

KONSENTRASI POLUTAN UDARA AMBIEN SEKITAR KAWASAN INDUSTRI KECAMATAN MADIDIR KOTA BITUNG

Viona Cesilia Manuel^{1*}, Fonny Rewah², Grace F. E. Suoth³

^{1,3}Program Studi Geografi, Fakultas Ilmu Sosial dan Hukum, Universitas Negeri Manado
²Jurusan Pendidikan Geografi, Fakultas Ilmu Sosial dan Hukum, Universitas Negeri Manado

vionamanuel2002@gmail.com

Abstract: Industrial activities have the potential to pollute the environment, including air pollution from smoke and dust, which can result in a decline in air quality. The aim of the research is to examine the ambient air quality around the industrial area of Madidir District, Bitung City. The descriptive observational method is used to collect data and analyze the measurement results. The measurement of ambient air particulate concentration samples was taken from several locations using passive samplers (diffusive sampling). This measurement technique involves the use of absorbent materials to capture air pollutants over a certain period, which are then analyzed in a laboratory, and the results are compared to quality standards. The research results show that the average concentration levels of particulates (SO₂, NO₂, TSP, CO, H₂S, NH₃, and Pb) at the locations in the Madidir Unet, Paceda, and Wangurer Timur villages are below the quality standards. Other findings indicate that there are 2 TSP samples with high concentrations out of a total of 6 samples, namely sample 2 in Madidir Unet Village, at 233 µg/Nm³, and sample 3 at 204 µg/Nm³ in Paceda Village, which are significantly higher than the other samples, but these values are still below the quality standard. TSP is often found in high concentrations in urban and industrial areas, as well as construction and transportation activities. Therefore, to maintain and improve air quality, continuous monitoring and enhanced emission control from pollution sources are necessary to prevent and ensure that pollutant concentrations remain within safe limits.

Keywords: Particulate Concentration, Ambient Air Quality, Passive Sampler, Industrial Area, Bitung City

Abstrak: Aktivitas industri berpotensi mencemari lingkungan termasuk pencemaran udara yang berasal dari asap dan debu, dapat mengakibatkan penurunan kualitas udara. Tujuan penelitian adalah untuk mengkaji kualitas udara ambien di sekitar kawasan industri kecamatan madidir kota bitung. Metode observasional deskriptif digunakan untuk mengumpulkan data dan menganalisis hasil pengukuran. Pengukuran sampel konsentrasi partikulat udara ambien diambil dari beberapa titik lokasi secara passive sampler (diffusive sampling). Teknik pengukuran ini melibatkan penggunaan bahan penyerap untuk menangkap pencemar udara selama periode waktu tertentu, yang kemudian dianalisis uji laboratorium dan hasilnya dibandingkan baku mutu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat konsentrasi partikulat (SO₂, NO₂, TSP, CO, H₂S, NH₃, dan Pb), secara merata pada lokasi di kelurahan madidir unet, paceda, dan wangurer timur, berada di bawah baku mutu. Temuan lainnya menunjukkan terdapat 2 sampel TSP memiliki konsentrasi tinggi dari jumlah 6 sampel, yaitu sampel 2 di Kelurahan Madidir Unet, sebesar 233 µg/Nm³ melebihi baku mutu, dan sampel 3 sebesar 204 µg/Nm³ di Kelurahan Paceda mengalami signifikansi dibanding sampel lainnya, tetapi nilai tersebut masih berada di bawah baku mutu. TSP sering ditemukan dalam konsentrasi tinggi pada wilayah perkotaan dan industri ataupun aktivitas konstruksi dan transportasi. Sehingga untuk menjaga dan meningkatkan kualitas udara diperlukan monitoring secara berkelanjutan dan peningkatan kontrol emisi dari sumber polusi untuk dapat mencegah dan memastikan bahwa konsentrasi polutan tetap berada dalam batas aman.

Kata Kunci: Konsentrasi Polutan, Baku Mutu Udara, Passive Sampler, Kawasan Industri, Kota Bitung

PENDAHULUAN

Udara yang kita kenal sebagai atmosfer merupakan harta yang tak ternilai. Meskipun tidak dapat dilihat atau dirasakan, udara

memiliki peranan vital dalam keberlangsungan hidup. Setiap makhluk hidup, termasuk manusia, hewan, dan tumbuhan, membutuhkan

udara untuk bernapas dan bertahan hidup. Udara terdapat di setiap lapisan atmosfer, namun udara yang paling baik untuk pernapasan terdapat di lapisan troposfer. Ini karena semakin tinggi dari permukaan bumi, kadar oksigen dalam udara semakin menipis. Udara ini dikenal dengan istilah udara ambien.

