

## Evaluation of the Kalman Filter Algorithm for IoT-Based Air and Light Quality Optimization

Petrisia Widyasari Sudarmadji<sup>1\*</sup>, Diana Rachmawati<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prodi Teknik Komputer dan Jaringan Jurusan Teknik Elektro

<sup>2</sup>Prodi Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro

Politeknik Negeri Kupang

Jl. Adisucipto Penfui Kupang, Indonesia

\*Corresponding Author Email: petrisia.pnk@gmail.com

Copyright: ©2026 The authors. This article is published by PT Mekar and is licensed under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Doi : <https://doi.org/10.65475/r0r4ak67>

### Key-Words :

*Kalman Filter, IOT, Air Quality, Chicken Farming, Monitoring*

Received : February 22, 2026.

Revised : March 5, 2026.

Published : April 30, 2026

### Abstract

The health and productivity of poultry, especially chicken farms, require an environment with ideal air and lighting conditions. The urgency of this research demands a real-time IoT system equipped with a Kalman Filter data processing algorithm to reduce sensor noise and improve reading accuracy, as manual monitoring is often inaccurate and slow, resulting in significant economic losses of up to 30%. Research objectives: 1) Design an IoT system based on multi-parameter sensors (gas and light) to monitor the environmental conditions of chicken farms; 2) Apply Kalman Filter to filter sensor data noise and produce stable and accurate readings; 3) Evaluate system performance through field tests by comparing filtered data with actual data. The results achieved show that this system is capable of real-time data acquisition and transmission to the cloud for visualization so that it can be accessed remotely, meeting the basic needs of modern chicken farm environmental monitoring. Laboratory and simulation test results show the Kalman Filter algorithm's ability to significantly reduce noise and sensor calibration produces errors below 5% (3.2% for MQ-135 and 1.8% for BH1750), which validates the basic accuracy of the hardware before data processing is applied. Statistical analysis using MAE and RMSE metrics shows a very significant improvement in accuracy. For the NH<sub>3</sub> parameter, MAE decreased from 2.15 ppm to 0.78 ppm (63.7% improvement in accuracy), while for the light parameter, MAE decreased from 45.2 lux to 18.3 lux (59.5% improvement in accuracy). Lower RMSE values after filtering also indicate the algorithm's success in suppressing spike noise. This achievement exceeds the set performance indicator (accuracy  $\geq$  50%). The implications of this research provide an appropriate technological solution for chicken farms to prevent economic losses due to suboptimal environments.

## 1. Pendahuluan

Usaha peternakan menjadi salah satu sektor penting dan berpotensi sebagai penggerak roda perekonomian masyarakat dalam mendukung ketahanan pangan. Peternakan ayam merupakan subsektor peternakan yang saat ini berkembang sangat pesat serta memiliki permintaan yang paling tinggi dibandingkan dengan jenis unggas-unggas yang lainnya. Usaha peternakan ayam broiler mampu meningkatkan pendapatan masyarakat karena minat akan daging ayam broiler sebagai ayam konsumsi menjadi peluang usaha yang menguntungkan, di lain sisi usaha ayam broiler tidak

lepas dari berbagai masalah yang sering terjadi di peternakan ayam broiler [5]. Peternakan ayam memiliki peluang yang dapat di kembangkan jika di lihat dari jumlah konsumsi dan produksinya menunjukkan adanya tren peningkatan konsumsi daging ayam broiler dalam lima tahun terakhir dengan rata-rata 1,996% sedangkan laju pertumbuhan produksi perkapita rata-rata 1,39%, artinya peningkatan konsumsi lebih tinggi jika di bandingkan dengan peningkatan produksinya [4]. Hal tersebut menjadi peluang yang cukup besar bagi peternakan ayam broiler menjadi usaha yang strategis untuk di kembangkan dan pernyataan ini di dukung oleh data Badan Pusat Statistik [8] terkait demand daging ayam broiler tahun 2023 dengan estimasi sebesar 3.997.652 ton, yang menghasilkan

konsumsi daging ayam broiler mencapai 12,70 kg/kapita/tahun. Dengan semakin meningkatnya permintaan konsumen terhadap daging ayam tentunya dapat menimbulkan lonjakan jumlah populasi ayam broiler yang sehat dan berkualitas.

