

Integrasi hardware alat produksi biogas berbasis *Internet of Things*

1st I Made Bayu Satria Wardhana
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
maddbayy@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Meta Kallista
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
metakallista@telkomuniversity.ac.id

3rd Ig. Prasetya Dwi Wibawa
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
prasdwibawa@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penelitian ini mengembangkan sistem produksi biogas berbasis *Internet of Things* (IoT) yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan proses pengolahan limbah organik dapur menjadi energi terbarukan. Sistem ini mengintegrasikan sensor suhu (DHT22), tekanan udara (BMP180), dan gas metana (MQ4) dengan mikrokontroler Wemos ESP32. Metode yang digunakan meliputi pengujian sensor, pengaduk otomatis, dan pengukuran respon sistem dalam berbagai kondisi lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu menjalankan proses fermentasi secara lebih efisien dengan memberikan notifikasi otomatis kepada pengguna, meskipun ada beberapa tantangan teknis seperti sensitivitas sensor gas dan kebutuhan akan stabilitas pasokan daya yang memerlukan perbaikan. Kesimpulan utama dari penelitian ini adalah bahwa integrasi IoT dalam produksi biogas menawarkan solusi inovatif yang dapat meningkatkan pengolahan limbah organik menjadi energi terbarukan, memberikan dampak positif terhadap lingkungan dan ketahanan energi, meskipun peningkatan lebih lanjut masih diperlukan untuk optimalisasi sistem.

Kata kunci: *Internet of Things* (IoT), biogas, sensor suhu, sensor tekanan

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT) semakin penting dalam produksi biogas dari limbah organik sebagai alternatif energi ramah lingkungan. IoT memungkinkan pemantauan dan kontrol real-time atas parameter kritis seperti suhu dan tekanan, serta respon otomatis terhadap kondisi darurat, seperti kebocoran gas. Penelitian ini bertujuan mengintegrasikan perangkat keras berbasis IoT pada alat produksi biogas, dengan harapan meningkatkan efisiensi, keselamatan, serta kemudahan monitoring jarak jauh. Diharapkan, penelitian ini dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi energi terbarukan yang lebih cerdas dan aman (Caron & Markusen, 2016).

Pemanfaatan biogas sebagai sumber energi terbarukan semakin relevan di tengah dominasi penggunaan energi fosil, terutama karena biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan organik seperti kotoran hewan memiliki potensi energi yang tinggi, terutama dari kandungan gas metana (CH₄) yang mencapai 60%. Dalam konteks ini, pemantauan proses produksi biogas secara real-time menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) menjadi penting untuk memastikan efisiensi dan keberlanjutan

produksi. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan sensor gas metana yang terintegrasi dengan sistem IoT mampu memantau konsentrasi metana dan kondisi operasional digester secara efektif, sehingga memungkinkan identifikasi dini terhadap kegagalan proses dan pengoptimalan produksi gas (DIDIK NOTOSUDJONO, dan KIKI BAEHAKI, 2021).

Penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam produksi biogas memungkinkan pemantauan dan pengendalian proses fermentasi secara real-time, yang meningkatkan efisiensi dan keamanan produksi. Dalam penelitian sebelumnya, *smart biogas systems* yang menggunakan IoT terbukti mampu mendeteksi kandungan gas metana dan mengoptimalkan proses produksi melalui pengendalian otomatis berbasis data yang dikumpulkan dari sensor-sensor terintegrasi (Prasetya et al., 2022).

Pengembangan teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT) dalam produksi biogas telah menghadirkan solusi inovatif yang memungkinkan pemantauan parameter kritis seperti suhu, tekanan, dan kelembapan secara real-time, yang penting untuk menjaga stabilitas dan efisiensi proses produksi. Dalam penelitian sebelumnya, sistem pemantauan berbasis IoT yang terintegrasi dengan sensor-sensor modern seperti DHT22 untuk suhu dan kelembapan, serta BMP180 untuk tekanan, telah terbukti efektif dalam mendeteksi fluktuasi kondisi di dalam digester yang dapat mempengaruhi kualitas dan kuantitas biogas yang dihasilkan. Dengan pemantauan yang akurat ini, pengguna dapat mengantisipasi potensi kegagalan sistem dan mengoptimalkan kondisi operasional untuk menghasilkan biogas yang lebih efisien (Purnama Dewi et al., 2024).

Untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam produksi biogas, diperlukan sistem pemantauan dan pengendalian yang optimal. Seiring dengan perkembangan teknologi, penerapan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) menjadi solusi yang sangat menjanjikan. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa pemanfaatan sensor untuk memantau suhu dan tekanan gas dalam biodigester, yang diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti Arduino dan Wemos Esp D1 r32, mampu memberikan data real-time yang krusial bagi keberhasilan produksi biogas. Sistem ini memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui aplikasi berbasis Android, sehingga pengguna dapat memantau dan mengendalikan proses produksi dengan lebih efektif. Dengan stabilnya suhu

dan tekanan dalam digester, proses fermentasi dapat berlangsung optimal, menghasilkan biogas dengan kualitas yang lebih baik (Sultan Salahuddin et al., 2018).

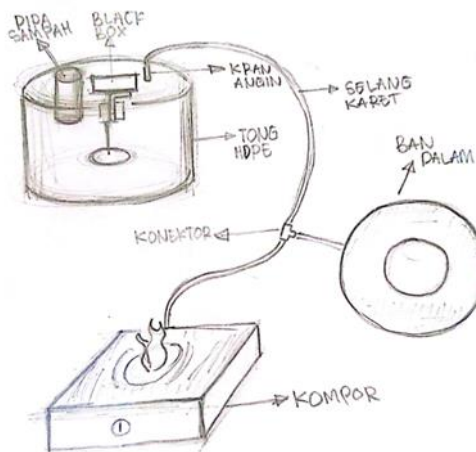
II. KAJIAN TEORI

A. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang menggambarkan jaringan perangkat fisik yang dilengkapi dengan teknologi sensor, perangkat lunak, dan konektivitas untuk mengumpulkan dan bertukar data. Dalam konteks produksi biogas, IoT memungkinkan pengumpulan data real-time dari sensor-sensor yang dipasang pada biodigester, seperti sensor suhu, tekanan, dan gas. Data ini kemudian dianalisis untuk mengoptimalkan proses fermentasi dan meningkatkan efisiensi produksi biogas. Dengan IoT, pemantauan dan pengendalian proses dapat dilakukan secara jarak jauh melalui perangkat mobile, seperti smartphone, yang memberikan kemudahan dan efektivitas dalam manajemen produksi biogas.

B. Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari fermentasi anaerobik bahan organik oleh mikroorganisme. Komponen utama biogas adalah metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Proses produksi biogas melibatkan degradasi bahan organik seperti limbah dapur atau kotoran hewan dalam kondisi anaerobik, yaitu tanpa kehadiran oksigen.



GAMBAR 2
(Ilustrasi Alat)

Dalam sistem produksi biogas, suhu dan tekanan sangat mempengaruhi efisiensi dan kualitas gas yang dihasilkan. Oleh karena itu, pemantauan yang tepat atas kondisi-kondisi ini sangat penting untuk memastikan keberhasilan produksi.

C. Sensor dan Komponen Pendukung

Sensor adalah komponen kunci dalam sistem IoT untuk produksi biogas. Beberapa jenis sensor yang sering digunakan meliputi sensor suhu seperti DHT22 dan sensor tekanan seperti BMP180. Sensor-sensor ini berperan penting dalam memantau kondisi di dalam biodigester dan memastikan bahwa parameter-parameter yang kritis, seperti suhu dan tekanan, berada dalam batas optimal untuk produksi biogas. Selain itu, sensor gas seperti MQ-4 digunakan untuk mendeteksi kandungan gas metana yang dihasilkan,

memastikan bahwa gas yang dihasilkan memiliki kualitas yang cukup untuk digunakan sebagai sumber energi.

