



---

*Research Articles*

## **Pengukuran Konsentrasi *Coarse Particle* di Ruangan dengan Sistem Kontrol Temperatur Udara**

### ***Measurement of Coarse Particle Concentration in Room Equipped with Air Temperature Controller System***

Arif Budiarto, Rosita Juniarti, Rahadi Wirawan, Susi Rahayu\*

Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram  
Nusa Tenggara Barat, INDONESIA. Tel. +62-370 633007, Fax. +62-370 636041

\*corresponding author, email : [susirahayu@unram.ac.id](mailto:susirahayu@unram.ac.id)

Manuscript received:24-04-2024. Accepted: 20-06-2024

#### **ABSTRAK**

*Particulate matter* merupakan salah satu jenis emisi udara yang terdiri atas padatan dan cairan. Emisi ini dapat ditemukan dalam berbagai kelompok ukuran, seperti *ultrafine particle*, *fine particle*, dan *coarse particle*. *Coarse particle* digunakan sebagai parameter kualitas udara ruangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur konsentrasi *coarse particle* dalam ruang berpendingin udara. Pengukuran dilakukan menggunakan sebuah sensor *coarse particle* dan mikrokontroler di dalam ruang pengujian selama satu jam. Pengukuran tersebut dilakukan dengan dua variasi kondisi, yakni aktif (banyak orang di dalamnya) dan non aktif (ruang kosong). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa aktivitas dan pergerakan manusia dalam kondisi pengujian aktif memiliki konsentrasi *coarse particle* yang lebih tinggi dibandingkan kondisi non aktif. Perbedaan konsentrasi di antara kedua kondisi ini sebesar  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hasil ini menyimpulkan bahwa aktivitas manusia termasuk sebagai faktor yang dapat mempengaruhi distribusi partikulat berorde submikron di dalam ruangan. Ruangan berpendingin udara berpotensi memiliki lebih banyak konsentrasi *coarse particle* dibandingkan ruang biasa.

**Kata Kunci** : debu; *particulate matter*; pendingin udara; udara; ruangan

#### **ABSTRACT**

Particulate matter is an air emission that is composed of particle and liquid droplet. This suspension is easily measured in several size distributions: ultrafine particle, fine particle, coarse particle, and total suspended particle. Coarse particle is commonly used as a parameter of air quality index. This research aims to measure coarse particle concentrations inside an air-conditioned room. The measurement was conducted using a particulate sensor and a microcontroller for an hour. All measurements were varied into: active and non active room conditions. The results show that human activities and movements in the first variation has higher concentration than the second one. The difference is about  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . human activities have a significant role in the submicron particulate distribution inside a room. Air-conditioned room has higher concentration than a common room.

**Keywords** : dust; particulate matter; air cooler; air; room

## PENDAHULUAN

Pemantauan kualitas udara dapat dinyatakan dalam indeks khusus bernama AQI (*Air Quality Index*) yang dipergunakan secara resmi di dunia (Hachem *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2019). Di Indonesia, indeks ini dikenal sebagai ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara). Keberadaan indeks baku mutu udara ini sangat penting, mengingat kualitas udara dalam isu lingkungan udara saat ini relatif dipengaruhi oleh berbagai sumber pencemaran udara (oleh gas dan *particulate matter*), seperti pembakaran biomassa (Sagastume Gutiérrez *et al.*, 2022), kendaraan bermotor (Minguillón *et al.*, 2015), aktivitas industri dan pembangkit listrik (Dimitriou *et al.*, 2021; Oetari *et al.*, 2019), percetakan atau *printing* (Wang *et al.*, 2019), aktivitas memasak sehari-hari (Qi *et al.*, 2017), merokok (Marco *et al.*, 2016), dan lain sebagainya.