Peternakan ayam modern, membutuhkan sistem monitoring lingkungan yang presisi untuk memastikan kondisi optimal bagi pertumbuhan dan produktivitas unggas karena Feses ayam yang terkumpul pada kandang dan bertumpuk selama berhari-hari dalam jumlah besar dapat menghasilkan berbagai gas berbahaya diantaranya adalah amonia ( $\text{NH}_3$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ), Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), Nitrit ( $\text{NO}_2$ ) dan hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Kandungan gas-gas berbahaya di kandang ayam dapat menyebabkan berbagai masalah, termasuk performa dan produktivitas pada ayam (Kesehatan ayam), Kesehatan manusia maupun pencemaran lingkungan yang dapat mencemari udara dan air di sekitar peternakan. Terdapat salah satu faktor kimia yang dapat mengganggu Kesehatan manusia maupun ayam ternak yaitu amonia ( $\text{NH}_3$ ) di dalam kandang [1]. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dilakukan tindakan untuk mengetahui lebih cepat (deteksi dini) akan kadar amonia ( $\text{NH}_3$ ) sebagai salah satu standar kualitas udara di lingkungan peternakan ayam [2]. Bau kandang yang menyengat oleh naiknya kadar gas amonia ( $\text{NH}_3$ ) karena pengaruh suhu yang tidak ideal, dapat mempengaruhi hidup hewan ternak dari proses pertumbuhan hingga panen [6]. Parameter kritis kualitas udara seperti kadar amonia ( $\text{NH}_3$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ), Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), Nitrit ( $\text{NO}_2$ ), hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) dan intensitas cahaya harus di pantau secara real-time karena fluktuasinya dapat meningkatkan stress pada ayam, penurunan berat badan, hingga kematian. Namun, sistem monitoring konvensional berbasis sensor IoT sering menghasilkan data yang bising (*noisy*) akibat interferensi elektromagnetik, *drift* sensor, atau lingkungan yang dinamis. Ketidakakuratan data berpotensi menimbulkan kesalahan dalam pengambilan keputusan, seperti ventilasi atau pencahayaan yang tidak tepat.

Adapun tujuan penelitian adalah : merancang sistem IOT berbasis sensor multi-parameter (gas dan cahaya) untuk memantau kondisi lingkungan peternakan ayam, mengimplementasikan Kalman Filter guna menyaring noise data sensor dan menghasilkan pembacaan yang stabil dan akurat dan mengevaluasi performa sistem melalui uji lapangan dengan membandingkan data hasil filter terhadap data actual.

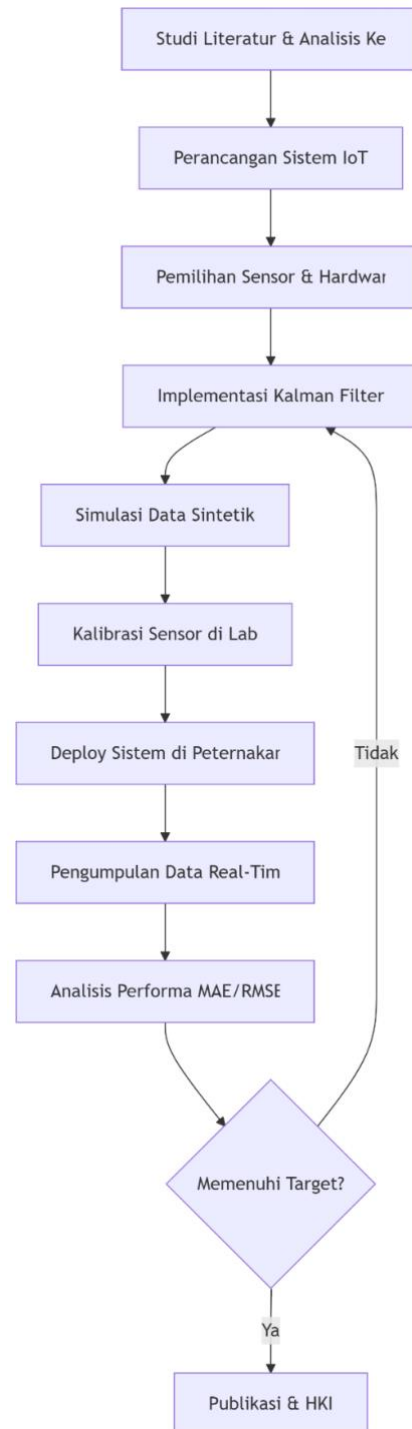
## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode algoritma Kalman filter. Algoritma ini dipilih karena

sistematis dan sesuai untuk pengembangan media pembelajaran yang memerlukan perencanaan, pengujian dan evaluasi secara bertahap.