D. Mikrokontroler dalam Sistem Biogas

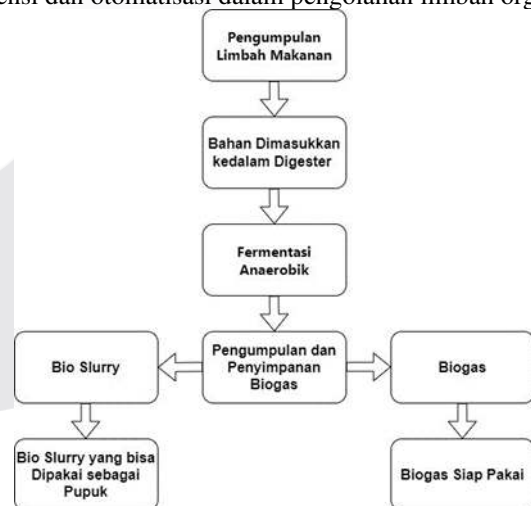
Mikrokontroler adalah komponen utama yang mengatur dan mengontrol operasi sensor dan aktuator dalam sistem produksi biogas berbasis IoT. Mikrokontroler seperti Arduino Uno atau ESP32 berfungsi untuk memproses data dari sensor dan mengirimkan instruksi ke aktuator berdasarkan analisis data tersebut. Dalam konteks ini, mikrokontroler juga berperan dalam menghubungkan sistem dengan jaringan IoT, memungkinkan pengawasan dan pengendalian jarak jauh. Mikrokontroler yang dipilih harus mampu menangani berbagai jenis sensor dan memastikan integrasi yang efektif antara perangkat keras dan perangkat lunak dalam sistem.

E. Otomatisasi dalam Produksi Biogas

Otomatisasi dalam produksi biogas bertujuan untuk mengurangi intervensi manual dan meningkatkan efisiensi proses produksi. Sistem otomatisasi yang diterapkan dapat mencakup pengaturan otomatis suhu, tekanan, dan pengadukan dalam biodigester, yang semuanya dikendalikan oleh mikrokontroler berdasarkan data sensor real-time. Dengan otomatisasi, proses produksi biogas menjadi lebih stabil, aman, dan dapat dioptimalkan untuk menghasilkan output gas yang lebih tinggi dan berkualitas.

III. METODE

Metodologi penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengembangkan, dan menguji sebuah sistem produksi biogas berbasis Internet of Things (IoT) yang memanfaatkan berbagai komponen elektronik modern untuk meningkatkan efisiensi dan otomatisasi dalam pengolahan limbah organik.



GAMBAR 1
(Alur Produksi Biogas)

Sistem ini dirancang untuk menjawab tantangan yang dihadapi oleh teknologi konvensional dalam produksi biogas, khususnya terkait pemantauan kondisi fermentasi dan pengelolaan limbah secara efisien. Bab ini akan menjelaskan tahapan metodologi yang meliputi desain sistem, pemilihan komponen, implementasi, pengujian, analisis data, serta validasi dan reliabilitas sistem.

A. Desain Sistem dan Pemilihan Komponen

Langkah awal dalam metodologi ini adalah perancangan sistem dan pemilihan komponen yang tepat untuk mendukung fungsionalitas sistem produksi biogas. Sistem ini dirancang dengan memanfaatkan

mikrokontroler sebagai pusat kendali, sensor untuk memantau kondisi lingkungan dalam biodigester, dan motor untuk mengaduk limbah secara otomatis. Dalam penelitian ini, mikrokontroler ESP32 dipilih karena memiliki keunggulan dalam hal kecepatan pemrosesan, integrasi Wi-Fi dan Bluetooth, serta fleksibilitas pin GPIO yang cukup untuk mengelola berbagai sensor dan aktuator. Sensor yang digunakan meliputi DHT22 untuk pemantauan suhu, BMP180 untuk pemantauan tekanan, dan MQ-4 untuk deteksi gas metana.

Pemilihan sensor ini didasarkan pada kriteria seperti akurasi pengukuran, konsumsi daya yang rendah, serta kemudahan integrasi dengan sistem mikrokontroler. Selain itu, motor DC 775 dipilih untuk menggerakkan mekanisme pengadukan limbah, mengingat kekuatan dan ketahanan motor ini yang sesuai dengan kebutuhan operasional dalam biodigester. Bahan konstruksi seperti plastik HDPE dan karet dipilih untuk memastikan kekuatan struktural dan ketahanan terhadap korosi, sementara media monitoring menggunakan bot dalam aplikasi dipilih untuk memastikan pengawasan sistem secara real-time dengan biaya yang efisien.

B. Implementasi Sistem

Setelah tahap perancangan dan pemilihan komponen selesai, implementasi sistem dilakukan dengan menyusun dan mengintegrasikan semua komponen dalam satu kesatuan alat produksi biogas. Proses ini melibatkan perakitan sensor, mikrokontroler, dan motor pengaduk dalam sebuah biodigester yang didesain khusus untuk memfasilitasi proses fermentasi anaerobik. Sensor suhu, tekanan, dan gas dipasang pada posisi strategis di dalam biodigester untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan mencerminkan kondisi lingkungan internal secara akurat. Mikrokontroler ESP32 dihubungkan dengan semua sensor dan motor pengaduk, dan diprogram untuk mengendalikan operasi sistem berdasarkan data yang diterima dari sensor.

