

Analisis Kinerja Sensor Menggunakan Kalibrasi Relatif pada Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT

Welly Yana, Retno Dwi Handayani

Program Studi Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer
Institut Informatika dan Bisnis Darmajaya
Bandar Lampung, Indonesia
retnodh84@darnajaya.ac.id

Abstract- This study aims to analyze sensor performance using a relative calibration approach in an Internet of Things (IoT)-based air quality monitoring system. The monitoring system utilizes the MQ-135 sensor for gas detection, the DHT11 sensor for temperature and humidity measurement, and the GP2Y1010AU0F sensor for particulate matter detection. The system was implemented in the meeting room of Diskominfo Lampung as the testing environment.

Testing was conducted through a relative calibration process by exposing the sensors to test media such as lighter gas, paper combustion smoke, and dust particles to represent various air quality conditions. A total of 990 data samples were collected before and after the calibration process. Sensor performance analysis was carried out using mean values and data range parameters to evaluate reading stability and sensor noise levels.

The results show that the relative calibration process improved the stability and consistency of sensor readings. The temperature range decreased from 11.4°C to 2.7°C, the gas sensor range decreased from 11.62 to 3.30, and the dust sensor range decreased from 92.52 to 35.20. In addition, humidity data fluctuations became more controlled after the calibration process.

The reduction in data range and extreme values indicates that the relative calibration approach is effective in reducing noise and improving sensor performance in IoT-based air quality monitoring systems. Therefore, the developed system is feasible for real-time indoor air quality monitoring with relatively low implementation costs.

Keywords: Sensor Performance, Relative Calibration, Internet of Things (IoT), Air Quality Monitoring, Sensor Monitoring

Abstrak Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sensor menggunakan pendekatan kalibrasi relatif pada sistem monitoring kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT). Sistem monitoring menggunakan sensor MQ-135 untuk mendeteksi gas, sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban, serta sensor GP2Y1010AU0F untuk mendeteksi partikel debu. Implementasi sistem dilakukan pada ruang rapat Diskominfo Lampung sebagai lingkungan pengujian.

Pengujian dilakukan melalui proses kalibrasi relatif dengan memberikan media uji berupa gas korek api, asap pembakaran kertas, dan partikel debu untuk merepresentasikan variasi kondisi udara. Sebanyak 990 data sampel dikumpulkan sebelum dan sesudah proses kalibrasi. Analisis kinerja sensor dilakukan menggunakan parameter nilai rata-rata dan rentang data untuk mengevaluasi kestabilan pembacaan serta tingkat noise sensor.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses kalibrasi relatif mampu meningkatkan kestabilan dan konsistensi pembacaan sensor. Rentang suhu menurun dari 11,4°C menjadi 2,7°C, rentang sensor gas menurun dari 11,62 menjadi 3,30, dan rentang sensor debu menurun dari 92,52 menjadi 35,20. Selain itu, fluktuasi data kelembaban menjadi lebih terkendali setelah proses kalibrasi.

Penurunan rentang data dan berkurangnya nilai ekstrem menunjukkan bahwa pendekatan kalibrasi relatif efektif dalam mengurangi noise dan meningkatkan performa sensor pada sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan layak digunakan untuk pemantauan kualitas udara dalam ruangan secara real-time dengan biaya implementasi yang relatif rendah.

Kata Kunci: Kinerja Sensor, Kalibrasi Relatif, Internet of Things (IoT), Monitoring Kualitas Udara, Sensor Monitoring

1. Pendahuluan

Kualitas udara di dalam ruangan merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi kesehatan, kenyamanan, dan produktivitas pengguna ruangan. Kondisi udara yang mengandung polutan gas, partikel

debu, serta suhu dan kelembaban yang tidak berada pada kisaran ideal dapat menurunkan kualitas lingkungan kerja dan meningkatkan risiko gangguan kesehatan. Oleh karena itu, pemantauan kualitas udara pada ruang tertutup perlu



dilakukan secara berkala sebagai upaya menjaga kenyamanan pengguna ruangan [1], [2], [3], [4].

Pada lingkungan perkantoran, ruang rapat merupakan fasilitas yang memiliki tingkat penggunaan cukup tinggi untuk kegiatan koordinasi, diskusi, dan pengambilan keputusan. Aktivitas tersebut dapat memengaruhi kondisi udara di dalam ruangan akibat peningkatan suhu, perubahan kelembaban, akumulasi gas, maupun partikel debu, terutama ketika sirkulasi udara tidak berjalan optimal. Pada Diskominfotik Lampung, ruang rapat digunakan secara rutin untuk pelaksanaan rapat internal maupun koordinasi antar bidang. Namun, kondisi kualitas udara pada ruangan tersebut belum dapat dipantau secara langsung dan berkelanjutan sehingga perubahan kondisi udara selama penggunaan ruangan sulit diketahui secara cepat [3], [5], [6].

