

Implementasi *Internet of Things* (IoT) Pada Sistem *Monitoring* Kadar Gas Metana Pada Biodigester

1st Widya Damayanti
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

widyadamayanti@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Rendy Munadi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

rendymunadi@telkomuniversity.ac.id

3rd Sussi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
sussiss@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Biogas merupakan salah satu bahan bakar gas yang dapat dijadikan sebagai *renewable energy*. Biogas tergolong baru dikembangkan, sehingga pemantauan masih dilakukan secara konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mempermudah pemantauan kadar gas metana yang terkandung pada biodigester. Dengan menggunakan *Internet of Things* (IoT), dapat mengetahui secara pasti kadar gas metana. Selain kadar gas metana, penelitian ini juga menguji tekanan, suhu, dan pH pada biodigester. Sensor yang digunakan pada penelitian ini dikalibrasi terlebih dahulu sebelum digunakan. Selain dikalibrasi, sensor-sensor tersebut juga dilakukan perbandingan dengan alat konvensional. Untuk memastikan baik atau buruknya kualitas jaringan, dilakukan *Quality of Service* (QoS) dari perangkat biogas (ESP32) hingga Firebase dengan standar ITU T G.1010. Parameter yang diuji adalah *throughput* dengan hasil 10231.95933 bps dan *delay* dengan hasil 222.1368981 ms. Penelitian kadar gas metana pada biodigester ini dilakukan selama enam hari, dengan hasil untuk suhu pada saat proses pembuatan biogas menunjukkan rentang 24.5°C hingga 26.5°C, rentang pH 6 – 8, dan tekanan terhadap kadar gas metana menunjukkan fluktuasi yang disebabkan berbagai faktor, seperti produksi gas, suhu, dan volume biogas.

Kata kunci— Biogas, *Internet of Things* (IoT), *Quality of Service* (QoS), Kadar Gas Metana

I. PENDAHULUAN

Biogas merupakan salah satu jenis bahan energi alternatif yang tergolong baru dikembangkan, dengan memanfaatkan beberapa jenis bahan limbah, seperti sisa makanan, sampah, dan kotoran ternak. Dalam penerapannya, biasanya biogas tidak dilengkapi dengan alat, ukur, seperti alat ukur untuk mengukur tekanan yang dihasilkan pada biodigester, sehingga pengguna tidak dapat memantau produksi gas dari reaktor. Saat ini, pengukuran kondisi biogas masih dilakukan secara konvensional, yaitu menggunakan manometer. Di Indonesia, kemauan penduduknya untuk membuat sistem *monitoring* biogas secara digital masih sangat kurang.

Penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam skala kecil dibangun untuk mengevaluasi konsep dan fungsionalitas suatu sistem. Melalui ini, berbagai masalah desain dan teknis dapat diidentifikasi lebih awal, sehingga dapat dilakukan perbaikan. Pemantauan tekanan dan kadar gas metana dalam biodigester *Prototype* digunakan untuk menguji berbagai

komponen, termasuk perangkat keras, jaringan, *platform*, dan aplikasi yang akan digunakan.

Dalam upaya mengatasi permasalahan yang ada, implementasi *Internet of Things* (IoT) pada sistem *monitoring* kadar gas metana pada biodigester dilakukan. Terdapat empat sensor yang akan digunakan pada penelitian ini, yaitu sensor BMP280, DS18B20, MQ-4 dan SEN0161.

II. KAJIAN TEORI

A. *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan struktur di mana berbagai hal dapat dilihat dan ditemukan di internet. IoT bertujuan untuk membangun layanan dan aplikasi baru yang menghubungkan antara dunia fisik dan virtual. IoT menggunakan komunikasi *Machine-to-Machine* (M2M), yang merupakan dasar komunikasi yang memungkinkan interaksi antara *things* dan aplikasi di *cloud* [1].

B. Firebase

Firebase merupakan API tambahan yang memungkinkan penggunaan layanan, seperti autentikasi, pengiriman pesan, memantau analitik, laporan, dan lain-lain[2]. Perangkat lunak pengembangan aplikasi ini didukung oleh Google. Firebase mengintegrasikan berbagai layanan *cloud* dari Google, seperti *real-time database*, penyimpanan dan hosting[3]. *Real-time database* pada Firebase dihosting oleh Google dan setiap klien yang terhubung disinkronkan secara *real-time* dengan data yang disimpan adalah JSON[3].

C. Wireshark

Wireshark merupakan suatu *platform* yang digunakan untuk menganalisis paket jaringan dengan memeriksa nilai setiap komponen *header*. Wireshark juga digunakan sebagai penangkapan paket dan analisis paket jaringan, di mana tangkapan paket ini meliputi protokol, fitur jaringan, dan lain-lain[4].

D. *Quality of Service* (QoS)

Quality of Service (QoS) merupakan metode untuk mengukur kinerja jaringan yang mengacu pada beberapa parameter, yaitu *throughput*, *packet loss*, *delay*, dan *jitter* [5]. QoS memberikan kemampuan kepada pengelola jaringan

untuk mengelola dan mengoptimalkan penggunaan *bandwidth*, *paket loss*, *delay*, *jitter*, dan *throughput* [6].

E. Mikrokontroler *NodeMCU ESP32*

Mikrokontroler ESP32 merupakan mikrokontroler SoC (*System on Chip*) terpadu dengan dilengkapi WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth versi 4.2, dan berbagai peripheral. Chip ini memiliki prosesor, penyimpanan, dan akses ke *General Purpose Input Output* (GPIO). Sebagai mikrokontroler yang diperkenalkan oleh *Espressif Systems*, ESP32 adalah penerus dari ESP8266, dengan beberapa keunggulan seperti pin out dan analog yang lebih banyak, memori yang lebih besar, dan WiFi yang sudah terintegrasi dalam *chip processor dual-core* yang menjalankan instruksi Xtensa LX16, sehingga membuatnya cocok untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT) [7].