### 2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian menjelaskan alur penelitian yang digunakan dengan algoritma Kalman filter yang dirujuk pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Tahapan Penelitian

Metode algoritma Kalman Filter akan selalu di perbaharui sejalan dengan data real-time dari proses

deploy sistem di peternakan ayam, sehingga perlu di kembangkan pada penelitian-penelitian lanjutan. Adapun 5 (lima) tahapan penelitian, kegiatan dan indikator capaian yang akan di lakukan adalah sebagai berikut :

1. Tahap Studi Literatur dan Perancangan Sistem, berupa kegiatan analisis kebutuhan peternakan ayam melalui wawancara mitra, serta pemilihan sensor dan mikrokontroler dan perancangan arsitektur IoT.
2. Tahap Implementasi Kalman Filter, berupa kegiatan pemodelan matematis Kalman Filter untuk noise sensor, pemrograman algoritma dan simulasi data sintetik untuk uji coba awal.  
Indikator Capaian :
3. Tahap Kalibrasi Sensor dan Uji Lab, berupa kegiatan kalibrasi sensor dan uji performa sistem dalam lingkungan terkontrol (ruang lab).
4. Tahap Uji Lapangan, berupa kegiatan deploy sistem di peternakan ayam milik mitra, pengumpulan data real-time selama 30 hari dan analisis MAE/RMSE sebelum dan setelah filtering.
5. Tahap Analisis Data, Evaluasi dan Penyusunan Luaran

## 2.2 Identifikasi Kebutuhan dan Spesifikasi Sistem

Dalam merancang sebuah sistem, memilih alat yang tepat adalah langkah krusial. Namun pemilihan alat tidak hanya berdasarkan kecanggihannya, tapi juga pada keterjangkauan, kemudahan penggunaan, dan kesesuaian dengan kondisi lapangan. Karena penelitian ini ditujukan untuk peternak skala kecil, maka setiap komponen dipilih dengan mempertimbangkan agar nantinya alat ini bisa dirakit kembali, diperbaiki, atau dimodifikasi secara mandiri. Berikut adalah daftar alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan sistem, lengkap dengan fungsi masing-masing yang di sajikan pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Spesifikasi Alat dan Bahan

No	Alat / Komponen	Fungsi
1	Arduino Uno	Sebagai mikrokontroler utama untuk mengolah data dari sensor
2	Sensor MQ-137	Untuk mendeteksi kadar gas ammonia (NH <sub>3</sub> ) di udara kandang
3	Sensor Cahaya LDR	Untuk mendeteksi intensitas cahaya didalam kandang ayam

4	Lampu LED	Sebagai indikator visual jika kondisi kandang tidak ideal
5	LCD	Untuk menampilkan informasi nilai sensor secara real-time
6	Kabel Jumper dan Breadboard	Untuk merangkai komponen elektronik secara sementara
7	Power Supply	Sebagai sumberdaya bagi Arduino dan komponen lainnya

Secara umum, sistem dibangun dengan konsep sederhana namun fungsional. Sensor MQ-137 dan LDR dipasang di dalam kandang ayam untuk membaca kondisi udara dan cahaya secara terus-menerus. Data dari kedua sensor ini dikirim ke Arduino Uno. Arduino Uno kemudian membandingkan data tersebut dengan nilai ambang batas yang telah ditentukan. Jika ada parameter yang melebihi batas aman (misalnya, amonia terlalu tinggi atau cahaya terlalu redup), maka sistem akan langsung memberi peringatan lewat LED dan menampilkan informasi detail pada LCD. Skema alur kerjanya dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Sensor membaca kondisi lingkungan.
2. Data dikirim ke Arduino Uno.
3. Arduino memproses data dan membandingkannya dengan ambang batas.
4. Jika tidak normal, LED menyala dan LCD menampilkan peringatan.
5. Jika normal, sistem tetap berjalan dan menampilkan data rutin.

## 3 Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Tahap 1 : Analisis Kebutuhan dan Perancangan Sistem IoT

#### 3.1.1 Analisis Kebutuhan Peternakan Ayam melalui Wawancara Mitra.

Hasil wawancara mendalam dengan mitra peternakan ayam broiler menunjukkan bahwa pengelolaan lingkungan kandang masih didominasi oleh pengamatan manual berbasis pengalaman pekerja. Mitra mengidentifikasi beberapa permasalahan utama, yaitu fluktuasi kualitas udara akibat akumulasi feses ayam yang menghasilkan gas amonia (NH<sub>3</sub>), keterlambatan deteksi kondisi lingkungan yang tidak ideal, serta ketidakkonsistenan pencahayaan kandang terutama pada malam hari dan kondisi cuaca ekstrem. Kondisi ini berdampak langsung terhadap stres ayam, penurunan laju

pertumbuhan, meningkatnya angka kematian, serta potensi kerugian ekonomi.

Mitra juga menyampaikan bahwa sistem monitoring yang dibutuhkan harus mampu memberikan informasi kondisi lingkungan secara real-time, mudah dioperasikan, berbiaya relatif rendah, serta dapat diakses jarak jauh melalui jaringan internet. Selain itu, mitra menekankan pentingnya keakuratan data sensor karena keputusan pengendalian ventilasi dan pencahayaan sangat bergantung pada nilai ambang batas yang sensitif, khususnya untuk gas amonia. Temuan ini menegaskan urgensi pengembangan sistem IoT yang tidak hanya melakukan akuisisi data, tetapi juga mampu meningkatkan kualitas data melalui pemrosesan algoritmik untuk mengurangi noise sensor.