Perkembangan Internet of Things (IoT) memungkinkan perangkat sensor terintegrasi dengan jaringan internet sehingga data hasil pengukuran dapat dikirim, disimpan, dan dipantau secara daring. Penerapan IoT pada sistem monitoring memberikan kemudahan dalam pengawasan kondisi lingkungan secara real-time, efisiensi proses pemantauan, serta ketersediaan data historis untuk kebutuhan evaluasi [2], [4], [7], [8], [6].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor MQ-135, DHT11, dan sensor debu. Sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada perancangan perangkat keras, komunikasi data, serta penyajian hasil monitoring secara real-time. Namun, evaluasi mengenai peningkatan kinerja sensor setelah proses kalibrasi, khususnya melalui pendekatan kalibrasi relatif pada implementasi di lingkungan perkantoran, masih terbatas. Selain itu, analisis yang membandingkan kestabilan pembacaan sensor, penurunan noise, dan perubahan rentang data sebelum dan sesudah kalibrasi belum banyak dilaporkan secara kuantitatif.

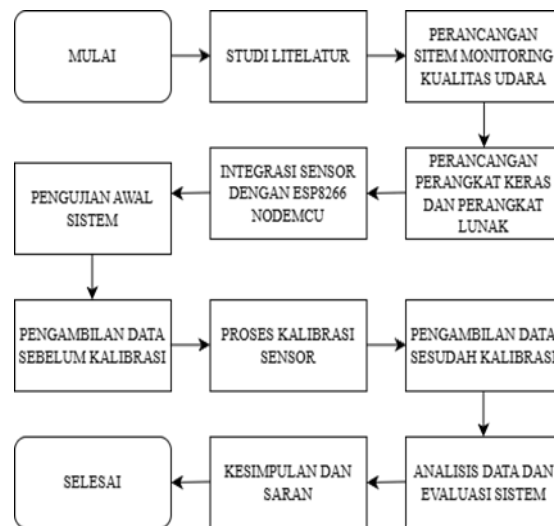
Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat research gap berupa masih terbatasnya kajian yang mengevaluasi efektivitas kalibrasi relatif dalam meningkatkan performa sensor berbiaya rendah pada sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada analisis kinerja sensor MQ-135, DHT11, dan GP2Y1010AU0F melalui perbandingan hasil pembacaan sebelum dan sesudah proses kalibrasi relatif menggunakan 990 data pengukuran. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi peningkatan kestabilan pembacaan, pengurangan noise, serta perubahan rentang data sehingga dapat memberikan gambaran mengenai efektivitas kalibrasi relatif pada

implementasi sistem monitoring kualitas udara di lingkungan perkantoran. [1], [2], [4], [9], [10], [11].

Penelitian ini difokuskan pada evaluasi performa sensor berbiaya rendah untuk mengetahui efektivitas kalibrasi relatif dalam meningkatkan kualitas data monitoring kualitas udara secara real-time. [10], [12].

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif dengan pendekatan *design and build* untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem monitoring kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT). Tahapan penelitian disusun secara sistematis sesuai dengan diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1, dimulai dari studi literatur hingga penarikan kesimpulan.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

A. Studi Litelatur

Tahap awal penelitian dilakukan melalui studi literatur untuk memperoleh landasan teori yang mendukung penelitian. Kajian dilakukan terhadap berbagai referensi mengenai konsep *Internet of Things* (IoT), sistem monitoring kualitas udara, karakteristik sensor MQ-135, DHT11, dan GP2Y1010AU0F, metode kalibrasi sensor, serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan monitoring kualitas udara berbasis IoT. Hasil studi literatur digunakan sebagai dasar dalam menentukan rancangan sistem, metode pengujian, parameter evaluasi, dan teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian. [8], [11], [13]

B. Perancangan Sistem

Berdasarkan hasil studi literatur, dilakukan perancangan sistem monitoring kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) yang terdiri atas perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras meliputi ESP8266 NodeMCU sebagai pengendali utama, sensor MQ-135 sebagai pendeteksi gas, sensor DHT11 sebagai pengukur suhu dan kelembaban, sensor GP2Y1010AU0F sebagai pendeteksi partikel debu, LCD I2C sebagai media tampilan lokal, LED indikator

sebagai penanda kondisi kualitas udara, serta jaringan WiFi sebagai media komunikasi data. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE untuk mengendalikan proses pembacaan sensor, pengolahan data, pengendalian LCD, serta pengaturan komunikasi data antar perangkat sehingga sistem dapat melakukan pemantauan kondisi kualitas udara secara real-time.

