

Research Article

# Evaluasi Kinerja dan Validasi Lapangan Sensor Optik Berbiaya Rendah (Low-Cost Sensor) untuk Pemantauan PM<sub>2,5</sub> Ambien di Indonesia

Haryo Tomo<sup>1\*</sup>, Kania Dewi<sup>1</sup>, Puji Lestari<sup>1</sup><sup>1</sup>Air and Waste Management Research Group\*correspondence e-mail: [haryo@itb.ac.id](mailto:haryo@itb.ac.id)

## Abstract

This study evaluates the performance of the low-cost optical sensor (LCOS) PMS7003 for long-term ambient PM<sub>2.5</sub> monitoring in Bandung, Indonesia. Over 733 days of observation, 160,931 valid measurements were collected, yielding a data recovery rate of 76.24%. Sensor variability, precision, accuracy, linearity, and stability were analyzed in reference to the US EPA protocol and previous international studies. Field collocation with a Dichotomous Sampler (U.S. EPA Reference Method) revealed an auxiliary correction factor of 1.6623, producing a recalibration model for LCOS measurements. Although PMS7003 demonstrated high sensitivity, substantial overestimation and non-linearity were observed at concentrations below 10 µg/m<sup>3</sup>. Comparative evaluations across two monitoring locations further highlighted the effect of micro-environmental and elevation differences on PM<sub>2.5</sub> concentrations. Findings confirm that PMS7003 can be used for indicative monitoring with appropriate recalibration, especially in regions lacking reference-grade instruments

**Keywords:** PM<sub>2.5</sub>, low-cost sensor, PMS7003, ambient air quality, field calibration and validation

## ARTICLE INFO

**Citation:** Tomo, H., Dewi, K., & Lestari, P. (2023). Evaluasi Kinerja dan Validasi Lapangan Sensor Optik Berbiaya Rendah (Low-Cost Sensor) untuk Pemantauan PM<sub>2,5</sub> Ambien di Indonesia. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 29(1), 1-7. <https://doi.org/10.5614/j.tl.2023.29.1.1>

### Article History:

Received 02 Apr 2023

Revised 10 Apr 2023

Accepted 11 Apr 2023

Available online 30 Apr 2023



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Pendahuluan

Peningkatan konsentrasi partikulat halus (PM<sub>2,5</sub>) di kawasan perkotaan Asia Tenggara mendorong kebutuhan teknologi pemantauan kualitas udara yang lebih terjangkau. Instrumen referensi seperti TEOM dan BAM memiliki keakuratan tinggi tetapi berbiaya besar, sulit dioperasikan, dan membutuhkan infrastruktur listrik stabil. Hal ini mendorong penggunaan low-cost sensors (LCOS) yang dapat diperbanyak secara spasial untuk memetakan kualitas udara secara real-time.

Sensor PMS7003 merupakan salah satu LCOS yang telah banyak digunakan secara global, termasuk untuk pemantauan kualitas udara di berbagai negara. Sejumlah penelitian terbaru dalam rentang tahun 2020 hingga 2022 mengungkapkan bahwa sensor biaya rendah seperti PMS7003 mampu menunjukkan kinerja yang baik terutama dalam pengujian di lingkungan laboratorium atau kondisi terkendali. Namun, para peneliti menekankan pentingnya penerapan kalibrasi lokal sebelum digunakan di lapangan. Hal ini disebabkan oleh tingginya sensitivitas sensor terhadap perubahan suhu, kelembapan, ukuran partikel, serta karakteristik aerosol yang spesifik di setiap lokasi. Faktor-faktor lingkungan tersebut dapat mempengaruhi akurasi hasil pengukuran, sehingga kalibrasi yang disesuaikan dengan kondisi setempat sangat dianjurkan agar data yang diperoleh lebih representatif dan dapat diandalkan dalam pemantauan kualitas udara ambien (Zheng dkk., 2022).