Udara bersih merupakan campuran dari berbagai gas, yang terdiri atas 78% nitrogen (N₂), 21% oksigen (O₂), dan 1% argon (Ar). Karbondioksida (CO₂), helium (He), neon (Ne), xenon (Xe), dan kripton (Kr) masing-masing menyumbang sekitar 0,01% dari total gas. Gas lain seperti metana (CH₄), karbon monoksida (CO), amoniak (NH₃), dinitrogen monoksida (N₂O), dan hidrogen sulfida (H₂S) hadir dalam jumlah yang sangat kecil, karena dalam konsentrasi yang tinggi, gas-gas ini dapat menyebabkan polusi udara (Herlianty & Dewi, 2013).

Kualitas udara merupakan salah satu indikator penting dalam menilai kesehatan lingkungan suatu wilayah, terutama di kawasan industri yang kerap kali menjadi sumber utama pencemaran udara. Konsentrasi partikulat, terutama PM_{2.5} dan PM₁₀, merupakan parameter kunci dalam menentukan kualitas udara ambien. Partikulat ini berukuran sangat kecil dan dapat terhirup oleh manusia, menyebabkan berbagai gangguan kesehatan seperti penyakit pernapasan dan kardiovaskular (Azhar et al., 2016).

Kawasan industri memainkan peran penting dalam pertumbuhan ekonomi dan pembangunan, tetapi dampaknya terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat perlu diperhatikan. Khususnya, kualitas udara ambien di sekitar kawasan industri menjadi isu yang semakin mendesak untuk diteliti dan dipahami.

Kecamatan Madidir di Kota Bitung merupakan salah satu kawasan industri yang menghasilkan produk pengolahan ikan. Perusahaan-perusahaan industri di sini, seperti pengalangan ikan, industri ikan kayu, dan ikan kaleng, berkontribusi pada pertumbuhan ekonomi. Namun, pertumbuhan industri juga berdampak pada lingkungan sekitar dan kesejahteraan masyarakat yang tinggal di permukiman dekat kawasan industri (Paerunan, J 2017).

Kegiatan industri yang beroperasi siang dan malam, dapat mengakibatkan emisi terus-menerus ke udara. Proses produksi yang

menggunakan bahan kimia dan bahan bakar fosil menjadi sumber utama polutan udara yang dapat mempengaruhi kesehatan penduduk sekitar (Guttikunda & Gurjar, 2012). Studi-studi sebelumnya menunjukkan bahwa daerah industri cenderung memiliki konsentrasi polutan udara yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah perumahan atau komersial (Handayani et al., 2023).

Jalur transportasi yang melintasi Kecamatan Madidir juga berkontribusi signifikan terhadap penurunan kualitas udara. Emisi dari kendaraan bermotor, terutama pada jam-jam sibuk, meningkatkan konsentrasi polutan seperti karbon monoksida (CO) dan nitrogen dioksida (NO₂) di udara (Lee et al., 2020). Selain itu, jalur transportasi yang ramai juga berkontribusi pada peningkatan kebisingan dan polusi udara.

Volume lalu lintas yang tinggi, terutama kendaraan berat yang digunakan untuk mengangkut bahan baku dan produk industri, menambah beban polutan di udara sekitar. Jalan-jalan utama yang dilalui oleh kendaraan-kendaraan ini seringkali menunjukkan tingkat polusi yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang kurang padat lalu lintasnya (Novitriana et al., 2017). Studi menunjukkan bahwa daerah dengan volume lalu lintas tinggi cenderung memiliki kualitas udara yang lebih buruk dibandingkan dengan daerah dengan lalu lintas rendah (Azmi et al., 2009).

Emisi dari kendaraan bermotor mengandung berbagai polutan, termasuk partikulat, yang dapat meningkatkan konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2.5} di udara ambien. Penelitian di Bandung menunjukkan adanya korelasi antara aktivitas transportasi dan peningkatan konsentrasi partikulat di udara ambien sekitar jalan raya (Sidjabat & Driejana, 2017).

Kondisi geografis dan iklim di Kecamatan Madidir juga berpengaruh terhadap dispersal dan konsentrasi polutan udara. Angin, suhu, dan kelembaban dapat mempengaruhi bagaimana polutan tersebar dan terakumulasi di udara. Studi menunjukkan bahwa kondisi meteorologis lokal memainkan peran penting dalam menentukan kualitas udara sehari-hari (Seinfeld & Pandis, 2016).

Penelitian mengenai pengaruh kualitas udara terhadap kesehatan juga menunjukkan bahwa polutan udara, seperti partikulat, dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan. Di

daerah dengan konsentrasi partikular yang tinggi, seperti di sekitar kawasan industri dan jalan raya yang padat, prevalensi penyakit pernapasan cenderung lebih tinggi (Azhar et al., 2016).