C. Implementasi Sistem

Tahap implementasi dilakukan dengan merakit seluruh komponen perangkat keras sesuai dengan rancangan sistem, kemudian mengintegrasikan sensor MQ-135, DHT11, dan GP2Y1010AU0F dengan mikrokontroler ESP8266 NodeMCU. Selanjutnya dilakukan pengembangan program menggunakan Arduino IDE untuk mengatur proses pembacaan data sensor, pengolahan data, pengendalian LCD I2C, serta LED indikator sebagai penanda kondisi kualitas udara. Setelah seluruh komponen terintegrasi dan berfungsi dengan baik, sistem diimplementasikan di ruang rapat Diskominfo Provinsi Lampung sebagai lokasi penelitian [4], [7], [6].

D. Pengujian Awal Sistem

Sebelum proses pengambilan data dilakukan, sistem diuji untuk memastikan seluruh komponen berfungsi sesuai dengan perancangan. Pengujian meliputi fungsi sensor MQ-135, DHT11, dan GP2Y1010AU0F, tampilan LCD, LED indikator, konektivitas WiFi, serta proses pengiriman data menuju dashboard monitoring. Tahap ini bertujuan memastikan sistem berada dalam kondisi normal sehingga layak digunakan untuk proses pengambilan data penelitian. [1], [2], [12].

E. Pengambilan Data Sebelum Kalibrasi

Pengambilan data awal dilakukan setelah sistem dinyatakan berfungsi dengan baik. Data dikumpulkan secara periodik pada ruang rapat Diskominfo Provinsi Lampung dengan jumlah 990 data pembacaan yang terdiri atas data suhu, kelembapan, konsentrasi gas, dan partikel debu. Data sebelum kalibrasi digunakan sebagai kondisi awal untuk mengevaluasi performa sensor sebelum dilakukan proses kalibrasi relatif. [1], [10], [12]

F. Kalibrasi Relatif

Kalibrasi dilakukan menggunakan pendekatan kalibrasi relatif dengan memberikan media uji berupa gas korek api, asap pembakaran kertas, dan partikel debu untuk merepresentasikan variasi kondisi kualitas udara. Proses ini bertujuan meningkatkan kestabilan

$$R = x_{max} - x_{min}$$

Keterangan:

- R = rentang data

pembacaan sensor, mengurangi fluktuasi data, serta menekan pengaruh *noise* yang muncul akibat perubahan kondisi lingkungan. Selain itu, proses kalibrasi juga mempertimbangkan adanya data ekstrem (*outlier*) yang muncul pada awal pembacaan sensor akibat proses *warm-up*, sehingga dilakukan penyesuaian terhadap hasil pembacaan agar data yang diperoleh lebih stabil dan konsisten.

G. Pengambilan Data Sesudah Kalibrasi

Setelah proses kalibrasi selesai, dilakukan kembali pengambilan data menggunakan prosedur yang sama seperti pada tahap sebelum kalibrasi. Sebanyak 990 data pembacaan dikumpulkan untuk memperoleh kondisi sensor setelah dilakukan kalibrasi relatif. Data tersebut digunakan sebagai dasar untuk membandingkan perubahan performa sensor sebelum dan sesudah proses kalibrasi.

H. Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis dengan membandingkan hasil pembacaan sensor sebelum dan sesudah proses kalibrasi relatif. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi perubahan performa sensor berdasarkan tingkat kestabilan pembacaan, penurunan *noise*, kualitas komunikasi data, serta efektivitas sistem monitoring kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT).

Analisis data menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan menghitung nilai rata-rata, nilai minimum, nilai maksimum, rentang data, waktu tunda (delay), dan persentase keberhasilan transmisi data. Hasil analisis sebelum dan sesudah kalibrasi dibandingkan untuk mengetahui efektivitas kalibrasi relatif dalam meningkatkan kestabilan pembacaan sensor serta mengurangi noise pada sistem monitoring kualitas udara.

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan persamaan sebagai berikut.

1. Analisis Nilai Rata-rata

Nilai rata-rata digunakan untuk mengetahui kecenderungan umum hasil pembacaan sensor selama periode pengamatan.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Keterangan:

- $\bar{X}$ = nilai rata-rata data
- $\sum_{i=1}^n x_i$ = jumlah seluruh data pengukuran
- n = banyaknya data

2. Analisis Rentang Data

Rentang data digunakan untuk mengevaluasi kestabilan pembacaan sensor. Nilai rentang yang lebih kecil menunjukkan variasi data yang lebih terkendali.