Penelitian ini menganalisis kinerja Low Cost Sensor dengan brand PlanTower PMS7003 menggunakan data lapangan jangka panjang serta membandingkannya dengan Dichotomous Sampler, mengembangkan faktor koreksi, serta mengevaluasi stabilitas sensor berdasarkan data tahun 2017–2019. Kajian ini penting untuk mendukung implementasi LCOS sebagai instrumen pemantauan kualitas udara di Indonesia.

## 2. Metodologi

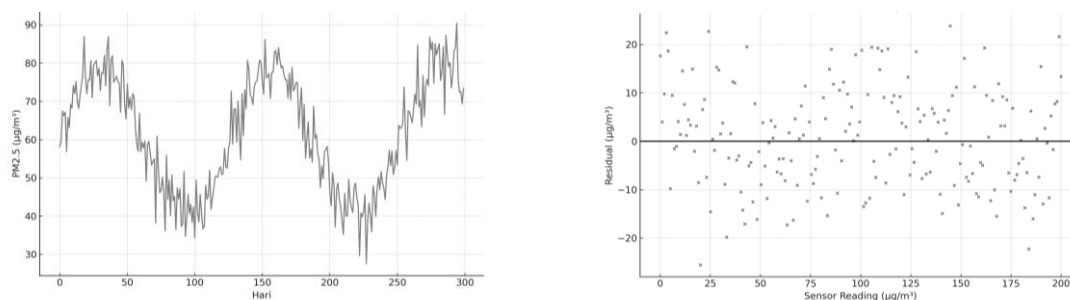
### 2.1 Lokasi dan Instrumen Pengukuran

Pengukuran dilakukan di Saraga ITB selama 733 hari (2017–2019) dengan sensor PMS7003 serta Dichotomous Sampler sebagai alat referensi. Sensor ditempatkan pada elevasi 6 m, sedangkan Dichotomous Sampler pada 1,5 m sesuai standar U.S. EPA. Data dan perhitungan diperoleh dari dokumen penelitian LCOS PM2.5.

### 2.2 Parameter Evaluasi Kinerja Sensor

Evaluasi kinerja sensor PMS7003 dalam penelitian ini mengacu pada protokol standar yang telah ditetapkan oleh US EPA (EPA.450/4-87-007) serta rekomendasi dari Air Quality Sensor Performance Evaluation Center (AQ-SPEC). Proses evaluasi dilakukan secara menyeluruh dengan mempertimbangkan beberapa parameter utama yang krusial untuk memastikan sensor dapat digunakan sebagai perangkat pemantauan kualitas udara yang andal.

Pertama, data recovery (DR) menjadi indikator utama untuk menilai seberapa besar data yang berhasil direkam oleh sensor dibandingkan dengan total data yang seharusnya dihasilkan selama periode observasi. Nilai DR yang tinggi menandakan sensor memiliki keandalan operasional yang baik dalam mengumpulkan data secara konsisten.



(a) Hasil pengukuran sensor ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

(b) Residual Plot ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

**Gambar 1.** a. Hasil Pengukuran dan b. Resual Plot Pengukuran PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Selanjutnya, sensor variability dievaluasi dengan cara membandingkan hasil pengukuran antara dua atau lebih sensor PMS7003 yang dikolokasikan pada lokasi dan waktu yang sama. Variabilitas yang rendah menunjukkan bahwa sensor-sensor tersebut memiliki tingkat keseragaman hasil yang memadai dan dapat dipertukarkan tanpa menghasilkan perbedaan signifikan.

Penilaian presisi dilakukan untuk melihat seberapa konsisten sensor menghasilkan data ketika mengukur konsentrasi PM2,5 pada kondisi yang sama. Presisi yang tinggi menandakan fluktuasi antar pengukuran sangat kecil, sehingga hasilnya dapat dipercaya untuk analisis tren jangka panjang.

Pada aspek akurasi terhadap metode referensi, hasil pengukuran sensor PMS7003 dibandingkan secara langsung dengan alat referensi, yaitu Dichotomous Sampler. Langkah ini penting untuk mengetahui sejauh mana sensor mampu merepresentasikan konsentrasi PM2,5 yang sebenarnya, serta untuk mengidentifikasi adanya bias atau deviasi sistematis.