Selain dampak kesehatan, polutan di udara juga dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Partikular yang mengendap di permukaan daun tanaman dapat mengganggu proses fotosintesis, mengurangi pertumbuhan tanaman, dan menurunkan hasil pertanian. Hal ini menunjukkan betapa pentingnya menjaga kualitas udara yang baik untuk mendukung keberlanjutan lingkungan (Kurniawan, 2015).

Pemantauan dan pengukuran konsentrasi polutan di udara ambien sekitar kawasan industri sangat penting untuk mengetahui tingkat pencemaran dan dampaknya terhadap lingkungan serta kesehatan masyarakat setempat (Affandi et al., 2020).

Upaya pemantauan kualitas udara pada skala wilayah tertentu dapat dilaksanakan melalui metode pasif dan aktif. Metode aktif membutuhkan bantuan pompa untuk mengalirkan udara melalui wadah sampel udara. Sedangkan metode pasif, pengambilan sampel gas tergantung kepada energi kinetik dari molekul gas dan difusi gas yang masuk ke dalam media penyerap (Winatama, D., et al, 2023).

Studi-studi yang dilakukan di berbagai wilayah menunjukkan bahwa pengelolaan kualitas udara harus melibatkan sinergi antara berbagai sektor, termasuk industri, transportasi, dan pemerintahan. Pendekatan terpadu ini diperlukan untuk mengurangi emisi polutan dan meningkatkan kualitas udara secara keseluruhan (Kurniawan, 2015). Oleh karena itu, pemantauan secara berkala terhadap konsentrasi polutan udara di wilayah ini sangat penting untuk menilai kualitas udara dan mengambil tindakan mitigasi yang diperlukan. Pemantauan ini juga membantu dalam mengidentifikasi sumber-sumber pencemaran utama dan merancang strategi pengelolaan kualitas udara yang efektif (Sidjabat & Driejana, 2017).

Dengan demikian, penelitian mengenai pengukuran konsentrasi polutan di udara ambien di sekitar kawasan industri Kecamatan Madidir, Kota Bitung, menjadi sangat penting. Konsentrasi polutan udara merupakan parameter penting dalam mengkaji kualitas udara ambien. Semakin tinggi konsentrasi

partikular, semakin buruk kualitas udara dan semakin besar risiko kesehatan bagi manusia.

METODE

Penelitian ini berjenis observasional deskriptif. Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu pemilihan lokasi pengambilan sampel, pengumpulan data lapangan, analisis laboratorium, dan interpretasi data (Syapitri et al., 2021).

Wilayah penelitian berada di Kecamatan Madidir Kota Bitung, yang secara astronomis terletak pada 1°26'10"-1°29'15" LU, 125°8'20"-125°10'55" BT. Lokasi pengamatan di kelurahan madidir unet, kelurahan paceda, dan kelurahan wangurer timur.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Pemilihan lokasi pengambilan sampel dilakukan dengan metode *purposive sampling*, yang berarti lokasi-lokasi dipilih berdasarkan kriteria tertentu yang relevan dengan tujuan penelitian. Lokasi pengambilan sampel dipilih berdasarkan kedekatannya dengan sumber emisi potensial, seperti pabrik dan jalur transportasi utama, untuk mendapatkan gambaran yang representatif mengenai kondisi kualitas udara di kawasan tersebut (Winatama, D., et al, 2023).

Pengumpulan data lapangan dilakukan dengan menggunakan alat pengukur kualitas udara yang dapat mendeteksi berbagai jenis polutan, seperti konsentrasi Sulfur Oksida, Nitrogen Oksida, Karbon Monoksida, Hidrogen Sulfida, TSP, Amonia, dan Timbal. Metode ini memanfaatkan teknik *Grab Sampling* dan *Passive Sampling*. Alat tersebut dipasang pada lokasi strategis yang telah ditentukan sebelumnya dan dibiarkan mengukur konsentrasi polutan selama periode

waktu tertentu. yang telah dipilih dan berfungsi mengukur konsentrasi polutan untuk durasi yang ditetapkan. Sampel udara diambil selama 60 menit dengan *High Volume Air Sampler* (HVAS) dan Impinger yang sesuai standar (Febrina, 2013). Data yang diperoleh dari alat pengukur ini akan memberikan gambaran mengenai fluktuasi konsentrasi polutan di setiap lokasi.