F. Sensor MQ4

Sensor MQ4 merupakan modul sensor yang dapat mendeteksi kadar gas metana dan gas alami yang terdapat di udara, dengan jangkauan deteksi gas alam/metana antara 200 hingga 10.000ppm [8]. Sensor ini memiliki sensitivitas yang sangat tinggi terhadap gas metana, yang dilengkapi dengan pasokan daya sebesar 5V [9].

G. Sensor BMP280

Sensor *Baromatic Pressure* (BMP280) adalah salah satu sensor barometer yang digunakan untuk mengukur tekanan udara. Sensor dengan rentang 300 hingga 1100 hPa ini merupakan penyempurnaan dari BMP180. Sensor ini dilengkapi dengan sensor tekanan pizoresistif dan sinyal integrasi sirkuit khusus untuk aplikasi melakukan konversi analog/digital (A/D) [10].

H. Sensor DS18B20

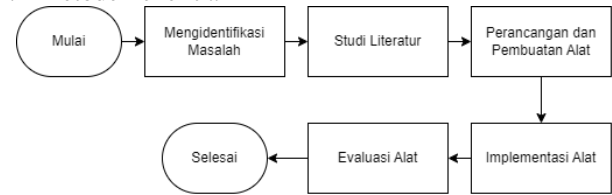
Sensor DS18B20 adalah sensor thermometer digital yang memiliki konfigurasi 9 sampai dengan 12 bit, dengan rentang deteksi suhu mulai dari -55°C sampai +125°C dengan akurasi $\pm 0.5^\circ\text{C}$. Sensor ini menggunakan komunikasi *one-wire* dengan prinsip kerja, yaitu mengonversi suhu menjadi nilai digital secara langsung. Salah satu fitur utamanya adalah mengubah nilai bit sesuai dengan perubahan suhu, dengan *default* bit sebesar 12, namun dapat berubah sesuai dengan perubahan suhu. Sensor ini juga dilengkapi dengan alarm dan LCD untuk mengawasi perubahan suhu [11].

I. Sensor SEN0161

Sensor SEN0161 merupakan sensor analog yang digunakan untuk mengukur derajat keasaman dan basa (pH), dengan rentang 0 sampai dengan 14pH. Sensor ini memiliki tingkat akurasi 0.1 pH apabila berada di suhu 25°C [12]. Cara kerja dari sensor ini terletak pada ujung elektroda yang berbentuk bulat (*bulb*), yang digunakan untuk pertukaran ion positif (H^+). Larutan HCL diisi ke dalam silinder kaca atau plastic yang panjang dengan *bulb* ini [13]. Terdapat perbedaan beda potensial antara dua elektroda yang disebabkan oleh pertukaran ion, sehingga potensiometer akan membaca keluaran positif atau negatif,

III. METODE

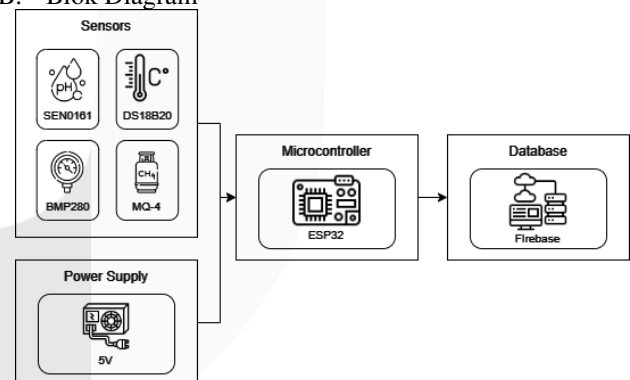
A. Metode Penelitian



GAMBAR 1
Flowchart Metode Penelitian

Gambar 1 menjelaskan tahapan metode penelitian dilakukan dengan serangkaian tahapan yang meliputi identifikasi masalah, studi literatur, perancangan dan pembuatan alat, implementasi alat, dan diakhiri dengan evaluasi alat. Mengidentifikasi masalah dilakukan dengan cara pengamatan dan wawancara dengan pihak terkait, serta analisa terhadap permasalahan yang ada. Studi literatur merupakan tahap pengumpulan informasi yang relevan dengan masalah yang ada, melakukan kajian terhadap penelitian sebelumnya yang serupa, dan menganalisis solusi. Pada tahapan perancangan dan pembuatan alat, dilakukan pembuatan konsep dan desain alat secara rinci, termasuk komponen-komponen yang dibutuhkan. Tahapan implementasi alat merupakan tahapan di mana alat yang sudah dirancang dibangun dan meletakkan sensor-sensor sesuai rancangan desain. Tahap terakhir adalah evaluasi alat, di mana alat yang telah dibangun diuji untuk memastikan fungsinya, dilakukan perbaikan alat apabila terdapat kekurangan atau kesalahan, dan mengevaluasi kinerja alat secara keseluruhan.

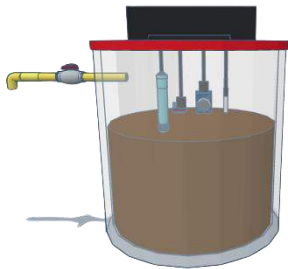
B. Blok Diagram



GAMBAR 2
Blok Diagram Sistem

Pada Gambar 2, rancangan blok diagram diusulkan. Blok diagram ini terdiri dari *input*, *proses*, dan *output*. *Input* terdiri dari beberapa sensor, yaitu SEN0161, DS18B20, BMP280, dan MQ-4, serta catu daya sebesar 5v. Pada proses, terdapat nodeMCU ESP32 sebagai mikrokontroler, dan Firebase sebagai *output*.

