

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Internet of Things

Internet of Things yang biasa disingkat IoT merupakan sebuah konsep teknologi di mana objek fisik dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak (*software*), dan konektivitas jaringan untuk memungkinkan mereka mengumpulkan, bertukar, serta bertindak berdasarkan data yang dikumpulkan tanpa intervensi manusia secara langsung (Mambang, 2022). Dalam konteks peternakan, IoT menjadi tulang punggung otomatisasi yang memungkinkan proses pemantauan lingkungan dilakukan secara real-time atau langsung dan berbasis data. Teknologi ini memainkan peran penting dalam sistem monitoring cerdas karena mampu menghadirkan efisiensi, akurasi, dan penghematan biaya operasional.

Arsitektur dasar dari sistem *Internet of Things* (IoT) umumnya terdiri dari empat lapisan utama. Lapisan pertama adalah lapisan persepsi, yang berfungsi sebagai pengumpul data dari lingkungan melalui berbagai sensor. Contohnya, sensor gas seperti MQ-135, MQ-4, dan MQ7 digunakan untuk mendeteksi parameter lingkungan seperti kadar amonia, metana, dan karbon monoksida. Selanjutnya, data dari sensor ini diteruskan ke lapisan jaringan, yaitu lapisan yang mengatur proses transmisi data menuju platform pengolahan. Pada sistem ini, konektivitas seperti Wi-Fi yang tertanam dalam mikrokontroler ESP32 sering digunakan untuk mengirimkan data secara nirkabel atau *wireless*. Data yang telah diterima kemudian

diproses di lapisan pengolahan, di mana dilakukan analisis dan penerapan logika tertentu, seperti sistem fuzzy untuk klasifikasi tingkat bahaya gas. Terakhir, hasil pengolahan data ditampilkan kepada pengguna melalui lapisan aplikasi, yang menyediakan antarmuka visual seperti dashboard pada aplikasi mobile Blynk atau melalui platform web.

Penerapan IoT dalam sistem monitoring lingkungan telah banyak dilakukan untuk memantau kondisi udara, suhu, kelembaban, hingga kadar gas berbahaya di berbagai sektor, termasuk peternakan. Dalam studi oleh (Erlina, 2017), implementasi IoT digunakan untuk memantau gas amonia di kandang sapi guna mencegah akumulasi gas yang dapat menyebabkan gangguan pernapasan pada ternak. (Pratama et al., 2023) juga menyatakan bahwa IoT yang terintegrasi dengan sensor dan logika pengendalian mampu meningkatkan responsivitas sistem dalam mendeteksi kondisi lingkungan yang berubah cepat. Khusus dalam penelitian ini, IoT digunakan untuk memfasilitasi pengumpulan data kadar gas berbahaya secara real-time, lalu mengirimkannya ke platform Blynk dan platform web yang memberikan notifikasi langsung kepada pengguna apabila ambang batas gas terlampaui. Sistem ini memungkinkan pemantauan jarak jauh dan mempercepat pengambilan keputusan dalam menjaga kesehatan ternak di kandang.

Dengan kombinasi sensor-sensor gas, ESP32, dan aplikasi pemantauan, sistem ini tidak hanya memberikan peringatan, tetapi juga menyediakan histori data yang dapat dianalisis untuk perencanaan pemeliharaan lingkungan kandang secara menyeluruh. Oleh karena itu, penerapan IoT dalam monitoring peternakan tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga berdampak langsung

terhadap kualitas hidup ternak dan keberlanjutan peternakan itu sendiri (Ensley, 2020; Zulkarnain, 2024).

2.1.2 Sistem Monitoring Kualitas Udara pada Kandang

Kualitas udara di kandang ternak merupakan faktor penting yang secara langsung memengaruhi kesehatan dan produktivitas hewan. Di antara zat-zat pencemar udara yang paling umum di lingkungan peternakan adalah gas amonia (NH_3), metana (CH_4), dan karbon monoksida (CO). Gas-gas ini berasal dari kotoran hewan, proses fermentasi dalam pencernaan, dan pembusukan bahan organik. Jika tidak dikontrol, konsentrasi gas tersebut dapat melebihi batas aman dan membahayakan tidak hanya hewan ternak, tetapi juga petugas kandang (Zulkarnain, 2024).

Gas amonia (NH_3) memiliki bau menyengat dan bersifat iritatif. Paparan NH_3 dalam waktu lama dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan, penurunan nafsu makan, serta gangguan pertumbuhan pada hewan. Gas metana (CH_4) adalah gas rumah kaca yang dihasilkan dari fermentasi anaerob, bersifat mudah terbakar, dan dalam konsentrasi tinggi dapat menurunkan kadar oksigen dalam udara. Sementara itu, karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berbau, namun sangat beracun karena dapat menggantikan oksigen dalam darah, menyebabkan hipoksia pada hewan maupun manusia (Susilo & David, 2023).

