

Pengembangan Kit-PEKAT (Pengukur Konsentrasi Emisi Air-Udara di Area Estuari) Untuk Mengukur Tingkat Konsentrasi Emisi di Daerah Estuari

Arif Budianto¹, Ni Ketut Anggriani², Kasnawi Al Hadi^{1*}, Alfina Taurida Alaydrus¹, Mira Andini¹, Lalu Mokh Reza Anshari³

¹ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia.

² Program Magister Pendidikan IPA, FKIP, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia.

³ Balai Laboratorium Lingkungan, Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Nusa Tenggara Barat, Mataram, Indonesia.

Received: 02 November 2025

Revised: 10 December 2025

Accepted: 15 December 2025

Corresponding Author:

Kasnawi Al Hadi

kasnawi.alhadi@unram.ac.id

© 2025 Kappa Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License



DOI:

<https://doi.org/10.29408/kpj.v9i3.32897>

Abstrak: Kualitas udara di sekitaran area muara diindikasikan berhubungan dengan kualitas air muara tersebut. Di sisi lain, pengukuran kedua parameter ini belum banyak dilakukan secara simultan. Sejalan dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah sistem pengukuran kualitas air dan udara berbasis IoT melalui desain Kit-PEKAT bagi area estuari atau muara di Kabupaten Lombok Barat, NTB. Proses integrasi pengukuran berbasis sensor analog terkalibrasi, penambahan fitur IoT, dan sistem pemantauan yang ringkas dan *real-time* menjadikan nilai tambah dari sistem ini. Sistem Kit-PEKAT dirancang menggunakan tiga buah sensor, yakni sensor TDS (DF-Robot), sensor gas CO₂ (DF-Robot), dan sensor PM2.5 (Winsen). Sensor tersebut dihubungkan ke sebuah mikrokontroler (AT-Mega2560 dan ESP8266) dan server ThingSpeak. Sistem ini dikalibrasi dan diuji, serta diimplementasikan secara langsung di area muara. Hasil pengukuran dan pengujian menunjukkan bahwa akurasi yang dihasilkan oleh ketiga sensor sebesar 96% hingga 99%, dengan tingkat kesalahan relatif <5%. Pengujian statistik menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara pembandingan dan alat yang dikembangkan (kit-PEKAT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kit-PEKAT dapat digunakan untuk mengalirkan air dan udara secara konsisten, dengan waktu pengisian dan pengosongan sebesar 14,09±0,15 s. Pengujian kualitas udara dan air di lokasi muara menunjukkan terdapat hubungan linear ekstrim antara konsentrasi TDS dalam air dengan kualitas udara. Semakin besar konsentrasi TDS, maka semakin besar pula konsentrasi CO₂ dan PM_{2.5}.

Kata Kunci: Estuari; konsentrasi emisi; polusi air; polusi udara; sistem pengukuran

Pendahuluan

Polusi udara merupakan salah satu permasalahan global yang perlu diatasi hingga saat ini. Polusi udara secara langsung berdampak pada kesehatan manusia dan lingkungan (seperti pada kasus emisi udara jenis PM_{2.5} dengan diameter <2,5 µm) (Choi & Ying, 2025), stabilitas habitat dan ekosistem, dan pengembangan

lingkungan yang berkelanjutan (seperti keberadaan VOC (*volatile organic compound*) di udara) (Lalchandani et al., 2025). Polusi udara dapat berupa PM_{0.1}, PM_{2.5}, PM₁₀, TSP (*total suspended particle*) (Wardoyo et al., 2020), gas nitrogen oksida atau NO_x (Pacheco et al., 2020), sulfur oksida atau gas SO_x (Heaviside et al., 2021), O₃ atau gas ozon (Ayat et al., 2024), dan senyawa VOC

How to Cite:

Budianto, A., Anggriani, N.K., Hadi, K.A., Alaydrus, A.T., Andini, M., & Anshari, L.M.R. (2025). Pengembangan Kit-PEKAT (Pengukur Konsentrasi Emisi Air-Udara di Area Estuari) Untuk Mengukur Tingkat Konsentrasi Emisi di Daerah Estuari. *Kappa Journal*, 9(3), 330-335. <https://doi.org/10.29408/kpj.v9i3.32897>

(Kumar et al., 2018; Wardoyo et al., 2020). Paparan emisi udara dalam jangka panjang dapat berdampak serius terhadap resiko gangguan sistem pernapasan, gangguan jantung, hingga kematian (Dariz et al., 2025).