### 3.1.2 Pemilihan Sensor dan Mikrokontroler

Berdasarkan kebutuhan mitra dan kajian literatur yang telah dilakukan, dipilih sensor MQ-135 sebagai sensor utama untuk memantau kualitas udara, khususnya gas amonia ( $\text{NH}_3$ ), karena karakteristiknya yang sensitif terhadap gas hasil dekomposisi feses ayam serta ketersediaannya secara komersial dengan biaya rendah. Namun demikian, sensor MQ-135 memiliki keterbatasan berupa fluktuasi sinyal dan noise akibat perubahan suhu, kelembaban, serta interferensi lingkungan. Oleh karena itu, integrasi algoritma Kalman Filter dirancang sejak tahap awal untuk meningkatkan stabilitas dan akurasi pembacaan sensor. Untuk pemantauan intensitas cahaya, digunakan sensor BH1750 yang memiliki resolusi tinggi dan komunikasi digital berbasis I<sup>2</sup>C, sehingga relatif stabil dibandingkan sensor cahaya analog. Pemilihan sensor ini sejalan dengan kebutuhan peternakan ayam modern yang memerlukan pencahayaan terkontrol guna mendukung ritme biologis dan produktivitas ayam.

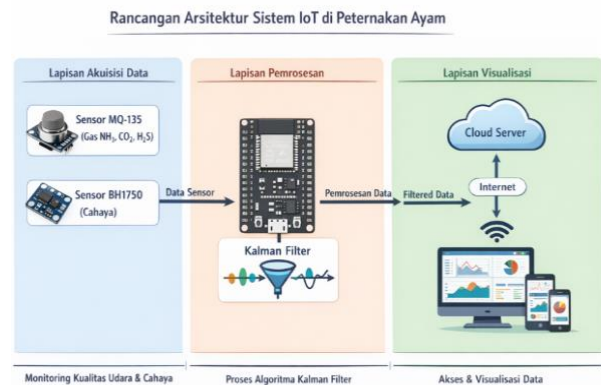
Sebagai pusat pemrosesan data, digunakan mikrokontroler ESP32 karena memiliki keunggulan berupa konektivitas Wi-Fi terintegrasi, kapasitas pemrosesan yang memadai untuk implementasi algoritma Kalman Filter, serta konsumsi daya yang relatif efisien. Kombinasi sensor MQ-135, BH1750, dan mikrokontroler ESP32 dinilai memenuhi aspek teknis, ekonomis, dan skalabilitas sistem.

### 3.1.3 Perancangan Arsitektur Sistem IoT

Hasil perancangan arsitektur IoT menunjukkan bahwa sistem dibangun menggunakan pendekatan modular yang terdiri dari tiga lapisan utama, yaitu lapisan akuisisi data, lapisan pemrosesan, dan lapisan visualisasi. Pada lapisan akuisisi data, sensor MQ-135 dan BH1750 mengumpulkan

data kualitas udara dan intensitas cahaya secara periodik. Data mentah yang diperoleh kemudian dikirim ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses lebih lanjut. Pada lapisan pemrosesan, algoritma Kalman Filter dirancang untuk melakukan proses prediksi dan pembaruan (update) terhadap data sensor secara real-time. Tahapan ini bertujuan untuk mereduksi noise, menghaluskan fluktuasi data, serta menghasilkan nilai estimasi yang lebih representatif terhadap kondisi lingkungan kandang ayam. Integrasi Kalman Filter pada level edge device (ESP32) dipilih untuk meminimalkan latensi dan mengurangi ketergantungan pada pemrosesan cloud.

Selanjutnya, pada lapisan visualisasi, data hasil pemrosesan dikirimkan ke server cloud melalui jaringan internet untuk ditampilkan dalam bentuk dashboard monitoring yang dapat diakses oleh mitra peternakan. Arsitektur ini memungkinkan pemantauan jarak jauh, pengambilan keputusan yang lebih cepat, serta menjadi fondasi bagi pengembangan sistem kontrol otomatis pada tahap penelitian selanjutnya. Secara keseluruhan, rancangan arsitektur IoT yang dihasilkan telah selaras dengan tujuan penelitian, yaitu menyediakan sistem monitoring lingkungan peternakan ayam yang akurat, real-time, dan aplikatif. Adapun rancangan arsitektur sistem IOT di peternakan ayam, di sajikan pada gambar 3.1