Untuk menjamin keselamatan dan kenyamanan, beberapa organisasi seperti OSHA (Occupational Safety and Health Administration), Kementerian Kesehatan, dan Kementerian Pertanian Indonesia telah memberikan acuan ambang batas aman

untuk konsentrasi gas di lingkungan kerja dan peternakan. Dalam konteks pemantauan otomatis, ambang batas tersebut dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Ketentuan ambang batas gas amonia, gas metana, karbon monoksida

Jenis Gas	Aman	Waspada	Bahaya
Gas Amonia (NH ₃)	< 10 ppm	< 25 ppm	> 25 ppm
Gas Metana (CH ₄)	< 5.000 ppm	< 10.000 ppm	> 10.000 ppm
Karbon Monoksida (CO)	30 ppm	< 50 ppm	> 50 ppm

Sistem monitoring berbasis IoT telah banyak diterapkan dalam mengontrol kualitas udara kandang secara real-time. Dalam penelitian oleh (Zulkarnain, 2024), sistem pemantauan menggunakan sensor MQ-135, MQ-2, dan MQ-7 terhubung ke mikrokontroler ESP32, yang kemudian mengirimkan data ke platform Blynk untuk ditampilkan ke pengguna. Notifikasi diberikan apabila gas berada di zona "waspada" atau "bahaya". Studi oleh (Susilo & David, 2023) di peternakan ayam juga menunjukkan bahwa sistem monitoring gas berbasis IoT mampu mengurangi risiko paparan gas amonia terhadap ayam broiler, yang dapat menyebabkan penurunan bobot badan dan angka mortalitas tinggi.

Lebih lanjut, (Subagja et al., 2024) menerapkan sistem pemantauan di peternakan domba dengan pendekatan IoT yang tidak hanya mendeteksi

konsentrasi gas, tetapi juga menyimpan histori data untuk analisis tren. Hal ini penting dalam pengambilan keputusan berbasis data, misalnya kapan waktu yang tepat untuk membersihkan kandang atau meningkatkan ventilasi.

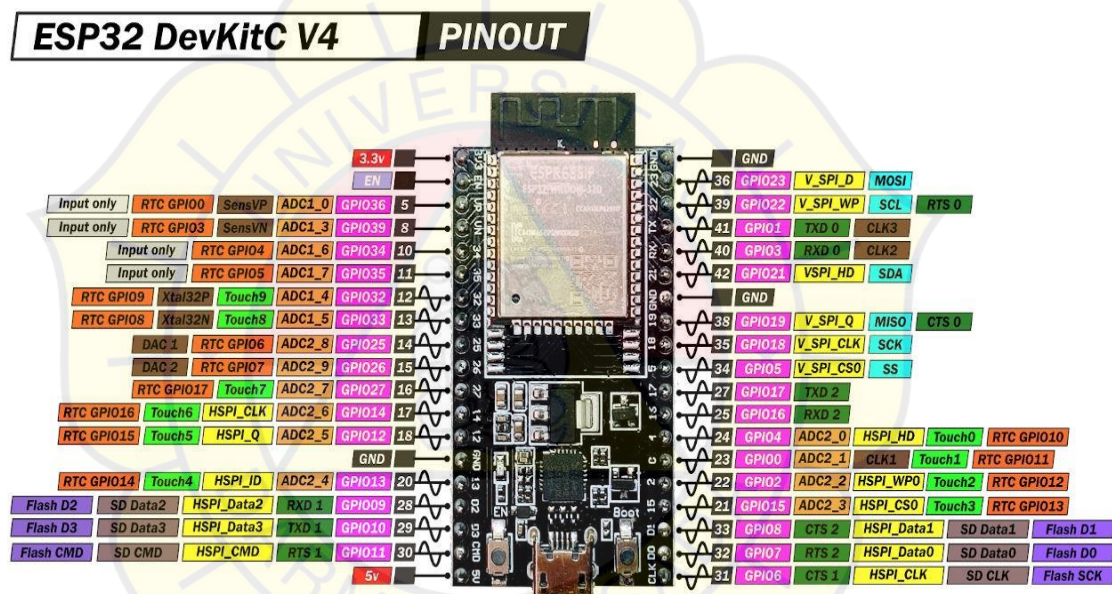
Dengan demikian, penerapan sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT tidak hanya meningkatkan efisiensi dan kecepatan respon terhadap kondisi lingkungan yang berbahaya, tetapi juga mendukung kesejahteraan hewan ternak secara menyeluruh.