PM atau *particulate matter* merupakan salah satu istilah umum yang seringkali dibicarakan dalam isu lingkungan udara. PM merupakan campuran dalam wujud suspensi antara partikel berbentuk padat dan *droplet* (tetesan air) di udara (Ravindra *et al.*, 2023). PM merupakan salah satu jenis emisi (selain emisi berbentuk gas seperti emisi karbon dioksida, karbon monoksida, nitrogen dioksida, dan lainnya) yang sangat mudah terdistribusi dan melayang-layang di udara dalam jangka waktu yang cukup lama (Madhwal *et al.*, 2020). Dalam sebuah penelitian, diketahui bahwa PM dengan berbagai variasi ukurannya dapat dengan mudah bergerak, mengambang, melayang-layang di udara (*ambient air*), dan kemudian terdeposisi ataupun mengalami nukleasi dan aglomerasi (Hadi *et al.*, 2021; Wardoyo & Budianto, 2017).

PM dapat dibagi menjadi tiga kelompok besar atau klasifikasi yang utama, yakni PM<sub>0,1</sub>, PM<sub>2,5</sub>, dan PM<sub>10</sub>. PM<sub>0,1</sub> dikenal sebagai PM dengan ukuran terkecil (*ultrafine particle*), dengan diameter kurang dari atau sama dengan 0,1  $\mu\text{m}$  (Fujitani *et al.*, 2020; Khoa *et al.*, 2023). *Ultrafine particle* biasa dinyatakan dalam distribusi partikel karena ukurannya yang sangat kecil (He *et al.*, 2023). Distribusi partikel umumnya dinyatakan dalam satuan  $\text{particle}/\text{cm}^3$ , atau jumlah partikel per satuan volume. Kelompok kedua yakni PM<sub>2,5</sub> atau *fine particle*, di mana partikulat ini memiliki distribusi massa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dan berdiameter lebih dari 0,1  $\mu\text{m}$  dan kurang dari 2,5  $\mu\text{m}$  (Mahasakpan *et al.*, 2023). Karena ukurannya yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan *ultrafine particle*, maka PM<sub>2,5</sub> dinyatakan dalam distribusi massa, bukan menggunakan distribusi jumlah partikel. Kelompok ketiga adalah *coarse particle* atau PM<sub>10</sub>, dengan ukuran yang lebih besar dibandingkan kedua kelompok PM sebelumnya. PM<sub>10</sub> berdiameter lebih dari 10  $\mu\text{m}$ , dan dinyatakan dalam distribusi massa (Jameson *et al.*, 2020).

PM dapat dihasilkan dari berbagai aktivitas, baik alami maupun buatan. Sebagian besar emisi PM dihasilkan dari reaksi pembakaran yang tidak sempurna. Sumber PM dari reaksi pembakaran contohnya adalah kebakaran hutan, kebakaran lahan (Suriyawong *et al.*, 2023), memasak menggunakan bahan biomassa (seperti kayu bakar) (Hadi *et al.*, 2022), pembangkit listrik, dan sebagainya. Aktivitas transportasi juga merupakan sumber PM yang berasal dari aktivitas manusia karena mengemisikan berbagai ukuran PM (Minguillón *et al.*, 2015). Aktivitas vulkanik gunung berapi juga adalah salah satu sumber emisi PM (Butwin *et al.*, 2019).

Di dalam ruangan, PM juga tersebar dan melayang-layang di udara *ambient*. Sebaran atau distribusi PM tidak hanya untuk PM berdiameter besar, namun juga PM berukuran submikron (Shi & Li, 2018). Hal ini menunjukkan bahwa pengukuran PM di dalam udara ruangan memiliki urgensi tinggi untuk dilakukan.

Distribusi jumlah dan ukuran, konsentrasi, dan durasi paparan emisi PM berkorelasi dengan kesehatan manusia. Beberapa penelitian terbaru membuktikan keberadaan korelasi positif antara paparan PM dengan konsentrasi tertentu dan deformasi sel. Spesifik pada *coarse-fine particle*, PM ini dapat dikaitkan dengan stres oksidatif di paru-paru (Siregar *et al.*, 2023). Paparan berlebih dapat mengubah bentuk alamiah sel yang selanjutnya berhubungan dengan kerusakan sel, seperti sel sabit atau *sickle cell* dan *teardrop-shaped cell* (Hadi *et al.*, 2022). Mengacu pada sebuah studi di Eropa dan Asia, emisi PM dari pembakaran biomassa berkorelasi dengan gangguan sistem kardiovaskular (Sigsgaard *et al.*, 2015). Inhalasi PM bagi manusia dapat mengakibatkan PM terdeposisi dan mengendap di sekitaran permukaan organ paru (Möller *et al.*, 2008; Sioutas *et al.*, 2005). Akibat ukurannya yang kecil, PM dapat terdeposisi lebih jauh ke organ lainnya dengan melalui aliran darah.