Di daerah tropis, seperti di Indonesia, parameter meteorologi memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap kualitas udara. Temperatur atau suhu udara yang lebih panas di siang hari dapat menciptakan ketidakstabilan atmosfer sehingga emisi udara dapat lebih “encer” sehingga lebih mudah tersuspensi (G. Chen et al., 2023). Pada malam hari, suhu udara relatif lebih dingin, sehingga mempermudah proses deposisi emisi udara seperti PM_{2.5} dan PM₁₀ di permukaan (Hadi et al., 2021).

Ekosistem estuari atau muara dapat berkontribusi terhadap komposisi udara atmosfer, dengan melepas sejumlah emisi udara (Yonis et al., 2023). Proses dekomposisi di muara selanjutnya melepas gas CO₂ atau karbon dioksida (Khan et al., 2023), gas metana (CH₄) (Ho et al., 2023), dan gas N₂O.

Di Indonesia, masalah kuantifikasi emisi udara yang disertai dengan identifikasi asal-usul sumber emisi di wilayah atau area muara (estuari) masih sangat jarang dilakukan. Sebagian besar penelitian dilakukan di wilayah perkotaan atau dengan sumber emisi yang sudah jelas, seperti pada pembakaran biomassa, bahan bakar gas, bahan bakar minyak, atau sumber lain seperti aktivitas pembakaran arang. Pada daerah pesisir, sebagian besar penelitian berfokus pada kualitas air, sedimentasi, dan konservasi keanekaragaman hayati. Di sisi lain, terdapat potensi kaitan antara kualitas air dengan kualitas udara, mengingat penduduk pesisir secara langsung dapat terpapar fluktuasi atmosfer dan emisi biogenik di lautan (termasuk muara) (Ye et al., 2025). Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk melakukan pengukuran secara langsung berbasis IoT terkait identifikasi hubungan yang muncul terkait emisi di air muara dan emisi udara (ataupun sebaliknya) di area muara. Penelitian ini memiliki urgensi tinggi untuk dilakukan, mengingat beberapa kelebihan yang ada di dalam sistem dapat dititikberatkan dalam penggunaan integrasi sistem komunikasi data berbasis IoT dalam identifikasi hubungan antara kualitas udara dan kualitas air di ekosistem muara secara simultan dan real-time. Sistem yang dihasilkan juga ringkas dan mudah untuk digunakan, sehingga dapat berkontribusi dalam pemantauan ekosistem lautan.

Metode

a). Pengembangan Sistem Kit-PEKAT

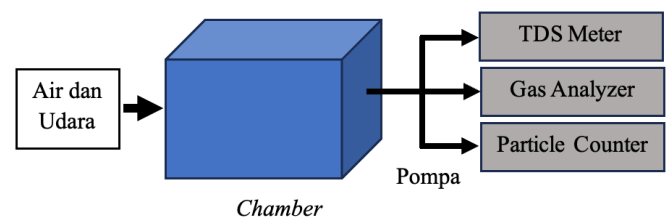
Kit-PEKAT dirancang menggunakan sebuah mikrokontroler (AT-Mega2560 dan ESP8266) yang terkoneksi dengan jaringan internet/ IoT (*Internet of Things*) via portal ThingSpeak.com. Mikrokontroler ini terhubung dengan tiga buah sensor, yakni: sensor CO₂

