

PENGARUH PENYEBARAN ACAK PARTIKEL TERHADAP PERFORMANSI SISTEM PENGUKURAN PM 2.5 BERBASIS SENSOR GP2Y1010AU0F: EKSPERIMEN DENGAN SIRKULASI UDARA BUATAN

M. Andito Frayoga, Jesi Pebralia^{*}, Muhammad Ficky Afrianto, Yoza Fendriani

Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Mendalo Indah, Jambi, 36361, Indonesia

^{*}email: jesipebralia@unja.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai perancangan dan pengujian sistem pengukuran kualitas udara menggunakan sensor Sharp GP2Y1010AU0F untuk mendeteksi konsentrasi partikel debu PM 2.5 dalam ruangan tertutup. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring, melakukan kalibrasi sensor terhadap alat referensi standar, serta mengevaluasi akurasi dan presisi pengukuran sensor dalam dua kondisi berbeda, yaitu dengan kipas dan tanpa kipas. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode *research and development* (R&D) dengan jenis penelitian eksperimen. Kalibrasi sensor dilakukan dengan membandingkan data sensor terhadap alat referensi standar, dan diperoleh persamaan regresi linier $y = 88.082x - 0.1859$. Persamaan ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang kuat antara tegangan output sensor dan konsentrasi partikel debu, yang meningkatkan akurasi hasil pembacaan. Evaluasi akurasi dan presisi menunjukkan hasil berbeda antara kondisi ruangan dengan kipas dan tanpa kipas. Pada kondisi dengan kipas, sensor mengukur nilai rata-rata pembacaan PM 2.5 sebesar $31,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, error absolut rata-rata sebesar $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, akurasi sebesar 98,13% dan presisi sebesar 97,56%. Sementara itu, pada kondisi tanpa kipas, nilai rata-rata sebesar $30,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ diperoleh, dengan error absolut rata-rata sebesar $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, akurasi sebesar 99,3% dan presisi sebesar 93,85%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberadaan kipas berperan penting dalam mendistribusikan partikel debu secara merata, sehingga sensor bekerja lebih akurat dan stabil. Pada pengujian menggunakan debu diperoleh rata-rata pengukuran sensor sebesar $92,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan standar deviasi $8,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan rata-rata hasil pengukuran instrumen referensi yang sebesar $94,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Selisih antara keduanya adalah $2,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nilai akurasi sensor mencapai 97,48%, yang berarti sensor mampu memberikan hasil pengukuran yang sangat dekat dengan nilai sebenarnya. Sementara itu, nilai presisi yang diperoleh adalah 90,35%

Kata Kunci: Penyebaran Acak Partikel; Particulate matter (PM) 2.5; Sensor Sharp GP2Y1010AU0F; Sirkulasi Udara

ABSTRACT

[Title: The Effect of Random Particle Dispersion on the Performance of a PM2.5 Measurement System Based on the GP2Y1010AU0F Sensor: An Experiment with Artificial Air Circulation] A study was conducted on the design and testing of an air quality measurement system using a Sharp GP2Y1010AU0F sensor to detect PM2.5 dust particle concentrations in an enclosed space. This research aimed to design a monitoring system, calibrate the sensor against a standard reference instrument, and evaluate the accuracy and precision of the sensor measurements under two different conditions— with a fan and without a fan. The method used in this study is the *research and development* (R&D) approach with an experimental research design. The sensor calibration was performed by comparing the sensor data with the standard reference instrument, resulting in a linear regression equation of $y = 88.082x - 0.1859$. This equation indicates a strong correlation between the sensor output voltage and dust particle concentration, thereby improving the accuracy of the measurement results. The evaluation of accuracy and precision showed different results between the fan and non-fan conditions. Under the fan condition, the sensor measured an average PM2.5 concentration of $31.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, with an average absolute error of $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, an accuracy of 98.13%, and a precision of 97.56%. Meanwhile, under the condition without a fan, the average reading was $30.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, with an average absolute error of $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, an accuracy of 99.3%, and a precision of 93.85%. The results indicate that the presence of a fan plays an important role in evenly distributing dust particles, allowing the sensor to operate more accurately and stably. During dust testing, the average sensor measurement was $92.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ with a standard deviation of $8.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, while the average reference instrument measurement was $94.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The difference between the two was $2.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, resulting in a sensor accuracy of 97.48%, indicating that the sensor is capable of providing measurement results very close to the actual values. Meanwhile, the obtained precision value was 90.35%.

Keywords: Random Particle Distribution; Particulate Matter (PM2.5); Sharp GP2Y1010AU0F Sensor; Air Circulation

PENDAHULUAN

Kualitas udara dalam ruangan merupakan aspek yang sangat penting dan memerlukan perhatian khusus karena berdampak langsung pada kesehatan manusia. Udara dalam ruangan yang berkualitas baik harus bebas dari unsur-unsur yang dapat menyebabkan iritasi, pencemaran, ketidaknyamanan, atau gangguan kesehatan bagi penghuninya. Menjaga kualitas udara yang baik menjadi langkah penting untuk menciptakan lingkungan yang sehat dan nyaman bagi semua penghuni (A'yun dan Umaroh, 2022; Kencasari et al., 2020). Seiring dengan perkembangan teknologi, berbagai penelitian telah menerapkan sistem pemantauan berbasis sensor untuk mengamati kondisi lingkungan secara real-time, termasuk kualitas udara baik di ruang terbuka maupun tertutup (Pebralia et al., 2024). Selain itu, sistem pengukuran berbasis sensor seperti DHT11 dan BH1750 juga telah dirancang untuk memantau parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya secara efisien dan terintegrasi (Pebralia et al., 2024). Integrasi pendekatan ini menunjukkan potensi besar pengukuran berbasis sensor dalam meningkatkan efektivitas pemantauan kualitas udara dalam ruangan secara berkelanjutan.

