

Monitoring Kandang Sapi Menggunakan Sensor Suhu, Kelembaban, Cahaya, dan Gas Amonia

Ismy Fana Fillah
Computer Science
IPB University
Bogor, Indonesia
ismyfanafillah@apps.ipb.ac.id

Dinda Regista Aprilia
Computer Science
IPB University
Bogor, Indonesia
registaapriadiadinda@apps.ipb.ac.id

Khalid Zia Rabbani
Computer Science
IPB University
Bogor, Indonesia
khalidziarabbani@apps.ipb.ac.id

Muhammad Rizki Al Maghribi
Computer Science
IPB University
Bogor, Indonesia
rizkimaghribi@apps.ipb.ac.id

Khansa Nabila Alfiyani
Computer Science
IPB University
Bogor, Indonesia
nabilakhansa@apps.ipb.ac.id

Aulia Azzahra Syafitri
Computer Science
IPB University
Bogor, Indonesia
aulzzhr_syafitri@apps.ipb.ac.id

Abstrak - Peternakan memegang peran krusial dalam penyediaan pangan dan ketahanan pangan nasional, menghadapi tantangan kebutuhan pangan akibat peningkatan populasi. Penerapan Internet of Things (IoT) menawarkan solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi dan kesejahteraan ternak dengan memantau kondisi lingkungan kandang secara real-time. Penelitian ini bertujuan mengembangkan perangkat IoT untuk monitoring kandang sapi dengan menggunakan sensor DHT22, BH1750, dan MICS 6814 yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Data dikumpulkan dari Kandang Sapi Laboratorium Fakultas Peternakan IPB University selama bulan Mei 2024, dan dianalisis melalui platform ThingSpeak. Hasil menunjukkan bahwa perangkat mampu menginisialisasi sensor, mengirim data secara real-time, dan memberikan visualisasi kondisi lingkungan kandang. Kesimpulan penelitian menyatakan bahwa sistem ini efektif dalam memantau suhu, kelembaban, cahaya, dan gas NH₃, namun perlu pengelolaan wifi yang lebih canggih, kalibrasi rutin, dan pemeliharaan berkala untuk menjaga konsistensi dan akurasi data.

Keywords: peternakan, IoT, monitoring kandang, sensor lingkungan, ESP32.

I. PENDAHULUAN

Peternakan, sebagai salah satu sektor krusial dalam kehidupan manusia, memegang peran penting dalam menyediakan sumber daya pangan dan mendukung pembangunan nasional. Pertumbuhan populasi yang terus meningkat menimbulkan tantangan tersendiri dalam pemenuhan kebutuhan pangan, menjadikan inovasi dan peningkatan efisiensi di sektor peternakan menjadi kebutuhan mendesak. Dalam kompleksitas tugas memastikan ketersediaan pangan yang memadai, peran peternakan bukan hanya sebagai penyedia daging, susu, dan produk ternak lainnya, tetapi juga sebagai pemain kunci dalam menjaga ketahanan pangan.

Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi di berbagai sektor kehidupan, penerapan Internet of Things (IoT) menjadi solusi yang menjanjikan untuk mengatasi berbagai tantangan di bidang peternakan. IoT membuka peluang baru dalam mengoptimalkan pengelolaan sumber daya, meningkatkan efisiensi operasional, dan memberikan solusi cerdas untuk pengawasan dan pemantauan kondisi kandang ternak [1]. Kemajuan ini membuka era baru di

mana teknologi tidak hanya digunakan untuk meningkatkan produktivitas, tetapi juga meningkatkan kesejahteraan hewan ternak.

Dalam pengelolaan kandang sapi modern, pemantauan kondisi lingkungan menjadi krusial untuk menjaga kesejahteraan dan kesehatan ternak. Suhu, kelembaban, cahaya, dan konsentrasi gas amonia adalah parameter-parameter utama yang perlu dipantau secara berkelanjutan.