(DF-Robot), sensor PM (Winsen), dan sensor TDS (DF-Robot). Seluruh sensor dihubungkan secara tertanam (*embedded system*) di atas papan sirkuit dan dilengkapi dengan sumber catu daya.

b). Kalibrasi

Kit-PEKAT dikalibrasi menggunakan TDS meter, Gas Analyzer (Si-Ca), dan Laser Dust Particle Counter (AVTECH). Seluruh proses kalibrasi dilakukan di dalam sebuah *chamber* tertutup yang terbuat dari akrilik bening dengan ketebalan 3 mm (Gambar 1). Persamaan (1) digunakan untuk menghitung persentase akurasi yang dihasilkan:

$$A = 100\% - \left(\frac{|I_{standar} - s_{istem}|}{standar} \times 100\% \right) \quad (1)$$



Gambar 1. Proses kalibrasi sistem Kit-PEKAT menggunakan alat standar

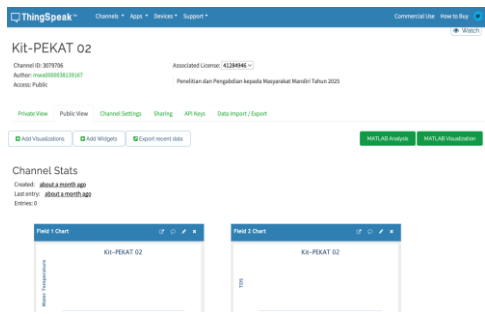
c). Pengujian Pompa Input dan Output

Kit-PEKAT yang sudah dikalibrasi kemudian diuji laju alir pada pompa input dan outputnya. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi laju alir maksimal yang dapat dilakukan oleh masing-masing pompa. Pengujian dilakukan menggunakan air muara dan udara di sekitar muara. Pengujian dilakukan menggunakan *flow meter*.

d). Pengukuran Konsentrasi Emisi Air-Udara di Muara

Setelah dikalibrasi dan diuji keseluruhan sistem, tahap terakhir yakni implementasi sistem kit-PEKAT di lokasi pengujian yang nyata. Pengujian ini dilakukan dalam bentuk pengukuran konsentrasi emisi air (TDS) dan udara (gas CO₂ dan PM_{2.5}) selama 10 hari berturut-turut di area sekitaran muara di Kabupaten Lombok Barat, NTB. Proses ini dilakukan dengan memasang sistem kit secara terapung di ketinggian 0 mdpl tepat di sekitaran ujung muara. Pengujian ini dilakukan dengan melakukan sampling keseluruhan parameter setiap 1 jam selama 10 hari non-stop. Proses ini menghasilkan data kuantitatif sebanyak 240 sampel data pengukuran. Periode 10 hari ditujukan untuk memperoleh variasi nilai akibat perubahan fase bulan dan perubahan pasang-surut air laut (*tide level*) yang dapat mempengaruhi debit air di muara. Data hasil sampling kemudian dikirim ke dalam *platform* IoT ThingSpeak

sebagai proses interpretasi data dalam bentuk angka dan grafik pengukuran *real-time* (Gambar 2).



Gambar 2. Portal ThingSpeak untuk proses pengambilan data

Hasil dan Pembahasan

a). Kalibrasi

Hasil kalibrasi menggunakan alat pembanding (tersertifikasi) pada parameter TDS, CO₂, dan PM_{2.5} ditunjukkan oleh Tabel 1. nilai tersebut merupakan nilai rata-rata dari 30 perulangan.