2.1.3 Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler merupakan komponen inti dalam sistem tertanam (*embedded system*) yang memiliki fungsi utama untuk menerima input dari perangkat sensor, memproses data, serta mengendalikan output sesuai dengan program yang telah ditanamkan. Mikrokontroler menggabungkan unit pemroses pusat (CPU), memori, dan antarmuka input/output dalam satu chip yang hemat daya dan ringkas. Dalam konteks sistem berbasis *Internet of Things* (IoT), mikrokontroler berperan penting sebagai otak pengendali seluruh proses, mulai dari pembacaan data lingkungan hingga pengiriman data ke platform pemantauan jarak jauh (Zaki et al., 2025). Penggunaan mikrokontroler memungkinkan sistem bekerja secara otomatis, efisien, dan real-time.

Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan dalam implementasi sistem IoT adalah ESP32, yang dikembangkan oleh Espressif Systems. ESP32 dikenal sebagai mikrokontroler dual-core berbasis arsitektur Xtensa LX6 dengan kecepatan hingga 240 MHz. Modul ini dilengkapi dengan konektivitas nirkabel berupa Wi-Fi

802.11 b/g/n dan Bluetooth 4.2 BLE, sehingga mampu terhubung langsung ke internet tanpa modul tambahan. Selain itu, ESP32 memiliki 520 KB RAM dan mendukung penggunaan memori flash eksternal hingga 4 MB. Fitur lainnya termasuk 34 General Purpose Input/Output (GPIO), sensor sentuh (touch sensor), Analog to Digital Converter (ADC), Digital to Analog Converter (DAC), serta dukungan komunikasi SPI, I²C, dan UART (Obogai et al., 2024).



Gambar 2. 1 GPIO ESP-32 DEVKIT VI

sumber: (ESP32-DEV-KIT-DevKitC-v4-Pinout-Mischianti.Jpg)

Kemampuan teknis ESP32 menjadikannya pilihan utama dalam sistem monitoring kualitas udara di kandang ternak. Mikrokontroler ini tidak hanya mampu membaca data dari berbagai sensor gas seperti MQ-135, MQ-4, atau MQ-7, tetapi juga dapat memproses data tersebut menggunakan logika fuzzy dan mengirimkannya secara real-time ke platform pemantauan seperti Blynk atau sistem web monitoring. Keunggulan ini diperkuat dengan konsumsi daya yang

rendah, sehingga ESP32 cocok digunakan dalam sistem yang beroperasi secara terus-menerus di lingkungan kandang.

Adapun alasan utama pemilihan ESP32 dalam sistem ini adalah karena kemampuannya yang kompatibel dengan kebutuhan konektivitas IoT modern. Dengan fitur Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, ESP32 memungkinkan pemantauan jarak jauh tanpa tambahan modul komunikasi eksternal. Selain itu, kinerjanya yang tinggi dan efisiensi energi menjadikannya ideal untuk pengolahan data sensor secara cepat dan stabil. Kemudahan pemrograman melalui platform seperti Arduino IDE serta komunitas pengguna yang luas juga memberikan nilai tambah dari sisi pengembangan dan troubleshooting sistem. Menurut penelitian oleh (Zaki et al., 2025), ESP32 terbukti andal dalam sistem pemantauan berbasis IoT di sektor pertanian dan monitoring lingkungan.

2.1.4 Sensor Gas dalam Monitoring Lingkungan

Dalam sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT, sensor gas memegang peran penting dalam mendeteksi keberadaan zat berbahaya seperti amonia (NH_3), metana (CH_4), dan karbon monoksida (CO) di lingkungan kandang. Sensor-sensor jenis MQ-series merupakan sensor gas semikonduktor yang banyak digunakan karena harganya terjangkau, sensitivitas tinggi, dan kemudahan dalam integrasi dengan mikrokontroler seperti ESP32.

Sensor MQ-135 adalah sensor gas yang sensitif terhadap berbagai gas berbahaya seperti amonia, karbon dioksida, dan asap, serta digunakan untuk mendeteksi kualitas udara secara umum. Sensor ini memiliki sensitivitas tinggi

terhadap gas-gas tersebut dan sering digunakan dalam sistem monitoring kualitas udara, deteksi polusi, serta aplikasi pengendalian ventilasi dan ventilasi otomatis. Keunggulan utama dari MQ-135 adalah kestabilan dan umur panjangnya, sehingga cocok untuk aplikasi yang memerlukan pengukuran gas secara kontinu dan akurat (Kuncoro et al., 2023).

Sensor MQ-4 adalah sensor gas berbasis semikonduktor yang dirancang untuk mendeteksi keberadaan gas metana (CH_4) dan gas-gas lain yang mudah menguap. Sensor ini banyak digunakan dalam aplikasi deteksi kebocoran gas di rumah, industri, dan sistem keamanan karena harganya yang terjangkau dan kemampuannya memberikan sinyal analog yang dapat diukur untuk menentukan konsentrasi gas. Dengan sensitivitas yang cukup baik terhadap gas metana, MQ-4 membantu dalam memantau dan mencegah potensi bahaya ledakan atau keracunan akibat akumulasi gas metana di lingkungan sekitar (Fisher, 2013).