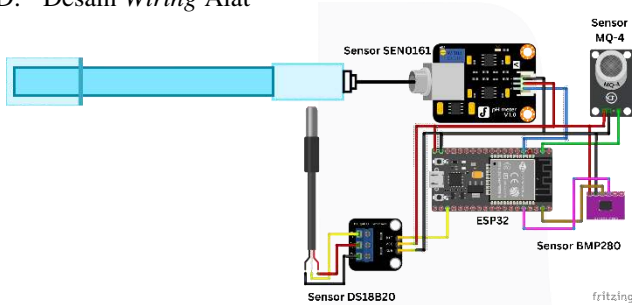
C. Desain Alat



GAMBAR 3
Desain Alat

Gambar 3 menunjukkan perancangan desain alat. Perancangan ini memiliki wadah sebesar 13,5 L yang dilengkapi dengan sensor-sensor, yang masing-masing berjumlah satu buah dan ditempatkan di tengah-tengah tutup wadah yang telah dilubangi. Setiap sensor yang telah ditempatkan di tengah-tengah tutup wadah tersebut direkatkan kembali agar kedap udara. Pada sensor SEN0161, alat ditancapkan ke dalam kotoran sapi, sedangkan ketiga sensor lainnya dibiarkan menggantung. Kemudian, terdapat selang tambahan pada sisi samping wadah yang berfungsi untuk saluran gas yang dilengkapi dengan katup. Selain itu, terdapat kotak hitam di atas tutup wadah yang berfungsi sebagai wadah penyimpanan mikrokontroler beserta saluran kabel.

D. Desain Wiring Alat



GAMBAR 4
Wiring Design Alat

Dalam rancangan yang terdapat pada Gambar 4, terdapat beberapa perangkat keras yang digunakan, yaitu ESP32, sensor MQ-4, sensor DS18B20, sensor BMP280, dan sensor SEN0161. Pada sensor DS18B20 dan SEN0161 dibutuhkan adaptor tambahan agar dapat terhubung, karena baik DS18B20 dan SEN0161 membutuhkan adaptor tambahan agar dapat bekerja secara maksimal. Penempatan pin sensor pada ESP32 sendiri kurang lebih sama, yaitu *ground* masing-masing sensor dihubungkan dengan pin GND pada ESP32 dan *input* masing-masing sensor dihubungkan dengan pin VIN pada ESP32. Sedangkan untuk pin data, sensor SEN0161 dihubungkan dengan pin 35, sensor DS18B20 dihubungkan dengan pin 15, sensor MQ-4 dihubungkan dengan pin Vp. Untuk sensor BMP280, terdapat dua data pin tambahan yang dihubungkan pada ESP32, yaitu SCL ke pin 22, sedangkan SDA ke pin 21.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian/Kalibrasi Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk memastikan bahwa sensor dapat bekerja dengan baik dan akurat. Pengujian sensor ini dilakukan sebelum sensor-sensor tersebut diletakkan di dalam biodigester. Tiap sensor melalui proses kalibrasi, implementasi, dan pengujian yang spesifik, sehingga dapat mendukung pemantauan biogas secara efektif dan tepat.

TABEL 1
Pengujian Sensor Ds18b20 Dengan *Thermocouple* Tipe-K

Percobaan ke-	DS18B20 (Satuan °C)	Thermocouple Type-k (Satuan °C)	Error	%Error	Akurasi Sensor
1	28.1	27.3	0.80	0.0293	97.07%
2	28.9	27.7	1.20	0.0433	95.67%
3	29.1	28.0	1.10	0.0393	96.07%
4	29.0	28.1	0.90	0.0320	96.80%
5	28.7	28.2	0.50	0.0177	98.23%
6	28.4	28.2	0.20	0.0071	99.29%
7	28.2	28.2	0.00	0.0000	100.00%
8	28.0	28.2	0.20	0.0071	99.29%
9	27.8	28.2	0.40	0.0142	98.58%
10	27.7	28.2	0.50	0.0177	98.23%
11	27.6	28.2	0.60	0.0213	97.87%
12	27.5	28.1	0.60	0.0214	97.86%
13	27.4	28.1	0.70	0.0249	97.51%
14	27.1	27.6	0.50	0.0181	98.19%
15	27.1	27.5	0.40	0.0145	98.55%
16	27.1	27.5	0.40	0.0145	98.55%
17	27.1	27.4	0.30	0.0109	98.91%
18	27.0	29.0	2.00	0.0690	93.10%
19	27.4	31.6	4.20	0.1329	86.71%
20	27.6	32.0	4.40	0.1375	86.25%
21	28.1	32.0	3.90	0.1219	87.81%
22	28.3	32.3	4.00	0.1238	87.62%
23	28.3	32.2	3.90	0.1211	87.89%
24	28.1	31.0	2.90	0.0935	90.65%
25	28.5	32.5	4.00	0.1231	87.69%
Rata-rata Error dan % Error			1.54	0.0503	94.97%

Pada sensor DS18B20, sebelum sensor dikalibrasi, dilakukan pengujian dengan *thermocouple* tipe-k untuk mendapatkan perbandingan. Pengujian yang telah dilakukan dijadikan tabel dan dilakukan perhitungan untuk error, persentase error, dan akurasi sensor, yang dapat dilihat pada Tabel 1.

```
16 void loop() {
17   sensors.requestTemperatures();
18   DST = sensors.getTempCByIndex(0);
19   DSTC = -0.0342 * DST + 28.369;
20   Serial.println("DST : "+String(DST));
21   Serial.println("DSTC : "+String(DSTC));
22
23   delay(1);
24 }
```

Output Serial Monitor x

Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on 'COM9')

DST : 26.37
DSTC : 27.47
DST : 25.81
DSTC : 27.49
DST : 25.81
DSTC : 27.49
DST : 25.81
DSTC : 27.49

GAMBAR 5
Perbandingan Sensor Ds18b20 Sebelum Dan Setelah Kalibrasi

Gambar 5 merupakan hasil perbandingan sensor DS18B20 sebelum dan setelah kalibrasi. Setelah dilakukan pengujian dengan *Thermocouple* tipe-k, sensor DS18B20 dicari regresi liniernya dan dimasukkan angka regresi tersebut ke dalam rumus pada *code* di Arduino IDE. Sebagai pembeda, untuk sensor DS18B20 sebelum dikalibrasi diberikan variabel “DST”, sedangkan setelah dikalibrasi diberikan variabel “DSTC”.