- x_{max} = nilai maksimum
- x_{min} = nilai minimum



3. Analisis Delay Sistem

Analisis delay dilakukan untuk mengetahui selang waktu antara data dibaca sensor dan data ditampilkan pada dashboard.

$$\text{Delay} = t_{\text{dashboard}} - t_{\text{sensor}}$$

Keterangan:

- $t_{\text{dashboard}}$ = waktu pembacaan sensor
- t_{sensor} = waktu data tampil pada dashboard

4. Analisis Keberhasilan Transmisi Data

1. Keandalan komunikasi sistem dihitung berdasarkan persentase data yang berhasil dikirim ke dashboard.
2. $\text{Success}(\%) = \frac{\text{Data Terkirim}}{\text{Total Percobaan}} \times 100\%$
3. Semakin tinggi nilai persentase keberhasilan, maka semakin baik kinerja sistem komunikasi data.

3. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Implementasi Sistem

Sistem monitoring kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) berhasil diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP8266 NodeMCU yang terintegrasi dengan sensor MQ-135, DHT11, dan GP2Y1010AU0F. Sistem dirancang untuk

melakukan pemantauan kondisi udara secara *real-time* melalui LCD I2C [4], [8], [11], [13].

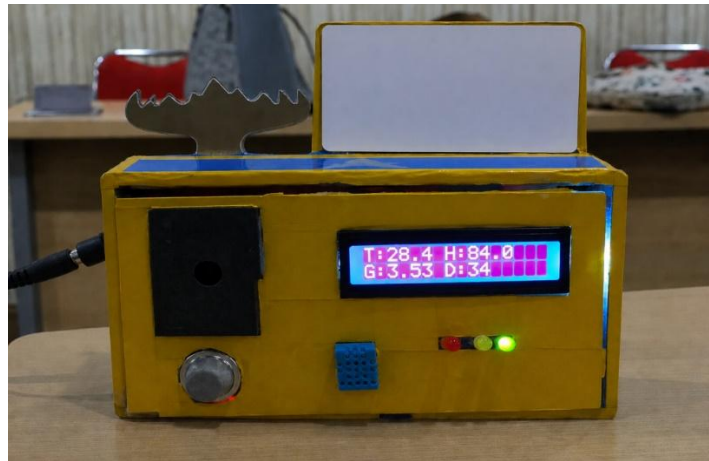
Sensor MQ-135 digunakan untuk mendeteksi konsentrasi gas, sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban, sedangkan sensor GP2Y1010AU0F digunakan untuk mendeteksi konsentrasi partikel debu. Seluruh data hasil pembacaan diproses oleh ESP8266 NodeMCU melalui jaringan WiFi. [5], [13], [14]

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu mengumpulkan 990 data pengukuran selama proses pengujian sebelum dan sesudah kalibrasi. Seluruh parameter yang meliputi suhu, kelembaban, konsentrasi gas, dan partikel debu berhasil ditampilkan pada LCD maupun *dashboard* secara *real-time*. Selain itu, sistem mampu mempertahankan komunikasi data dengan rata-rata waktu tunda (*delay*) sebesar 1,9 detik, sehingga proses pemantauan dapat berlangsung secara kontinu.

Implementasi sistem ini menjadi dasar dalam melakukan analisis kinerja sensor sebelum dan sesudah proses kalibrasi relatif untuk mengevaluasi perubahan kestabilan pembacaan, penurunan *noise*, serta peningkatan kualitas data hasil pengukuran.

B. Analisis Tampilan Monitoring pada LCD

Sistem monitoring kualitas udara menampilkan hasil pembacaan sensor melalui LCD secara *real-time*. Informasi yang ditampilkan meliputi suhu, kelembaban, konsentrasi gas, dan partikel debu yang diperoleh dari sensor DHT11, MQ-135, dan GP2Y1010AU0F [8], [11], [13]



Gambar 2. Tampilan Monitoring Sistem pada LCD

Berdasarkan tampilan pada Gambar 2, LCD mampu menampilkan informasi suhu, kelembaban, konsentrasi gas, dan partikel debu secara langsung. Tampilan LCD

digunakan sebagai media monitoring lokal sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi kualitas udara secara cepat.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sinkronisasi data yang tampil pada LCD berjalan dengan baik selama proses monitoring berlangsung sehingga sistem mampu melakukan pengiriman data secara langsung stabil dan berkelanjutan. [4], [8], [13]. Proses kalibrasi relatif. Tampilan monitoring yang stabil menunjukkan bahwa integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan sistem

komunikasi data berjalan sesuai perancangan. Analisis tampilan monitoring dilakukan melalui observasi langsung oleh peneliti selama sistem beroperasi serta uji penggunaan oleh pengguna di Diskominfotik Provinsi Lampung. Pengujian difokuskan pada kesesuaian tampilan data antara LCD I2C respons sensor terhadap perubahan kondisi udara, keberhasilan pengiriman data,

sinkronisasi data, dan fungsi indikator kualitas udara. Hasil pengujian kemudian digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi kinerja sistem monitoring yang telah dikembangkan.