Salah satu parameter pencemaran udara menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 Tahun 1999 adalah particulate matter (PM) atau debu partikulat, yang dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu *Particulate matter* (PM) 2.5 dan *Particulate matter* (PM) 10. *Particulate matter* (PM) merupakan salah satu bahan pencemar yang terdiri dari campuran kompleks partikel seperti debu, kotoran, asap, dan cairan yang ada di udara dengan ukuran yang sangat kecil. Jenis partikulat yang paling banyak diteliti saat ini adalah PM2.5, karena ukurannya yang sangat kecil (<2,5 μm) memungkinkan partikel ini menembus hingga ke bagian terdalam paru-paru, dan beberapa kandungan dalam partikel ini dapat beredar dalam aliran darah, menyebabkan berbagai dampak kesehatan (Sembiring, 2020, Arba, 2019).

Pemerintah dalam upaya mencegah pencemaran udara, telah menetapkan peraturan melalui Kementerian Kesehatan yang mengatur pengendalian pencemaran udara di dalam ruangan. Peraturan ini tertuang dalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 1077 Tahun 2011, yang mengatur batas-batas konsentrasi zat pencemar yang masih diperbolehkan di dalam ruangan serta jenis-jenis zat pencemar yang diatur. Berikut ini adalah Tabel 1, yang menunjukkan ketetapan pemerintah mengenai baku mutu udara dalam ruangan, sebagai panduan

dalam menjaga kualitas udara yang aman dan sehat di dalam ruangan (Astuti, et al, 2022).

Tabel 1. Baku mutu kualitas udara yang aman dalam ruangan

No.	Parameter	Waktu Pengukuran (Jam)	Baku Mutu
1	<i>Particulate Matter</i> (PM) 10	24	70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	<i>Particulate Matter</i> (PM) 2.5	24	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Berdasarkan Tabel 1, dapat disimpulkan bahwa batas baku mutu untuk konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5 dan *Particulate Matter* (PM) 10 telah ditetapkan. Konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5 tidak boleh melebihi 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan untuk *Particulate Matter* (PM) 10, batas yang diperbolehkan adalah 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Batasan ini dirancang untuk menjaga kualitas udara dalam ruangan agar tetap aman dan tidak membahayakan kesehatan manusia (Gunaprawira, et al, 2021, Rahim dan Camin, 2018, Ulaan, et al, 2016).

Particulate matter (PM) merupakan salah satu jenis polutan udara yang paling berbahaya. *Particulate matter* (PM) 2.5, khususnya, memiliki efek yang sangat merugikan karena ukurannya yang sangat kecil. Apabila terhirup oleh tubuh, maka dapat masuk ke dalam sistem peredaran darah (Arbi, 2019). Paparan jangka panjang terhadap *Particulate matter* (PM) 2.5 dapat menyebabkan peningkatan risiko penyakit seperti kronis dan paru-paru (Anjelicha, et al, 2022, Hutaauruk, et, al, 2020).

Kontributor utama konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5 berasal dari penggunaan energi dan pembakaran biomassa. Di wilayah perkotaan, sumber utama *Particulate Matter* (PM) 2.5 adalah emisi gas buang kendaraan bermotor, kegiatan industri, dan peningkatan penggunaan energi yang diakibatkan oleh urbanisasi. Menurut laporan WHO (2003), peningkatan konsentrasi PM tidak hanya berdampak negatif pada kondisi lingkungan, tetapi juga memiliki dampak yang lebih signifikan terhadap kesehatan manusia. Penelitian menunjukkan bahwa paparan *Particulate Matter* (PM) 2.5 berhubungan dengan berbagai masalah kesehatan, termasuk penyakit pernapasan, asma, dan gangguan paru-paru lainnya (Melinda dan Nuryanto, 2023).

Teknologi sensor partikel optik seperti *GP2Y1010AU0F* menjadi salah satu solusi potensial untuk kebutuhan tersebut. Namun, tantangan utama dari penggunaan sensor ini adalah kalibrasi dan evaluasi akurasi. Sensor *sharp GP2Y1010AU0F* dirancang untuk mendeteksi partikel udara dengan menggunakan metode hamburan cahaya, di mana

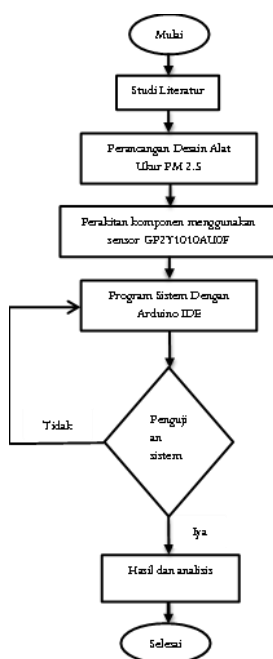
cahaya dari LED pada sensor akan dipantulkan oleh partikel di udara dan kemudian dideteksi oleh *photodiode* (Fakari, et al, 2023, Lasmana et al, 2020).

Sensor Debu Sharp GP2Y1010AU0F memiliki karakteristik yang memungkinkan deteksi debu yang sangat halus serta asap. Sensor ini dirancang untuk mengidentifikasi partikel-partikel kecil, termasuk *Particulate Matter* (PM) 10 dan *Particulate Matter* (PM) 2.5, yang sering kali sulit dideteksi oleh sensor lainnya. Kemampuannya untuk mendeteksi partikel halus dan asap menjadikannya alat yang efektif dalam memantau kualitas udara, terutama di lingkungan dalam ruangan di mana polusi udara dapat menjadi masalah serius (Eteruddin, et, al, 2020).