TABEL 2
Pengujian Sensor Bmp280 Dengan *Digital Pressure Gauge*

Data ke	BMP280 (Satuan Psi)	Gauge (Satuan Psi)	Error	%Error
1	10.69	10.60	0.09	0.0085
2	10.38	10.40	0.02	0.0019
3	9.93	9.90	0.03	0.0030
4	9.50	9.50	0.00	0.0000
5	9.08	9.10	0.02	0.0022
6	8.69	8.70	0.01	0.0011
7	8.30	8.30	0.00	0.0000
8	7.93	8.00	0.07	0.0088
9	7.57	7.50	0.07	0.0093
10	7.23	7.20	0.03	0.0042
11	6.89	6.90	0.01	0.0014
12	6.57	6.60	0.03	0.0045
13	6.26	6.20	0.06	0.0097
14	5.97	6.00	0.03	0.0050
15	5.68	5.70	0.02	0.0035
16	5.41	5.40	0.01	0.0019
17	5.14	5.10	0.04	0.0078
18	4.89	4.90	0.01	0.0020
19	4.65	4.70	0.05	0.0106
20	4.41	4.30	0.11	0.0256
21	4.19	4.20	0.01	0.0024
22	3.98	4.00	0.02	0.0050
23	3.77	3.80	0.03	0.0079
24	3.58	3.60	0.02	0.0056
25	3.39	3.40	0.01	0.0029
Rata-rata Error dan % Error			0.03	0.0054

Pengujian sensor BMP280 dengan *Digital Pressure Gauge* dilakukan untuk mendapatkan nilai eror, persentase eror, dan akurasi eror dari sensor. Pengujian ini dilakukan sebelum sensor BMP280 dikalibrasi, dengan hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 2.

```
19:22:07.927 -> Data ke : 21
19:22:07.927 -> Tekanan : 3.06
19:22:07.927 -> Tekanan Kalib : 3.07
19:22:11.930 -> Data ke : 22
19:22:11.930 -> Tekanan : 2.90
19:22:11.930 -> Tekanan Kalib : 2.90
19:22:15.929 -> Data ke : 23
19:22:15.929 -> Tekanan : 2.74
19:22:15.929 -> Tekanan Kalib : 2.75
19:22:19.930 -> Data ke : 24
19:22:19.930 -> Tekanan : 2.60
19:22:19.930 -> Tekanan Kalib : 2.60
19:22:23.949 -> Data ke : 25
19:22:23.949 -> Tekanan : 2.46
19:22:23.949 -> Tekanan Kalib : 2.47
```

GAMBAR 6
Perbandingan Sensor Bmp280 Sebelum Dan Setelah Kalibrasi

Gambar 6 menunjukkan gambar perbandingan sensor BMP280 sebelum dan setelah dikalibrasi. Setelah dilakukan pengujian dengan *Digital Pressure Gauge*, Tabel 2 dijadikan grafik dan dicari regresi liniernya yang kemudian angka regresi tersebut dimasukkan ke dalam *code* untuk dibandingkan sebelum dan setelah dikalibrasi. Sebelum diaplikasikan ke biodigester, satuan dari BMP280 dikonversi menjadi *Pascal* (Pa).

[illegible]

GAMBAR 7
Hasil Kalibrasi Mq-4 Satuan Ppm

Gambar 7 merupakan hasil kalibrasi MQ-4 dengan satuan ppm. Sebelum didapatkan, sensor ini dikalibrasi dengan cara mencari karakteristik sensitivitas sensor, dengan gambar karakteristik sensitivitas sensor didapatkan dari *datasheet* sensor MQ-4, kemudian sensitivitas sensor tersebut diplot untuk mendapatkan parameter x dan y . Setelah didapatkan parameter x dan y , dibuatkan regresi linier dan pengukuran resistansi, kemudian memasukkan angka resistansi (R_I , R_s , R_o) pada *code* sehingga didapatkan ppm dari MQ-4.


```

Output  Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'E

pH Kalibrasi = 9.39

Analog read = 1371.40
pH Kalibrasi = 9.40

Analog read = 1374.15
pH Kalibrasi = 9.39

Analog read = 1374.55
pH Kalibrasi = 9.39

Analog read = 1373.15
pH Kalibrasi = 9.39

Analog read = 1370.20
pH Kalibrasi = 9.41

Analog read = 1369.10
pH Kalibrasi = 9.41

```

GAMBAR 8

PENGUJIAN SENSOR SEN0161 BUFFER 9.18 SETELAH KALIBRASI

Gambar 8 merupakan pengujian sensor SEN0161 dengan pH buffer 9.18 setelah dikalibrasi. Hasil pengujian ini didapatkan perbedaan sekitar 0.11, yang menunjukkan sensor ini masih dalam rentang toleransi.

```

Output  Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'E

pH Kalibrasi = 7.96

Analog read = 1775.35
pH Kalibrasi = 7.42

Analog read = 1807.05
pH Kalibrasi = 7.27

Analog read = 1836.85
pH Kalibrasi = 7.12

Analog read = 1851.65
pH Kalibrasi = 7.05

Analog read = 2069.50
pH Kalibrasi = 5.98

Analog read = 1863.10
pH Kalibrasi = 6.99

```

GAMBAR 9

Pengujian Sensor Sen0161 Buffer 6.86 Setelah Kalibrasi

Gambar 9 menunjukkan sensor SEN0161 dengan pH buffer 6.86 setelah kalibrasi, dengan perbedaan sekitar 0.88 sampai dengan 1.1.

```

Output  Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'E

pH Kalibrasi = 3.68

Analog read = 2313.75
pH Kalibrasi = 4.79

Analog read = 2405.20
pH Kalibrasi = 4.34

Analog read = 2408.20
pH Kalibrasi = 4.32

Analog read = 2464.80
pH Kalibrasi = 4.05

Analog read = 2407.55
pH Kalibrasi = 4.33

Analog read = 2444.65
pH Kalibrasi = 4.14

```

GAMBAR 10

Pengujian Sensor Sen0161 Buffer 4.01 Setelh Kalibrasi

Gambar 9 merupakan hasil pengujian sensor SEN0161 dengan pH buffer 4.01. Hasil yang didapat menunjukkan

sensor SEN0161 sebelum dan setelah dikalibrasi memiliki eror sekitar 0.33 sampai 0.78.

