

VERIFIKASI SENSOR PARTIKULAT SEBAGAI INSTRUMENTASI PEMANTAUAN $PM_{2.5}$ DAN PM_{10} BERBASIS *LOW COST SENSOR*

Januar Arif Fatkhurrahman*, Ikha Rasti Julia Sari dan Ningsih Ika Pratiwi

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Jl. Ki Mangunsarkoro No.6 Semarang

*Email: januarfa@gmail.com

Abstrak

Partikulat dengan ukuran halus, berupa PM_{10} dan $PM_{2.5}$ merupakan ancaman terhadap kesehatan dan lingkungan. Laboratorium uji mempunyai metode terstandar dalam penentuan PM_{10} dan $PM_{2.5}$ dengan basis peralatan High Volume Air Sampler. Pengukuran PM_{10} dan $PM_{2.5}$ dengan basis peralatan tersebut mempunyai beberapa kelemahan, diantaranya periode pengambilan contoh sampai dengan dirilisnya data hasil pengujian seringkali membutuhkan waktu yang lama. Beberapa pengembangan teknologi pengukuran PM_{10} dan $PM_{2.5}$ berkembang ke arah teknologi sensor partikulat berbasis light scattering. Salah satu sensor partikulat yang mampu mengukur PM_{10} dan $PM_{2.5}$ adalah PMS 7003, namun dengan harga yang relatif murah, diperlukan upaya verifikasi sensor untuk melihat korelatif antar sensor secara statistik. Pada kegiatan penelitian ini dilakukan verifikasi sejumlah 5 sensor pada simulasi sebuah ruangan dengan aliran udara terkontrol. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa kelima sensor tersebut mampu mengukur konsentrasi partikulat dengan akurasi tinggi dan estimasi data yang baik.

Kata kunci: partikulat, Sensor PMS 7003, statistik, verifikasi

1. PENDAHULUAN

Penelitian menunjukkan bahwa PM_{10} merupakan ancaman terbesar baik di negara maju maupun berkembang. Resiko yang lebih besar terdapat di negara berkembang seperti negara-negara di Asia (Mukherjee and Agrawal, 2017), termasuk Indonesia. Distribusi partikulat di udara sangat tidak seragam (Krynicka and Drzeniecka-osiadacz, 2015), dikarenakan berasal dari berbagai sumber dan proses konversi sekunder. Rasio $PM_{2.5}/PM_{10}$ menunjukkan informasi tentang jumlah partikulat dengan kondisi lingkungan yang berbeda. India memiliki rasio rata-rata 0,50, perkotaan di Cina dan Asia Timur dengan rata-rata 0,55. Rasio yang lebih rendah terdapat di Timur Tengah, antara 0,25-0,41 karena kontribusi debu gurun lebih banyak untuk PM_{10} . Sedangkan di Eropa, nilainya mencapai 0,74. Variasi ini dipengaruhi oleh faktor lokal, meteorologi serta jumlah dan lokasi titik pemantauan (Mukherjee and Agrawal, 2017).

Cara uji partikulat udara ambien oleh laboratorium pengujian di Indonesia mengacu pada SNI 7119.15:2016 untuk pengukuran PM_{10} dan SNI 7119.14:2016 untuk pengukuran $PM_{2.5}$ dimana keduanya masih menggunakan alat HVAS (*High Volume Air Sampler*) dengan metode uji berbasis gravimetri. Alat ini berukuran besar, membutuhkan waktu pemaparan selama 24 jam serta diperlukan analisis laboratorium untuk memperoleh konsentrasi partikulat. (Chong, Kumar and Member, 2003) dan (Mead *et al.*, 2013) juga menyatakan bahwa alat uji pencemar udara dikenal begitu rumit, berukuran besar dan mahal, termasuk untuk pemeliharaan rutin dan kalibrasi.

Pengukuran partikulat berbasis sensor mulai dikembangkan beberapa tahun terakhir. Sensor-sensor ini didasarkan pada hamburan cahaya optik menggunakan laser dalam menentukan ukuran partikel (Hahn, 2009). Metode *light scattering*, yang menentukan konsentrasi partikulat berdasarkan ukuran, bentuk, dan indeks bias, memiliki kesalahan pengukuran tinggi dalam hal konsentrasi dan ukuran debu karena pengaruh kelembaban udara (Coffey and Pearce, 2009). Oleh sebab itu, sebelum pemantauan, sensor harus dikalibrasi pada kondisi yang mendekati kondisi akhir (Rai *et al.*, 2017).