Tabel 1. Data Pengujian Hasil Kalibrasi

Nomor	Standar	Kit-PEKAT
TDS (ppm)	211	209
	275	268
	314	312
CO ₂ (ppm)	400	400
	600	596
	800	784
PM _{2.5} (ug/m ³)	32	30
	36	32
	38	37

Dari Tabel 1 tersebut, dapat diketahui bahwa akurasi yang dihasilkan oleh ketiga sensor mendekati 100%, dengan tingkat kesalahan relatif yang sangat kecil (<5%). Pengujian statistik menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan antara pembanding dan alat yang dikembangkan (kit-PEKAT). Tingkat akurasi pengujian kalibrasi menggunakan CO₂ dan TDS menghasilkan tingkat akurasi sebesar 99%. Hasil yang sedikit rendah diperoleh saat pengujian menggunakan parameter PM_{2.5}, dengan tingkat akurasi sebesar 96%. Ketiga persentase akurasi ini menunjukkan bahwa Kit-PEKAT dapat digunakan untuk mengukur kualitas udara-air secara simultan dan siap untuk dilakukan pengujian laju alir udara dan air.

b). Pengujian Laju Alir Pompa Pengisian dan Pengurasan Air dan Udara

Data pengukuran laju aliran air dan udara (pompa 1 dan 2) pada jalur *input* dan *output* ditunjukkan oleh Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Laju Aliran Air Pompa Air (1) dan Udara (2)

Nomor	Pompa	Laju Alir (m/s)
1	Pompa <i>Input</i> 1	1.42
2	Pompa <i>Input</i> 2	1.43
3	Pompa <i>Output</i> 1	1.41
4	Pompa <i>Output</i> 2	1.39

Hasil ini menunjukkan bahwa pompa *input* memiliki kecepatan atau laju alir (*v*) yang lebih besar dibandingkan dengan pompa *output*. Mengacu pada luas penampang selang yang digunakan, besar luas penampang keempat pompa (*A*) adalah konstan, yakni sebesar 5x10⁻⁵ m². Dengan menggunakan persamaan Bernoulli, diketahui bahwa jumlah dari tekanan, energi potensial per satuan volume, dan energi kinetik per satuan volume adalah konstan selama berada dalam panjang aliran fluida ideal yang tidak dapat dimampatkan ataupun tidak kental. Oleh sebab itu, kondisi ideal seharusnya mengakibatkan laju alir yang dihasilkan relatif sama atau identik. Di sisi lain, data di Tabel 2 menunjukkan sedikit perbedaan. Perbedaan ini mengakibatkan waktu (*t*) yang digunakan untuk menyedot air dan udara mengalami perbedaan pula.

$$A \cdot v = \left(\frac{V}{t}\right) \tag{2}$$

$$t = \left(\frac{V}{A \cdot v}\right) \tag{3}$$

Seperti pada persamaan (2) dan (3), dengan memasukkan data *v* setiap pompa, dapat diketahui waktu masing-masing pompa dalam mengalirkan zat sejumlah volume *V*. Data tersebut menunjukkan bahwa *t* yang diperlukan untuk mengalirkan air dan udara berkisar antara 13,92 s hingga 14,32 s. Rata-rata yang dihasilkan yakni sebesar 14,09±0,15 s.