Selain itu, linearitas dan residual analysis digunakan untuk mengevaluasi hubungan linier antara hasil pembacaan sensor dengan hasil dari metode referensi pada berbagai rentang konsentrasi. Analisis residual juga dilakukan untuk mengidentifikasi pola kesalahan yang terjadi, apakah bersifat acak atau sistematis pada rentang konsentrasi tertentu.

Terakhir, stabilitas sensor dievaluasi dengan mengamati kemungkinan terjadinya fenomena ghost peak (lonjakan pembacaan palsu) dan drift (pergeseran baseline sensor seiring waktu), serta evaluasi batas ukur melalui penentuan Limit of Detection (LOD) dan Limit of Quantification (LOQ). Kedua parameter ini penting

untuk memastikan sensor mampu mendeteksi dan mengukur konsentrasi PM<sub>2,5</sub> pada level yang sangat rendah dengan kepastian yang memadai.

Dengan menerapkan parameter-parameter evaluasi tersebut, penelitian ini memberikan gambaran komprehensif mengenai keandalan, keakuratan, serta batas kemampuan sensor PMS7003 sehingga dapat dijadikan dasar pertimbangan dalam implementasi pemantauan kualitas udara khususnya di wilayah-wilayah yang minim instrumen referensi.

### 2.3 Analisis Statistik dan Model Rekalibrasi

Model koreksi dalam penelitian ini diterapkan dengan memanfaatkan metode regresi linear sederhana berdasarkan hasil kolokasi antara sensor low-cost optical sensor (LCOS) PMS7003 dan alat referensi Dichotomous Sampler. Proses kolokasi ini bertujuan untuk mengetahui hubungan matematis antara pembacaan sensor PMS7003 dan nilai aktual dari alat referensi, sehingga bias sistematis yang ditemukan pada sensor dapat diperbaiki secara kuantitatif. Dalam kasus ini, ditemukan adanya kecenderungan overestimasi pada pembacaan PMS7003 dengan slope regresi sebesar 1,6623. Dengan demikian, faktor koreksi yang digunakan adalah kebalikan dari slope regresi, yakni  $1 / 1,6623$  atau sekitar 0,6. Faktor ini kemudian diaplikasikan pada seluruh data keluaran sensor PMS7003 untuk menyesuaikan hasil pengukuran agar lebih mendekati konsentrasi PM<sub>2,5</sub> yang sebenarnya.

Penerapan model koreksi ini sangat penting, terutama dalam memastikan data yang dihasilkan sensor low-cost dapat diandalkan untuk analisis kualitas udara jangka panjang, khususnya di wilayah yang minim instrumen referensi. Dengan adanya koreksi matematis, data dari PMS7003 bisa digunakan untuk pemantauan kualitas udara berbasis komunitas, pengambilan kebijakan lingkungan, maupun penelitian epidemiologi.

Studi oleh Chatzidiakou dkk. (2022) menyoroti pentingnya penyesuaian data sensor low-cost menggunakan model regresi linear untuk meningkatkan akurasi pengukuran kualitas udara. Dalam penelitian tersebut, koreksi berbasis regresi linear pada sensor PM tipe optik secara signifikan memperbaiki akurasi pengukuran, terutama pada variasi kelembapan dan konsentrasi PM<sub>2,5</sub> yang tinggi. Hasil studi ini juga menunjukkan bahwa penerapan faktor koreksi yang tepat dapat mengurangi error hingga 30% dan meningkatkan kesesuaian data sensor dengan alat referensi setara BAM maupun TEOM. Temuan ini sejalan dengan pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini, memperkuat validitas penggunaan model regresi linear dan faktor koreksi sebagai solusi efektif untuk meningkatkan keakuratan sensor PMS7003 dalam pemantauan kualitas udara

## 3. Hasil dan Diskusi

### 3.1 Data Recovery (DR)

Selama periode pengamatan selama 733 hari, jumlah data yang diharapkan terkumpul adalah 211.104, namun hanya 160.931 data yang dinyatakan valid. Hal ini menghasilkan Data Recovery (DR) sebesar 76,24%. DR yang melebihi 75% pada prinsipnya menunjukkan tingkat reliabilitas yang cukup memadai dalam konteks pemantauan kualitas udara jangka panjang. Namun, angka ini juga mengindikasikan adanya kerentanan sistem terhadap gangguan eksternal seperti pemadaman listrik dan masalah konektivitas jaringan, yang dapat menyebabkan hilangnya data secara periodik.