Latar belakang di atas sekali lagi menunjukkan bahwa udara di dalam ruangan juga tak lepas dari adanya potensi sebaran atau distribusi *coarse particle*. Uraian tersebut di atas telah mendeskripsikan gambaran umum PM, secara spesifik *coarse particle* dan dampak negatifnya bagi kesehatan. Oleh sebab itu, diperlukan sebuah pengukuran terkait besar konsentrasi *coarse particle* di udara ruangan sebagai sebuah bentuk mitigasi pencegahan dampak negatif dari PM tersebut.

## BAHAN DAN METODE

### Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di ruang tertutup di FMIPA Universitas Mataram. Secara spesifik, keseluruhan pengujian dilakukan di dalam ruangan tertutup (temperatur 16-28°C, dengan kelembaban udara relatif  $\pm 68\%$ ). Ruang pengujian merupakan area yang digunakan sebagai ruang perkuliahan. Kondisi ruangan dibagi ke dalam dua jenis, yakni menggunakan pendingin udara (kondisi A) dan biasa atau tanpa pendingin udara (kondisi B). Variasi kedua yakni kondisi 1 dan kondisi 2, yang merupakan kondisi ruang kosong (tanpa orang) dan kondisi ruang aktif (terdapat orang di dalamnya) (Tabel 1).

Tabel 1. Variasi pengukuran konsentrasi PM<sub>10</sub> di ruangan

Variasi Laju Hisap	A	B
Kosong	A1	B1
Terdapat manusia	A2	B2
Jumlah manusia (orang)		
Kosong	0	0
Terdapat manusia	20	20
Pendingin udara	aktif	non aktif

### Metode Pengukuran

Pengukuran dilakukan menggunakan sebuah mikrokontroler jenis Arduino UNO dan sensor partikulat. Sensor tersebut digunakan sebagai elemen *sensing* untuk mengukur konsentrasi *coarse particle* (PM<sub>10</sub>) secara *real-time*. Keseluruhan sistem dimasukkan ke dalam sebuah boks sensor yang dilengkapi dengan pompa hisap udara terkontrol (Gambar 1). Data hasil pengukuran ditampilkan pada sebuah layar (LCD) (Amalia *et al.*, 2021; Wardoyo *et al.*, 2022; Widhowati *et al.*, 2021). Pengujian dilakukan selama 1 jam untuk seluruh variasi kondisi. Pengujian dilakukan dengan interval waktu 5 menit per satu kali pencacahan data.



Gambar 1. Desain sistem pengukuran konsentrasi *fine particle* yang digunakan

*Analisis Data*

Data yang dihasilkan diinterpretasikan dalam bentuk nilai rata-rata (*mean*) ± standar deviasi (SD). Nilai linearitas ( $R^2$ ) diperoleh berdasarkan korelasi persamaan linear (1):

$$y = ax + b \tag{1}$$

antara waktu pengukuran ( $t$ , dalam sumbu  $x$ ) dengan konsentrasi yang terbaca ( $C$ , dalam sumbu  $y$ ). Linearitas dinyatakan dalam persentase (%) dari nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ). Adapun *range* dan *span* hasil pengukuran diperoleh berdasarkan pada hasil pengukuran minimal dan maksimal konsentrasi  $PM_{10}$ .

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengukuran konsentrasi *coarse particle* pada kondisi A ditunjukkan oleh Tabel 2. Konsentrasi terukur pada kondisi A-1 berkisar antara 13-16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nilai terendah didapatkan pada pencacahan menit ke-20. Tabel tersebut menunjukkan bahwa kondisi A-1 memiliki lebih sedikit konsentrasi *coarse particle* dibandingkan dengan kondisi A-2. Hasil tersebut konsisten untuk keseluruhan waktu pencacahan, mulai dari menit kelima hingga menit terakhir. Tampak bahwasannya konsentrasi *coarse particle* pada kondisi ruang dengan aktivitas manusia (A-2) memiliki nilai yang terbesar (31  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan manusia ataupun pergerakan/ aktivitas manusia di dalam ruangan tertutup dengan pendingin udara dapat mempengaruhi distribusi massa *coarse particle*.