Suhu yang tidak terkontrol dapat menyebabkan stres panas pada sapi, mengurangi produksi susu, bahkan mengancam kesehatan hewan tersebut. Kelembaban yang berlebihan meningkatkan risiko penyakit dan infeksi, sementara cahaya yang kurang memadai dapat mempengaruhi pola makan dan aktivitas sapi. Selain itu, konsentrasi gas amonia yang tinggi dapat menjadi indikator buruknya manajemen limbah kandang dan berpotensi memberikan dampak negatif pada kesehatan pernapasan sapi.

Pengendalian suhu, kelembaban, cahaya, dan gas amonia dalam kandang sapi merupakan faktor krusial dalam menjaga kesehatan dan produktivitas ternak. Regulasi yang tepat dari parameter-parameter lingkungan ini sangat penting untuk mencegah stres panas atau kelelahan pada sapi akibat suhu yang ekstrim, serta untuk menghindari risiko gangguan kesehatan yang disebabkan oleh tingkat kelembaban yang tidak sesuai. Selain itu, paparan cahaya yang cukup dan teratur memiliki peran vital dalam menjaga ritme sirkadian sapi, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi proses reproduksi, pertumbuhan, dan kesejahteraan secara keseluruhan. Di sisi lain, konsentrasi gas amonia yang tinggi dalam udara kandang dapat mengganggu saluran pernapasan sapi dan mengakibatkan stres serta masalah kesehatan lainnya. Oleh karena itu, pemantauan dan pengelolaan lingkungan kandang, termasuk kontrol terhadap gas amonia, merupakan langkah yang penting untuk memastikan lingkungan yang sehat dan optimal bagi ternak.

Dalam konteks ini, penelitian ini difokuskan pada pengembangan perangkat IoT untuk monitoring kandang sapi. Pemanfaatan teknologi ini diharapkan dapat

memberikan kontribusi signifikan terhadap efisiensi operasional peternakan. Dengan melibatkan elemen-elemen teknologi terbaru, seperti sensor-sensor cerdas dan perangkat IoT, penelitian ini bertujuan untuk menciptakan sistem yang tidak hanya mampu memberikan informasi real-time secara akurat, tetapi juga dapat diandalkan dalam mendukung peternak dalam pengambilan keputusan yang lebih baik untuk meningkatkan kesejahteraan ternak.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Internet of Things

Konsep Internet of Things (IoT) menjadi pondasi utama dalam transformasi teknologi di berbagai sektor, termasuk pertanian dan peternakan. IoT mengusung ide konektivitas antar perangkat yang memungkinkan pertukaran informasi secara otomatis tanpa campur tangan manusia [2]. Dalam konteks pertanian dan peternakan, penerapan IoT membuka peluang baru dalam mengoptimalkan pengelolaan sumber daya dan meningkatkan efisiensi operasional. Dengan memanfaatkan teknologi ini, peternak dapat memantau dan mengontrol kondisi kandang sapi secara lebih efisien, meningkatkan produktivitas dan kesejahteraan ternak

B. ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang berfungsi sebagai chip pengendali rangkaian elektronik dan dilengkapi dengan modul WiFi dan Bluetooth. Dengan integrasi langsung modul WLAN, mikrokontroler ini memiliki antarmuka yang komprehensif dan cocok sebagai perangkat demonstrasi Internet of Things[5].

ESP32 dikenal sebagai penerus dari ESP8266, membawa banyak fitur tambahan dan keunggulan dibandingkan generasi sebelumnya. Perangkat ini dilengkapi dengan inti CPU yang lebih cepat, lebih banyak GPIO, dan dukungan terhadap Bluetooth 4.2 serta konsumsi daya yang rendah, menjadikannya pilihan yang lebih baik untuk berbagai aplikasi, khususnya dalam proyek IoT yang membutuhkan koneksi nirkabel dan efisiensi energi [6].