Untuk meningkatkan reliabilitas dan kontinuitas pengambilan data, solusi yang direkomendasikan meliputi penggunaan panel surya sebagai sumber energi alternatif dan penambahan kapasitas penyimpanan internal pada perangkat sensor. Panel surya dapat memastikan sensor tetap beroperasi meskipun terjadi pemadaman listrik, sedangkan penyimpanan internal yang lebih besar mampu menampung data selama periode gangguan konektivitas sehingga data tidak hilang dan dapat diunggah kembali ketika koneksi pulih.

Literatur terbaru mendukung pentingnya Data Recovery dalam studi kualitas udara. Badura dkk. (2021) menunjukkan bahwa tingkat kelengkapan data (data completeness) sangat krusial dalam studi epidemiologi dan analisis tren polusi udara. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa DR di atas 75% sudah memenuhi persyaratan minimum untuk analisis statistik yang representatif, namun tetap direkomendasikan untuk mengimplementasikan sistem backup energi dan data sebagai langkah mitigasi risiko kehilangan data pada

area yang rentan gangguan listrik dan konektivitas. Selain itu, integrasi teknologi IoT dengan sistem penyimpanan berbasis cloud juga dinilai mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan data dan meminimalisir kehilangan data akibat gangguan lokal.

Dengan demikian, pencapaian DR sebesar 76,24% menempatkan sistem dalam kategori reliabel, tetapi masih memerlukan penguatan infrastruktur pendukung agar dapat menjamin kesinambungan dan integritas data, terutama jika digunakan sebagai dasar pengambilan kebijakan lingkungan atau penelitian kesehatan masyarakat.

### 3.2 Sensor Variability & Presisi

Hasil pengujian kolokasi terhadap dua sensor PMS7003 menunjukkan adanya variasi (variability) kurang dari 20%, yang menandakan bahwa kedua sensor tersebut sudah memenuhi standar interchangeability atau dapat saling dipertukarkan dalam pengukuran. Dari sisi presisi, nilai yang diperoleh sebesar 5,2%, masih lebih baik dibandingkan batas maksimum yang ditetapkan oleh pabrikan, yaitu 10%. Temuan ini sejalan dengan hasil studi internasional yang menyatakan bahwa presisi sensor low-cost biasanya meningkat pada konsentrasi partikulat menengah hingga tinggi, namun cenderung menurun atau memburuk pada konsentrasi rendah, sebagaimana dilaporkan oleh Badura dkk. (2021) dan Chatzidiakou dkk. (2022).

### 3.3 Akurasi Terhadap Metode Referensi

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa sensor PMS7003 memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi, dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) berkisar antara 0,89 hingga 0,95 ketika dibandingkan dengan instrumen referensi seperti TEOM atau BAM (Sayahi dkk., 2019; Kuula dkk., 2019). Dalam penelitian ini, akurasi sensor PMS7003 dievaluasi dengan membandingkannya terhadap alat referensi Dichotomous Sampler. Hasilnya menunjukkan adanya kecenderungan overestimasi secara sistematis, dengan faktor auxiliary sebesar 1,6623.