Dijelaskan oleh (Fisher, 2013) bahwa Sensor MQ-7 adalah sensor gas berbasis semikonduktor yang dirancang khusus untuk mendeteksi keberadaan karbon monoksida (CO) dalam lingkungan sekitar. Sensor ini banyak digunakan dalam sistem deteksi bahaya gas di rumah, industri, dan kendaraan karena kemampuannya memberikan sinyal analog yang dapat diukur untuk menentukan konsentrasi CO secara real-time. Dengan sensitivitas yang cukup tinggi terhadap karbon monoksida, MQ-7 membantu dalam mencegah keracunan dan kecelakaan akibat akumulasi gas berbahaya tersebut.

Tabel 2. 2 Perbandingan Sensor Gas MQ-135, MQ-4, dan MQ-7

Sensor	Jenis Gas yang Dideteksi	Rentang Konsentrasi (Range)	Sensitivitas Terhadap Gas	Output
MQ-135	Berbagai gas berbahaya seperti amonia, karbon dioksida, dan asap	10 – 1000 ppm	Tinggi terhadap gas berbahaya dan polutan udara	Tegangan analog (0–5V). Resistensi (R_g), sensitivitas (S), dan respons terhadap kualitas udara
MQ-4	Gas metana (CH_4), gas alam, dan VOC (Volatile Organic Compounds)	300-10000 ppm	Sangat sensitif terhadap CH_4 dan LPG	Tegangan analog (0–5V). Resistensi (R_g), output analog, dan respons terhadap konsentrasi gas
MQ-7	Karbon Monoksida (CO)	5-1000 ppm	Sangat sensitif terhadap CO, respons stabil	Tegangan analog (0–5V). Resistensi (R_g), output analog, dan sensitivitas terhadap konsentrasi CO

Sumber: (Kuncoro et al., 2023)

Proses kalibrasi terhadap semua sensor MQ penting dilakukan agar pembacaan nilai gas berada dalam rentang akurat. Kalibrasi dapat dilakukan dengan metode baseline dalam kondisi udara bersih atau menggunakan larutan uji standar. Kalibrasi juga mempertimbangkan suhu dan kelembaban karena dua faktor ini mempengaruhi resistansi sensor.

Pemilihan dan integrasi ketiga sensor ini dalam sistem monitoring udara kandang ternak memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan yang lebih komprehensif dan akurat. Dengan bantuan mikrokontroler dan sistem fuzzy, nilai dari sensor dapat dikategorikan secara otomatis dan digunakan untuk menghasilkan keputusan cepat demi menjaga kesehatan ternak.

2.1.5 Komponen Notifikasi Led dan Buzzer

LED dan buzzer merupakan komponen penting dalam sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT, berfungsi sebagai media peringatan visual dan suara. LED menampilkan status gas melalui warna: hijau (aman), kuning (waspada), dan merah (bahaya), sementara buzzer memberikan peringatan suara dengan pola berbeda sesuai tingkat ancaman.

Keduanya membentuk sistem peringatan multimodal yang memungkinkan respon cepat terhadap deteksi gas berbahaya seperti NH_3 , CH_4 , dan CO . Saat ambang batas bahaya terlampaui, mikrokontroler akan mengaktifkan LED merah dan buzzer secara bersamaan sebagai sinyal kondisi darurat.

Dengan konsumsi daya rendah dan kompatibel dengan mikrokontroler seperti ESP32 atau Arduino, LED dan buzzer efektif mendukung sistem reaksi real-time serta integrasi logika fuzzy untuk tindakan otomatis maupun manual.

2.1.6 Fuzzy System

Sistem fuzzy adalah metode pemrosesan informasi berdasarkan logika fuzzy, yaitu logika yang meniru cara berpikir manusia dalam menghadapi ketidakpastian, ambiguitas, dan ketidaktegasan. Sistem fuzzy cocok diterapkan pada sistem yang kompleks dan tidak linier seperti pemantauan kualitas udara di lingkungan kandang ternak yang melibatkan parameter gas berbahaya seperti amonia (NH_3), metana (CH_4), dan karbon monoksida (CO) (Pratama et al., 2023).

Pendekatan *Fuzzy Sugeno*, yang saya gunakan dalam penelitian ini, merupakan salah satu metode inferensi fuzzy yang menghasilkan output numerik melalui fungsi linier atau konstan berdasarkan aturan yang ditentukan. Kelebihan metode ini adalah kemampuannya dalam integrasi sistem kontrol otomatis dan komputasi yang efisien (Baso, 2022). Dalam implementasi sistem monitoring kualitas udara berbasis *Fuzzy Sugeno*, setiap parameter gas memiliki ambang batas tertentu yang diklasifikasikan ke dalam tiga zona, sebagai contohnya kondisi aman, waspada, dan bahaya.