Gambar 3. 1 Arsitektur Sistem IOT di Peternakan Ayam

Gambar 3.1 tersebut menunjukkan rancangan arsitektur sistem IoT untuk monitoring lingkungan peternakan ayam yang dibagi ke dalam tiga lapisan utama. Pada lapisan akuisisi data, sensor MQ-135 digunakan untuk mendeteksi kualitas udara (terutama gas  $\text{NH}_3$  dan gas berbahaya lain), sedangkan sensor BH1750 berfungsi mengukur intensitas cahaya di dalam kandang. Data dari kedua sensor dikirimkan secara periodik ke mikrokontroler ESP32 pada lapisan pemrosesan, di mana algoritma Kalman Filter diterapkan untuk menyaring noise dan menghasilkan data yang lebih stabil dan akurat. Selanjutnya, data hasil

pemrosesan dikirimkan melalui jaringan internet ke cloud server pada lapisan visualisasi, sehingga dapat ditampilkan dalam bentuk dashboard monitoring yang dapat diakses secara real-time oleh pengelola peternakan melalui perangkat komputer maupun smartphone. Arsitektur ini memungkinkan pemantauan lingkungan kandang yang presisi, responsif, dan berbasis data.

### 3.2 Tahap 2 : Implementasi Kalman Filter

#### 3.2.1 Pemodelan Matematis Kalman Filter untuk Noise Sensor

Pada tahap ini, dilakukan pemodelan matematis Kalman Filter untuk mengatasi permasalahan noise pada data sensor kualitas udara dan cahaya yang diperoleh dari lingkungan peternakan ayam. Sensor MQ-135 dan BH1750 secara inheren menghasilkan data yang fluktuatif akibat gangguan lingkungan seperti perubahan suhu, kelembaban, serta interferensi elektromagnetik. Oleh karena itu, Kalman Filter dipilih sebagai estimator linier optimal untuk memperkirakan nilai sebenarnya (state) dari sistem berdasarkan data pengukuran yang bising.

Model sistem dirumuskan menggunakan persamaan state diskrit satu dimensi, dengan asumsi bahwa perubahan kondisi lingkungan berlangsung secara gradual. Tahap prediksi digunakan untuk memperkirakan state berikutnya berdasarkan model sistem, sedangkan tahap pembaruan (update) digunakan untuk mengoreksi estimasi dengan mempertimbangkan nilai pengukuran sensor dan kovarians noise. Parameter kovarians noise proses dan noise pengukuran ditentukan melalui pendekatan empiris berdasarkan karakteristik sensor dan hasil pengamatan awal. Pemodelan ini memungkinkan sistem untuk meminimalkan error estimasi tanpa mengorbankan responsivitas terhadap perubahan kondisi lingkungan kandang.

#### 3.2.2 Pemrograman Algoritma Kalman Filter

Setelah model matematis ditetapkan, algoritma Kalman Filter diimplementasikan ke dalam mikrokontroler ESP32 menggunakan bahasa pemrograman C/C++ pada lingkungan Arduino IDE. Algoritma dirancang agar dapat dijalankan secara real-time pada edge device, sehingga proses filtering tidak bergantung pada koneksi cloud dan memiliki latensi yang rendah. Struktur program mencakup inisialisasi variabel state, kovarians error, serta parameter

gain Kalman, diikuti dengan siklus prediksi dan pembaruan yang dieksekusi setiap kali data sensor diterima. Data mentah dan data hasil filtering dicatat secara simultan untuk keperluan evaluasi performa. Implementasi ini membuktikan bahwa ESP32 memiliki kapasitas komputasi yang memadai untuk menjalankan algoritma Kalman Filter secara kontinu tanpa mengganggu proses akuisisi dan transmisi data IoT.

#### 3.2.3 Simulasi Data Sintetik untuk Uji Coba Awal

Sebelum diterapkan pada data lapangan, dilakukan simulasi menggunakan data sintetik yang merepresentasikan kondisi gas amonia dan intensitas cahaya dengan penambahan noise acak. Simulasi ini bertujuan untuk memverifikasi kebenaran implementasi algoritma dan mengamati kemampuan Kalman Filter dalam mereduksi fluktuasi sinyal ekstrem (spike noise). Hasil simulasi menunjukkan bahwa data hasil filtering memiliki pola yang lebih halus dan stabil dibandingkan data mentah, tanpa menghilangkan tren perubahan yang signifikan. Evaluasi kuantitatif dilakukan dengan menghitung Mean Absolute Error (MAE) antara data sintetik referensi dan hasil estimasi Kalman Filter. Nilai MAE yang diperoleh berada di bawah ambang batas yang ditetapkan, yaitu kurang dari 1,0 ppm untuk parameter gas amonia, sehingga memenuhi indikator capaian tahap ini.

Tabel 3.1 Komparasi

Sampel	Nilai Aktual (ppm)	Sensor Mentah (ppm)	Estimasi KF (ppm)
1	5.00	6.20	5.30
2	5.10	4.50	5.05
3	5.20	6.00	5.18

Error absolut Kalman Filter :

$$|x_k - \hat{x}_k| = [0.30, 0.05, 0.02]$$

$$MAE = \frac{0.30 + 0.05 + 0.02}{3} = 0.123 \text{ ppm}$$

Nilai ini jauh lebih kecil dibandingkan MAE data mentah sensor yang umumnya berada di atas 1,5–2,0 ppm.

