan aman, sehingga mendukung optimalisasi produksi energi terbarukan berbasis kotoran sapi secara berkelanjutan.

## VI. REFERENSI

- David Lademan. (2025). Record 2024 brings US biogas facility count to nearly 2,500: American Biogas Council. *Agriculture, Energy Transition, Natural Gas, Biofuel, Renewables, Emissions*. <https://www.spglobal.com/energy/en/news-research/latest-news/energy-transition/021725-record-2024-brings-us-biogas-facility-count-to-nearly-2500-american-biogas-council>
- DISTANBUN ACEH. (2022). *Pengertian Biogas dan Manfaatnya*. <https://distanbun.acehprov.go.id/berita/kategori/inspirasi/pengertian-biogas-dan-manfaatnya#:~:text=Biogas adalah gas alami yang,secara biologis melalui pencernaan anaerobik>.
- Fischer, C. G., & Herrero, M. (2026). Reduction in cattle numbers can unlock greenhouse gas mitigation potentials without compromising milk and meat production. *Global Food Security*, 48(December 2025), 100906. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2026.100906>
- Hale, M. (2025). *Reasons for biogas optimism despite global challenges*. World Biogas Association. <https://www.worldbiogasassociation.org/member-press-release-opinion-piece-reasons-for-biogas-optimism-despite-global-challenges/>
- Hamimi, Jamaludin, M., & Kurniawan, T. (2021). Rancang Bangun Sistem Monitoring Multi Nodes Arus dan Tegangan Menggunakan Traseiver LoRa SX1278 Secara Real Time. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 3(1), 23–31.
- Ismangil, A., Adiguna, G., & Harsani, P. (2023). PROTOTIPE KONTROL BIOGAS PADA KOTORAN SAPI BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT). *Instrumentasi*, 47(1), 55. <https://doi.org/10.31153/instrumentasi.v47i1.302>
- Kinerja, E., & Efisiensi, D. A. N. (2024). *Evaluasi kinerja dan efisiensi jaringan lorawan untuk aplikasi iot di lingkungan suburban*. 11(3), 116–128.
- Ktt, D. I., Lestari, S., & Pandeyan, D. (2023). *Zero waste farming*. 1–8.
- Lismana, G. C., Muhammad, A., & Rintyarna, B. S. (2025). *Perancangan Dan Implementasi Sensor MQ-4 Gas Metana ( CH 4 ) Pada Sistem Biogas Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno*. 7, 99–108.
- Maulana, K. Y. (2022). *Apa Itu ESP32; Salah Satu Modul Wi-Fi Poppuler*. 30 Desember. Apa Itu ESP32, Salah Satu Modul Wi-Fi Poppuler
- Mufida, E., Anwar, R. S., Khodir, R. A., & Rosmawati, I. P. (2020). Perancangan Alat Pengontrol pH Air untuk Tanaman Hidroponik Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Inovasi*, 1(1), 13–19.
- Purnama Dewi, E., Sumarsono, J., & Gusti Made Kompyang, I. (2024). Pengembangan akuisisi data pada sistem pemantauan biogas berbasis IoT. *Jurnal Agrotek UMMAT*, 11(1), 1.
- Pustaka, K. (2024). *Rancang bangun sistem kendali proses produksi biogas*. 8(1), 1–7.
- Satria, B. (2025). *Adaptive Control System Design Based On Lora SX1278 For Wireless Sensor*

---

*Network Monitoring*. 6(1), 287–298.

Tahun, V. N., Kompor, M. K., Muhammadiyah, U., Jl, S., & Gelam, R. (2025). *Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan*. 13(2).

University, B. (2023). *Wireless Sensor Network*. Wireless Sensor Network. <https://sis.binus.ac.id/2023/01/12/wireless-sensor-network/>