Salah satu kelebihan utama ESP32 adalah jumlah GPIO yang lebih banyak, yaitu 32 pin, dibandingkan dengan ESP8266 yang hanya memiliki 17 pin GPIO. Ini memungkinkan pengembang memiliki lebih banyak fleksibilitas dalam merancang proyek dan kemampuan untuk menghubungkan lebih banyak sensor atau perangkat lain ke mikrokontroler. Fitur ini sangat berguna dalam aplikasi smart home, di mana kebutuhan untuk menghubungkan berbagai sensor dan aktuator menjadi sangat penting untuk mendeteksi dan merespons terhadap berbagai kondisi lingkungan maupun keamanan di rumah atau dapat dikatakan penggunaannya sesuai untuk monitoring.

Pada proyek ini digunakan ESP32 DevKit v1 dari produksi DOIT yang merupakan perangkat WiFi yang dirancang untuk mengevaluasi kinerja modul ESPWROOM-32. Perangkat ini mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 yang menyediakan fungsionalitas WiFi, Bluetooth, dan Ethernet dalam sebuah chip yang sangat hemat daya[7].

C. Sensor Suhu dan Kelembaban DHT22

Sensor DHT22 merupakan sensor yang dapat mengukur dua parameter lingkungan sekaligus, yaitu suhu dan kelembaban udara. Sensor DHT22 memiliki kelebihan pada output yang sudah berupa sinyal digital dengan konversi dan perhitungan dilakukan oleh MCU 8-bit. Sensor DHT22 memiliki keakuratan dan presisi lebih baik dalam hasil pengukuran karena range pengukuran suhu dan kelembaban yang lebih lebar dan mampu mentransmisikan sinyal output melewati kabel yang panjang hingga 20 meter sehingga cocok ditempatkan di mana saja[4].

D. Sensor Cahaya BH1750

Sensor cahaya BH1750 merupakan sensor yang berfungsi mendapatkan data cahaya dalam bentuk digital. Data diperoleh dalam satuan lux (lx). Sensor ini memiliki beberapa kelebihan, antara lain menggunakan interface I2C atau pin SCL dan SDA, memiliki rentang pengukuran antara 0-65535 lx, dan efek dari sinar infrared sangat kecil. Sensor ini mampu mengukur cahaya dari berbagai sumber seperti cahaya matahari, lampu pijar, lampu neon, dan LED.

E. Sensor Gas MICS 6814

Sensor gas MICS 6814 merupakan modul sensor yang digunakan untuk mengukur kualitas udara melalui senyawa gas[8]. Sensor ini dapat mendeteksi tiga senyawa gas yaitu, NH_3 , CO , dan NO_2 [9]. Pada penelitian ini sensor akan menggunakan variabel gas amonia (NH_3) sebagai pendekatan senyawa gas yang akan dideteksi. Sensor mengirim data terkait kandungan gas yang kemudian akan diterima oleh ESP32 dan dideteksi oleh Arduino Uno.

III. METODE

A. Lokasi dan Waktu Pengambilan Data

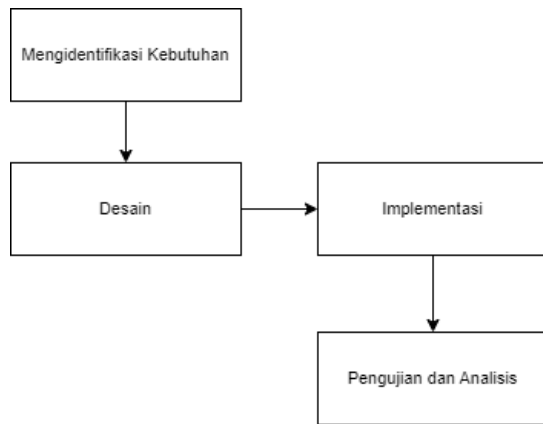
Pengambilan data dilakukan di Kandang Sapi Laboratorium Fakultas Peternakan IPB University, Bogor. Pengambilan data dilakukan pada bulan Mei 2024. Lokasi dapat diakses melalui tautan Google Maps berikut [CPW8+7M3, Jl. Agatis, Babakan, Kec. Dramaga, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16680](#).