Tabel 1. Analisis Tampilan Monitoring Sistem

No	Parameter Monitoring	Tampilan LCD	Hasil Analisis
1	Suhu	Tampil stabil	Data berhasil ditampilkan dengan baik
2	Kelembaban	Tampil normal	Pembacaan data konsisten
3	Gas (MQ-135)	Responsif terhadap perubahan udara	Sensor mampu mendeteksi perubahan kondisi udara
4	Debu (GP2Y1010AU0F)	Fluktuasi ringan	Monitoring partikel debu berjalan baik
5	Status kualitas udara	LED indikator aktif	Sistem berjalan sesuai logika monitoring
6	Pengiriman data	Data terus diperbarui	Komunikasi IoT berjalan stabil

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 2, Berdasarkan hasil observasi peneliti dan uji penggunaan oleh pengguna di Diskominfotik Provinsi Lampung, sistem monitoring kualitas udara mampu menampilkan data sensor secara konsisten pada LCD. Sinkronisasi data berjalan dengan baik, proses pembaruan informasi berlangsung secara real-time, dan komunikasi data melalui jaringan internet tetap stabil selama pengujian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem telah berfungsi sesuai dengan rancangan dan dapat digunakan

untuk mendukung pemantauan kualitas udara di lingkungan kerja.

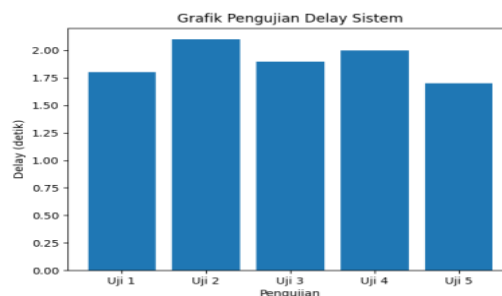
C. Hasil Pengujian Delay Sistem

Pengujian delay dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan sistem sejak sensor melakukan pembacaan hingga hasil pengukuran ditampilkan pada LCD. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi respons sistem dalam menampilkan informasi kualitas udara secara langsung.

Tabel 2. Hasil pengujian delay sistem

No	Percobaan	Delay (detik)
1	Uji 1	1.8
2	Uji 2	2.1
3	Uji 3	1.9
4	Uji 4	2.0
5	Uji 5	1.7

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4, diperoleh rata-rata delay sistem sebesar 1,9 detik. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan hasil pembacaan sensor pada LCD dalam waktu yang relatif singkat sehingga informasi kondisi kualitas udara dapat dipantau secara langsung. Perbedaan nilai delay pada setiap percobaan dipengaruhi oleh waktu pemrosesan data pada mikrokontroler dan respons pembacaan sensor selama proses pengujian [7], [15], [6].



Gambar 3. Grafik hasil pengujian delay sistem

Berdasarkan Gambar 4, nilai delay sistem relatif stabil pada setiap percobaan dengan rentang **1,7 hingga 2,1 detik**. Tidak terdapat lonjakan yang signifikan sehingga menunjukkan bahwa sistem memiliki konsistensi dalam memproses data hasil pembacaan sensor. Rata-rata delay sebesar **1,9 detik** menunjukkan bahwa sistem memiliki respons yang baik dalam menampilkan informasi kualitas udara secara real-time melalui LCD. Rata-rata delay sebesar 1,9 detik menunjukkan bahwa sistem memiliki respon yang cukup baik dalam proses pengiriman data untuk kebutuhan monitoring kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT).

D. Hasil Pengujian Sensor Sebelum Kalibrasi

Pengujian sensor sebelum kalibrasi dilakukan untuk memperoleh kondisi awal pembacaan sensor sebelum diterapkan proses kalibrasi relatif. Pengujian ini bertujuan mengevaluasi tingkat kestabilan, variasi pembacaan, serta karakteristik data yang dihasilkan oleh sensor DHT11, MQ-135, dan GP2Y1010AU0F pada kondisi operasional awal. Selain itu, pengujian ini digunakan sebagai dasar pembandingan untuk menilai peningkatan kinerja sensor setelah proses kalibrasi. Berdasarkan hasil pengujian awal, masih ditemukan fluktuasi pembacaan yang cukup tinggi serta beberapa nilai ekstrem (*outlier*) pada data sensor. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh proses stabilisasi awal (*warm-up*) sensor dan sensitivitas sensor terhadap perubahan kondisi lingkungan secara tiba-tiba. [1], [10], [12].