Penelitian yang dilakukan oleh (Bučar, et al, 2020) ini mengkaji kinerja sensor optik aerosol *sharp GP2Y1010AU0F* dalam berbagai lingkungan, termasuk ruang bersih, atmosfer terkendali dengan ukuran aerosol yang diketahui, dan udara ambien di jalan kota yang sibuk. Hasil menunjukkan bahwa sensor memiliki respon linier terhadap konsentrasi partikel dengan ukuran tunggal yang didispersikan. Selain itu, terdapat hubungan yang hampir linier antara respon sensor dengan diameter partikel dalam rentang 0,4 hingga 4 mikrometer.

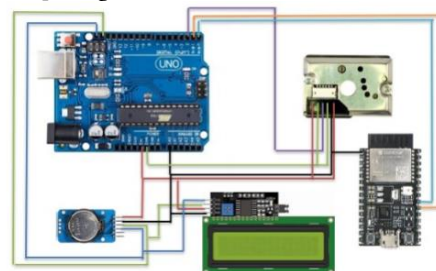
METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan jenis penelitian eksperimen, yang bertujuan untuk mengembangkan alat pemantauan kualitas udara berbasis sensor *Sharp GP2Y1010AU0F*. Adapun tahapan penelitian ditampilkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir

Pada penelitian ini, akan dirancang sistem elektronika berbasis NodeMCU ESP32 yang berfungsi sebagai sistem pemantauan konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5 dalam ruangan. Rangkaian ini terdiri dari mikrokontroler NodeMCU ESP32 yang dihubungkan dengan sensor *Sharp GP2Y1010AU0F*. Diagram pengukuran PM 2.5 ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram rancangan sistem pengukuran PM 2.5

Proses pemasangan rangkaian alat pengukur *Particulate Matter* (PM) 2.5 berbasis sensor *Sharp GP2Y1010AU0F* dimulai dengan menyiapkan semua komponen utama, termasuk sensor, NodeMCU ESP32, Arduino uno, LCD atau LED display (jika diperlukan), resistor, kapasitor, breadboard, dan kabel *jumper*. Setelah memastikan kondisi komponen dalam keadaan baik, diagram rangkaian dirancang untuk menghubungkan sensor ke mikrokontroler. Sensor *sharp GP2Y1010AU0F* dihubungkan ke pin ADC NodeMCU untuk membaca data analog, sementara pin daya dihubungkan ke VCC dan GND untuk suplai listrik.

Perangkat lunak pada alat pengukur *Particulate Matter* (PM) 2.5 berbasis sensor *Sharp GP2Y1010AU0F* dirancang untuk mengontrol proses pengumpulan data, pengolahan, dan pengiriman hasil pengukuran ke platform IoT. Sistem deprogram menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah waktu pengambilan data pada berbagai interval selama periode tertentu. Waktu dipilih sebagai variabel bebas karena konsentrasi partikel *Particulate Matter* (PM) 2.5 dalam ruangan dapat berubah seiring waktu.

Pengambilan data dilakukan selama 24 jam untuk mendapatkan gambaran konsentrasi *Particulate Matter* (PM) 2.5 di dalam ruangan tertutup berukuran 1m×1m×1m dengan dua konfigurasi yaitu kondisi dengan kipas dan tanpa kipas. Selanjutnya alat standar berupa Air Quality detector digunakan sebagai pembanding untuk memastikan validitas hasil pengukuran.

Performansi sistem pengukuran dianalisis secara statistic yang meliputi perhitungan nilai error, akurasi, dan presisi, berdasarkan persamaan berikut:

$$Error (\%) = \frac{X-Y}{X} \quad (1)$$

$$Akurasi = (1 - Error(\%)) \times 100\% \quad (2)$$

dimana nilai X merupakan nilai yang diukur oleh alat standar sedangkan nilai Y merupakan nilai dari hasil pengukuran

Sementara itu, presisi (ketepatan) mengacu pada tingkat kesesuaian antara beberapa hasil pengukuran yang dilakukan secara berulang pada kondisi yang sama. Dengan kata lain, presisi menggambarkan kedekatan antara hasil pengukuran yang diperoleh dengan nilai yang dianggap sebagai rujukan atau nilai teoritis yang diterima. Tingkat presisi dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3)$$

$$Presisi = (1 - \frac{SD}{\bar{x}}) 100\% \quad (4)$$

keterangan:

SD = Standar Deviasi

X_i = Data ke i

\bar{x} = Rata – rata

n = Jumlah pengukuran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

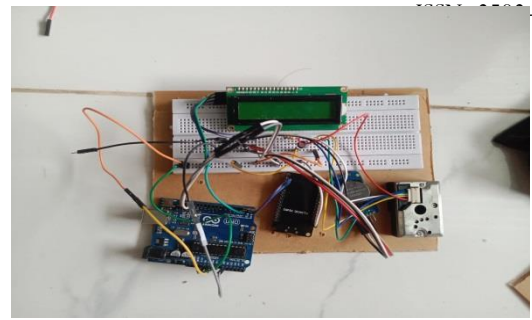
Sistem Pengukuran PM 2.5

Perancangan sistem pengukuran PM 2.5 terdiri dari mikrokontroler, sensor GP2Y1010AU0F sebagai pendeteksi partikel debu (PM2.5), LCD 20x4 I2C untuk tampilan data, RTC DS3231 sebagai pencatat waktu, serta kipas medis yang dipasang di depan sensor.