Sebelum mendapatkan hasil yang tertera pada Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9, sensor SEN0161 dilakukan pengujian dengan alat pH Meter. Masing-masing alat dicelupkan ke dalam larutan buffer 4.01, 6.86, dan 9.18 secara bertahap. Mulanya, sensor SEN0161 akan membaca angka analog, yang angka analog tersebut diambil 10 data dan dirata-ratakan. Kemudian, angka yang sudah dirata-rata dimasukkan ke tabel tiap larutan buffer, dan mencari angka regresi linier dari analog yang terbaca oleh sensor. Kemudian, angka tersebut dimasukkan ke dalam *code* pada Arduino IDE dan diuji kembali dengan larutan buffer dan pH Meter untuk memastikan sensor SEN0161 memiliki akurasi yang baik.

B. Implementasi Perangkat Keras

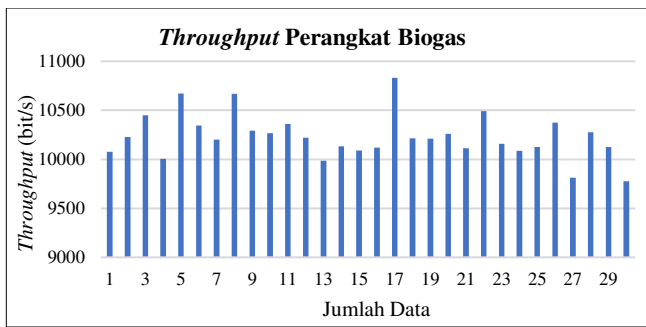


GAMBAR 11
Perangkat Keras Alat

Gambar 11 menampilkan komponen perangkat keras dari implementasi *Internet of Things* (IoT) pada sistem *monitoring* kadar gas metana. Perangkat keras ini terdiri dari beberapa komponen, yaitu wadah untuk biodigester sebesar 13.5 L, selang, katup, dan wadah untuk penyimpanan mikrokontroler beserta kabel. Pada wadah biodigester terpasang sensor-sensor yang digunakan untuk proses pemantauan kadar gas metana, yang tiap sensor terintegrasi dengan nodeMCU ESP32 melalui kabel jumper dan GPIO *extension board*. NodeMCU ESP32 menerima data yang dikirim oleh sensor dan akan diteruskan kepada *database*.

C. Pengujian *Quality of Service* (QoS)

Pengujian *Quality of Service* (QoS) dilakukan pada perangkat biogas (ESP32) terhadap Firebase. Pengujian ini dilakukan dengan cara data sensor yang diperoleh diteruskan ke Firebase dan ditangkap menggunakan aplikasi Wireshark. Standar dari pengujian ini dilakukan dengan standar ITU T G.1010, dengan pengukuran yang diukur adalah *throughput* dan *delay* (*latency*).

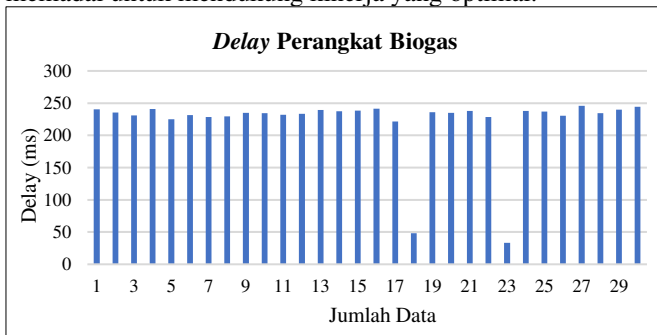


GAMBAR 12
Throughput Perangkat Biogas

Berdasarkan Gambar 12, nilai rata-rata *throughput* yang diperoleh dari pengukuran adalah 1023.95933 bps. Analisis lebih lanjut menunjukkan adanya variabilitas *throughput* yang signifikan, dengan nilai maksimum 10830.54401 bps pada data pengukuran ke-17 dan nilai minimum 9775.271566 bps pada data ke-10. Perolehan hasil *throughput* didapatkan berdasarkan Persamaan 1.

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Total paket data diterima}}{\text{Waktu pengiriman}} \quad (1)$$

Meskipun demikian, nilai *throughput* yang didapat masih berada dalam batas yang dapat diterima. *Throughput* yang tinggi mengindikasikan kapasitas *bandwidth* yang memadai untuk mendukung kinerja yang optimal.



GAMBAR 13
Delay Perangkat Biogas

Berdasarkan Gambar 13, rata-rata perhitungan *delay* menghasilkan nilai 222.1368981 ms. Hasil ini menunjukkan adanya isu latensi yang signifikan dalam sistem. Perhitungan *delay* ini didapatkan berdasarkan Persamaan 2.

$$\text{Delay} = \frac{\text{Total delay}}{\text{Total paket diterima}} \quad (2)$$

Berdasarkan perhitungan *delay* yang telah dilakukan, didapatkan variasi *delay* tertinggi, yaitu melebihi 245.9334243 ms, yang mengindikasikan ketidakkonsistenan dalam kinerja jaringan dan berpotensi mempengaruhi kualitas jaringan.

D. Pengujian WiFi

```

1 Serial.print("Connecting to ");
2 Serial.println(ssid);
3 WiFi.begin(ssid, password);
4
5 while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
6   delay(500);
7   Serial.print(".");
8 }
9 WiFi.mode(WIFI_STA);
10
11 Serial.println("");
12 Serial.println("WiFi connected.");
13 Serial.println("IP address: ");
14 Serial.println(WiFi.localIP());

```

GAMBAR 14
Source Code Wifi

Gambar 14 menunjukkan *code* untuk WiFi. WiFi sendiri menggunakan *library* *WiFi.h* untuk mengakses modul WiFi dan kebutuhan kredensial WiFi, seperti “SSID” dan “Password”. Selama proses koneksi, status koneksi akan ditampilkan melalui Serial Monitor. Proses tersebut berlangsung sampai koneksi berhasil didirikan, ditandai dengan *WL_CONNECTED*. Setelah koneksi berhasil, alat IP local ditampilkan melalui Serial Monitor.