Untuk mengoreksi nilai yang dihasilkan sensor, digunakan model koreksi sebagai berikut:

$$PM2.5_{\text{true}} = 0,6 \times PM2.5_{\text{sensor}}$$

Dengan demikian, nilai  $PM2.5$  yang terukur oleh sensor dikalikan dengan faktor koreksi 0,6 untuk mendapatkan estimasi konsentrasi  $PM2.5$  yang lebih mendekati nilai sebenarnya

### 3.4 Linearitas dan Residual

Regresi menunjukkan linearitas lemah pada konsentrasi rendah, sesuai pola yang dilaporkan pada kajian global (Jayaratne dkk., 2020; Zamora dkk., 2019). Residual besar pada konsentrasi  $<20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mengindikasikan perlunya local calibration. Fenomena ini menandakan bahwa hubungan antara hasil pengukuran sensor dan nilai referensi tidak berjalan secara proporsional ketika konsentrasi  $PM2.5$  berada pada kisaran rendah. Artinya, perubahan nilai  $PM2.5$  yang tercatat oleh sensor tidak selalu mencerminkan perubahan yang sebenarnya terjadi di lingkungan, terutama jika konsentrasi partikulat sangat kecil. Situasi ini diperparah dengan nilai residual yang besar, yakni selisih antara prediksi model regresi dan data aktual, pada konsentrasi di bawah  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hal tersebut mengindikasikan adanya ketidakakuratan yang cukup signifikan sehingga hasil pengukuran pada level rendah kurang dapat diandalkan.

Dalam konteks pemantauan kualitas udara, linearitas yang lemah dan residual besar pada konsentrasi rendah menjadi tantangan tersendiri. Hal ini sangat penting untuk diperhatikan, khususnya jika data tersebut akan digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam kebijakan lingkungan atau penelitian kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan kalibrasi lokal (local calibration) untuk menyesuaikan kinerja sensor dengan karakteristik lingkungan spesifik di lokasi pengukuran. Kalibrasi lokal bertujuan untuk memperbaiki ketidaksesuaian antara output sensor dan nilai referensi, sehingga hasil pengukuran menjadi lebih akurat dan representatif, terutama pada konsentrasi  $PM2.5$  yang rendah

### 3.5 Evaluasi LOD dan LOQ

Limit of Detection (LOD) merupakan batas terendah suatu alat atau metode dapat mendeteksi keberadaan partikel atau senyawa tertentu, meskipun pada tingkat ini belum tentu dapat dikuantifikasi secara akurat. Dalam hal ini, LOD untuk alat referensi Dichotomous Sampler tercatat sebesar  $0,184 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , sedangkan

sensor PMS7003 memiliki LOD yang sedikit lebih tinggi, yakni  $0,33 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Artinya, PMS7003 baru dapat mendeteksi keberadaan partikel PM<sub>2.5</sub> jika konsentrasi di udara setidaknya mencapai  $0,33 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , sedangkan Dichotomous Sampler sudah bisa mendeteksi pada konsentrasi yang lebih rendah.

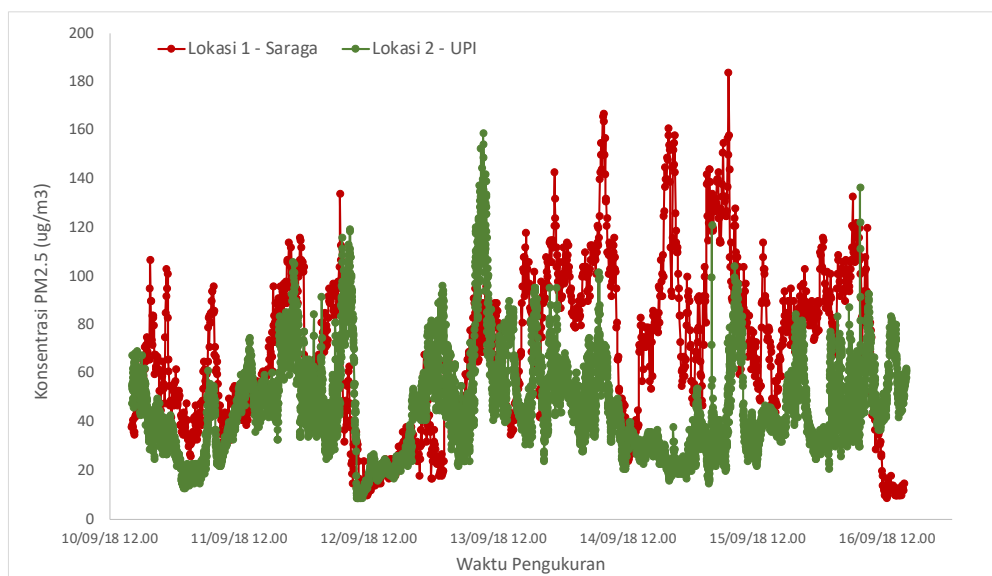
Selain LOD, aspek lain yang penting adalah Limit of Quantification (LOQ), yaitu batas terendah di mana partikel atau senyawa tidak hanya bisa dideteksi, tetapi juga dapat diukur dan dilaporkan secara kuantitatif dengan tingkat presisi dan akurasi yang dapat diterima. Berdasarkan pedoman International Council for Harmonisation (ICH), LOQ biasanya dihitung sebagai tiga kali nilai LOD. Dengan demikian, LOQ untuk sensor PMS7003 adalah sekitar  $1 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  ( $3 \times 0,33 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ).