Sensor GP2Y1010AU0F, yaitu sensor debu optik yang digunakan pada penelitian ini untuk mendeteksi partikel debu di udara. Sensor ini bekerja dengan prinsip deteksi cahaya yang dipantulkan oleh partikel debu yang masuk melalui celah sensor. Untuk memastikan aliran udara yang konstan ke dalam sensor, digunakan kipas tambahan yang bekerja secara terpisah dari sistem utama dengan kecepatan angin tetap sebesar 0.15 m/s, sehingga sensor dapat mengambil sampel udara secara stabil dan konsisten.

Selanjutnya digunakan Arduino Uno, yang berfungsi sebagai pengendali utama untuk menerima sinyal analog dari sensor GP2Y1010AU0F. Arduino Uno kemudian mengolah sinyal ini menjadi nilai digital yang mewakili konsentrasi partikel debu. Data ini kemudian dikirimkan ke ESP32, yang berfungsi untuk proses komunikasi data.

Untuk mencatat waktu dan tanggal pengambilan data, digunakan modul RTC DS3231.



Gambar 3. Sistem pengukuran PM 2.5

RTC ini berperan penting untuk mencatat waktu secara real-time, sehingga setiap data yang dihasilkan dapat dilabeli dengan timestamp yang akurat. Sebagai antarmuka pengguna, digunakan LCD I2C 16x2 yang menampilkan informasi berupa nilai konsentrasi debu dan waktu pembacaan.

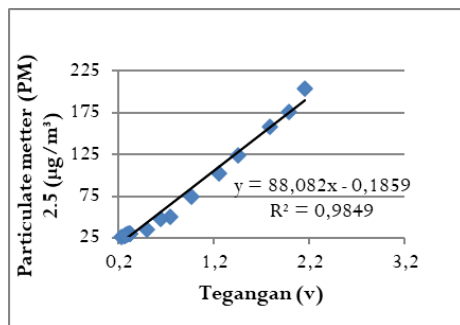
Kalibrasi

Proses kalibrasi sensor GP2Y1010AU0F dilakukan untuk menentukan hubungan antara tegangan output analog sensor dan konsentrasi partikel debu (PM2.5) yang diukur oleh alat referensi. Tabel 2 menampilkan data kalibrasi sensor.

Tabel 2. Data kalibrasi sensor PM 2.5 dengan alat standar/referensi (*Air Quality detector*)

Tegangan (v)	PM 2.5 alat referensi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0.288	29
0.322	30
0.234	26
0.317	30
0.303	30
0.312	30
0.322	30
0.743	50
1.459	124
1.789	158
2.154	204
1.983	176
1.254	103
0.962	75
0.643	48
0.493	35
0.264	28
0.273	29
0.264	28

Selanjutnya grafik kalibrasi ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 2. Grafik kalibrasi sensor

Gambar 3 menunjukkan hasil kalibrasi dengan persamaan regresi yaitu $y = 88.082x - 0.1859$ di mana x adalah tegangan sensor (dalam Volt) dan y adalah estimasi konsentrasi PM2.5 (dalam $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Nilai 88.082 menunjukkan besarnya kenaikan nilai PM2.5 untuk setiap 1 volt peningkatan tegangan sensor, sementara angka 0.1859 merupakan nilai dasar PM2.5 ketika tegangan sensor berada di nol (*intersep*). Selain itu, diperoleh nilai koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0.9849$, yang menunjukkan bahwa model regresi ini mampu menjelaskan 98.49% variasi data PM2.5 berdasarkan perubahan tegangan. Nilai R^2 yang tinggi ini menunjukkan bahwa hubungan antara data sensor dan alat referensi cukup kuat dan dapat diandalkan sebagai dasar kalibrasi.

Evaluasi Nilai Akurasi dan Presisi

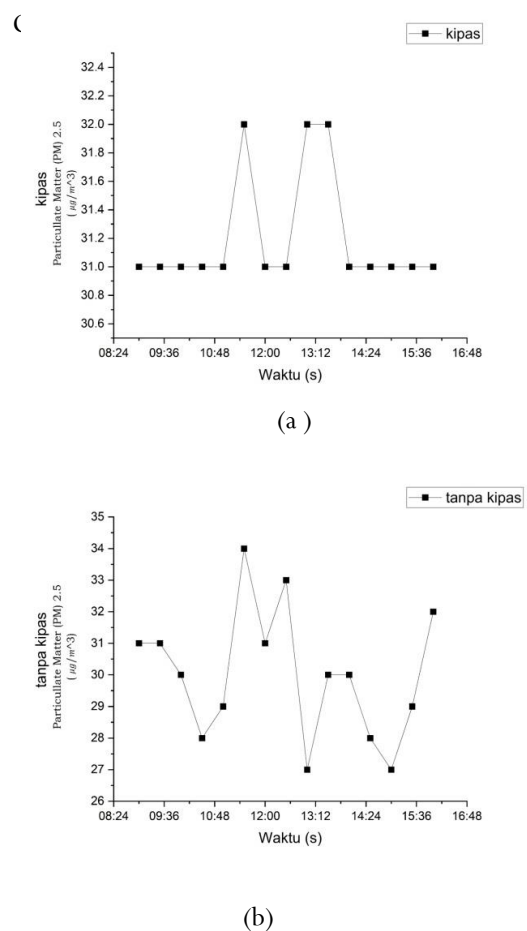
Pengujian sensor GP2Y1010AU0F pada penelitian ini dilakukan dalam dua kondisi berbeda, yaitu dengan kipas dan tanpa kipas. Tujuan dari perbedaan metode ini adalah untuk mengetahui pengaruh aliran udara terhadap kemampuan sensor dalam mendeteksi konsentrasi partikel PM2.5 di dalam ruang uji berukuran (100×100×100) cm.