Selain itu, sistem ini diintegrasikan dengan platform IoT melalui konektivitas Wi-Fi yang memungkinkan pengguna memantau dan mengendalikan proses produksi biogas dari jarak jauh melalui aplikasi mobile. Pengaturan kalibrasi dilakukan untuk memastikan bahwa sensor memberikan data yang akurat dan dapat diandalkan, sementara pengujian fungsi motor dilakukan untuk memastikan motor berfungsi dengan baik dalam berbagai kondisi beban.

C. Pengujian dan Evaluasi

Pengujian merupakan tahap penting dalam metodologi penelitian ini untuk menilai kinerja dan efektivitas sistem produksi biogas yang telah dikembangkan. Pengujian dilakukan dalam beberapa tahap, dimulai dari pengujian sensor untuk mengukur akurasi data yang dikumpulkan. Sensor suhu DHT22 dan sensor tekanan BMP180 dikalibrasi menggunakan metode regresi linear, di mana data yang diperoleh dari sensor dibandingkan dengan nilai referensi untuk mengidentifikasi dan mengoreksi penyimpangan pengukuran. Selain itu, pengujian juga dilakukan terhadap motor pengaduk untuk memastikan kemampuannya dalam

mengaduk limbah secara merata, yang sangat penting untuk menjaga efisiensi proses fermentasi.

Pengujian konektivitas IoT juga dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat mengirimkan data sensor secara real-time ke server dan merespons perintah yang dikirimkan melalui aplikasi mobile. Setelah semua pengujian dilakukan, data yang dikumpulkan dianalisis untuk mengevaluasi efisiensi sistem, baik dari segi energi yang digunakan maupun jumlah biogas yang dihasilkan.

D. Evaluasi Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi hasil pengujian yang telah dilakukan dan menentukan sejauh mana sistem yang dikembangkan memenuhi tujuan yang telah ditetapkan. Data yang diperoleh dari sensor dianalisis secara deskriptif untuk mengidentifikasi pola dan tren dalam perubahan suhu, tekanan, dan konsentrasi gas selama proses fermentasi. Analisis regresi linear digunakan dalam proses kalibrasi sensor untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan akurat dan dapat diandalkan. Selain itu, efisiensi energi sistem juga dianalisis dengan membandingkan konsumsi energi motor dan sensor dengan jumlah biogas yang dihasilkan, untuk memastikan bahwa sistem bekerja dengan efisiensi yang tinggi.

E. Validasi dan Reliabilitas

Untuk memastikan bahwa sistem produksi biogas yang dikembangkan dapat berfungsi dengan baik dalam jangka panjang, validasi dan reliabilitas diuji melalui pengujian yang berulang-ulang dalam berbagai kondisi operasional. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor dan kinerja motor pengaduk dengan standar yang telah ditetapkan, untuk memastikan bahwa sistem memberikan hasil yang konsisten dan dapat diandalkan. Reliabilitas sistem diuji dengan memantau kinerja komponen utama, seperti sensor dan motor, selama periode operasi yang panjang untuk memastikan bahwa mereka dapat berfungsi secara terus-menerus tanpa penurunan kinerja yang signifikan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Komponen

Hasil kalibrasi sensor suhu DHT22 menunjukkan bahwa sensor ini mampu memberikan pengukuran suhu dengan tingkat akurasi yang tinggi setelah dilakukan kalibrasi menggunakan metode regresi linear. Data yang diperoleh dari sensor DHT22 dibandingkan dengan nilai referensi yang diukur menggunakan termometer analog. Grafik regresi linear menunjukkan hubungan yang kuat antara suhu yang diukur oleh DHT22 dengan suhu referensi, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 1,00. Ini menunjukkan bahwa model regresi linier sangat sesuai dalam mengoreksi data pengukuran suhu dari sensor DHT22, sehingga dapat diandalkan untuk pemantauan suhu di dalam biodigester. Kesalahan rata-rata yang dihasilkan sangat kecil, yaitu MAE sebesar 0,28 dan MSE sebesar 0,11, yang semakin memperkuat validitas data yang diperoleh dari sensor ini.