2.1.6.1 Struktur Sistem Fuzzy

Secara umum, sistem fuzzy terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu:

1. Fuzzifikasi
2. *Inferensi (Rule Base)*

3. Defuzzifikasi Sugeno

Penjelasan:

1. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses mengubah nilai input numerik menjadi nilai derajat keanggotaan (*membership degree*) dalam suatu himpunan fuzzy. Proses ini memungkinkan sistem menginterpretasi nilai-nilai input dalam bentuk linguistik seperti "Aman", "Waspada", atau "Bahaya".

Beberapa jenis fungsi keanggotaan (*Membership Function/MF*) yang umum digunakan dalam proses fuzzifikasi antara lain:

a. Fungsi Keanggotaan Segitiga (Triangular MF)

Fungsi keanggotaan ini berbentuk segitiga, didefinisikan oleh tiga titik: a (awal), b (tengah/puncak), dan c (akhir).

$$\text{Rumus: } \mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}, & a < x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)}, & b < x < c \end{cases}$$

Kelebihan:

- 1) Sederhana dan cepat dihitung
- 2) Sangat cocok untuk sistem real-time berbasis mikrokontroler seperti ESP32

Kekurangan:

- 1) Transisi antar kategori kurang halus

b. Fungsi Keanggotaan Trapesium (Trapezoidal MF)

Fungsi ini berbentuk trapesium dan didefinisikan oleh empat titik: a, b, c, dan d.

$$\text{Rumus: } \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}, & a < x < b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)}, & x < c < d \end{cases}$$

Kelebihan:

- 1) Lebih fleksibel dibanding segitiga
- 2) Zona transisi antar kategori dapat diatur lebih stabil

Kekurangan:

- 1) Lebih kompleks dibandingkan fungsi segitiga

c. Fungsi Keanggotaan Gaussian (Gaussian MF)

Fungsi Gaussian berbentuk lonceng (bell-shaped), ditentukan oleh dua parameter: m (mean) dan σ (deviasi standar).

$$\text{Rumus: } \mu_A(x) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Kelebihan:

- 1) Transisi antar kategori sangat halus
- 2) Cocok untuk sistem pengukuran presisi tinggi

Kekurangan:

- 1) Kurang cocok untuk sistem mikrokontroler karena membutuhkan operasi eksponensial

2. Inferensi (Rule Base)

Rule base adalah kumpulan aturan logika yang merepresentasikan hubungan antara input dan output berdasarkan pengetahuan pakar atau data empiris. Bentuk umum aturan fuzzy adalah pernyataan IF–THEN.

Contoh:

- IF NH₃ IS Bahaya AND CH₄ IS Bahaya AND CO IS Bahaya THEN Status = 6
- IF NH₃ IS Aman AND CH₄ IS Waspada AND CO IS Aman THEN Status = 1

Aturan-aturan ini merupakan konsep penting dari logika pengambilan keputusan dalam sistem fuzzy, dan akan dievaluasi dalam proses inferensi Sugeno.

3. Defuzzifikasi Fuzzy Sugeno

Dalam pendekatan Sugeno, hasil konsekuensi dari masing-masing aturan bukan berupa himpunan fuzzy, melainkan nilai konstan (atau fungsi linier). Setiap aturan menghasilkan output crisp yang akan digabungkan menggunakan metode *defuzzifikasi* rata-rata tertimbang.

Contoh:

- IF NH₃ IS Bahaya AND CH₄ IS Bahaya AND CO IS Bahaya THEN Output = 6.

Di sini, angka 6 adalah nilai crisp yang digunakan dalam perhitungan *defuzzifikasi* (metode rata-rata tertimbang).

Langsung dipakai dalam rumus *defuzzifikasi*:

$$z = \frac{\sum(w_i \cdot z_i)}{\sum w_i}$$

Keterangan:

- w_i : Derajat kebenaran (truth degree) dari aturan ke-i, biasanya hasil dari operasi min atau produk pada derajat keanggotaan
- z_i : Nilai output dari aturan ke-i (konstan atau linier)
- z : Nilai akhir output sistem fuzzy (output crisp)

2.1.7 Pemodelan UML

UML (*Unified Modeling Language*) adalah standar bahasa visual yang digunakan secara luas dalam dunia industri untuk memfasilitasi proses perancangan perangkat lunak. UML membantu dalam mendefinisikan kebutuhan sistem, melakukan analisis, dan menyusun desain serta arsitektur yang mendukung pendekatan pemrograman berorientasi objek. Dengan adanya standar ini, pengembangan perangkat lunak dapat dijalankan dengan cara yang lebih terstruktur, karena setiap elemen yang terlibat—baik data maupun proses digambarkan secara visual, sehingga memudahkan pemahaman dan dokumentasi dalam setiap tahap pengembangan (Rosa & Shalahudin, 2018).