Penelitian yang ada belum banyak mengevaluasi sensor untuk pemantauan partikulat dan kerjanya dalam berbagai kondisi lingkungan maupun skala waktu yang hingga saat ini belum dapat dipahami dengan baik (Zheng *et al.*, 2018). Kesulitan dalam kalibrasi sensor partikulat juga terjadi Indonesia yang hingga saat ini masih belum memiliki lembaga yang kompeten dalam hal tersebut. Fatkhurrahman (2016) mengembangkan metode pengukuran total partikulat berbasis

sensor dan kuantifikasi nilai dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan alat dan dikorelasikan dengan alat lain yang telah terkalibrasi.

Pada kegiatan penelitian ini digunakan 5 sensor partikulat PMS 7003 yang mampu mengukur $PM_{2.5}$ dan PM_{10} . Kegiatan penelitian ini dimaksudkan untuk melakukan identifikasi dari kelima pembacaan sensor partikulat, apakah hasil pengukuran sensor dapat diverifikasi dengan analisis regresi linearitas antar masing-masing sensor. Analisis performa sensor dengan uji statistik ini juga dilakukan oleh (Liu *et al.*, 2019) untuk sensor $PM_{2.5}$.

2. METODOLOGI

2.1 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada kegiatan penelitian ini meliputi: *acrylic sheet* untuk bahan konstruksi dan penyangga, baut, mur, dan kabel untuk konstruksi elektronik. Peralatan yang digunakan pada kegiatan penelitian ini, *arduino uno*, *SD card module*, *humidity and temperature sensor DHT22*, dan sensor partikulat PMS 7003.

2.2 Prosedur

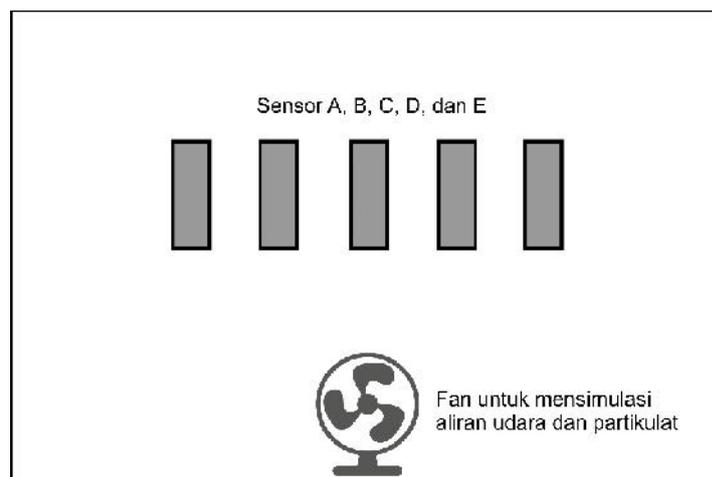
Arduino uno digunakan sebagai mikrokontroler untuk membaca data partikulat dari sensor partikulat PMS 7003 dan data suhu dan kelembaban dari DHT22. *SD card module* yang dilengkapi dengan RTC sensor digunakan untuk menyimpan data setiap 5 menit dan mencatat waktu perekaman data. Data disimpan dalam *SD card* dan disimpan dalam format CSV yang dibuka menggunakan Microsoft Office Excel untuk dianalisa. Kelima sensor partikulat ditempatkan dalam satu deret tempat dengan jarak yang berdekatan, partikulat dipaparkan selama 6 hari. Data diambil untuk pembacaan $PM_{2.5}$ dan PM_{10} .

2.3 Analisis Data

Karena tidak ada pembandingnya sehingga dilakukan verifikasi silang dengan membandingkan angka yang dikeluarkan pada beberapa peralatan yang sama. Data hasil metode statistik dengan analisis nilai regresi linear dan slope.