Pada pengujian dengan kipas, udara di dalam ruang uji dibuat bersirkulasi secara aktif sehingga partikel tersuspensi dapat terdistribusi lebih merata menuju area deteksi sensor. Sebaliknya, pada pengujian tanpa kipas, pergerakan udara hanya mengandalkan aliran alami (*natural convection*) tanpa bantuan alat pendorong. Perbandingan hasil dari kedua metode ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai tingkat kepekaan dan kestabilan sensor GP2Y1010AU0F terhadap variasi kondisi aliran udara di lingkungan tertutup.

Pengukuran PM 2.5 dalam ruangan dengan kipas menunjukkan konsentrasi partikulat halus (PM2.5) berada pada nilai PM2.5 yang relatif stabil

di kisaran 31–32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dengan hanya sedikit fluktuasi. Pada sebagian besar waktu, konsentrasi PM2.5 cenderung tetap pada angka 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hanya pada dua titik waktu, yaitu sekitar pukul 11:30 dan 13:00, terjadi sedikit peningkatan hingga sekitar 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, namun kemudian kembali turun ke nilai semula.

Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan kipas membantu menjaga konsentrasi PM2.5 tetap konstan dan mencegah terjadinya fluktuasi tajam seperti yang terlihat pada kondisi tanpa kipas. Dengan kata lain, penggunaan kipas berperan dalam sirkulasi udara yang lebih merata sehingga penyebaran partikulat menjadi lebih stabil dan konsentrasinya tidak mudah naik turun secara signifikan.



Gambar 4. Grafik pengujian pengukuran PM 2.5, (a) pada ruangan dengan kipas, (b) pada ruangan tanpa kipas

Sementara itu, konsentrasi PM2.5 yang terukur pada ruangan tanpa kipas memperlihatkan fluktuasi yang cukup signifikan sepanjang waktu. Pada awal pengukuran, kadar PM2.5 berada pada kisaran 30–31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan sempat menurun hingga sekitar 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada pukul 10:30. Setelah itu,

terjadi peningkatan yang cukup tajam dan mencapai puncak tertinggi sebesar 34 µg/m³ pada pukul 12:00. Konsentrasi kemudian kembali menurun drastis hingga mencapai titik terendah sekitar 27 µg/m³ pada pukul 13:00, sebelum kembali naik dan berfluktuasi pada kisaran 29–31 µg/m³. Menjelang akhir pengamatan, konsentrasi PM2.5 kembali meningkat hingga mencapai sekitar 32 µg/m³ pada pukul 16:00. Pola ini menunjukkan bahwa tanpa adanya kipas, distribusi partikulat di udara tidak stabil dan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan maupun aktivitas di sekitar ruangan

Hasil pengukuran ini dibandingkan dengan nilai referensi sebesar 30 µg/m³, sehingga selisih antara rata-rata hasil pengukuran dan nilai referensi adalah 0,2 µg/m³. Selisih ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran sedikit lebih tinggi dibandingkan nilai referensi, namun perbedaannya sangat kecil, yaitu sekitar 0,67% dari nilai referensi. Hal ini mengindikasikan bahwa alat ukur yang digunakan cukup akurat karena deviasi relatif terhadap standar tergolong rendah. Selain itu, penyebaran data yang berada di sekitar nilai referensi menunjukkan konsistensi hasil pengukuran, walaupun terdapat beberapa nilai yang sedikit menyimpang (misalnya 27 µg/m³ atau 34 µg/m³), yang kemungkinan disebabkan oleh variasi kondisi pengukuran atau ketidakstabilan putaran kipas pada saat tertentu.

Pada pengujian tanpa kipas, konsentrasi PM 2.5 yang terukur menunjukkan fluktuasi yang cukup besar di awal, lalu mengalami penurunan signifikan seiring waktu. Hal ini terjadi karena partikel debu yang dilepaskan tidak tersebar merata di udara, melainkan cenderung terkonsentrasi di dekat sumber pelepasan dan mulai mengendap akibat gravitasi. Kondisi ini membuat nilai pembacaan sensor bervariasi, yang berpengaruh pada akurasi (perbedaan terhadap alat referensi) dan presisi (konsistensi antar pembacaan).

Sebaliknya, pada pengujian dengan kipas, aliran udara buatan membantu mencampur partikel debu sehingga distribusinya lebih merata di seluruh ruangan. Kipas juga mencegah partikel cepat mengendap, membuat konsentrasi partikel di udara lebih stabil selama periode pengukuran. Kondisi ini menghasilkan pembacaan sensor yang lebih dekat dengan nilai referensi (akurasi lebih tinggi) dan memiliki variasi data yang lebih kecil (presisi lebih baik).

Perbedaan ini terjadi karena keberadaan kipas mempengaruhi mekanisme transport partikel di udara. Pada kondisi tanpa kipas, partikel bergantung pada difusi alami yang sangat lambat, sehingga terjadi gradien konsentrasi antar titik. Sementara dengan kipas, proses konveksi paksa mempercepat

pencampuran udara, meniadakan gradien konsentrasi, dan menjaga partikel tetap tersuspensi lebih lama.