B. Data Penelitian

Pada penelitian yang dilakukan, data yang digunakan merupakan data primer hasil pengukuran suhu, kelembaban, cahaya, dan gas NH_3 melalui website thingspeak.com yang terhubung dengan sensor DHT22, BH1750, dan MICS 6814, untuk masing-masing kandang. Data ini kemudian akan dibandingkan dengan alat pengukur gas referensi sehingga menghasilkan keluaran berupa akurasi sensor yang paling optimal untuk mengukur suhu, kelembaban, cahaya, dan gas NH_3 .

C. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian terdiri atas 5 tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1 Tahapan penelitian

1. Mengidentifikasi Kebutuhan

Tahapan ini bertujuan untuk menentukan kebutuhan sistem yang akan dibangun. Parameter yang harus diperhatikan adalah ketepatan sensor. Selain itu, komunikasi nirkabel diperlukan untuk mentransmisikan data ke internet. Berdasarkan masalah tersebut, sistem ini akan memerlukan perangkat keras:

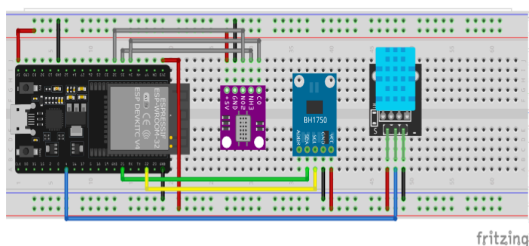
- Sensor DHT22, BH1750, dan MICS-6814 untuk mengukur suhu, kelembaban, cahaya, dan gas NH_3 .
- Mikrokontroler ESP32.
- Modem 4G untuk gateway ke internet.

Perangkat lunak yang digunakan antara lain :

- Arduino IDE untuk memprogram mikrokontroler.
- Fritzing untuk desain rangkaian.
- Library untuk fungsi kode yang dibutuhkan.
- ThingSpeak untuk platform IoT.

2. Desain

Pada tahap ini dilakukan perancangan perangkat yang akan digunakan, yaitu menghubungkan mikrokontroler, sensor, dan modul komunikasi. Desain yang akan dibuat dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Desain rancangan perangkat

3. Implementasi

Pada tahap ini akan dilakukan implementasi hasil dari desain dengan menggunakan modul dan *library* yang sesuai untuk tiap sensor, serta penambahan gateway. Gateway yang digunakan adalah modem 4G.

4. Pengujian dan Analisis

Pengujian yang dilakukan mencakup pengujian fungsional dan pengujian kinerja. Pada pengujian fungsional, data dari modul sensor akan dikirim ke ThingSpeak melalui gateway setiap 30 detik. Pada pengujian kinerja, parameter yang diamati adalah akurasi sensor, yang dibandingkan dengan alat ukur referensi (Gambar 3). Pengujian dilakukan selama 3 hari penuh di Kandang Sapi Laboratorium Fakultas Peternakan IPB University.

Analisis dilakukan dengan menerapkan regresi pada hasil kalibrasi dan data sensor untuk menilai akurasi dan konsistensi sensor. Metode regresi ini membantu dalam memahami hubungan antara data sensor dan hasil kalibrasi, serta memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang performa sensor dalam kondisi lapangan. Dengan menggunakan teknik ini, dapat diidentifikasi pola atau tren dalam data sensor yang mungkin tidak terlihat secara langsung.