Namun, perlu dicatat bahwa meskipun sensor secara teoretis mampu mengkuantifikasi pada konsentrasi tersebut, ketidakpastian pengukuran meningkat secara signifikan jika konsentrasi PM<sub>2.5</sub> berada di bawah  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hal ini berarti, pada konsentrasi rendah, hasil pengukuran sensor menjadi kurang andal dan rentan terhadap fluktuasi atau kesalahan, sebagaimana juga disebutkan dalam beberapa literatur (Kabirikopaei & Lau, 2020; Yatkin dkk., 2022). Dengan kata lain, meskipun sensor mampu mendeteksi dan mengukur partikel pada level mendekati LOQ, data yang dihasilkan harus diinterpretasikan dengan sangat hati-hati karena tingkat kepercayaan dan akurasinya menurun secara drastis pada rentang konsentrasi rendah tersebut.

Kondisi ini menegaskan pentingnya melakukan kalibrasi lokal dan validasi data khususnya pada konsentrasi rendah, agar hasil pengukuran sensor tetap relevan dan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan, baik untuk penelitian maupun kebijakan lingkungan.

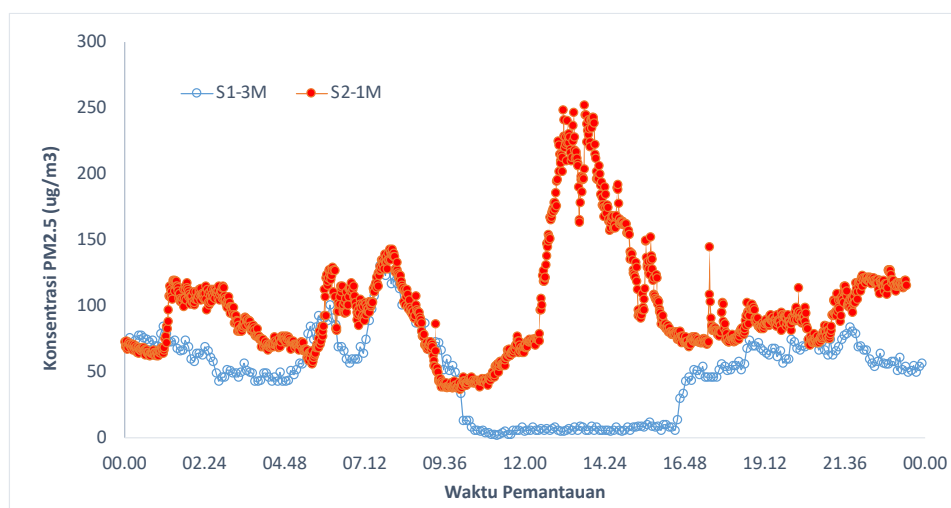
### 3.6 Perbandingan Dua Lokasi dan Dua Elevasi

Perbedaan konsentrasi PM<sub>2.5</sub> antara Saraga dan UPI (Gambar 2) secara nyata mengilustrasikan adanya pengaruh aktivitas manusia (antropogenik) serta karakteristik mikro-lingkungan setempat. Faktor antropogenik yang dimaksud antara lain lalu lintas kendaraan bermotor, proses pengangkatan tanah (uplift soil), serta kebiasaan pembakaran sampah yang masih kerap dijumpai di area sekitar. Aktivitas kendaraan bermotor berkontribusi langsung terhadap peningkatan kadar PM<sub>2.5</sub> melalui emisi gas buang, sementara pembakaran sampah dan pengangkatan tanah akibat aktivitas manusia atau angin memperkaya kandungan partikulat halus di udara.