Terdapat berbagai jenis diagram dalam UML yang dirancang untuk memenuhi beragam aspek dalam pemodelan. Beberapa diagram difokuskan untuk menggambarkan aspek teoritis dari prinsip-prinsip Object Oriented Programming (OOP), sementara yang lain lebih mendetailkan rancangan serta konstruksi aplikasi. Diagram-diagram ini berperan penting sebagai sarana komunikasi antar anggota tim pengembang perangkat lunak, serta sebagai media untuk menjelaskan spesifikasi sistem kepada pengguna. Dengan menggunakan UML, tim pengembang dapat memiliki bahasa visual yang sama, meminimalkan risiko kesalahpahaman, dan




meningkatkan kolaborasi dalam proyek pengembangan perangkat lunak (Rosa & Shalahudin, 2018).


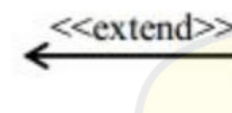

2.1.7.1 Use Case Diagram

Use case diagram adalah untuk menjelaskan konsep hubungan antara system dengan dunia luar, atau menggambarkan dan merepresentasikan *actor*, *use case*, dan *dependencies* (Hamas & Imaduddin, 2019).

Adapun simbol-simbol yang digunakan dalam use case diagram dijelaskan pada tabel 2.3

Tabel 2. 3 Komponen Simbol Use Case Diagram

SIMBOL	KETERANGAN
 Aktor	Aktor dalam use case diagram mewakili entitas seperti pengguna atau sistem lain yang berinteraksi dengan sistem utama.
 <i>Use Case</i>	Menunjukkan fungsionalitas atau tindakan yang disediakan sistem untuk aktor.
 <i>association</i>	Menghubungkan aktor dengan use case untuk menunjukkan interaksi.

	<p>Menandakan bahwa satu use case selalu menyertakan fungsi dari use case lain.</p>
	<p>Menggambarkan fungsionalitas tambahan yang dijalankan jika kondisi tertentu terpenuhi.</p>
	<p>Menyatakan bahwa aktor memiliki peran khusus yang mewarisi peran umum lainnya.</p>


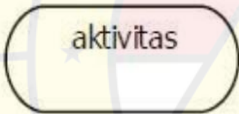

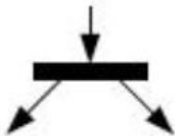
2.1.7.2 Activity Diagram

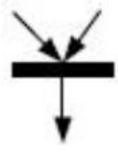

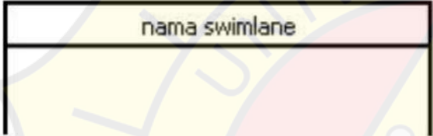

Menurut (Prihandoyo, 2018) Activity diagram merupakan state diagram khusus, di mana sebagian besar state adalah action dan sebagian besar transisi di-*trigger* oleh selesainya state sebelumnya (internal processing). Oleh karena itu activity diagram tidak menggambarkan behaviour internal sebuah sistem (dan interaksi antar subsistem) secara eksak, tetapi lebih menggambarkan proses-proses dan jalur-jalur aktivitas dari level atas secara umum.

Sebuah aktivitas dapat direalisasikan oleh satu use case atau lebih. Aktivitas menggambarkan proses yang berjalan, sementara use case menggambarkan bagaimana aktor menggunakan sistem untuk melakukan aktivitas.

Adapun simbol-simbol yang digunakan dalam activity diagram dijelaskan pada tabel 2.4

Tabel 2. 4 Komponen Simbol Activity Diagram

Simbol	Keterangan
 <i>Initial</i>	Menandakan titik awal alur aktivitas.
 <i>Activity</i>	Menunjukkan langkah atau tindakan spesifik yang terjadi dalam proses.
 <i>Decision</i>	Membagi alur berdasarkan kondisi yang berbeda, sering disertai dengan percabangan.
 <i>Fork</i>	Membagi alur menjadi beberapa tindakan yang berjalan paralel atau bersamaan.

 <p style="text-align: center;"><i>Join</i></p>	<p>Digunakan untuk Menggabungkan beberapa alur paralel menjadi satu.</p>
 <p style="text-align: center;"><i>Control Flow</i></p>	<p>Menunjukkan rangkaian pelaksanaan</p>
 <p style="text-align: center;"><i>Swimlane</i></p>	<p>Mengelompokkan aktivitas berdasarkan aktor atau unit yang bertanggung jawab, memudahkan identifikasi peran.</p>
 <p style="text-align: center;"><i>End State</i></p>	<p>Status akhir yang dilakukan sistem, sebuah diagram aktivitas memiliki sebuah status akhir</p>

2.1.8 Basis Data dan DBMS

Sistem Manajemen Basis Data (DBMS) berguna untuk mengatur data dalam sebuah database, menentukan bagaimana data diurutkan, disimpan, dimodifikasi, dan diambil kembali. Meskipun pengguna memiliki akses langsung ke database, interaksi tersebut dikelola terlebih dahulu melalui perangkat lunak sistem khusus yang mengatur proses akses dan pengolahan data (Sabbrina et al., 2023).