Gambar 3 Alat ukur referensi Suhu, Kelembaban, Cahaya, dan gas Amonia

IV. PEMBAHASAN

Pada tahap awal inisialisasi, perangkat mengaktifkan sensor-sensor yang terhubung, seperti sensor DHT22 untuk pengukuran suhu dan kelembaban udara, serta sensor BH1750 untuk intensitas cahaya. Selain itu, ada sensor MICS-6814 untuk gas amonia yang terhubung ke pin analog untuk mengukur kadar NH_3 (amonia), di lingkungan kandang.

Setelah sensor-sensor terpasang dan di inisialisasi, perangkat melakukan koneksi ke jaringan Wi-Fi yang telah ditentukan sebelumnya. Proses ini memungkinkan perangkat untuk mengirim data ke platform cloud untuk diproses lebih lanjut.

Dalam setiap iterasi siklus utama, perangkat membaca nilai-nilai dari sensor yang terhubung. Informasi yang diperoleh meliputi suhu (dalam derajat Celcius), kelembaban relatif udara (dalam persen), intensitas cahaya (dalam unit lux), dan tingkat polusi udara (dalam bentuk nilai analog).

Data-data yang telah terkumpul dikirim ke platform Thingspeak menggunakan protokol HTTP. Data-data tersebut dikirim sebagai bagian dari permintaan POST ke URL tertentu di platform Thingspeak. Setelah pengiriman data selesai, koneksi ditutup dan perangkat menunggu periode yang telah ditentukan sebelum melakukan pengiriman data berikutnya.

Dengan integrasi ke platform Thingspeak, data yang dikirimkan oleh perangkat dapat divisualisasikan dan dianalisis oleh pengguna. Dengan demikian, pemantauan

kondisi lingkungan di kandang sapi dapat dilakukan secara efektif dan real-time melalui platform cloud tersebut. Penjelasan lebih dapat dilihat melalui kode program berikut.

```
#include <DHT.h>
#include <Wire.h>
#include <BH1750.h>
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>

DHT dht(4, DHT22);
BH1750 lightMeter;

void setup() {
  dht.begin();
  Wire.begin();
  lightMeter.begin();
  WiFi.begin("khansa", "caps567_");
  while (!WiFi.isConnected()) delay(500);
}

void loop() {
  int nh3 = analogRead(35);
  int co = analogRead(34);
  int no2 = analogRead(32);
  float Tc = dht.readTemperature();
  float RH = dht.readHumidity();
  float lux = lightMeter.readLightLevel();

  WiFiClient wifi;
  HTTPClient http;
  http.begin(wifi,
"http://api.thingspeak.com/update");
  http.addHeader("Content-Type",
"application/x-www-form-urlencoded");
  http.POST("api_key=D67Z4KVK3XA40R6D&field1=" +
String(Tc) + "&field2=" + RH + "&field3=" + lux
+ "&field4=" + nh3);
  http.end();

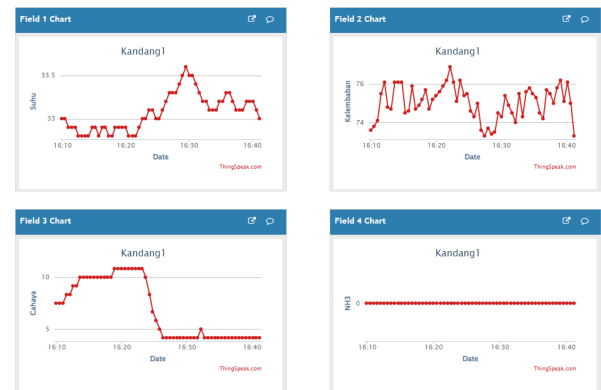
  delay(30000);
}

// https://thingspeak.com/channels/2476407
kandang1
// https://thingspeak.com/channels/2518541
kandang2
// https://thingspeak.com/channels/2518555
kandang3
```

Setelah mengevaluasi kode implementasi yang digunakan untuk menghubungkan sensor dengan platform cloud, selanjutnya adalah dengan mempertimbangkan grafik regresi dan hasil regresi linear untuk lebih memahami kinerja sensor-sensor tersebut dalam memperkirakan nilai-nilai referensi.