Tabel 3.1 menunjukkan **perbandingan antara nilai aktual kadar amonia (NH<sub>3</sub>), data sensor mentah, dan hasil estimasi Kalman Filter (KF)** pada tiga sampel pengukuran. Pada setiap sampel terlihat bahwa **sensor mentah mengalami fluktuasi yang cukup besar** terhadap nilai aktual, baik berupa overestimasi (sampel 1 dan 3) maupun underestimasi (sampel 2), yang mencerminkan adanya noise dan ketidakstabilan

pembacaan sensor MQ-135. Setelah diterapkan Kalman Filter, nilai estimasi  $\hat{x}_k$  berada **lebih dekat dengan nilai aktual** dibandingkan data mentah, dengan selisih error yang jauh lebih kecil dan konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa Kalman Filter mampu mereduksi noise pengukuran serta menghasilkan estimasi yang lebih stabil dan representatif terhadap kondisi sebenarnya. Dengan demikian, tabel ini mengonfirmasi secara empiris bahwa penerapan Kalman Filter meningkatkan akurasi pembacaan sensor dan menjadi dasar pencapaian indikator kinerja berupa penurunan error hingga berada di bawah ambang batas yang ditetapkan.

### 3.3 Tahap 3: Kalibrasi Sensor dan Uji Laboratorium

#### 3.3.1 Kalibrasi Sensor

Sebelum diimplementasikan di lapangan, seluruh sensor dikalibrasi untuk memastikan akurasi pembacaannya. Sensor MQ-135 dikalibrasi menggunakan gas standar amonia ( $\text{NH}_3$ ) dengan variasi konsentrasi 0-50 ppm dalam ruang kalibrasi terkendali suhu ( $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ) dan kelembaban ( $50\% \pm 5\%$ ). Hubungan antara output tegangan sensor dan konsentrasi gas dianalisis untuk menghasilkan kurva kalibrasi. Sementara itu, sensor BH1750 dikalibrasi menggunakan lux meter standar (LX-1010B) di bawah variasi intensitas cahaya 0-1000 lux. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa sensor MQ-135 memiliki karakteristik non-linier pada rentang rendah (0-10 ppm) dan mendekati linier pada rentang tinggi. Persamaan linearisasi yang diperoleh adalah:

$$C_{\text{NH}_3} = 3.45 \times V_{\text{out}} - 1.78 \text{ (untuk rentang 10-50 ppm)}$$

dengan  $C_{\text{NH}_3}$  dalam ppm dan  $V_{\text{out}}$  dalam volt. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0.987 menunjukkan kecocokan yang baik antara pembacaan sensor dan standar referensi. Error kalibrasi rata-rata yang diperoleh adalah 3.2%, yang memenuhi indikator capaian ( $< 5\%$ ). Untuk sensor BH1750, hasil kalibrasi menunjukkan akurasi yang sangat tinggi dengan error rata-rata hanya 1.8% di seluruh rentang pengukuran, sehingga tidak memerlukan koreksi yang signifikan.

#### 3.3.2 Uji Performa Sistem dalam Lingkungan Terkontrol

Setelah dikalibrasi, seluruh sistem IoT diuji dalam ruang laboratorium yang kondisinya dapat dikontrol. Pengujian dilakukan untuk:

1. Stabilitas Koneksi: Sistem mampu mengirim data ke cloud server secara kontinu selama 72 jam tanpa gangguan.

2. Konsumsi Daya: ESP32 dengan sensor MQ-135 dan BH1750 mengkonsumsi daya rata-rata 120 mA dalam mode aktif, yang sesuai untuk aplikasi dengan catu daya stabil.
3. Responsivitas Sistem: Latensi dari akuisisi data hingga tampil di dashboard cloud rata-rata 2.3 detik, memenuhi kriteria real-time.
4. Uji Algoritma Kalman Filter dengan Sumber Referensi: Untuk menguji efektivitas Kalman Filter, sistem dibandingkan dengan pembacaan dari gas analyzer profesional (GrayWolf Sensing Solutions PC-3016IAQ) sebagai referensi. Hasil pengujian selama 24 jam menunjukkan bahwa data hasil filtering memiliki pola yang lebih halus dan mendekati referensi dibandingkan data mentah, yang di sajikan pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Hasil Uji Kalibrasi dan Performa Awal

Parameter	Sensor	Error Kalibrasi (%)	Konsumsi Daya (mA)	Latensi (Detik)
$\text{NH}_3$ (0-50 ppm)	MQ-135	3.2	85	-
Cahaya (0-1000 lux)	BH1750	1.8	15	-
Sistem IoT (ESP32 + Sensor)	-	-	120	2.3

Hasil uji laboratorium ini memvalidasi bahwa sistem yang dirancang memenuhi persyaratan teknis dasar dan siap untuk diimplementasikan di lingkungan lapangan yang lebih dinamis dan menantang.