Tabel 2. Data pengukuran konsentrasi  $PM_{10}$  di ruang berpendingin udara

Waktu (menit)	A-1 (kosong, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	A-2 (terdapat aktivitas, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
5	14	31
10	15	27
15	15	29
20	13	26
25	14	24
30	14	29
35	14	26
40	16	24
45	15	22
50	14	28
55	15	31
60	15	29
Rata-rata	15±1	27±3

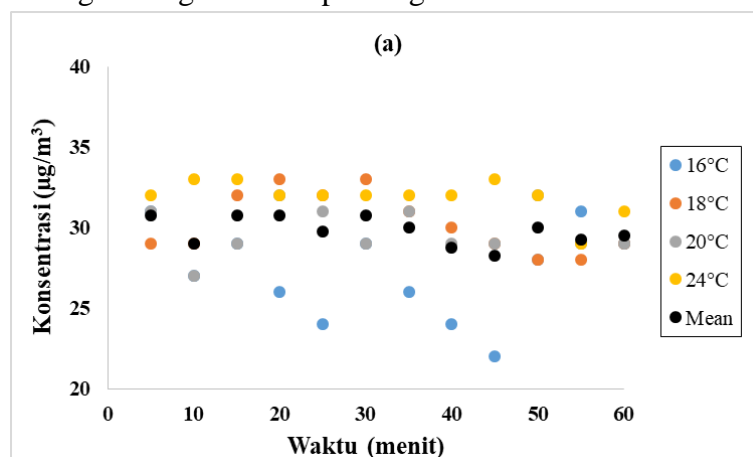
Data pada Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran untuk ruang tanpa pendingin udara. Pengukuran ini diperoleh dalam waktu atau durasi 60 menit.

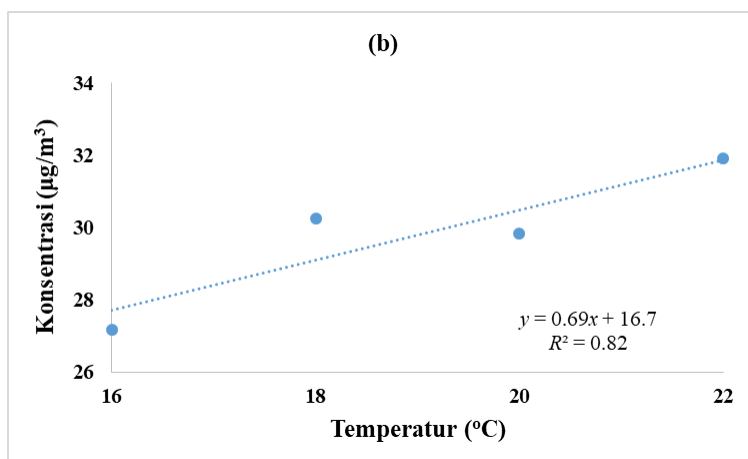
Tabel 3. Data pengukuran konsentrasi PM<sub>10</sub> di ruang tanpa pendingin udara

Waktu (menit)	A-1 (kosong, µg/m <sup>3</sup> )	A-2 (terdapat aktivitas, µg/m <sup>3</sup> )
5	9	22
10	9	19
15	10	24
20	9	21
25	9	21
30	9	23
35	11	20
40	9	20
45	9	23
50	9	22
55	9	19
60	11	19
Rata-rata	9±1	21±2

Data tersebut diperoleh untuk pencacahan setiap 5 menit secara langsung. Tabel tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi terendah sebesar 9 µg/m<sup>3</sup> terdapat pada kondisi B-1. Pada variasi ini (B-1), nilai konsentrasi terbesar hanyalah sebesar 11, yang diperoleh pada waktu pencacahan 35 menit dan 60 menit. Hasil ini jauh berbeda dibandingkan dengan pengukuran pada kondisi B-2 atau ruangan dengan terdapat aktivitas manusia di dalamnya. Pada kondisi B-2, konsentrasi terbesar yakni sebesar 24 µg/m<sup>3</sup>. Nilai ini diperoleh pada waktu pencacahan 15 menit, yang berbeda sebesar 13 µg/m<sup>3</sup> dibandingkan nilai terbesar di B-1.