Kalibrasi sensor tekanan BMP180 juga memberikan hasil yang sangat memuaskan. Sensor ini mampu mengukur tekanan di dalam biodigester dengan tingkat akurasi yang tinggi setelah dilakukan kalibrasi dengan manometer sebagai

alat referensi. Analisis regresi linear menunjukkan bahwa BMP180 memberikan pengukuran tekanan yang sangat mendekati nilai referensi, dengan nilai R^2 sebesar 0,999, menunjukkan bahwa model ini hampir sempurna dalam menjelaskan variabilitas data tekanan yang diukur. Nilai MAE sebesar 0,113 dan MSE sebesar 0,016 menunjukkan bahwa kesalahan pengukuran sangat kecil, sehingga sensor ini dapat diandalkan untuk pemantauan tekanan secara real-time dalam sistem produksi biogas.

Sensor gas MQ-4 diuji untuk mendeteksi konsentrasi metana dalam gas biogas yang dihasilkan. Pengujian potensiometer untuk mengatur sensitivitas sensor menunjukkan bahwa pengaturan pada level 2.0 hingga 2.2 memberikan hasil yang optimal, dengan tingkat sensitivitas yang cukup tinggi untuk mendeteksi perubahan konsentrasi gas tanpa menghasilkan notifikasi palsu. Grafik pengaturan potensiometer menunjukkan bahwa sensitivitas sensor pada level ini memungkinkan deteksi gas yang akurat dan responsif, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi dalam sistem IoT yang memerlukan deteksi gas metana secara real-time. Hal ini memastikan bahwa kualitas dan keamanan gas biogas yang dihasilkan dapat dipantau dengan efektif.

Pengujian motor DC 775 sebagai komponen pengaduk menunjukkan bahwa motor ini mampu beroperasi dengan baik dalam mengaduk limbah organik di dalam biodigester. Motor ini menunjukkan kemampuan untuk bekerja secara terus-menerus dengan tingkat keandalan yang tinggi, bahkan dalam kondisi beban yang bervariasi. Pengujian motor dilakukan dengan berbagai skenario beban untuk memastikan bahwa motor dapat mengaduk limbah secara merata, yang sangat penting untuk menjaga efisiensi proses fermentasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa motor DC 775 memiliki kekuatan penggerak yang cukup dan ketahanan yang baik terhadap kondisi operasional yang berat, menjadikannya pilihan yang tepat untuk sistem produksi biogas ini.

B. Analisis Efisiensi dan Kinerja Sistem

Analisis terhadap efisiensi energi sistem dilakukan dengan membandingkan konsumsi energi yang digunakan oleh motor pengaduk dan sensor dengan jumlah biogas yang dihasilkan. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu menghasilkan biogas dengan konsumsi energi yang relatif rendah. Motor DC 775, meskipun memiliki konsumsi energi yang cukup signifikan, tetap efisien dalam mengaduk limbah sehingga menghasilkan gas metana dalam jumlah yang cukup besar. Sensor-sensor yang digunakan, seperti DHT22, BMP180, dan MQ-4, juga menunjukkan konsumsi daya yang rendah, yang mendukung efisiensi keseluruhan sistem. Dengan kombinasi komponen yang dipilih, sistem ini mampu mencapai keseimbangan yang baik antara konsumsi energi dan produksi biogas, menjadikannya solusi yang berkelanjutan dan ekonomis untuk pengolahan limbah organik.

Keandalan sistem pemantauan berbasis IoT diuji dengan mengevaluasi stabilitas koneksi Wi-Fi dan kemampuan sistem dalam mengirimkan data sensor ke server secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini sangat andal dalam mengirimkan data secara terus-menerus tanpa gangguan yang signifikan. Penggunaan mikrokontroler ESP32 dengan integrasi Wi-Fi memungkinkan sistem untuk tetap terhubung dengan jaringan secara stabil, bahkan dalam kondisi sinyal yang tidak optimal. Selain itu, pengujian

terhadap aplikasi monitoring yang menggunakan bot Telegram menunjukkan bahwa pengguna dapat menerima notifikasi dan memantau kondisi sistem dari jarak jauh dengan respons yang cepat dan akurat. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pemantauan IoT yang dikembangkan sangat sesuai untuk digunakan dalam aplikasi produksi biogas yang memerlukan pemantauan kondisi fermentasi yang terus-menerus.