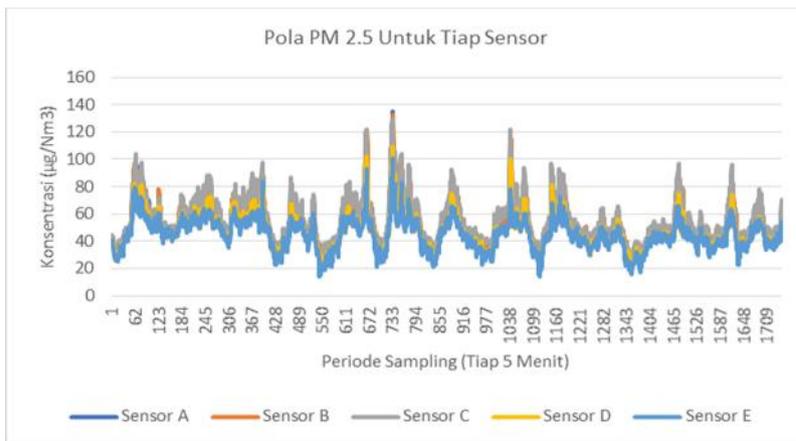
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi dan hasil analisis dari $PM_{2.5}$ dan PM_{10} merupakan data hasil tabulasi yang tersimpan dalam modul *SD card*. Kelima sensor diletakkan dalam jarak 10 cm antar sensor di sebuah ruangan dengan kondisi aliran udara yang dikontrol menggunakan kipas. Penempatan posisi sensor di ruangan seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



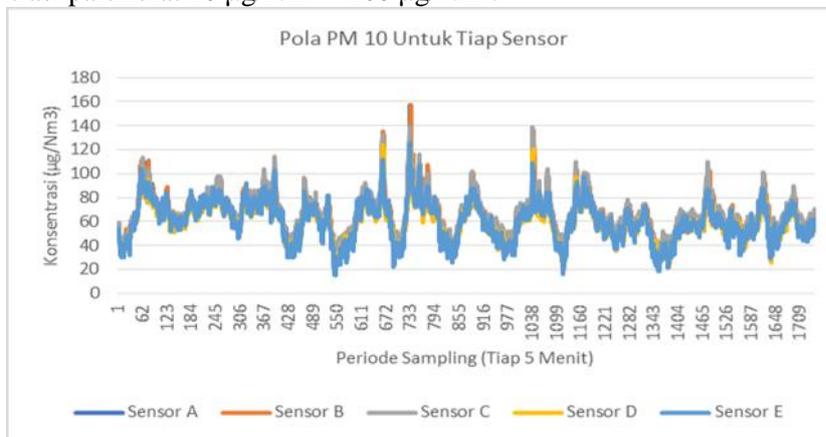
Gambar 1. Simulasi ruangan kalibrasi sensor partikulat

Data hasil tabulasi untuk $PM_{2.5}$ seperti terlihat pada gambar di bawah ini, dengan kisaran konsentrasi partikulat bervariasi dari $15 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ – $140 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$.



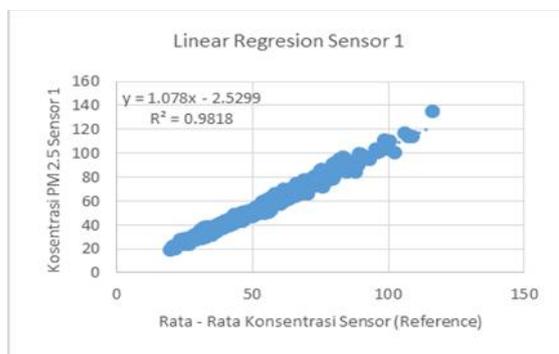
Gambar 2. Pola PM_{2.5} untuk tiap sensor

Sedangkan data hasil tabulasi untuk PM₁₀ seperti terlihat pada gambar di bawah ini, dengan kisaran konsentrasi partikulat 20 µg/Nm³ – 160 µg/Nm³.