Data sebelumnya mengindikasikan bahwasannya kondisi ruangan yang dilengkapi sistem pendingin udara memiliki konsentrasi *coarse particle* yang lebih besar jika dibandingkan dengan ruangan tanpa pendingin ruangan. Selanjutnya, dilakukan identifikasi pengaruh temperatur terhadap konsentrasi *coarse particle*. Gambar 2 menunjukkan hasil analisis korelasi linear yang menunjukkan hubungan antara temperatur terhadap konsentrasi *coarse particle* di ruangan dengan sistem pendingin udara.





Gambar 2. (a) Pengukuran *coarse particle* di kondisi A-2 pada beberapa variasi temperatur; dan (b) Analisis pengaruh temperatur terhadap konsentrasi *coarse particle* ( $R^2 = 0.82$ ).

Hasil ini sesuai dengan teori, di mana dengan luas penampang ( $A$ ) yang sama dan dengan waktu sampling ( $t$ ) yang sama, maka volume udara ( $V$ ) akan berubah-ubah sesuai dengan laju aliran udara (2):

$$Q = A \cdot v \tag{2}$$

Debit  $Q$  juga bisa dinyatakan dalam (3):

$$Q = V \cdot t^{-1} \tag{3}$$

Dengan memasukkan persamaan (2) ke (3), didapatkan persamaan (4):

$$A \cdot v = V \cdot t^{-1} \tag{4}$$

Persamaan (4) ini menunjukkan bahwa laju alir udara ( $v$ ) menentukan volume udara yang dianalisis. Di sisi lain, temperatur ruangan atau kondisi panas dingin udara ( $T$ ) di dalam ruangan juga berbanding lurus dengan volume udara tersebut (5):

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \tag{5}$$

Hal ini menunjukkan bahwa volume udara berisi *coarse particle* di dalam ruang dengan temperatur yang lebih tinggi akan lebih besar jika dibandingkan dengan ruangan bertemperatur lebih rendah. Di sisi lain, volume udara yang rendah sebanding dengan lebih rendahnya konsentrasi *coarse particle* yang terukur di dalam medium udara ruangan. Faktor inilah yang menyebabkan ruangan dengan temperatur lebih tinggi memiliki konsentrasi *coarse particle* yang lebih tinggi pula.

Meskipun ruangan berpendingin udara memiliki temperatur yang lebih rendah dibandingkan ruangan tanpa pendingin udara, konsentrasi *coarse particle* yang lebih besar justru terdapat pada ruangan berpendingin udara. Dalam hal ini, faktor kecepatan atau laju alir udara menentukan pergerakan partikel. Pergerakan acak partikel berukuran kecil ini kemudian menimbulkan efek gerak Brownian motion, yang mengakibatkan partikulat mengalami nukleasi dan aglomerasi untuk membentuk partikulat yang baru (Wardoyo & Budianto, 2017).

### KESIMPULAN

Hasil penelitian menghasilkan data pengukuran konsentrasi *coarse particle* atau  $PM_{10}$  skala ruangan yang dilengkapi pendingin udara. Ruangan dengan pendingin udara relatif memiliki konsentrasi *coarse particle* yang lebih besar jika dibandingkan dengan ruangan tanpa

sistem pendingin udara. Perbedaan konsentrasi di antara keduanya yakni sebesar  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Aktivitas manusia juga menentukan sebaran konsentrasi *coarse particle*, di mana ruangan dengan aktivitas manusia berpotensi memiliki konsentrasi *coarse particle* yang lebih besar dibandingkan ruangan kosong.

### Ucapan Terimakasih

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada LPPM dan BP3F MIPA Universitas Mataram untuk pendanaan yang diberikan (PNBP/DIPA BLU, 26 Februari 2024). Tim peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh anggota Laboratorium Fisika Lanjut-Instrumentasi, Universitas Mataram.

### DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, R., Wardoyo, A. Y. P., Dharmawan, H. A., Nurhuda, M., & Budianto, A., 2021. Development of a measurement system for volcanic CO and CO<sub>2</sub> concentrations. ISESD. 1:1-6.
- Budianto, A., Wardoyo, A. Y. P., Masruroh, Dharmawan, H. A., & Nurhuda, M., 2021. Performance test of an aerosol concentration measurement system based on quartz crystal microbalance. IOP Conference Series: Earth and Env. Sci. 1811(1).
- Butwin, M. K., von Löwis, S., Pfeffer, M. A., & Thorsteinsson, T., 2019. The effects of volcanic eruptions on the frequency of particulate matter suspension events in Iceland. J. Aerosol Sci. 128: 99–113.
- Dimitriou, K., Bougiatioti, A., Ramonet, M., Pierros, F., Michalopoulos, P., Liakakou, E., Solomos, S., Quehe, P. Y., Delmotte, M., Gerasopoulos, E., Kanakidou, M., & Mihalopoulos, N., 2021. Greenhouse gases (CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>) at an urban background site in Athens, Greece: Levels, sources and impact of atmospheric circulation. Atmos. Env. 253: 118372.
- Fujitani, Y., Takahashi, K., Fushimi, A., Hasegawa, S., Kondo, Y., Tanabe, K., & Kobayashi, S., 2020. Particle number emission factors from diesel trucks at a traffic intersection: Long-term trend and relation to particle mass-based emission regulation. Atmospheric Environment: X 5: 100055.
- Hachem, M., Loizeau, M., Saleh, N., Momas, I., & Bensefa-Colas, L. (2021). Short-term association of in-vehicle ultrafine particles and black carbon concentrations with respiratory health in Parisian taxi drivers. EnV. Int. 147: 106346.
- Hadi, K. A., Wardoyo, A. Y. P., Juswono, U. P., Naba, A., Budianto, A., & Adi, E. T. P., 2022. A Study of Erythrocyte Deformation Level Related to Biomass Burning Emission Exposures Using Artificial Neural Networks. Polish J. of Env. Stud. 31(6): 5037–5046.
- Hadi, K. A., Wardoyo, A. Y. P., Naba, A., Juswono, U. P., & Budianto, A., 2021. Investigation of burning rate on particulate matter emission factor of rice straw burning (case study in Lombok Island, Indonesia). Journal of Physics: Conference Series.
- He, Y., Lan, X., & Zhu, L., 2023. Effect of urban green infrastructure on pedestrian exposure to ultrafine particles: A case study of Guangzhou, China. Urban Climate 49: 101453.
- Jameson, G. J., Cooper, L., Tang, K. K., & Emer, C., 2020. Flotation of coarse coal particles in a fluidized bed: The effect of clusters. Minerals Engineering, 146: 106099.