Dari hasil pengujian dan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem produksi biogas berbasis IoT yang dikembangkan dalam penelitian ini mampu memberikan solusi yang lebih efisien dan andal dibandingkan dengan sistem konvensional. Sensor-sensor yang digunakan telah terbukti mampu memberikan data yang akurat dan dapat diandalkan untuk pemantauan suhu, tekanan, dan gas metana, yang merupakan parameter penting dalam proses fermentasi anaerobik. Motor pengaduk DC 775 juga terbukti efisien dan andal dalam mengaduk limbah, yang sangat penting untuk menjaga kualitas dan kuantitas gas biogas yang dihasilkan. Selain itu, integrasi sistem dengan IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian sistem secara real-time, yang tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga memberikan fleksibilitas bagi pengguna untuk mengelola proses produksi biogas dari jarak jauh.

C. Analisis Pengerjaan Implementasi Sistem

Implementasi sistem biodigester berbasis Internet of Things (IoT) yang dirancang ini mencakup integrasi berbagai sensor untuk memastikan pemantauan dan pengendalian proses pembuatan biogas secara otomatis dan efisien. Sistem ini memanfaatkan beberapa sensor utama, yaitu DHT22 (AM2302) untuk pengukuran suhu dan kelembaban, BMP180 (BMP085) untuk pengukuran tekanan udara, serta MQ4 untuk deteksi keberadaan gas metana. Semua sensor ini terhubung ke Wemos D1 R32, yang merupakan mikrokontroler berbasis ESP32. Mikrokontroler ini bertindak sebagai pengendali utama yang mengelola komunikasi data antara sensor dan sistem.

Sistem ini juga dirancang dengan memperhatikan aspek keamanan siber, terutama dalam hal transmisi data. Untuk itu, digunakan koneksi 'WiFiClientSecure' yang memungkinkan pengiriman data sensor ke server dengan enkripsi, sehingga mencegah potensi penyadapan atau gangguan dari pihak yang tidak bertanggung jawab. Koneksi yang aman ini sangat penting dalam aplikasi IoT, terutama untuk sistem yang beroperasi secara otomatis dan mempengaruhi keselamatan. Panduan pengoperasian yang disediakan memastikan pengguna dapat mengoperasikan sistem biodigester dengan efektif dan efisien. Ini termasuk langkah-langkah dari memasukkan bahan baku, mengaktifkan pengaduk, memantau parameter sistem, hingga pengumpulan dan penggunaan biogas yang dihasilkan. Monitoring rutin dan pengaturan alarm untuk kondisi di luar batas normal juga disarankan untuk meningkatkan keandalan operasional sistem. Analisis ini menunjukkan bahwa implementasi sistem telah dirancang dengan terstruktur dan mengikuti prinsip-prinsip pengembangan IoT yang dapat diandalkan dan efisien.

D. Pengujian Hipotesis

Hipotesis utama dalam penelitian ini adalah bahwa sistem produksi biogas berbasis IoT yang dilengkapi dengan

sensor modern dan kontrol otomatis dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan produksi biogas dibandingkan dengan sistem konvensional. Hasil pengujian yang telah dilakukan mendukung hipotesis ini, dengan menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mengatasi berbagai keterbatasan yang ada pada sistem konvensional, seperti kebutuhan untuk pemantauan manual dan kurangnya otomatisasi. Selain itu, sistem ini juga terbukti lebih efisien dalam hal konsumsi energi dan lebih andal dalam pemantauan kondisi fermentasi. Dengan demikian, hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini dapat diterima, dan sistem produksi biogas berbasis IoT yang dikembangkan dapat dianggap sebagai solusi yang lebih baik untuk pengolahan limbah organik menjadi energi terbarukan.

E. Pengujian Sistem

Pengujian sistem yang telah dikembangkan mencakup berbagai aspek yang bertujuan untuk memastikan bahwa sensor, pengaduk otomatis, dan integrasi perangkat keras bekerja secara efektif dalam proses produksi biogas. Pengujian dilakukan secara menyeluruh dengan mempertimbangkan berbagai kondisi lingkungan, waktu, dan skenario operasional untuk mengidentifikasi kekuatan serta kelemahan sistem.

Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa seluruh komponen sistem berfungsi sesuai harapan. Ini mencakup verifikasi bahwa sensor-sensor mampu mendeteksi parameter yang relevan seperti suhu, tekanan, dan keberadaan gas metana secara akurat dan mengirimkan data tersebut untuk pemantauan jarak jauh. Selain itu, pengujian bertujuan untuk menilai kinerja pengaduk otomatis yang dikendalikan oleh dinamo DC motor 775.