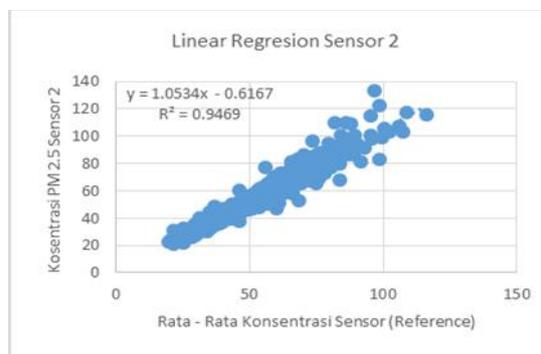


Gambar 3. Pola PM₁₀ untuk tiap sensor

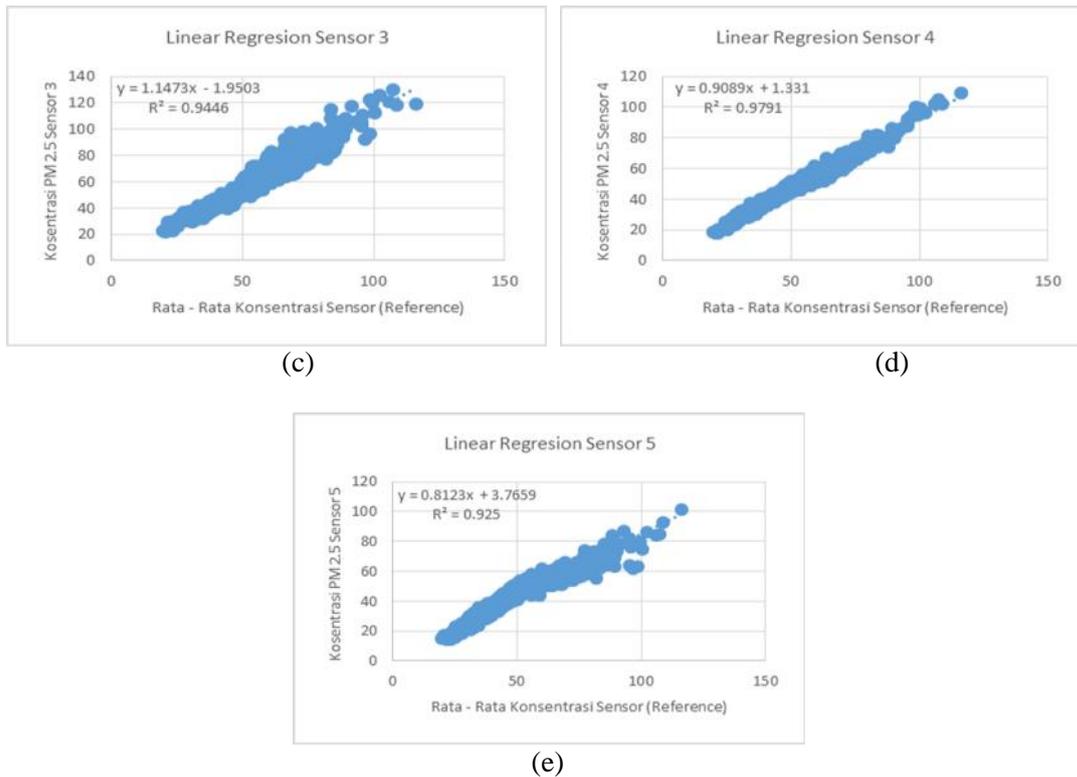
Secara visual data konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀ untuk tiap sensor relatif identik, namun perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk melihat apakah kelima sensor tersebut secara statistik mempunyai hubungan korelatif. Analisis pertama dilakukan dengan membandingkan masing-masing sensor terhadap rata-rata pengukuran dari kelima sensor seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



(a)



(b)