c). Pengukuran Konsentrasi Emisi Air dan Udara di Lapangan

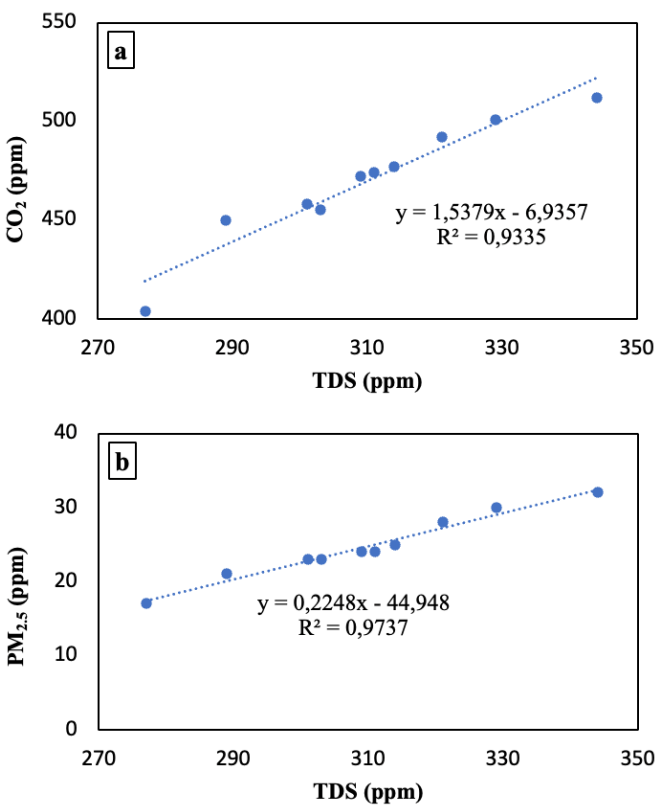
Setelah keseluruhan sistem terkalibrasi dan teruji, selanjutnya dilakukan pengujian secara langsung di lapangan menggunakan teknik pengukuran secara *in situ*. Pengukuran ini dilakukan di sebuah muara yang berlokasi di Kabupaten Lombok Barat. Keseluruhan proses pengukuran dilakukan selama 10 hari berturut-turut dengan parameter TDS, CO₂, dan PM_{2.5}. Data pengukuran tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsentrasi Emisi Air dan Udara dalam 10 Hari Berturut-turut

Hari	TDS (ppm)	CO ₂ (ppm)	PM _{2.5} (ug/m ³)
1	311	474	24
2	309	472	24
3	301	458	23
4	314	477	25
5	344	512	32
6	303	455	23
7	329	501	30
8	289	450	21
9	277	404	17
10	321	492	28

Data pada Tabel 3 tersebut merupakan data rata-rata per hari dari lokasi muara tersebut untuk parameter kualitas air dan udara. Dapat dilihat bahwa terdapat kecenderungan semakin rendah kualitas air muara (dengan parameter TDS), maka konsentrasi CO₂ di udara sekitarnya juga semakin rendah. Kecenderungan ini terlihat konsisten untuk keseluruhan hari pengukuran. Hasil yang sama juga dapat dilihat dalam kaitannya dengan kualitas udara menggunakan parameter PM_{2.5}. Semakin rendah kualitas udara, maka kualitas air muara cenderung turun. Gambar 3 berikut menginterpretasikan pola hubungan antara TDS dengan CO₂ dan PM_{2.5}.

Gambar 3 menunjukkan bahwa terdapat hubungan linear positif ekstrim antara konsentrasi TDS dalam air dengan kualitas udara. Semakin besar konsentrasi TDS, maka semakin besar pula konsentrasi CO₂ dan PM_{2.5}. Linearitas ketiganya ditunjukkan oleh koefisien determinasi R² yang mendekati 1, yakni sebesar 0,9335 ($y = 1,5379x - 6,9357$) dan 0,9737 ($y = 0,2248x - 44,948$). Dengan kata lain, hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar polusi di air muara (parameter TDS), maka polusi udara di sekitaran area muara semakin besar pula (parameter CO₂ dan PM_{2.5}).



Gambar 3. Hubungan antara kualitas air dan udara: (a) TDS-CO₂ dan (b) TDS-PM_{2.5}

Kondisi meteorologi, seperti angin, suhu, kelembaban, dan curah hujan dapat mempengaruhi kualitas air dan udara. Kondisi ini juga diperkuat dengan pengaruh kondisi hidrologi berupa siklus air. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan selama 10 hari dengan fase bulan yang berbeda-beda. Perbedaan kondisi meteorologi dan hidrologi berpengaruh terhadap IKU (Indeks Kualitas Udara) sehingga konsentrasi PM_{2.5} bersifat fluktuatif. Mengacu pada data hasil penelitian, kondisi hidrologi dengan level *tide* yang tinggi (hari 5) menghasilkan konsentrasi CO₂ yang lebih tinggi dibandingkan hari lainnya. Hasil ini juga selaras dengan peningkatan konsentrasi PM_{2.5}. Mengacu pada data penelitian pendahulu, diketahui bahwa salah satu penyebab penurunan atau peningkatan konsentrasi emisi gas dan PM di area estuari adalah sumber internal dan eksternal, seperti keberadaan emisi di udara dan di air yang kemudian tersuspensi di udara ambient sekitar ekosistem muara (Chen et al., 2023; Chen et al., 2024). Level TDS juga berkorelasi dengan level PM_{2.5} atau emisi dalam bentuk gas, seperti CO₂, CH₄, dan N₂O. Mengacu pada penelitian sebelumnya, diketahui bahwa kualitas air mempengaruhi kualitas udara mengingat sifat dari emisi udara yang dapat bersumber dari proses fisis yang mengakibatkan partikulat-partikulat mengambang di udara dan mengalami nukleasi membentuk partikel baru (Lalchandani et al., 2025). Akibatnya, kenaikan emisi di air secara langsung mengakibatkan kenaikan