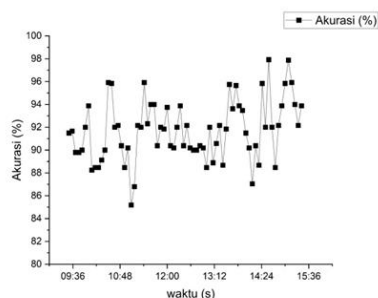
Evaluasi Akurasi

Proses akuisisi data dilakukan dengan interval waktu 5 menit sekali selama periode pengamatan. Pemilihan interval tersebut bertujuan agar data yang diperoleh memiliki resolusi waktu yang cukup detail untuk melihat dinamika perubahan konsentrasi partikulat, namun tetap efisien dalam proses pencatatan. Selama pengujian, kondisi ruangan dijaga tetap stabil tanpa adanya gangguan aliran udara eksternal maupun aktivitas lain yang dapat memengaruhi distribusi partikel. Dengan prosedur ini, diharapkan hasil pengukuran yang diperoleh mampu memberikan gambaran akurasi dan stabilitas sensor secara lebih representative.

Tabel 3. Data pengukuran akurasi

waktu	Sensor (µg/m ³)	Alat pembanding (µg/m ³)	Akurasi (%)
9:30	43	47	91.48936
9:35	44	48	91.66667
9:40	44	49	89.79592
9:45	44	49	89.79592
9:50	45	50	90
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
15:05	46	47	97.87234
15:10	47	49	95.91837
15:15	47	50	94
15:20	47	51	92.15686
15:25	46	49	93.87755
Rata-rata	45.93	50.12	91.7

Selanjutnya grafik pengukuran hasil akurasi ditampilkan pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik pengukuran nilai akurasi pengukuran PM 2.5

Pada gambar 5, pengolahan data, sensor Sharp GP2Y1010AU0F menunjukkan rata-rata akurasi sebesar 91,70% dengan nilai error absolut rata-rata 4,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan error relatif sebesar 8,30% terhadap alat referensi. Nilai akurasi ini tergolong cukup baik, karena mayoritas hasil pengukuran berada di atas 90%, meskipun masih terdapat fluktuasi pada beberapa titik pengukuran dengan kisaran akurasi antara 85% hingga 97%. Variasi akurasi tersebut dapat disebabkan oleh keterbatasan sensitivitas sensor optik yang bekerja dengan prinsip hamburan cahaya, sehingga hasil pembacaan sangat dipengaruhi oleh ukuran, jumlah, serta sifat optik partikel debu. Selain itu, faktor lingkungan seperti distribusi partikel dalam ruang uji, arah aliran udara, maupun turbulensi udara di sekitar sensor juga berkontribusi terhadap ketidakstabilan data. Meskipun demikian, hasil evaluasi secara keseluruhan menunjukkan bahwa sensor ini memiliki keandalan yang cukup tinggi dalam memantau konsentrasi PM2.5, khususnya untuk analisis tren kualitas udara. Namun, untuk keperluan pemantauan resmi dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi, diperlukan proses kalibrasi lanjutan terhadap instrumen standar agar error relatif dapat ditekan dan akurasi sensor semakin optimal.

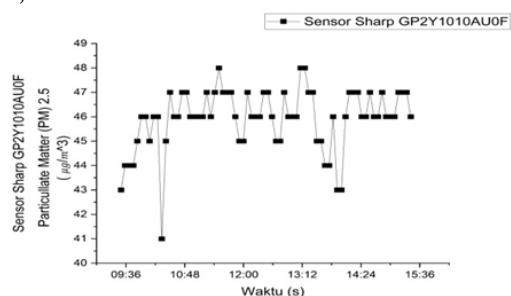
Evaluasi Presisi

Pengujian presisi dilakukan untuk mengetahui sejauh mana sensor Sharp GP2Y1010AU0F mampu menghasilkan data yang konsisten pada setiap pengulangan pengukuran dalam kondisi yang sama.

Tabel 4. Deviasi dan presisi

Rata-rata	Standar Deviasi	Presisi (%)
45.93	1.27	97.23

Berdasarkan tabel 4, hasil analisis menunjukkan bahwa rata-rata nilai konsentrasi PM2.5 yang terbaca oleh sensor Sharp GP2Y1010AU0F adalah 45,93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan nilai deviasi standar sebesar 1,27.

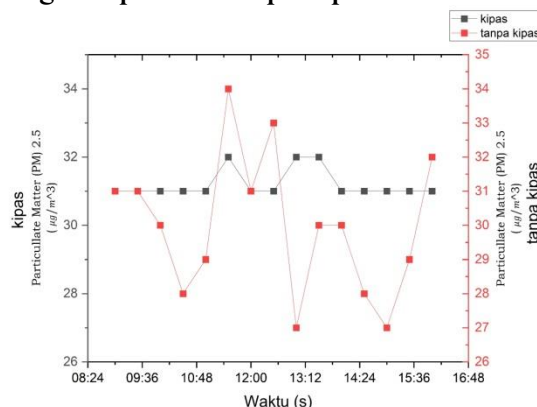


Gambar 6. Grafik pengukuran nilai presisi pengukuran PM 2.5

Selain itu, nilai presisi sensor yang diperoleh mencapai 97,23%, yang berarti bahwa hasil pengukuran sensor memiliki konsistensi yang tinggi. Presisi yang mendekati 100% menandakan bahwa pengulangan pengukuran dalam kondisi yang sama menghasilkan nilai yang hampir serupa, sehingga sensor dapat diandalkan dari sisi kestabilan data. Hal ini memperkuat dugaan bahwa variasi error atau perbedaan antara sensor dan alat referensi lebih disebabkan oleh keterbatasan akurasi sensor terhadap standar, bukan oleh ketidakstabilan internal sensor itu sendiri.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa meskipun tingkat akurasi sensor masih berada pada kisaran 91,7% dan memerlukan kalibrasi lebih lanjut untuk keperluan pemantauan resmi, sensor Sharp GP2Y1010AU0F telah menunjukkan performa yang sangat baik dalam hal presisi dan kestabilan hasil pengukuran. Kombinasi akurasi yang cukup tinggi dan presisi yang sangat baik ini membuat sensor layak digunakan untuk penelitian berbasis pemantauan tren kualitas udara di lingkungan terkontrol.