Tabel 3. Pengujian sensor sebelum kalibrasi

No	Sensor	Nilai Rata-rata	Nilai Minimum	Nilai Maksimum	Rentang Data	Kondisi Awal	Noise/Error
1	DHT11 (Suhu)	29.17 °C	25.6 °C	37.0 °C	11.4 °C	Fluktuatif	Sedang
2	DHT11 (Kelembaban)	60.65 %	36 %	95 %	59 %	Tidak stabil	Tinggi
3	MQ-135	2.72	0.13	11.75	11.62	Lonjakan tinggi	Tinggi
4	GP2Y1010AU0F	42.07	0.53	93.05	92.52	Variasi besar	Tinggi

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5, sensor MQ-135 dan GP2Y1010AU0F masih mengalami fluktuasi pembacaan yang cukup tinggi. Kondisi tersebut terlihat dari rentang data yang lebar serta adanya lonjakan nilai maksimum pada beberapa hasil pengukuran.

Sensor DHT11 juga menunjukkan variasi pembacaan yang cukup signifikan, khususnya pada parameter kelembaban yang memiliki perbedaan cukup besar antara nilai minimum dan maksimum. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pembacaan sensor belum sepenuhnya stabil dan masih dipengaruhi oleh noise maupun perubahan kondisi lingkungan sekitar.

Hasil pengujian awal ini menunjukkan bahwa diperlukan proses kalibrasi relatif untuk meningkatkan kestabilan pembacaan, mengurangi fluktuasi data, serta memperbaiki konsistensi hasil pengukuran sehingga

sistem monitoring dapat bekerja dengan lebih optimal [1], [12].

E. Hasil Kalibrasi Sensor

Setelah dilakukan proses kalibrasi, dilakukan kembali pengambilan data sebanyak 990 sampel untuk mengevaluasi perubahan performa sensor. Proses kalibrasi pada penelitian ini dilakukan secara relatif melalui penyesuaian respons sensor terhadap media uji tanpa menggunakan alat referensi standar. Tujuan dari proses ini adalah untuk mengurangi tingkat *noise*, memperbaiki kestabilan pembacaan, serta meningkatkan konsistensi data yang dihasilkan oleh setiap sensor. Data hasil pengujian setelah kalibrasi kemudian dibandingkan dengan data sebelum kalibrasi untuk mengetahui tingkat peningkatan performa sistem monitoring kualitas udara yang telah dikembangkan. [10], [12]

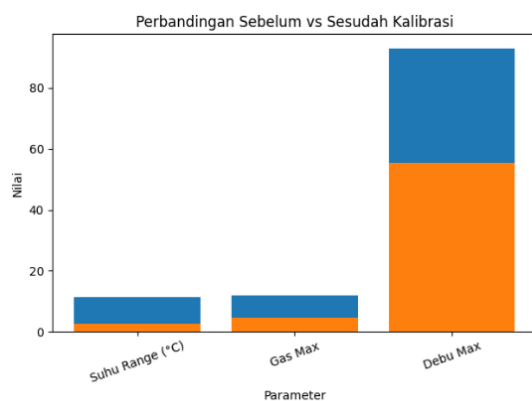
Tabel 4. Hasil kalibrasi sensor

No	Sensor	Nilai Rata-rata	Nilai Minimum	Nilai Maksimum	Rentang Data	Kondisi Setelah Kalibrasi	Penurunan Noise
1	DHT11 (Suhu)	28.95 °C	27.8 °C	30.5 °C	2.7 °C	Stabil	Tinggi
2	DHT11 (Kelembaban)	62.10 %	55 %	70 %	15 %	Lebih konsisten	Tinggi

3	MQ-135	2.10	1.20	4.50	3.30	Stabil	Tinggi
4	GP2Y1010AU0F	38.50	20.10	55.30	35.20	Lebih stabil	Sedang– Tinggi

Tabel 6. Hasil kalibrasi menunjukkan penurunan rentang data pada seluruh sensor. Sensor MQ-135 mengalami penurunan rentang dari 11.62 menjadi 3.30, sedangkan sensor debu turun dari 92.52 menjadi 35.20. Pada sensor DHT11, rentang suhu menurun dari 11.4 °C menjadi 2.7 °C dan kelembaban dari 59% menjadi 15%.

Temuan ini menunjukkan bahwa proses kalibrasi berhasil mengurangi noise, meningkatkan kestabilan data, dan memperbaiki konsistensi hasil pembacaan sensor [1], [12].