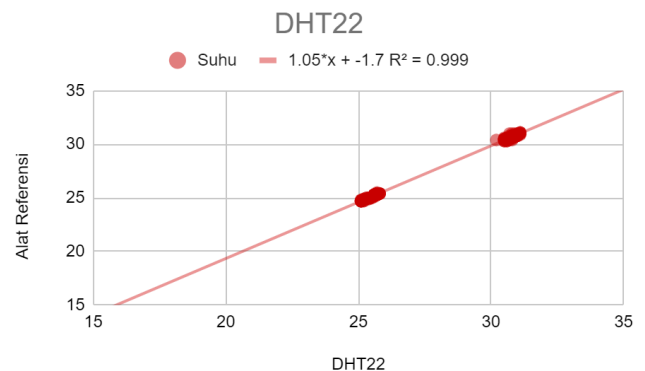
Data ditampilkan di ThingSpeak pada pengujian fungsional seperti pada Gambar 4. Pengujian dilakukan pada tanggal April 2024. Pengujian dilakukan selama 3 sesi, yaitu pukul

06.00-08.00, 11.00-13.00, dan 17.00-19.00 berdasarkan waktu pembersihan kandang dan waktu makan sapi.



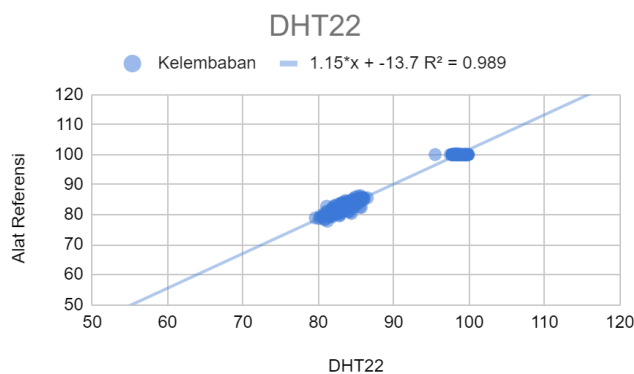
Gambar 4 Hasil Data pada Server ThingSpeak

Dilakukannya perbandingan antara data sensor referensi dan data sensor dari Thingspeak seperti pada Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8 pada pengujian kinerja. Percobaan dilakukan dengan membandingkan nilai suhu, kelembaban, cahaya dan gas NH_3 pada data ThingSpeak dengan nilai pada sensor referensi.



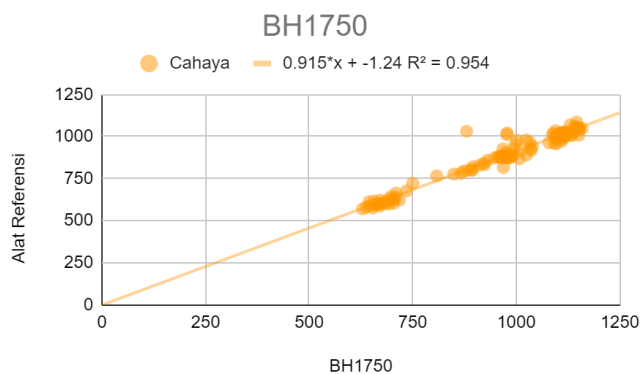
Gambar 5 Scatter plot sensor DHT22 dengan alat referensi suhu

Berdasarkan grafik regresi linear dan nilai R^2 sebesar 0.999, dapat disimpulkan beberapa hal penting. Pertama, terdapat hubungan linear yang sangat kuat antara nilai pembacaan sensor suhu (sumbu x) dan nilai referensi suhu sebenarnya (sumbu y), karena nilai R^2 yang sangat mendekati 1 menunjukkan korelasi yang erat. Hal ini mengindikasikan bahwa sensor suhu mampu memberikan gambaran yang akurat mengenai suhu di kandang sapi. Kedua, nilai R^2 yang tinggi juga menandakan bahwa kalibrasi sensor suhu telah dilakukan dengan baik. Dengan persamaan regresi linear ($y = 1.05 \cdot x - 1.7$), kita dapat mengkonversi nilai pembacaan sensor menjadi nilai referensi suhu sebenarnya dengan akurasi yang sangat tinggi.