Menurut (Putri et al., 2023) MySQL adalah sistem manajemen basis data yang bersifat open-source, dikenal karena fleksibilitas dan tingkat keamanannya yang tinggi. Dikemukakan (Ramadhan & Mukhaiyar, 2020) MySQL adalah sistem manajemen basis data yang dikembangkan oleh Oracle Corporation, tersedia dalam dua varian: MySQL Community Edition yang bersifat open-source, dan MySQL Enterprise Edition yang berlisensi komersial. SQL (Structured Query Language) merupakan bahasa scripting yang digunakan untuk manipulasi dan pengelolaan database. MySQL memanfaatkan struktur tabel untuk menyimpan data, sehingga memudahkan pengguna dalam mengorganisasi, mengelola, serta mengakses data dengan efisien.

2.1.8.1 Sistem Basis Data

Sekelompok basis data yang digunakan secara bersama oleh para pengguna yang memiliki akses untuk berbagai keperluan. Ini mencakup teknik dalam rekayasa dan pengelolaan basis data, perancangan basis data, manajemen informasi, serta sistem komputer lain yang mendukung proses tersebut.

2.1.9 Arduino IDE

Arduino IDE adalah perangkat lunak (*software*) yang dibuat dengan bahasa pemrograman java sebagai editor, compiler dan uploader (Mayub et al., 2022). Arduino IDE digunakan untuk menulis dan mengunggah kode ke mikrokontroler ESP32, yang kemudian terhubung dengan sensor MQ-135, MQ-4, dan MQ-7 untuk membaca konsentrasi gas berbahaya seperti amonia (NH_3), metana (CH_4), dan

karbon monoksida (CO) di lingkungan peternakan sapi. Nilai output dari ketiga sensor ini akan diproses menggunakan metode Fuzzy Inference System tipe Sugeno, yang ditanamkan langsung dalam program Arduino. Hasil inferensi dari sistem fuzzy tersebut akan memberikan klasifikasi tingkat kebersihan udara, yang kemudian ditampilkan melalui LCD 20x4

2.1.10 Bahasa Pemograman

2.1.10.1 Bahasa Pemograman PHP

Menurut (Murni et al., 2023) PHP adalah bahasa scripting yang digunakan untuk mengembangkan aplikasi web dan menghubungkannya dengan server. PHP memanfaatkan HTML sebagai tambahan untuk membangun aplikasi yang memaksimalkan penggunaan data.

2.1.10.2 Bahasa Pemograman Java Script

JavaScript adalah bahasa skrip yang dijalankan pada dokumen HTML, dan sepanjang sejarah internet, bahasa ini menjadi yang pertama digunakan untuk web. JavaScript bekerja bergantung pada browser yang membuka halaman web dan menjalankan skrip-skripnya yang ada dalam dokumen HTML. Bahasa ini tidak memerlukan kompilator atau penterjemah terpisah, karena kompilator JavaScript sudah terintegrasi di dalam browser itu sendiri (Wahyudi, 2022).

2.1.10.3 Bahasa Pemograman C++

Bahasa C++ adalah penambahan dari bahasa C yang dikembangkan oleh Bjarne Stroustrup di Bell Laboratories pada awal dekade 1980an. C++ menawarkan fitur tambahan yang meningkatkan kekuatan bahasa C, dan yang lebih penting lagi, memberikan kemampuan untuk pemograman berbasis objek (Firliana & Kasih, 2018).

2.1.11 Bootstrap

Dikemukakan oleh (Arta & Nugraha, 2020) Bootstrap adalah sebuah library framework CSS yang dibuat khusus untuk bagian pengembangan *front-end website*. Bootstrap juga merupakan salah satu framework HTML, CSS dan javascript yang paling populer di kalangan *web developer* yang digunakan untuk mengembangkan sebuah website yang *responsive*.

2.1.12 XAMPP

Menurut (Saputra & Riyadi, 2019) XAMPP adalah paket perangkat lunak yang mencakup Apache, MySQL, PHP, dan phpMyAdmin, yang digunakan sebagai server web. Salah satu alasan utama menggunakan XAMPP adalah kemudahan penggunaannya, terutama bagi pemula. Proses instalasi XAMPP sangat sederhana karena tidak memerlukan konfigurasi manual untuk Apache, PHP, dan MySQL. Semua pengaturan dan instalasi dilakukan secara otomatis oleh XAMPP, sehingga

memudahkan pengguna dalam memulai tanpa harus khawatir tentang pengaturan teknis.