Pengujian dilakukan dalam beberapa tahap, dimulai dari pengujian setiap aspek sensor dan pengaduk otomatis selama tujuh hari untuk memastikan pengambilan data harian yang konsisten. Kondisi lingkungan seperti suhu dan tekanan udara dipantau dan disesuaikan untuk menciptakan kondisi optimal bagi produksi biogas. Pengujian keterlambatan respon sistem juga dilakukan untuk mengukur seberapa cepat sistem merespons perintah yang dikirimkan, dengan pengujian dilakukan pada berbagai waktu dari siang hingga malam untuk mengevaluasi dampak perubahan suhu terhadap produksi biogas.

Pengujian dilakukan di luar ruangan, seperti di balkon rumah, untuk mendapatkan variasi kondisi lingkungan yang lebih realistis. Data dikumpulkan setiap hari pada waktu yang berbeda untuk memahami bagaimana sistem beroperasi dalam berbagai kondisi suhu dan tekanan. Pengujian ini dilakukan oleh para peneliti sendiri tanpa bantuan pihak luar untuk memastikan konsistensi dan kontrol penuh atas proses pengujian.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa integrasi perangkat keras dan perangkat lunak berjalan dengan baik. Mikrokontroler Wemos ESP32 berhasil mengendalikan dinamo DC motor 775 untuk menjalankan pengaduk otomatis sesuai dengan jadwal yang diprogram. Sistem otomatisasi juga berhasil mengirimkan data yang diperlukan meskipun beberapa hambatan terdeteksi, seperti kebutuhan akan pasokan daya yang konstan dan perawatan rutin.

Namun, pengujian sensor MQ4 untuk deteksi gas metana menunjukkan bahwa sensor tidak mendeteksi gas metana selama periode pengujian. Hal ini diidentifikasi sebagai akibat dari penyetelan potensiometer yang tidak tepat, yang mengurangi sensitivitas sensor. Sensor tekanan udara BMP180 dan sensor suhu DHT22 berhasil memantau kondisi biogas, meskipun ada beberapa tantangan terkait dengan resolusi dan akurasi pengukuran yang perlu diperbaiki untuk meningkatkan performa sistem.

Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem biodigester berbasis IoT yang dikembangkan memiliki potensi yang baik, namun membutuhkan beberapa penyempurnaan lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi dan keandalannya dalam jangka panjang.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem produksi biogas berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mengintegrasikan sensor suhu, tekanan, dan gas dengan mikrokontroler Wemos ESP32 dan bot Telegram untuk pemantauan dan pengendalian jarak jauh. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem ini mampu meningkatkan efisiensi dan keandalan produksi biogas, meskipun beberapa aspek teknis, seperti sensitivitas sensor gas dan stabilitas pasokan daya, masih memerlukan peningkatan lebih lanjut. Secara keseluruhan, sistem ini menunjukkan potensi besar sebagai solusi inovatif dalam pengolahan limbah organik, dengan kontribusi signifikan terhadap pengembangan energi terbarukan yang ramah lingkungan.

REFERENSI

- Caron, J., & Markusen, J. R. (2016). 濟無No Title No Title No Title. 1–23.
- DIDIK NOTOSUDJONO, dan KIKI BAEHAKI, H. S. (2021). ANALISIS PENINGKATAN GAS METANA (CH₄) PADA DIGESTER PORTABEL DENGAN KOTORAN SAPI SEBAGAI SUMBER ENERGI BIOGAS BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT). *Jurnal Teknik | Majalah Ilmiah Fakultas Teknik UNPAK*, 22(1), 19–26. <https://doi.org/10.33751/teknik.v22i1.3734>
- Prasetya, H. E. G., Amalia, R., Azisa, A. F. B., Fitri, A. L., & Jibrán, M. R. (2022). Rancang Bangun Smart Biogas Plant Menggunakan Teknologi Internet of Things (Iot). *Suara Teknik: Jurnal Ilmiah*, 13(2), 5. <https://doi.org/10.29406/stek.v13i2.4864>
- 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.
- Sultan Salahuddin, N., Putri, A., & Ganefi Gumay, M. (2018). Sistem Pemantau Suhu dan Tekanan Biogas pada Biodigester Berbasis Android. *STMIK ATMA LUHUR Pangkalpinang, March*, 8–9.