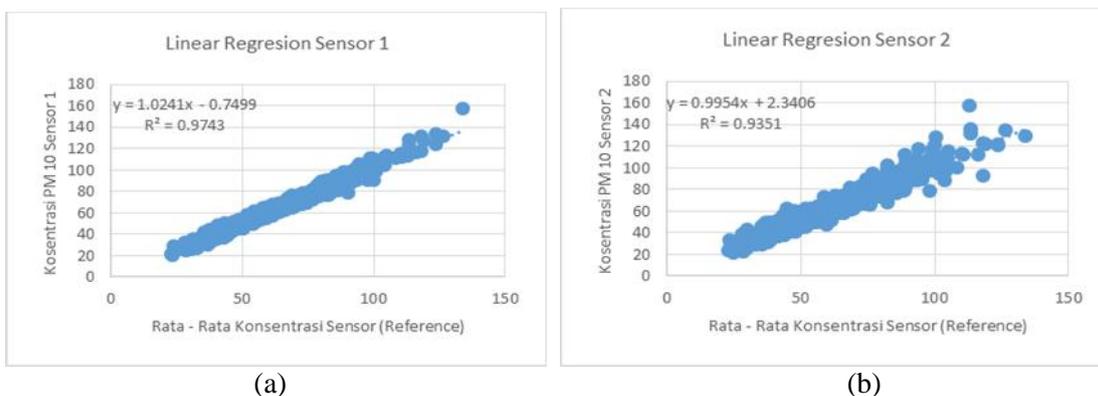
Gambar 4. Linier regresi rata-rata konsentrasi sensor terhadap konsentrasi PM_{2.5}

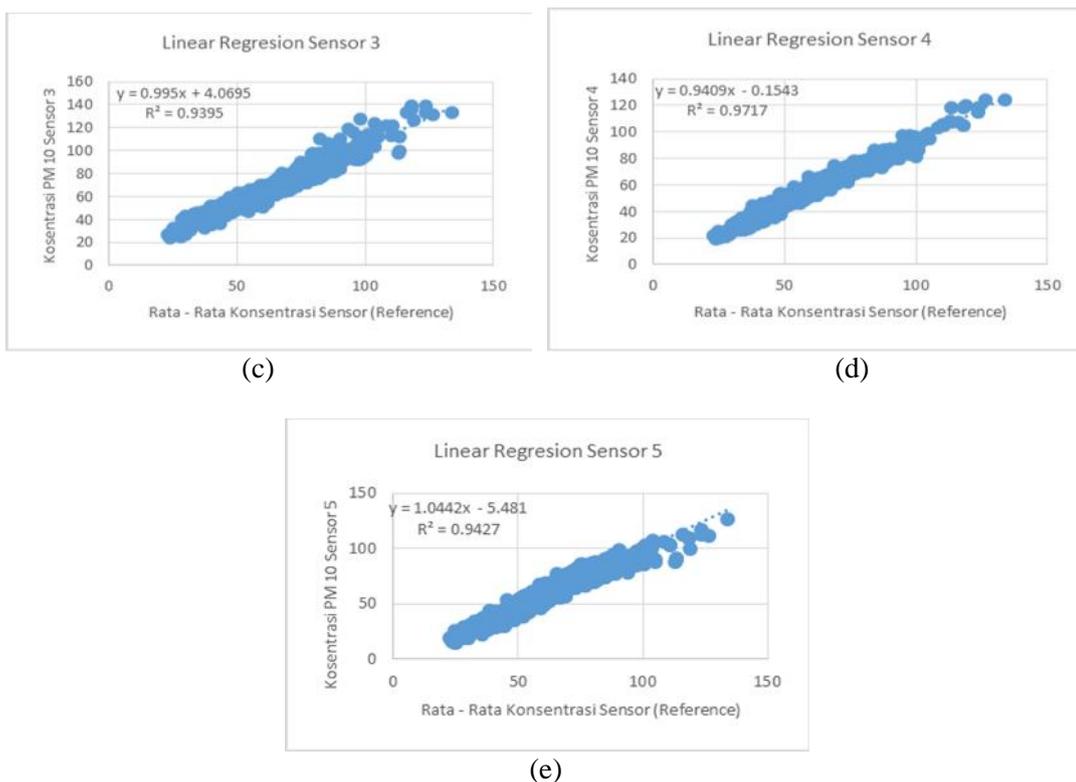
Kelima sensor tersebut memperlihatkan korelasi yang substantif terhadap rata-rata pembacaan sensor sebagai *reference*, dengan nilai R² Sensor 1 (0,982), Sensor 2 (0,946), Sensor 3 (0,945), Sensor 4 (0,979), dan Sensor 5 (0,925). Seperti terlihat pada tabel 1, sensor 1, 2, dan 3 menunjukkan slope lebih dari 1, yang menunjukkan sensor ini dapat digunakan untuk estimasi PM_{2.5} (Liu *et al.*, 2019).