### 3.4 Tahap 4: Uji Lapangan dan Analisis Performa

#### 3.4.1 Deploy Sistem dan Pengumpulan Data Real-Time

Sistem IoT dideploy di Peternakan Ayam Rian sebagai mitra penelitian. Perangkat ditempatkan di dua titik strategis dalam kandang tertutup berukuran 10m x 20m dengan populasi  $\pm 2000$  ekor ayam broiler berusia 3 minggu. Pengumpulan data dilakukan secara kontinu selama 30 hari dengan interval sampling 5 menit, menghasilkan total 8640 sampel untuk setiap parameter ( $\text{NH}_3$  dan intensitas cahaya).

Selama periode pengujian, sistem beroperasi dengan stabil tanpa gangguan hardware yang signifikan. Data mentah dari sensor serta data hasil filtering oleh Kalman Filter dicatat secara simultan. Sebagai pembandingan untuk analisis akurasi, pengukuran spot check harian dilakukan menggunakan gas detector portabel (MSA Altair 5X) untuk  $\text{NH}_3$  dan lux meter untuk intensitas cahaya.

### 3.4.2 Analisis Statistik: MAE dan RMSE

Data hasil pengukuran lapangan dianalisis menggunakan dua metrik evaluasi utama: Mean Absolute Error (MAE) dan Root Mean Square Error (RMSE). MAE dihitung untuk mengukur rata-rata kesalahan absolut antara data estimasi (hasil filter) dengan data referensi (pengukuran spot check), sementara RMSE memberikan bobot lebih besar terhadap kesalahan besar (*spike noise*).

Rumus yang digunakan adalah:

1. **Mean Absolute Error (MAE):**

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

2. **Root Mean Square Error (RMSE):**

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

dengan:

- $n$  = jumlah sampel
- $y_i$  = nilai referensi ke- $i$
- $\hat{y}_i$  = nilai estimasi (hasil filter) ke- $i$

Tabel 3.3 Hasil Analisis MAE dan RMSE untuk Parameter NH<sub>3</sub> dan Cahaya

Parameter	Kondisi Data	MAE	RMSE	Peningkatan Akurasi*
NH <sub>3</sub> (ppm)	Sensor mentah	2.15 ppm	3.02 ppm	-
	Setelah Kalman Filter	0.78 ppm	1.05 ppm	63.7%
Cahaya (lux)	Sensor mentah	45.2 lux	68.7 lux	-
	Setelah Kalman Filter	18.3 lux	25.6 lux	59.5%

Peningkatan akurasi dihitung berdasarkan penurunan MAE.

$$MAE : = \frac{MAE \text{ mentah} - MAE \text{ filter}}{MAE \text{ mentah}} \times 100\%$$

### 3.4.3 Pembahasan Hasil Uji Lapangan

Hasil pada Tabel 3.3 menunjukkan bahwa algoritma Kalman Filter berhasil meningkatkan akurasi sistem secara signifikan. Untuk parameter NH<sub>3</sub>, MAE turun dari 2.15 ppm menjadi 0.78 ppm, yang berarti peningkatan akurasi sebesar 63.7%. Nilai RMSE yang lebih tinggi daripada MAE (baik sebelum maupun setelah filtering) mengindikasikan adanya beberapa *spike noise* dengan magnitudo besar dalam data mentah. Namun, rasio RMSE/MAE setelah filtering (1.35) lebih rendah dibandingkan sebelum filtering (1.40), menunjukkan bahwa Kalman Filter juga efektif dalam meredam noise ekstrem tersebut.

Untuk parameter cahaya, peningkatan akurasi juga signifikan (59.5%), meskipun secara absolut error-nya dalam satuan lux. Pola ini konsisten dan mengkonfirmasi bahwa Kalman Filter tidak hanya berlaku untuk data gas, tetapi juga efektif untuk sensor optik dalam lingkungan yang dinamis.

Dengan peningkatan akurasi di atas 50% untuk kedua parameter, indikator capaian tahap uji lapangan telah terpenuhi. Sistem tidak hanya lebih akurat, tetapi juga menghasilkan data yang lebih stabil dan dapat diandalkan untuk dijadikan dasar pengambilan keputusan manajemen kandang, seperti mengaktifkan ventilasi saat kadar NH<sub>3</sub> mendekati ambang batas aman (misalnya 5 ppm).