**Gambar 2.** Perbandingan pemantauan PM<sub>2.5</sub> di 2 lokasi

Selain itu, hasil pengukuran sensor pada dua ketinggian yang berbeda (Gambar 3), yaitu 1 meter dan 3 meter dari permukaan tanah, menunjukkan adanya variasi konsentrasi PM<sub>2.5</sub> yang cukup signifikan. Sensor yang ditempatkan pada ketinggian 1 meter mencatat nilai konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sensor di ketinggian 3 meter.



**Gambar 3.** Perbandingan pemantauan PM2.5 di 2 elevasi yang berbeda (satu tempat yang sama)

Fenomena ini terjadi karena pada ketinggian yang lebih rendah, sensor lebih dekat dengan sumber polusi permukaan seperti debu tanah (soil dust) yang terangkat akibat aktivitas manusia, hembusan angin, atau kendaraan. Debu tanah tersebut cenderung terakumulasi di lapisan udara dekat permukaan, sehingga sensor di posisi rendah lebih rentan menangkap partikel-partikel tersebut.

Secara keseluruhan, temuan ini menekankan pentingnya mempertimbangkan efek mikro-lingkungan dan kontribusi antropogenik dalam analisis data PM2.5. Pengaruh ketinggian sensor terhadap hasil pengukuran juga menjadi aspek krusial, karena dapat memengaruhi interpretasi kualitas udara di lokasi pemantauan. Oleh karena itu, pemilihan lokasi dan ketinggian pemasangan sensor harus disesuaikan dengan tujuan studi dan karakteristik lingkungan sekitar agar data yang dihasilkan benar-benar representatif dan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan terkait pengelolaan kualitas udara.

### 3.7 Rekalibrasi dan Implikasi Pemanfaatan LCOS

Setelah proses validasi dilakukan, rentang pembacaan sensor pada konsentrasi PM2.5 yang tinggi mengalami perubahan signifikan, yaitu dari awalnya 180–200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  menjadi 100–120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Perubahan ini menunjukkan bahwa sensor PMS7003 cenderung memberikan estimasi yang lebih tinggi sebelum dilakukan kalibrasi ulang. Hal ini mengindikasikan pentingnya proses kalibrasi lokal setelah sensor dipasang di lapangan (post-deployment calibration), khususnya dengan metode kolokasi, yaitu menempatkan sensor low-cost di dekat alat referensi agar hasil pembacaan dapat dibandingkan dan dikoreksi sesuai kondisi lingkungan setempat.

Temuan tersebut sejalan dengan berbagai studi internasional yang menekankan perlunya kalibrasi lanjutan berbasis kolokasi lokal untuk meningkatkan akurasi dan reliabilitas sensor, terutama di lingkungan dan kondisi yang berbeda dari pabrik atau laboratorium (Castell dkk., 2022). Dengan melakukan rekalibrasi setelah pemasangan, data yang dihasilkan menjadi lebih representatif dan dapat diandalkan untuk keperluan pemantauan kualitas udara, baik dalam konteks penelitian maupun pengambilan keputusan kebijakan lingkungan.

## 4. Kesimpulan

Sensor PMS7003 terbukti mampu memberikan kinerja yang memadai dalam pemantauan indikatif PM2,5, sebagaimana tercermin dari tingkat data recovery sebesar 76,24% dan nilai presisi mencapai 5,2%. Namun, sensor ini cenderung menghasilkan estimasi yang lebih tinggi dari nilai sebenarnya (overestimasi) pada pengukuran konsentrasi PM2,5. Kondisi ini dapat diatasi melalui penerapan faktor koreksi, yakni sebesar 0,6, yang diperoleh dari hasil kolokasi antara sensor low-cost dan alat referensi di lapangan.