Gambar 4. Grafik perbandingan sebelum dan sesudah kalibrasi

Berdasarkan Gambar 5, terlihat bahwa seluruh parameter mengalami penurunan nilai setelah proses kalibrasi. Rentang suhu menurun secara signifikan dari 11,4°C menjadi 2,7°C, nilai maksimum gas dari 11,75 menjadi 4,50, serta nilai maksimum debu dari 93,05 menjadi 55,30. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa kalibrasi relatif berhasil mengurangi fluktuasi data dan menekan nilai ekstrem sehingga kestabilan serta konsistensi pembacaan sensor mengalami peningkatan setelah proses kalibrasi. Hasil ini menunjukkan bahwa proses kalibrasi relatif cukup efektif dalam meningkatkan kualitas data sensor pada sistem monitoring kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT). [1], [2], [12]

F. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) mampu bekerja sesuai dengan rancangan dan memenuhi kebutuhan pemantauan kualitas udara dalam ruangan. Sistem berhasil melakukan pembacaan parameter suhu, kelembapan, konsentrasi gas, dan partikel debu menggunakan sensor DHT11, MQ-135, dan GP2Y1010AU0F, serta menampilkan hasil pengukuran melalui LCD I2C secara real-time. [4], [8], [11], [13]

Rata-rata delay sebesar 1.9 detik menunjukkan bahwa sistem memiliki respon yang cukup baik untuk aplikasi monitoring dalam ruangan. Selain itu, pengujian konektivitas menunjukkan bahwa komunikasi data berjalan stabil selama proses pengamatan.

Kalibrasi relatif memberikan dampak signifikan terhadap kualitas data sensor. Penurunan rentang pembacaan menunjukkan berkurangnya variabilitas data, yang mengindikasikan peningkatan kestabilan sensor.

Selain itu, berkurangnya nilai maksimum pada sensor gas dan debu menunjukkan bahwa noise atau lonjakan pembacaan berhasil diminimalkan [10], [12], hal ini menandakan bahwa sensor memiliki respons yang lebih terkendali terhadap perubahan lingkungan. Hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa sensor berbiaya rendah memerlukan kalibrasi agar layak digunakan pada sistem monitoring berbasis IoT [2], [5], [8].

Dengan demikian, kombinasi antara perangkat keras sederhana, komunikasi internet, dan proses kalibrasi mampu menghasilkan sistem monitoring yang efektif serta ekonomis [1], [2], [4], [6].

Penurunan rentang data setelah kalibrasi menunjukkan bahwa variabilitas data berhasil ditekan secara signifikan. Rentang suhu menurun dari 11,4°C menjadi 2,7°C, disertai penurunan nilai maksimum pada sensor gas dan debu. Hal ini mengindikasikan bahwa kalibrasi relatif mampu mengurangi noise dan meningkatkan reliabilitas sistem. Sensor berbiaya rendah memiliki sensitivitas tinggi terhadap gangguan lingkungan, sehingga proses kalibrasi menjadi faktor penting dalam meningkatkan kualitas pengukuran.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP8266 NodeMCU, sensor MQ-135, DHT11, dan GP2Y1010AU0F untuk memantau kondisi udara dalam ruangan secara real-time. Sistem mampu melakukan pembacaan parameter suhu, kelembapan, konsentrasi gas, dan partikel debu serta menampilkan hasil pengukuran melalui LCD dengan rata-rata waktu tunda (delay) sebesar 1,9 detik, sehingga menunjukkan respons sistem yang baik dalam proses pemantauan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa proses kalibrasi relatif mampu meningkatkan kualitas pembacaan sensor. Hal ini ditunjukkan oleh penurunan rentang data pada seluruh sensor, yaitu rentang suhu dari 11,4°C menjadi 2,7°C, kelembapan dari 59% menjadi 15%, sensor MQ-135 dari 11,62 menjadi 3,30, dan sensor

GP2Y1010AU0F dari 92,52 menjadi 35,20. Selain itu, nilai maksimum pembacaan pada sensor gas dan debu juga mengalami penurunan yang mengindikasikan berkurangnya noise dan nilai ekstrem (*outlier*), sehingga hasil pengukuran menjadi lebih stabil dan konsisten [4], [8], [13].

Dengan demikian, penerapan kalibrasi relatif terbukti efektif dalam meningkatkan kestabilan pembacaan sensor serta kualitas data hasil pengukuran pada sistem monitoring kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT). Sistem yang dikembangkan layak digunakan sebagai solusi pemantauan kualitas udara dalam ruangan dengan biaya implementasi yang relatif rendah [2], [6], [9].