Perbandingan Performansi pada Kondisi Dengan Kipas dan Tanpa Kipas



Gambar 7. Grafik hasil particulate metter (PM) 2.5

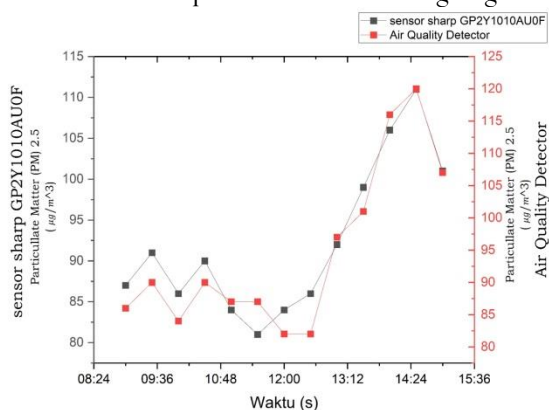
Pada gambar 7, presisi menunjukkan hasil berbeda pada dua kondisi. Pada kondisi dengan kipas, sensor menghasilkan rata-rata pembacaan sebesar 31,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, error absolut rata-rata 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan presisi 97,56%. Sementara itu, pada kondisi tanpa kipas, nilai rata-rata sebesar 30,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ diperoleh, dengan error absolut rata-rata 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan presisi 93,85%. Ini menunjukkan bahwa keberadaan kipas berperan penting dalam mendistribusikan partikel debu secara merata, sehingga sensor bekerja lebih stabil.

Pengaruh Distribusi Partikel pada Pengujian Menggunakan Debu

Pengujian sensor dilakukan di dalam ruang uji dengan ukuran 1×1×1 meter yang dirancang sebagai lingkungan terkontrol. Media uji yang digunakan berupa debu, yang berfungsi sebagai sumber partikel PM2.5. Debu tersebut dimasukkan ke dalam ruangan secara bertahap, kemudian disebarkan secara merata dengan bantuan kipas angin kecil yang diarahkan ke beberapa sisi ruangan. Tujuan penggunaan kipas adalah untuk memastikan distribusi partikel debu berlangsung homogen sehingga konsentrasi debu di seluruh ruangan relatif seragam.

Setelah proses penyebaran, ruangan dibiarkan dalam kondisi tertutup selama 10 hingga 20 menit. Waktu tunggu ini diperlukan agar partikel debu yang terhembus dapat terdistribusi secara stabil dan tidak menimbulkan aliran udara turbulen yang berpotensi memengaruhi pembacaan sensor. Dengan kondisi ini, diharapkan partikel debu berada dalam keadaan melayang dan menyebar merata di dalam volume ruangan sehingga hasil pengukuran yang diperoleh lebih representatif.

Posisi sensor Sharp GP2Y1010AU0F dalam pengujian diletakkan di bagian tengah bawah ruangan. Penempatan sensor pada posisi tersebut bertujuan agar alat dapat menangkap konsentrasi partikel debu pada area yang tidak terlalu dekat dengan sumber masuknya debu maupun aliran kipas, sehingga meminimalkan bias pengukuran. Selain itu, posisi ini dipilih untuk merepresentasikan kondisi partikel yang berada di lapisan bawah ruangan, di mana akumulasi partikel cenderung lebih stabil setelah proses distribusi berlangsung.



Gambar 8. Grafik pengujian menggunakan debu

Pada hasil pengukuran PM 2.5 yang dilakukan menggunakan sensor dan alat referensi, diperoleh rata-rata pengukuran sensor sebesar 92,15 µg/m³ dengan standar deviasi 8,9 µg/m³ dan nilai rata-rata hasil pengukuran instrumen referensi

sebesar 94,53 µg/m³. Selisih antara keduanya adalah 2,38 µg/m³, menunjukkan perbedaan yang relatif kecil. Hasil ini mengindikasikan bahwa sensor memiliki kemampuan yang cukup baik dalam mengikuti nilai yang diukur oleh alat referensi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sensor Sharp GP2Y1010AU0F dapat melakukan pengukuran nilai partikel PM 2.5 di dalam ruangan tertutup.
2. Proses kalibrasi berhasil dilakukan dengan persamaan regresi linier berupa $y = 88.082x - 0.1859$. Persamaan ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang kuat antara tegangan output sensor dan konsentrasi partikel debu, yang meningkatkan akurasi hasil pembacaan.
3. Evaluasi akurasi dan presisi menunjukkan hasil berbeda pada dua kondisi, dimana pada kondisi dengan kipas, sensor menghasilkan rata-rata pembacaan sebesar 31,4 µg/m³, error absolut rata-rata 0,6 µg/m³, akurasi 98,13% dan presisi 97,56%. Sementara itu, pada kondisi tanpa kipas, nilai rata-rata sebesar 30,2 µg/m³ diperoleh, dengan error absolut rata-rata 0,2 µg/m³, akurasi 99,3% dan presisi 93,85%. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan kipas berperan penting dalam mendistribusikan partikel debu secara merata, sehingga sensor bekerja lebih akurat dan stabil.
4. Pada pengujian menggunakan debu diperoleh rata-rata pengukuran sensor sebesar 92,15 µg/m³ dengan standar deviasi 8,9 µg/m³ dan nilai rata-rata hasil pengukuran instrumen referensi yang sebesar 94,53 µg/m³. Selisih antara keduanya adalah 2,38 µg/m³, nilai akurasi sensor mencapai 97,48%, yang berarti sensor mampu memberikan hasil pengukuran yang sangat dekat dengan nilai sebenarnya. Sementara itu, nilai presisi yang diperoleh adalah 90,35%.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Pengujian sebaiknya dilakukan pada ruangan dengan ukuran berbeda dan kondisi ventilasi yang bervariasi untuk mengetahui konsistensi kinerja sensor pada berbagai situasi nyata.