E. Pengujian Firebase

```

1 #include <Firebase_ESP_Client.h>
2 #include "addons/TokenHelper.h"
3 #include "addons/RTDBHelper.h"
4
5 #define API_KEY "Aiza5y8SDmLEcLun7AvfeATXUETgm3wZQXPFVQ"
6 #define DATABASE_URL "https://biogas-3eac2-default-rtdb.asia-southeast1.firebaseio.com/"
7 #define USER_EMAIL "tes@gmail.com"
8 #define USER_PASSWORD "1234567"
9
10 FirebaseData fbdo;
11 FirebaseAuth auth;
12 FirebaseConfig config;

```

GAMBAR 15
Source Code Daftar Library Dan Variabel Untuk Firebase

Gambar 15 menunjukkan daftar *library* yang digunakan untuk mengintegrasikan perangkat *Internet of Things* dengan Firebase. Dengan menggunakan *library* *Firebase_ESP_Client.h* dan dua file tambahan yaitu *TokenHelper.h* dan *RTDBHelper.h*. Selanjutnya, didefinisikan beberapa variabel penting, seperti untuk proses autentikasi Firebase *API_KEY*, untuk menunjukkan URL *database* proses penyimpanan *DATABASE_URL*, dan untuk proses kredensial pengguna, *USER_EMAIL* dan *USEAR_PASSWORD*. Bagian terakhir merupakan pendeklarasian tia objek penting yang terdiri dari *fbdo* untuk operasi data Firebase, *auth* untuk operasi autentikasi Firebase, dan *config* untuk konfigurasi koneksi Firebase.

```

1 config.api_key = API_KEY;
2 auth.user.email = USER_EMAIL;
3 auth.user.password = USER_PASSWORD;
4 config.database_url = DATABASE_URL;
5 config.token_status_callback = tokenStatusCallback;
6 Firebase.begin(&config, &auth);
7 Firebase.reconnectWiFi(true);

```

GAMBAR 16
Source Code Inisiasi Firebase

Gambar 16 menunjukkan proses konfigurasi dan inisiasi Firebase, yang dilakukan dengan cara variabel-variabel konfigurasi diatur dengan nilai yang telah didefinisikan sebelumnya. Selanjutnya, terdapat fungsi callback untuk status token diatur agar dapat mengetahui informasi tentang autentikasi. Proses inisialisasi Firebase dimulai dengan memanggil `Firebase.begin()`, yang menggunakan objek konfigurasi dan autentikasi yang telah diatur. Terakhir, `Firebase.reconnectWifi(true)` dipanggil untuk memastikan koneksi WiFi akan secara otomatis disambung ulang jika terputus, meningkatkan keandalan koneksi dalam lingkungan IoT.

```

1 if (Firebase.ready() && (millis() - sendDataPrevMillis > 1000 || sendDataPrevMillis == 0)){
2   sendDataPrevMillis = millis();
3   FirebaseJson jsonData;
4   jsonData.set("Suhu", dsTemperature);
5   jsonData.set("pH", pH);
6   jsonData.set("Tekanan", pressure);
7   jsonData.set("Gas_Metana", gas);
8
9   if (Firebase.RTDB.setJSON(@fbd, "Biogas IoT", &jsonData)) {
10    Serial.println("Data sensor sent successfully:");
11    Serial.println(jsonData.raw());
12   } else {
13    Serial.println("Failed to send data:");
14    Serial.println(fbd.errorReason());
15   }
16   Serial.println("\n-----\n");
17 }
18
19 updateDataTime();
20 if (Firebase.ready() && (millis() - sendDataPrevMillis > 60000 || sendDataPrevMillis == 0)){
21   sendDataPrevMillis = millis();
22   char timestamp[30];
23   sprintf(timestamp, sizeof(timestamp), "%02d:%02d:%02d at %02d:%02d:%02d", day,
24     month, year, hour, minute, second);
25
26   FirebaseJson jsonHistory;
27   jsonHistory.set("Suhu", dsTemperature);
28   jsonHistory.set("pH", pH);
29   jsonHistory.set("Tekanan", pressure);
30   jsonHistory.set("Gas_Metana", gas);
31   String historyPath = "/History/" + String(timestamp);
32   if (Firebase.RTDB.setJSON(@fbd, historyPath.c_str(), &jsonHistory)) {
33     Serial.println("Data History sent successfully:");
34     Serial.println(jsonHistory.raw());
35   } else {
36     Serial.println("Failed to send data:");
37     Serial.println(fbd.errorReason());
38   }
39   Serial.println("\n-----\n");
40 }

```

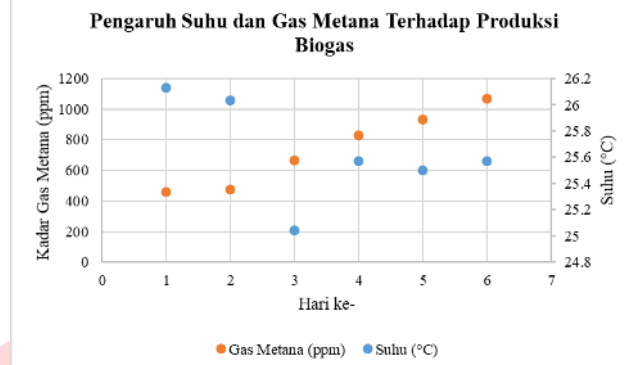
GAMBAR 17
Source Code Pengiriman Data

Gambar 17 diawali dengan permissalan “if (firebase.ready() && (millis() - sendDataPrevMillis > timerdelay || senddatapervmillis == 0))” [14], yang digunakan untuk memeriksa apakah Firebase sudah siap dan apakah sudah waktunya mengirim data berdasarkan timer. Jika kedua kondisi tersebut terpenuhi, maka variabel “sendDataPrevMillis” diperbarui dengan waktu saat ini “(millis())”, yang menunjukkan bahwa data telah dikirim pada waktu tersebut. Firebase ini terdiri menjadi dua bagian, dengan bagian pertama untuk mengirim data terkini setiap detik, meliputi suhu, pH, tekanan, dan gas metana. Data ini dikirim ke node “Biogas_IoT” di Firebase. Bagian kedua, yang dijalankan setiap menit, mengirim data historis dengan timestamp ke folder “History” di Firebase. Kedua bagian ini memeriksa kesiapan koneksi Firebase sebelum mengirim data, menggunakan struktur JSON untuk format data, dan memberikan *feedback* melalui Serial Monitor mengenai keberhasilan atau kegagalan pengiriman data. Kode ini memastikan pemantauan *real-time* dan penyimpanan riwayat data sensor biogas secara teratur.