- Khoa, N. D., Li, S., Phuong, N. L., Kuga, K., Yabuuchi, H., Kan-O, K., Matsumoto, K., & Ito, K., 2023. Computational fluid-particle dynamics modeling of ultrafine to coarse particles deposition in the human respiratory system, down to the terminal bronchiole. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 237: 107589.
- Madhwal, S., Prabhu, V., Sundriyal, S., & Shridhar, V. (2020). Ambient bioaerosol distribution and associated health risks at a high traffic density junction at Dehradun city, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(3).
- Mahasakpan, N., Chaisongkaew, P., Inerb, M., Nim, N., Phairuang, W., Tekasakul, S., Furuuchi, M., Hata, M., Kaosol, T., Tekasakul, P., & Dejchanchaiwong, R., 2023. Fine and ultrafine particle- and gas-polycyclic aromatic hydrocarbons affecting southern Thailand air quality during transboundary haze and potential health effects. *J. Env. Sci.* 124: 253–267.
- Marco, C. De, Ruprecht, A. A., Pozzi, P., Munarini, E., Ogliari, A. C., Mazza, R., & Boffi, R., 2016. Particulate matters from diesel heavy duty trucks exhaust versus cigarettes emissions : a new educational antismoking instrument. *Multidisc. Resp. Med.* 1–5.
- Minguillón, M. C., Rivas, I., Moreno, T., Alastuey, A., Font, O., Córdoba, P., Álvarez-Pedrerol, M., Sunyer, J., & Querol, X., 2015. Road traffic and sandy playground influence on ambient pollutants in schools. *Atmospheric Environment* 111: 94–102.
- Möller, W., Felten, K., Sommerer, K., Scheuch, G., Meyer, G., Meyer, P., Häussinger, K., & Kreyling, W. G., 2008. Deposition, Retention, and Translocation of Ultrafine Particles from the Central Airways and Lung Periphery. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 177: 426–432.
- Oetari, P. S., Hadi, S. P., & Huboyo, H. S., 2019. Trace elements in fine and coarse particles emitted from coal-fired power plants with different air pollution control systems. *Journal of Environmental Management*, 250: 109497.
- Qi, M., Zhu, X., Du, W., Chen, Y., Chen, Y., Huang, T., Pan, X., Zhong, Q., Sun, X., Zeng, E. Y., Xing, B., & Tao, S., 2017. Exposure and health impact evaluation based on simultaneous measurement of indoor and ambient PM<sub>2.5</sub> in Haidian, Beijing. *Env. Poll.* 220: 704–712.
- Ravindra, K., Singh, T., Singh, V., Chintalapati, S., Beig, G., & Mor, S., 2023. Understanding the influence of summer biomass burning on air quality in North India: Eight cities field campaign study. *Sci. of the Tot. Env.* 861: 160361.
- Sagastume Gutiérrez, A., Mendoza Fandiño, J. M., Cabello Eras, J. J., & Sofan German, S. J., 2022. Potential of livestock manure and agricultural wastes to mitigate the use of firewood for cooking in rural areas. The case of the department of Cordoba (Colombia). *Development Engineering* 7.
- Shi, Y., & Li, X., 2018. Purifier or fresh air unit? A study on indoor particulate matter purification strategies for buildings with split air-conditioners. *Building and Environment* 131: 1–11.
- Sigsgaard, T., Forsberg, B., Annesi-Maesano, I., Blomberg, A., Bølling, A., Boman, C., Bønløkke, J., Brauer, M., Bruce, N., Héroux, M. E., Hirvonen, M. R., Kelly, F., Künzli, N., Lundbäck, B., Moshhammer, H., Noonan, C., Pagels, J., Sallsten, G., Sculier, J. P., & Brunekreef, B., 2015. Health impacts of anthropogenic biomass burning in the developed world. *European Respiratory Journal* 46(6): 1577–1588.



- Sioutas, C., Delfino, R. J., & Singh, M., 2005. Exposure assessment for atmospheric ultrafine particles (UFPs) and implications in epidemiologic research. *Environmental Health Perspectives* 113(8): 947–956.
- Siregar, U. A., Valzon, M., Fitrianti, & Budianto, A., 2023. Effect of peat biomass smoke exposure on oxidative stress in Wistar rats. *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan Indonesia* 14(2): 121–127.
- Suriyawong, P., Chuetor, S., Samae, H., Piriyaakarnsakul, S., Amin, M., Furuuchi, M., Hata, M., Inerb, M., & Phairuang, W., 2023. Airborne particulate matter from biomass burning in Thailand: Recent issues, challenges, and options. *Heliyon* 9(3): e14261.
- Wang, Y., Wang, Y., Liu, W., Chen, D., Wu, C., & Xie, J., 2019. An aerosol sensor for PM<sub>1</sub> concentration detection based on 3D printed virtual impactor and SAW sensor. *Sensors and Actuators, A: Physical* 288: 67–74.
- Wardoyo, A., & Budianto, A., 2017. A DC Low Electrostatic Filtering System For PM<sub>2.5</sub> Motorcycle Emission. *IEEE Xplore*, 1: 51–54.
- Zhang, J. J., Wei, Y., & Fang, Z., 2019. Ozone pollution: A major health hazard worldwide. *Frontiers in Immunology* 10: 1–10.