2. Penelitian selanjutnya disarankan mempertimbangkan pengaruh faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan tekanan udara yang dapat memengaruhi hasil pengukuran sensor.
3. Perlu dilakukan pengujian menggunakan berbagai jenis partikulat, misalnya asap rokok, asap pembakaran, atau debu industri, guna mengevaluasi sensitivitas sensor terhadap karakteristik partikel yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- A'yun, I. Q., & Umaroh, R. (2022). Polusi Udara dalam Ruangan dan Kondisi Kesehatan: Analisis Rumah Tangga Indonesia. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, 22(1),
- Anjelicha, D., Riviwanto, M., & Wijayantono, W. (2022). Analisis Risiko Penyakit Paru Obstruksi Kronis Akibat Paparan Debu Pm2. 5 pada Pekerja Mebel Kayu CV Mekar Baru Kota Padang. *Jurnal Sehat Mandiri*, 17(1), 115-125.
- Arba, S. (2019). Kosentrasi *Respirable* Debu Particulate Matter (Pm2, 5) Dan Gangguan Kesehatan Pada Masyarakat Di Pemukiman Sekitar PLTU. *Promotif: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 9(2), 178-184.
- Astuti, N. D., Hastutiningrum, S., & Sudarsono, S. (2022). Analisis Kualitas Udara Pada Rumah Warga Terhadap Parameter Bakteri dan Jamur. *Jurnal Teknologi*, 15(2), 166-170.
- Bučar, K., Malet, J., Stabile, L., Pražnikar, J., Seeger, S., & Žitnik, M. (2020). Statistics of a sharp GP2Y low-cost aerosol PM sensor output signals. *Sensors*, 20(23), 6707.
- Eteruddin, H., Setiawan, D., & Sitepu, H. P. (2020). Modifikasi Sistem ATS-AMF Diesel Emergency Generator Pada PLTU dengan Metode Warming Up. *Jurnal Teknik*, 14(1), 129-136.
- Fakari, A. M. H., Darajat, A. U., Purwiyanti, S., & Yudamson, A. (2023). Sistem Informasi Mobile untuk Pelacakan Posisi Tikus dan Debu pada Ruangan Storage Museum Lampung. *ELECTRON Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 4(2), 104-113.
- Gunaprawira, K. M., Sumeru, S., & Sutandi, T. (2021, September). Analisis Konsentrasi PM10 dan PM2. 5 pada Moda Transportasi Kereta Api, Bus, Angkutan Kota, Mobil Baru, dan Mobil Lama. *In Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 12, pp. 840-845).
- Hutauruk, R. C. H., Rahmanto, E., & Pancawati, M. C. (2020). Variasi Musiman dan Harian PM2. 5 di Jakarta Periode 2016–2019. *Buletin GAW Bariri*, 1(1), 20-28.
- Pebralia, J., Akhsan, H., & Amri, I. (2024). Implementasi Internet of Things (Iot) Dalam Monitoring Kualitas Udara Pada Ruang Terbuka. *Jurnal Kumparan Fisika*, 7(1), 1-8.
- Pebralia, J., Fendriani, Y., Afrianto, M. F., & Syaqla, C. N. (2024). Rancang bangun sistem pengukuran intensitas cahaya, suhu, dan kelembaban ruangan berbasis sensor dht11 dan bh1750. *JOURNAL ONLINE OF PHYSICS*, 10(1), 37-42.
- Kencasari, R. V., Surahman, U., Permana, A. Y., & Nugraha, H. D. (2020). Kondisi Kualitas Udara di Dalam Ruangan Pemukiman Non Kumuh Kota Bandung. *Jurnal Arsitektur ZONASI*, 3(3), 335-345.
- Lasmana, D. S., & Fitriani, E. (2020, October). Rancang Bangun Prototype Robot Penghisap Debu Menggunakan Optical Dust Sensor GP2Y1010AU0F. *In Bina Darma Conference on Engineering Science (BDCES)* (Vol. 2, No. 1, pp. 20-29).
- Nuryanto, N., & Melinda, S. (2023). Identifikasi Sumber Particulate Matter (PM) 2.5 di Sorong Berdasarkan *READY Hysplit Backward Trajectory*. *Buletin GAW Bariri (BGB)*, 4(1), 11-20.
- Rahim, F., & Camin, Y. R. (2018). Kondisi kualitas udara (So2, No2, Pm10 Dan Pm2, 5) di dalam Rumah di sekitar Cilegon dan gangguan pernapasan yang diakibatkannya. *Al-Kaunyah: Jurnal Biologi*, 11(2), 82-90.
- Sembiring, E. T. J. (2020). Risiko Kesehatan Pajanan Pm2, 5 Di Udara Ambien Pada Pedagang Kaki Lima Di Bawah Flyover Pasar Pagi Asemka Jakarta. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 26(1), 101-120.
- Ullaan, G. C., Poekoel, V. C., & Ontowirjo, A. H. (2022). Pembuatan Aplikasi Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan. *Jurnal Teknik Informatika*, 17(1), 93-104.