F. Pengaruh Suhu dan Derajat Keasaman (pH) Terhadap Pembuatan Biogas

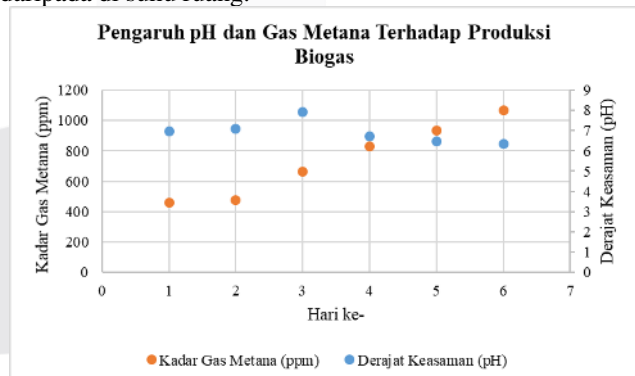
Pengujian ini dilakukan untuk membuktikan bahwa suhu dan derajat keasaman (pH) yang ideal dapat mempengaruhi keberhasilan biogas. Proses fermentasi bahan organik dalam

sistem anaerobik yang menghasilkan biogas dipengaruhi oleh suhu dan pH. Selama enam hari, kedua parameter tersebut dipantau dan diamati perubahannya untuk memastikan bahwa kedua parameter tersebut tetap dalam kondisi ideal, yaitu 6.8 – 7.2 untuk pH dan 25°C – 37°C untuk suhu.



GAMBAR 18
Pengaruh Suhu Dan Kadar Gas Metana Pada Proses Pembuatan Biogas

Pada Gambar 18, pengamatan selama enam hari menunjukkan bahwa suhu berkisar antara 24.5°C dan 26°C, yang menunjukkan bahwa perubahan suhu tidak berdampak pada kadar gas metana dalam proses pembuatan biogas. Namun, berdasarkan [15], suhu yang diperoleh dari pengamatan masih dapat dikatakan berada dalam batas normal, namun tidak dalam kategori optimum. Fluktuasi suhu ini dapat menghambat aktivitas mikroorganisme dan mengurangi efisiensi produksi biogas. Adapun faktor yang mempengaruhinya terbagi menjadi dua, yaitu penempatan biodigester dan aktivitas mikroorganisme. Menurut [16], biodigester yang diletakkan di dataran tinggi biasanya diletakkan dibawah tanah dan sebaliknya, guna untuk mengatasi perubahan suhu yang mendadak. Selain itu, mikroorganisme dapat bekerja secara aktif dan berkembang biak lebih cepat ketika suhu berada di rentang suhu ideal daripada di suhu ruang.



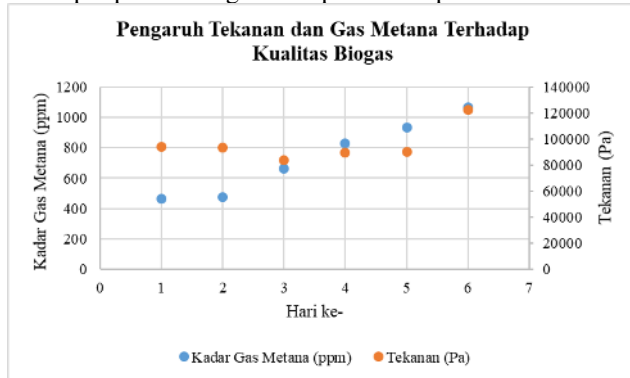
GAMBAR 19
Pengaruh Ph Dan Kadar Gas Metana Pada Proses Pembuatan Biogas

Gambar 19 menunjukkan kondisi netral hingga sedikit basa, dengan pH biodigester berkisar antara 6- 8. Pengujian yang dilakukan selama enam hari ini menunjukkan perubahan yang cukup signifikan, menunjukkan bahwa kondisi lingkungan biodigester masih berubah. Berdasarkan [17], perubahan pH dengan peningkatan gas metana dapat dikatakan berhasil dikarenakan pH masih berada di rentang yang ideal. Adapun faktor yang mempengaruhi adalah aktivitas mikroorganisme dan jenis substrat. Apabila pH

berada di bawah rentang ideal, maka dapat menyebabkan mikroorganisme yang tidak tumbuh, bahkan mati.

G. Identifikasi Kadar Gas Metana Pada Biodigester

Kadar gas metana yang diukur pada biodigester dilakukan untuk memastikan seberapa banyak gas metana yang dihasilkan dari pembuatan biogas. Berdasarkan ..., kadar gas metana yang terkandung di dalam biodigester mempengaruhi kualitas biogas. Semakin tinggi kadar gas metana, maka semakin baik kualitasnya sebagai sumber energi. Dari pengamatan yang telah dilakukan, gas metana yang terkumpul pada biodigester dapat dilihat pada Gambar 15.