5. Daftar Pustaka

- [1] D. P. Dwi Prasetyo, I. L. Ibrahim Lamada, and W. N. A. Wilma Nurul Adzillah, "Implementasi Monitoring Kualitas Udara menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-131 berbasis Internet Of Things," *Electrician*, vol. 15, no. 3, pp. 239–245, 2021, doi: 10.23960/elc.v15n3.2184.
- [2] M. F. Mulyawan, M. A. M. Batubara, and R. A. Pradipta, "Sistem Informasi Berbasis Web Untuk Memonitoring Perangkat Internet of Things (IoT) Menggunakan Node-Red," *Electr. J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 1, pp. 31–36, 2023, doi: 10.23960/elc.v17n1.2410.
- [3] Elriyan, Chaidir Rizal Ali, and Anam Khairul, "2648-Article Text-1848-1-10-20250204," *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 19, 2025.
- [4] E. R. N. Wulandari, N. Rosyida, B. Sutawijaya, H. M. Abdullah, and S. R. Asriningtias, "PERANCANGAN SENSOR GAS BERBASIS IoT UNTUK PEMANTAUAN KUALITAS UDARA," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3S1, pp. 3497–3502, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3s1.4977.
- [5] L. A. Faturrahman, B. F. Tanjung, and Y. Saragih, "Sistem Monitoring Dan Deteksi Dini Kualitas," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 3, pp. 1830–1837, 2024.
- [6] A. N. S. Adelia, M. Z. Zarlis, and S. Sumarno, "Perancangan Alat Pengukur Kualitas Udara Berbasis Arduino Menggunakan Sensor MQ-135," *J. Manajemen, Pendidik. Dan Ilmu Komputer*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2024, doi: 10.65309/m1e03k29.
- [7] M. Fahri and E. Agustian Yulanda, "Sistem Monitoring dan Otomatisasi Proses Pemeraman Buah Pisang Berbasis Internet Of Things (IoT)," *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 19, no. 03, pp. 2549–3442, 2025, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.23960/elc.v19n3.2896>
- [8] U. Z. Farid Afif Habibi, "Sistem Monitoring Tingkat Kualitas Udara Dan Optimasi Sensor Menggunakan Internet Of Things Berbasis Android," vol. 5, no. 2, pp. 344–350, 2025.
- [9] A. Nugraha Dimiyati, P. -, and A. P. -, "Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Internet of Things (Iot) Dengan Visualisasi Data Pada Aplikasi Android (Studi Kasus: Pt. South Pacific Viscose)," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 3, pp. 523–536, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3.6900.
- [10] R. Dwi Saputra, "Prototype Sistem Pengaturan Kecepatan Kipas Dc Otomatis Menggunakan Sensor Pir, Sensor Ultrasonik, Sensor Dht11 Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno Dan Nodemcu," *Electrician*, vol. 16, no. 1, pp. 45–55, 2022, doi: 10.23960/elc.v16n1.2208.
- [11] H. Aswaldi, "Penerapan Teknologi Internet of Things (IoT) untuk Monitoring Kualitas Udara dalam Ruangan," *J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 39–45, 2025, doi: 10.70716/jocsit.v1i2.255.
- [12] A. Apriyanto *et al.*, "Analisis Kinerja Komprehensif Sistem Pendingin Primer terhadap Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Tipe Flash Steam," *Univ. Sang Bumi Ruwa Jurai*, vol. 19, no. 03, pp. 2549–3442, 2025, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.23960/elc.v19n3.2855>
- [13] E. Nasrullah and Y. Raharjo, "Alat Pemantau Kualitas Udara Sekitar Berbasis Mikrokontroler AVR ATmega 8 Dengan Penampil Dot Matrix," *Electr. J. Rekayasa dan Teknol. Elektro Ranc. Bangun*, vol. 3, no. 1, pp. 1–9, 2009.
- [14] A. S. Perdana, L. Afifah, and P. N. Azizah, "Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis," *J. Teliska*, vol. 18, no. Iii, pp. 32–37, 2025.
- [15] B. Khoeriah Utami, M. Rizqi Fajri, and A. Dwi Chaerani, "Jurnal Sains dan Teknologi Sistem Internet Of Things (IoT) Untuk Pemantauan Kualitas Udara Dalam Ruangan," *J. Sains Dan Teknol.*, vol. 02, no. 02, pp. 25–29, 2025.
- [16] D. Yudo Setyawan, L. Rosmalia, M. Gripin Setiawati, and R. Dwi Handayani, "Kalibrasi Sensor Suhu Udara, Kelembaban dan pH Tanah Menggunakan Metode Linear Regression," *Teknika*, 2024.