### 3.4.4 Kendala dan Solusi Selama Uji Lapangan

Beberapa kendala yang dihadapi selama uji lapangan antara lain:

1. Variasi Suhu dan Kelembaban Ekstrem: Mempengaruhi respon sensor MQ-135. Solusi: Data suhu dan kelembaban dari sensor tambahan DHT22 dapat diintegrasikan sebagai input korektif pada model Kalman Filter di penelitian lanjutan.
2. Debu dan Kontaminasi: Menutupi permukaan sensor. Solusi: Pembersihan sensor rutin setiap 3 hari dan penggunaan filter udara sederhana pada housing sensor.
3. Fluktuasi Koneksi Internet: Mengganggu pengiriman data ke cloud. Solusi: ESP32 diprogram untuk menyimpan data sementara dalam memori flash lokal jika jaringan terputus, dan mengirimkan data yang tertunda saat koneksi pulih.

Secara keseluruhan, uji lapangan berhasil membuktikan bahwa sistem IoT dengan Kalman Filter yang dikembangkan layak, andal, dan memberikan nilai tambah yang nyata dalam konteks monitoring lingkungan peternakan ayam modern.

#### 4 Kesimpulan

Berdasarkan seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan, mulai dari perancangan, implementasi, kalibrasi, hingga uji lapangan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem monitoring berbasis IoT untuk kualitas udara dan cahaya telah berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan menggunakan sensor MQ-135 (NH<sub>3</sub>) dan BH1750 (cahaya) serta mikrokontroler ESP32. Sistem ini mampu melakukan akuisisi data secara real-time dan mentransmisikannya ke cloud untuk visualisasi yang dapat diakses dari jarak jauh, memenuhi kebutuhan dasar monitoring lingkungan peternakan ayam modern.
2. Algoritma Kalman Filter berhasil diimplementasikan pada ESP32 dan terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas data sensor. Hasil uji laboratorium dan simulasi menunjukkan kemampuan algoritma dalam mereduksi noise secara signifikan. Kalibrasi sensor menghasilkan error di bawah 5% (3.2% untuk MQ-135 dan 1.8% untuk BH1750), yang memvalidasi akurasi dasar perangkat keras sebelum penerapan pemrosesan data.
3. Hasil uji lapangan selama 30 hari membuktikan performa superior sistem dalam kondisi nyata. Analisis statistik dengan metrik MAE dan RMSE menunjukkan peningkatan akurasi yang sangat signifikan. Untuk parameter NH<sub>3</sub>, MAE turun dari 2.15 ppm menjadi 0.78 ppm (peningkatan akurasi 63.7%), sementara untuk parameter cahaya, MAE turun dari 45.2 lux menjadi 18.3 lux (peningkatan akurasi 59.5%). Nilai RMSE yang lebih rendah setelah filtering juga mengindikasikan keberhasilan algoritma dalam menekan spike noise. Capaian ini melampaui indikator kinerja yang ditetapkan (akurasi  $\geq 50\%$ ).

#### References:

- [1] D. Andarini M. Lestari, and M. Bahruddin. Risk Analysis of Ammonia Exposure At Chicken Farm Workers in Lembak, South Sumatera. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*. 2017 ; vol.8 No.2 pp.74-82
- [2] I. A. Ashari, R.A. Setiawan, and K.Nisa. Sistem Informasi Deteksi Dini Gas Amonia di Lingkungan Peternakan Menggunakan Perangkat Wireless

Sensor Network. *Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi*. 2020 ; vol.1 No.2 pp.7-10

- [3] Imam, Naufal Abdillah. Sistem Pemantau Suhu dan Kelembaban Pada Kandang Ayam Berbasis Internet of Things. *Jurnal Rekayasa Sistem Informasi dan Teknologi*. 2020 ; vol.2 No.1
- [4] Kementerian Pertanian. Dampak COVID-19 Terhadap Sektor Pertanian, Biro Perencanaan Sekretariat Jenderal Kementerian Pertanian. *Buletin Perencanaan Pembangunan Pertanian*. 2020 : 1(2)
- [5] Kori, AD., Sudarma, I. M. A., & Sirappa, I.P. Analisis Pendapatan dan Kelayakan Usaha Peternak Ayam Boiler Dengan Sistem Mandiri Milik Bapak Muchtar Djakaria di Kelurahan Kambajawa. *Jurnal Peternakan Sabana*. 2023 ; 2(2), 97
- [6] M. Bilal and U.Umar. Perancangan Sistem Monitoring dan Kontrolling Suhu dan Kadar Gas Amonia Pada Kandang Ayam Berbasis Mikrokontroler NodeMCU. *Jurnal Teknik Elektro*. 2020 : vol.21, no.1, pp.20-25
- [7] Pendriadi, Selamat Meliala, Muchlish Abdul Muthalib dan Andik Bintoro. Studi Kadar Gas Amonia MQ135 Menggunakan Spreadsheet Berbasis IoT. *Transmisi : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*. 2023 : 25(2)
- [8] <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NDg4IzI=/produksi-daging-ayam-ras-pedaging-menurut-provinsi.html> (di akses 31 Mei 2025)