GAMBAR 20

Pengaruh Tekanan Dan Kadar Gas Metana Terhadap Kualitas Biogas

Dari hari ke hari, nilai tekanan pada biodigester terus mengalami fluktuasi. Fluktuasi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti produksi gas, suhu, dan volume biogas. Hubungan antara tekanan dan kadar gas metana dalam biodigester ditunjukkan pada Gambar 20, yang menunjukkan bahwa tekanan dan kadar gas metana mempengaruhi kualitas biogas, di mana semakin besar tekanan dan kadar gas metana pada biodigester, maka semakin bagus kualitas biogas, yang artinya biogas dapat digunakan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, pengaruh pH dan kadar gas metana pada proses pembuatan biogas menunjukkan bahwa pH biodigester berkisar antara 6 – 8, sedangkan pengaruh suhu dan kadar gas metana pada proses pembuatan biogas menunjukkan angka dengan rentang 24.5°C – 26.5°C, yang merupakan kondisi yang cukup baik untuk produksi gas metana. Fluktuasi tekanan dalam biodigester dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu produksi gas, suhu, dan volume biogas, juga mempengaruhi kualitas biogas yang dihasilkan. Sensor-sensor yang digunakan, seperti MQ-4, DS18B20, BMP280, dan SEN0161 dikalibrasi terlebih dahulu sebelum digunakan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar gas metana, maka semakin baik kualitas biogas yang dihasilkan sebagai sumber energi.

REFERENSI

- [1] R. A. Radouan Ait Mouha, "Internet of Things (IoT)," *Journal of Data Analysis and Information Processing*, vol. 09, no. 02, pp. 77–101, 2021, doi: 10.4236/jdaip.2021.92006.
- [2] M. H. B. Tram, "Firebase," 2019.

- [3] E. Zimányi, G. Martínez, and P. López, "Advanced Databases Project: Real-time Databases and Firebase," 2018.
- [4] V. Jain, *Wireshark fundamentals: A network engineer's handbook to analyzing network traffic*. Apress Media LLC, 2022. doi: 10.1007/978-1-4842-8002-7.
- [5] I. S. Nisa, Rahmat Miyarno Saputro, Tegar Fatwa Nugroho, and Alfina Rizqi Lahitani, "Analisis Quality of Service (QoS) Menggunakan Standar Parameter Tiphon pada Jaringan Internet Berbasis Wi-Fi Kampus 1 Unjaya," *Teknomatika: Jurnal Informatika dan Komputer*, vol. 17, no. 1, pp. 1–9, Apr. 2024, doi: 10.30989/teknomatika.v17i1.1307.
- [6] I. Nurrobi, R. Adam, and Kusnadi, "Penerapan Metode QoS (Quality of Service) Untuk Menganalisa Kualitas Kinerja Jaringan Wireless," *JURNAL DIGIT*, vol. 10, no. 1, pp. 47–58, 2020.
- [7] I. P. A. W. Widyatmika, N. P. A. W. Indrawati, I. W. W. A. Prastya, I. K. Darminta, I. G. N. Sangka, and A. A. N. G. Sapteka, "Perbandingan Kinerja Arduino Uno dan ESP32 Terhadap Pengukuran Arus dan Tegangan," *Jurnal Otomasi, Kontrol & Instrumental*, vol. 13, pp. 37–45, 2021.
- [8] P. By ALLDATASHEETCOM, "Hanwei Electronics MQ-4 www.hwsensor.com." [Online]. Available: www.hwsensor.com
- [9] K. Diantoro, R. Rahmadewi, J. Teknik Elektro Universitas Singaperbangsa Karawang, and K. H. Ji Ronggowaluyo Telukjambe Timur -Karawang, "Implementasi Sensor MQ 4 dan Sensor DHT 22 pada Sistem Kompos Pintar Berbasis IoT (SIKOMPI)." [Online]. Available: https://www.robshop.nl/media/a4/d2/80/1684952334/DS18B20WTP_142889_download_1.pdf
- [10] M. Khaery, A. H. Pratama, P. Wipradnyana, and A. A. N. Gunawan, "Design of Air Pressure Measuring Devices Using a Barometric Pressure 280 (BMP280) Sensor Based on Arduino Uno," *BULETIN FISIKA*, vol. 21, no. 1, p. 14, Feb. 2020, doi: 10.24843/bf.2020.v21.i01.p03.
- [11] M. Fezari and A. Al Dahoud, "Exploring One-wire Temperature sensor DS18B20 with Microcontrollers," 2019. Accessed: Aug. 04, 2024. [Online]. Available: https://www.robshop.nl/media/a4/d2/80/1684952334/DS18B20WTP_142889_download_1.pdf
- [12] W. T. Sung, I. G. T. Isa, and S. J. Hsiao, "An IoT-Based Aquaculture Monitoring System Using Firebase," *Computers, Materials and Continua*, vol. 76, no. 2, pp. 2180–2200, Aug. 2023, doi: 10.32604/cmc.2023.041022.
- [13] M. M. Faruq and D. Hirawan, "Water Quality Monitoring System in Vaname Shrimp at Tirtayasa District Based on Internet of Things," 2018. Accessed: Aug. 04, 2024. [Online]. Available: https://www.academia.edu/download/97213878/UNIKOM_MUH_20MIFTAHUL_20FARUQ_JURNAL_20DALAM_20BAHASA_20INGGRIS.pdf
- [14] R. N. Tutorials, "ESP32 Data Logging to Firebase Realtime Database." Accessed: Jul. 15, 2024. [Online]. Available: https://randomnerdtutorials.com/esp32-data-logging-firebase-realtime-database/

- [15] G. A. W. Sudiartha, T. Imai, C. Mamimin, and A. Reungsang, "Effects of Temperature Shifts on Microbial Communities and Biogas Production: An In-Depth Comparison," *Fermentation*, vol. 9, no. 7, Jul. 2023, doi: 10.3390/fermentation9070642.
- [16] S. Rezeki, W. D. Ivontianti, and A. Khairullah, "Optimasi Temperatur Pada Produksi Biogas dari Limbah Rumah Makan di Pontianak," *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, vol. 5, no. 1, pp. 32–38, 2021.
- [17] A. Haryanto, Oktafri, S. Triyono, and M. R. Zulyantoro, "Pengaruh Komposisi Substrat Campuran Kotoran Sapi dan Jerami Padi Terhadap Produktivitas Biogas Pada Digester Semi Kontinyu," *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, vol. 7, no. 1, pp. 116–125, Mar. 2019, doi: 10.29303/jrpb.v7i1.105.