pada emisi di udara sekitar ekosistem estuari atau muara. Penelitian ini juga diperkuat dengan observasi di lapangan yang menunjukkan faktor kecepatan dan arah angin yang cenderung tidak berubah secara signifikan.

Penutup

Kit-PEKAT berhasil dikembangkan sebagai sistem pengukuran kualitas air dan udara berbasis IoT. Sistem ini dapat bekerja dengan baik, yang ditandai dengan akurasi kerja 96-99%. Hasil identifikasi menunjukkan terdapat hubungan yang signifikan antara peningkatan level TDS dengan emisi udara dalam bentuk CO₂ dan PM_{2.5}. Pengujian kualitas udara dan air di lokasi muara menunjukkan terdapat hubungan linear ekstrim antara konsentrasi TDS dalam air dengan kualitas udara. Semakin besar konsentrasi TDS, maka semakin besar pula konsentrasi CO₂ dan PM_{2.5}. Penelitian lebih jauh perlu dilakukan untuk menunjang validitas data. Kit-PEKAT belum mempertimbangkan penggunaan parameter PM₁₀ dan gas lainnya. Pengukuran tambahan dalam bentuk pengukuran konsentrasi PM₁₀ dapat digunakan sebagai pembanding mengingat PM_{2.5} dan PM₁₀ termasuk ke dalam parameter penting pengukuran IKU.

Ucapan Terima Kasih

Seluruh tim peneliti mengucapkan terima kasih atas pendanaan yang diberikan oleh Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi (nomor kontrak: 4402/UN18.L1/PP/2025, 28 Mei 2025). Peneliti juga mengucapkan terima kasih atas kerjasama dengan Balai Laboratorium Lingkungan - Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Nusa Tenggara Barat, serta Dewa Dwi Pranahita dan Palaivia Harman Wardi selama proses pengambilan data.