Selain itu, pada konsentrasi rendah – khususnya di bawah 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  – sensor menunjukkan karakteristik non-linearitas serta ketidakpastian pengukuran yang cukup tinggi. Hal ini mengharuskan pengguna untuk

lebih berhati-hati dalam menginterpretasikan data pada rentang konsentrasi tersebut, agar tidak terjadi bias dalam pengambilan keputusan atau penarikan kesimpulan ilmiah.

Faktor mikro-lingkungan, seperti aktivitas manusia dan sumber polusi lokal, beserta ketinggian pemasangan sensor dari permukaan tanah, terbukti memberikan pengaruh signifikan terhadap hasil pengukuran. Sensor yang dipasang lebih dekat ke permukaan cenderung merekam konsentrasi PM<sub>2,5</sub> lebih tinggi akibat akumulasi partikel halus di lapisan udara bawah, terutama dari debu tanah serta polusi permukaan lainnya.

Dengan mempertimbangkan temuan tersebut, PMS7003 tetap dapat diandalkan sebagai bagian dari jaringan pemantauan kualitas udara berbiaya rendah. Namun, efektivitas penggunaannya sangat bergantung pada proses kalibrasi lokal yang dilakukan secara berkala, serta perawatan sistem daya dan komunikasi sensor agar data yang dihasilkan tetap akurat dan dapat diandalkan untuk berbagai kebutuhan pemantauan maupun penelitian lingkungan.

### Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini menggunakan data dari studi internal LCOS PM<sub>2.5</sub> ITB. Terima kasih kepada tim laboratorium serta institusi pendukung

### Referensi

- Badura, M., Rothe, D., Wojnowski, W., Ulfing, K., & Gębicki, J. (2021). Long-term field performance of low-cost PM sensors. *Atmospheric Environment*, 244, 117131.
- Castell, N., Kobernus, M., Liu, H.-Y., Schneider, P., Lahoz, W., & Berre, A. J. (2022). Can low-cost sensors improve regional air quality monitoring? *Environmental Research*, 204, 112122.
- Chatzidiakou, L., Krause, A., & Popoola, O. (2022). Performance evaluation of next-generation particulate sensors. *Science of the Total Environment*, 807, 151170.
- Jayaratne, R., Liu, X., Thai, P., Dunbabin, M., Morawska, L. (2020). The influence of humidity on the performance of a low-cost air particle mass sensor and the effect of atmospheric fog. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13, 5847–5856.
- Kabirikopaei, H., & Lau, N. (2020). Performance evaluation of low-cost sensors for PM<sub>2.5</sub> monitoring in indoor and outdoor environments. *Building and Environment*, 186, 107331.
- Kuula, J., Mäkelä, T., Aurela, M., Teinilä, K., Varjonen, S., González, Ó., Timonen, H. (2019). Laboratory evaluation of particle-size selectivity of optical low-cost particulate matter sensors. *Atmospheric Environment*, 221, 117100.
- Sayahi, T., Butterfield, A., Kelly, K. E. (2019). Long-term field evaluation of the Plantower PMS low-cost particulate matter sensors. *Environmental Pollution*, 245, 932–940.
- Yatkin, S., Karagulian, F., Gerboles, M., Belis, C. A. (2022). Evaluation of sensors for urban air quality monitoring – Pollutant-specific performance and suitability. *Atmospheric Environment*, 277, 119076.
- Zamora, M. L., Rice, J., Ma, Y., Wang, Y., Koehler, K., & Peters, T. M. (2019). Evaluation of low-cost sensors for ambient PM<sub>2.5</sub> monitoring. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 29, 597–602.
- Zheng, T., Li, Y., Lin, C., Yu, Q., & Wang, W. (2022). Improving low-cost sensor networks via localized calibration. *Environmental Science & Technology*, 56(14), 9871–9882.