Gambar 6 Scatter plot sensor DHT22 dengan alat referensi kelembaban

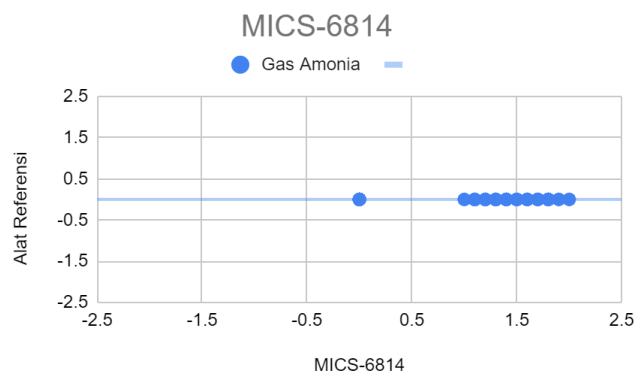
Berdasarkan grafik regresi linear dan nilai R^2 sebesar 0.989, dapat disimpulkan beberapa hal penting. Pertama, terdapat hubungan linear yang sangat kuat antara nilai pembacaan sensor kelembaban (sumbu x) dan nilai referensi kelembaban sebenarnya (sumbu y), karena nilai R^2 yang sangat mendekati 1 menunjukkan korelasi yang erat. Hal ini mengindikasikan bahwa sensor kelembaban mampu memberikan gambaran yang akurat mengenai kelembaban di kandang sapi. Kedua, nilai R^2 yang tinggi juga menandakan bahwa kalibrasi sensor kelembaban telah dilakukan dengan baik. Dengan persamaan regresi linear ($y = 1.15x - 13.7$), kita dapat mengkonversi nilai pembacaan sensor menjadi nilai referensi kelembaban sebenarnya dengan akurasi yang sangat tinggi.



Gambar 7 Scatter plot sensor BH1750 dengan alat referensi cahaya

Dengan berdasarkan grafik regresi linear dan nilai R^2 sebesar 0.964, dapat disimpulkan beberapa hal penting. Pertama, terdapat hubungan linear yang sangat kuat antara nilai pembacaan sensor cahaya (sumbu x) dan nilai referensi cahaya sebenarnya (sumbu y), karena nilai R^2 yang sangat mendekati 1 menunjukkan korelasi yang erat. Hal ini mengindikasikan bahwa sensor cahaya mampu memberikan gambaran yang akurat mengenai intensitas cahaya di kandang sapi. Kedua, nilai R^2 yang tinggi juga menandakan bahwa kalibrasi sensor cahaya telah dilakukan dengan baik. Dengan persamaan regresi linear ($y = 0.915x - 1.24$), kita dapat mengkonversi nilai pembacaan sensor menjadi nilai

referensi cahaya sebenarnya dengan akurasi yang sangat tinggi.