2.2 Penelitian terkait

Tabel 2. 5 Penelitian Terkait

No	Author	Judul Penelitian	Tahun Penelitian	Klasifikasi/Sensor yang Digunakan
1.	Aulia Tiffani, Doddy Ichwana Putra, Tati Erlina	Sistem Monitoring Suhu, Kelembaban dan Gas Amonia pada Kandang Sapi Perah Berbasis Teknologi Internet of Things (IoT)	2017	Sensor DHT22, sensor gas MQ-135
<p>Hasil Penelitian: Hasil penelitian dari Aulia Tiffani dan tim menunjukkan bahwa sistem monitoring suhu, kelembaban, dan gas amonia berbasis IoT yang dikembangkan mampu mengirimkan data secara real-time dengan tingkat keberhasilan sekitar 80% saat koneksi jaringan lancar. Pengujian sensor menunjukkan rata-rata error sebesar 2,95% untuk suhu dan 8,35% untuk kelembaban. Sistem ini memanfaatkan sensor DHT22 dan gas MQ-135 yang terhubung ke mikrokontroler Arduino Uno dan dapat dipantau melalui aplikasi mobile yang terintegrasi dengan web server</p>				

2.	Muhammad Gofur, Diah Risqiwati, Vinna Rahmayanti Setyaning Nastiti	Sistem Monitoring Gas Amonia dan Kadar Bersih Udara Pada Kandang Sapi Perah Dengan Menggunakan Protokol Komunikasi MQTT dan Algoritma Rule Based System	2021	Sensor MQ-7, MQ-135, DHT11, ESP8266, MQTT, Rule Based System
<p>Hasil Penelitian: Hasil penelitian Gofur dan timnya menunjukkan bahwa mereka berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring gas amonia dan kadar bersih udara pada kandang sapi perah menggunakan sensor MQ-7 dan MQ-135, serta protokol komunikasi MQTT dan algoritma rule-based system. Sistem ini berjalan dengan baik, mampu mengirim data secara real-time ke web, dan aksi seperti bunyi buzzer dan blower sudah sesuai aturan yang ditetapkan. Pengujian juga menunjukkan bahwa jarak pengiriman data mempengaruhi waktu respons, terutama pada jarak yang lebih jauh (hingga 4 meter ke atas) yang menyebabkan delay dalam pengiriman data</p>				

3.	AlfaviEGA Septian Pravangasta, Moch Hannats Hanafi Ichsan, Rizal Maulana	Sistem Monitoring Kadar Gas Berbahaya Berdasarkan Amonia dan Metana Pada Pernakan Ayam Broiler Menggunakan Protokol MQTT Pada Realtime System	2018	Sensor MQ-135 (Amonia), Sensor MQ-4 (Metana)
<p>Hasil Penelitian: Hasil penelitian dari Pravangasta dan teman-temannya menunjukkan bahwa sistem monitoring kadar gas berbahaya seperti amonia dan metana pada peternakan ayam broiler dapat dilakukan secara realtime menggunakan sensor MQ-135 untuk amonia dan MQ-4 untuk metana. Data yang dikumpulkan diproses dengan Arduino Uno dan dikirimkan ke web server melalui protokol MQTT, sehingga memudahkan peternak dalam memantau kondisi peternakan secara langsung dan efisien. Pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mendeteksi perubahan kadar gas secara akurat dan memiliki delay pengiriman data sekitar 1,37 detik, yang cukup efisien untuk monitoring realtime.</p>				

4.	Muhammad Rifqi Zulkarnain dan Denny Irawan	Sistem Monitoring Dan Pendeteksi Kebersihan Udara Pada Kandang Peternakan Sapi Berbasis Internet Of Things (IoT).	2024	Sensor MQ-7 (CO), MQ-135 (Ammonia), MQ-2 (Asap), ESP8266
----	--	---	------	--

Hasil Penelitian: Hasil penelitian Zulkarnain Denny Irawan menunjukkan bahwa sistem monitoring kebersihan udara berbasis IoT berhasil mengintegrasikan sensor gas MQ-7 (CO), MQ-135 (NH3), dan MQ-2 (Asap) untuk mendeteksi parameter lingkungan secara real-time. Pengujian menunjukkan bahwa setiap sensor berfungsi sesuai spesifikasi dan sistem mampu mengirimkan data ke platform Telegram untuk pemantauan jarak jauh secara efektif. Sistem ini juga dilengkapi dengan indikator dan penyesuaian otomatis seperti SpeedFan untuk menetralkan kondisi kandang sapi, serta mampu menampilkan hasil pengujian secara langsung dan mengidentifikasi keunggulan serta keterbatasan sensor.