Daftar Pustaka

- Ayat, Y., El Moussati, A., & Mir, I. (2024). Revolutionizing Air Quality Monitoring: IoT-Enabled E-Noses and Low-Power Devices. *IFAC-PapersOnLine*, 58(13), 829-834. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.07.585>
- Chen, B., Tan, E., Zou, W., Han, L. L., Tian, L., & Kao, S. J. (2024). The external/internal sources and sinks of greenhouse gases (CO₂, CH₄, N₂O) in the Pearl River Estuary and adjacent coastal waters in summer. *Water Research*, 249(November 2023), 120913. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120913>
- Chen, G., Bai, J., Bi, C., Wang, Y., & Cui, B. (2023). Global greenhouse gas emissions from aquaculture: a bibliometric analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 348(January), 108405. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108405>
- Choi, M., & Ying, Q. (2025). Modeling the impacts of open biomass burning on regional O₃ and PM_{2.5} in Southeast Asia considering light absorption and photochemical bleaching of Brown carbon. *Atmospheric Environment*, 342, 120942. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2024.120942>
- Dariz, M. A., Marmentini, J. É., Colpani, G. L., Fiori, M. A., Recco, A. A. C., Alves, O. C., Fidelis, M. Z., & Brackmann, R. (2025). Exploring the unique physicochemical properties of Fe₃O₄@TiO₂-Nd magnetic nanocomposites synthesized via hydrothermal coprecipitation. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 614. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2024.172752>
- 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*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1811/1/012051>
- Heaviside, C., Witham, C., Vardoulakis, S., & et al. (2021). Potential health impacts from sulphur dioxide and sulphate exposure in the UK resulting from an Icelandic effusive volcanic eruption. *Science of the Total Environment*, 774, 145549. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145549>
- Ho, L., Barthel, M., Panique-Casso, D., Vermeulen, K., Bruneel, S., Liu, X., Bodé, S., Six, J., Boeckx, P., & Goethals, P. (2023). Impact of salinity gradient, water pollution and land use types on greenhouse gas emissions from an urbanized estuary. *Environmental Pollution*, 336(September). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122500>
- Jang, E., Park, K. T., Yoon, Y. J., Lee, K., Traversi, R., Becagli, S., Severi, M., Tunved, P., Krejci, R., Kim, T. W., Fernandez, R. P., Saiz-Lopez, A., & Lee, B. Y. (2025). Synergistic effects of oceanic dimethyl sulfide emissions and atmospheric oxidants on new particle formation in the Arctic. *Environmental Research*, 282(April), 122024. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.122024>
- Khan, M. A., Kumar, S., Roy, R., Prakash, S., Lotliker, A. A., & Baliarsingh, S. K. (2023). Effects of tidal cycle on greenhouse gases emissions from a tropical estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 189(April 2022), 114733. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114733>
- Kumar, A., Singh, D., Kumar, K., Singh, B. B., & Jain, V. K. (2018). Distribution of VOCs in urban and rural

- atmospheres of subtropical India: Temporal variation, source attribution, ratios, OFP and risk assessment. *Science of the Total Environment*, 613–614, 492–501.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.096>
- Lalchandani, V., Tripathi, S. N., Srivastava, D., Mishra, G., Thamban, N. M., Mishra, S., Tripathi, N., Wang, L., Prévôt, A. S. H., Bhowmik, H. S., Dixit, K., Sahu, L. K., & Gunthe, S. S. (2025). Semi-volatile oxygenated organics and ammonium chloride increasing sub-micron aerosol hygroscopicity, cloud condensation nuclei and PM1 mass in the Delhi region. *Atmospheric Environment*, 358(March).
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2025.121356>
- Pacheco, H., Díaz-López, S., Jarre, E., Pacheco, H., Méndez, W., & Zamora-Ledezma, E. (2020). NO2 levels after the COVID-19 lockdown in Ecuador: A trade-off between environment and human health. *Urban Climate*, 34(2), 100674.
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100674>
- Wardoyo, A. Y. P., Noor, J. A. E., Elbers, G., Schmitz, S., Flaig, S. T., & Budianto, A. (2020). Characterizing volcanic ash elements from the 2015 eruptions of bromo and raung volcanoes, Indonesia. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2), 1899–1907.
<https://doi.org/10.15244/pjoes/99101>
- Ye, J., Hu, Q., Gao, Q., Zhao, R., Su, W., Zhang, C., Wang, X., Li, Z., & Liu, C. (2025). Satellite remote sensing capturing intense ozone production over marginal seas in East Asia: evident influence on air quality in coastal cities. *Atmospheric Environment*, 360(July), 121448.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2025.121448>
- Yonis, S., Kahkashan, S., Adelman, D., & Lohmann, R. (2023). Transects of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in an urban estuary using passive samplers. *Marine Pollution Bulletin*, 197(May), 115768.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115768>
- Zhang, C., Wang, N., Lv, S., Yan, S., Tian, R., Wang, S., Wang, B., Yan, J., & Zhang, M. (2025). DMS behaviors in pen culture of *Sinonovacula constricta* in Longhai, China. *Marine Environmental Research*, 203(September 2024), 106826.
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2024.106826>