Gambar 8 Scatter plot sensor MICS-6814 dengan alat referensi gas Amonia

Grafik ini menunjukkan hubungan antara nilai sensor NH3 (amonias) di kandang hewan dengan nilai kalibrator sebagai referensi. Pada sumbu x, nilai berkisar dari 0 hingga 2.5, merepresentasikan nilai kalibrator, sementara pada sumbu y, nilai berkisar dari -1 hingga 1, merepresentasikan pembacaan sensor NH3. Titik-titik biru menunjukkan pasangan data antara sensor dan kalibrator, dengan garis tren biru memodelkan hubungan linear di antara keduanya. Meski ada sedikit variasi yang mungkin disebabkan oleh noise atau kesalahan pengukuran, garis tren ini cukup mendekati garis lurus, mengindikasikan hubungan linear yang cukup kuat.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan perangkat berhasil menginisialisasi sensor DHT22, BH1750, dan sensor gas sehingga terhubung ke pin analog. Kemudian Wifi yang terkoneksi menggunakan kredensial dapat menghubungkan data ke platform ThingSpeak setiap 30 detik dengan pemantauan secara real-time. Data yang terkirim melalui ThingSpeak dapat divisualisasikan dan dianalisis dalam kondisi lingkungan yang ada pada kandang sapi secara efektif.

VI. SARAN

Dalam meningkatkan kinerja sistem dari sensor tersebut, perlunya pengelolaan wifi yang lebih canggih seperti reconnect otomatis apabila jaringan terputus secara tiba-tiba, selain itu penambahan pengolahan pada data lokal sebelum pengiriman ke ThingSpeak untuk mengurangi fluktuasi dan meningkatkan akurasi data. Melakukan kalibrasi rutin terhadap sensor-sensor yang digunakan dan validasi hasil pengukuran untuk memastikan konsistensinya. Selain itu, jadwalkan pemeliharaan berkala untuk memastikan sensor dan perangkat tetap berfungsi optimal.

REFERENCES

- [1] Prabu, P., dan Revathi, R. 2022. IoT-Based Smart Agriculture: A Survey. *International Journal of Recent Trends in Computer Science and Applications*. 1(1), 17-20.
- [2] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., dan Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7), 1645-1660.
- [3] Desnanjaya, GMN., Ariana, AAGB., dan Nugraha, IMA. 2022. Room Monitoring Uses ESP-12E Based DHT22 and BH1750 Sensors. *Journal of Robotics and Control*. 3(2), 205-211.
- [4] Siswanto, Rojikin, I., Windu G. (2019). Pemanfaatan Sensor Suhu DHT22, Ultrasonik HC-SR04 Untuk Mengendalikan Kolam Dengan Notifikasi Email. *Jurnal RESTI*. 3(3), 544-551.
- [5] Ardiliansyah AR, Puspitasari MD, Arifianto T. 2021. Rancang bangun prototipe pompa otomatis dengan fitur monitoring berbasis IoT menggunakan sensor flow meter dan ultrasonik. 13(2):59–67.doi:10.35891/explorit.v13i2.2601.
- [6] Setiawan A, Purnamasari AI. 2019. Pengembangan smart home dengan microcontrollers ESP32 dan MC-38 door magnetic switch sensor berbasis internet of things (IoT) untuk meningkatkan deteksi dini keamanan perumahan. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*. 3(3):451–457.doi:10.29207/resti.v3i3.1238.
- [7] Priyono TO, Sumardi. Monitoring dan pengendalian beban listrik berbasis internet of things (IoT) menggunakan ESP32. 2023. *Jurnal Elektro*. 11(1). [diunduh 2024 Feb 18]. Tersedia pada: <https://jurnalteknik.unkris.ac.id/index.php/jie/article/download/428/338/1437>
- [8] Fachrizal F, Julham J, Antoni A. 2022. Sistem monitoring polusi udara menggunakan sensor nitrogen carbon berbasis internet of thing. *Jurnal Sistem Komputer dan Informatika (JSON)*. 4(1):199–203.doi:10.30865/json.v4i1.4903.
- [9] Fawwazi MM, Fauzan A, Rusdi M. 2022. Implementasi dan rancang bangun sistem komunikasi long range (LoRa) pada sistem pemantau polusi udara menggunakan sensor MICS 6814 berbasis internet of things. *Prosiding Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (KONSEP)*. 3(1):703–708.doi:10.51510/konsep.v3i1.980.