Tabel 1. Resume analisis statistik PM_{2.5}

Variabel	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5
Mean Error	0,358589	0,356817598	0,389070465	0,302754431	0,278357
SD	14,90626	14,83262899	16,17335553	12,58526538	11,57108
Intercept	-2,52985	-0,616702622	-1,950278249	1,330981153	3,765853
Slope	1,078045	1,053448639	1,147313205	0,908924278	0,812269
R ²	0,982	0,946	0,945	0,979	0,925

Sementara data untuk partikulat PM₁₀ disajikan dalam gambar berikut.





Gambar 5. Linier Regresi Rata-rata Konsentrasi Sensor Terhadap Konsentrasi PM₁₀

Kelima sensor tersebut memperlihatkan korelasi yang substantif terhadap rata-rata pembacaan sensor sebagai *reference*, seperti halnya pada sensor PM_{2.5} hal ini ditunjukkan dengan nilai R² Sensor 1 (0,974), Sensor 2 (0,935), Sensor 3 (0,940), Sensor 4 (0,972), dan Sensor 5 (0,943). Seperti terlihat pada tabel 2, sensor 1 dan 5 menunjukkan slope lebih dari 1, dan sensor lainnya dengan slope hampir mendekati 1 yang menunjukkan sensor ini dapat digunakan untuk estimasi PM₁₀.

Tabel 2. Resume Analisis Statistik PM₁₀

Variabel	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5
Mean Error	0,39256513	0,389821857	0,389029778	0,361012651	0,407660974
SD	16,3044544	16,1952099	16,16698421	14,99398151	16,94124435
Intercept	-0,7498752	2,340582261	4,069469558	-0,154312948	-5,48104408
Slope	1,024056097	0,99539427	0,995017633	0,940916455	1,044184316
R ²	0,974	0,935	0,940	0,972	0,943

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisa deskriptif untuk kelima sensor tersebut, baik untuk parameter PM_{2.5} dan PM₁₀, menunjukkan akurasi data yang tinggi ditunjukkan dengan koefisien linearitas mendekati 1. Selain itu, estimasi yang baik untuk nilai pembacaan konsentrasi partikulat ditunjukkan dengan nilai slope lebih dari 1. Langkah ini dapat digunakan sebagai salah satu acuan untuk memverifikasi pembacaan partikulat berbasis *low-cost* sensor.

DAFTAR PUSTAKA

Chong, C., Kumar, S. P. and Member, S. (2003) ‘Sensor Networks : Evolution , Opportunities , and Challenges’, 91(8).
 Coffey, B. C. C. and Pearce, T. A. (2009) ‘Direct-reading methods for’, *Journal of Chemical Health & Safety*. ACS Division of Chemical Health and Safety, 17(3), pp. 10–21. doi: 10.1016/j.jchas.2009.08.003.

- Fatkhurrahman, J. A., Sari, I. R. J., Zen, N. (2016) Verifikasi *Low Cost Particulate Sensor* sebagai Sensor Partikulat pada Modifikasi Teknologi *Wet Scrubber*. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri* 7 (1), pp 31-38.
- Hahn, D.W. (2009) *Light Scattering Theory*; University of Florida: Gainesville, FL, USA.
- Krynicka, J. and Drzeniecka-osiadacz, A. (2015) 'Analysis of Variability in PM 10 Concentration in the Wrocław Agglomeration', 22(August), pp. 1091–1099.
- Liu, H. *et al.* (2019) 'Performance Assessment of a Low-Cost PM 2.5 Sensor for a near Four-Month Period in Oslo, Norway', pp. 1–19. doi: 10.3390/atmos10020041.
- Mead, M. I. *et al.* (2013) 'The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost, high-density networks', *Atmospheric Environment*. Elsevier Ltd, 70, pp. 186–203. doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.11.060.
- Mukherjee, A. and Agrawal, M. (2017) 'World air particulate matter: sources, distribution and health effects', *Environmental Chemistry Letters*. Springer International Publishing. doi: 10.1007/s10311-017-0611-9.
- Rai, A. C. *et al.* (2017) 'Science of the Total Environment End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 607–608, pp. 691–705. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.06.266.
- Zheng, T. *et al.* (2018) 'Field evaluation of low-cost particulate matter sensors in high- and low-concentration environments', pp. 4823–4846.