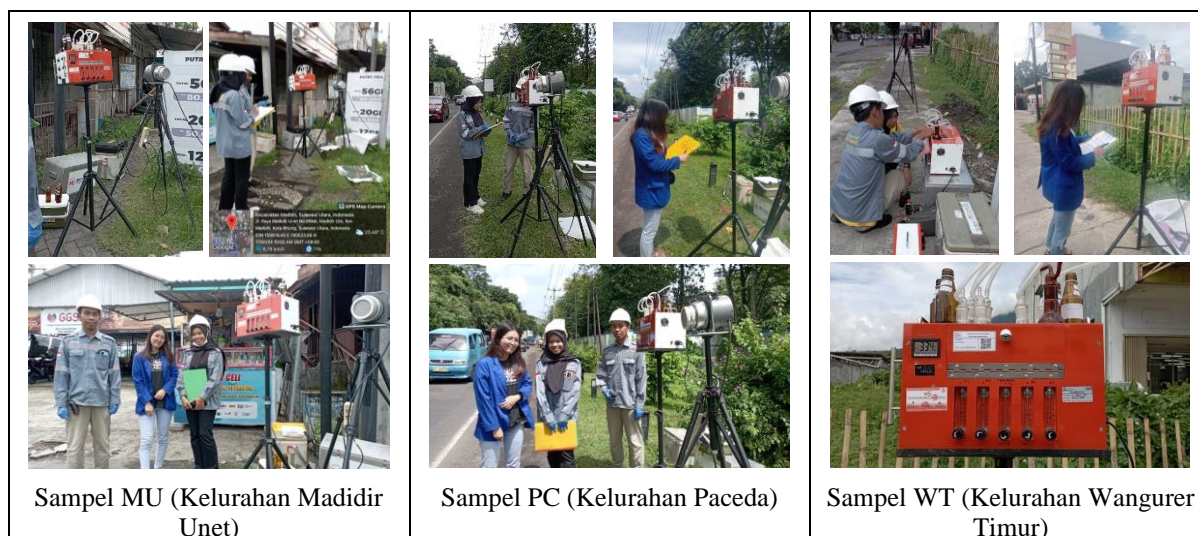
Analisis laboratorium dilakukan terhadap sampel udara yang diambil dari lokasi penelitian, dilaksanakan pada Laboratorium Penguji Badan Standarisasi dan Kebijakan Jasa Industri Manado. Prosedur ini melibatkan teknik analisis kimia, termasuk spektrofotometri dan kromatografi gas, untuk mengidentifikasi dan mengukur konsentrasi polutan tertentu. Analisis dilakukan di laboratorium yang terakreditasi guna menjamin keakuratan dan ketepatan hasil penelitian (Seinfeld & Pandis, 2006).

Data yang telah dianalisis kemudian diinterpretasikan dengan menggunakan metode statistik deskriptif, untuk menggambarkan distribusi dan konsentrasi polutan di berbagai

lokasi. Hasil dari analisis ini kemudian dibandingkan dengan Baku Mutu Udara Ambien menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, maupun Baku Mutu Tingkat Kebauan sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 50 Tahun 1996.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran kualitas udara ambien dilaksanakan di tiga lokasi kelurahan pada tanggal 17 dan 18 Januari 2024. Lokasi pengambilan sampel dipilih berdasarkan kedekatannya dengan potensi sumber emisi, seperti pabrik dan area dengan lalu lintas yang padat. Lokasi tersebut meliputi kelurahan Madidir Unet dekat dengan PT Multi Nabati Sulawesi, kelurahan Paceda dekat dengan PT Sinar Pure Foods Internasional, dan kelurahan Wangurer Timur yang terletak di jalur transportasi utama.



Gambar 2. Titik Pengambilan Sampel Udara di Kecamatan Madidir Kota Bitung

Pengukuran dilakukan selama 60 menit pada waktu yang berbeda, karena hanya tersedia satu unit alat pengukur. Alat ukur untuk memantau kualitas udara menggunakan metode pasif, seperti *Grab Sampling* (Sesaat) dan *Passive Sampler*, yang ditempatkan selama periode tertentu untuk menangkap partikel atau zat pencemar sesuai dengan parameter uji.

Parameter pengujian kualitas udara ambien meliputi: Sulfur Oksida (SO₂), Nitrogen Oksida (NO₂), *Total Suspended Particulate* (TSP), Karbon Monoksida (CO), Hidrogen Sulfida (H₂S), Amonia (NH₃), dan Timbal (Pb). Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Rata-rata konsentrasi polutan udara

di lokasi pengambilan sampel dan ditampilkan dalam tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Konsentrasi Polutan Udara Ambien di Kecamatan Madidir Kota Bitung

Konsentrasi Parameter		SO ₂	NO ₂	TSP	CO	H ₂ S	NH ₃	Pb
Satuan		µg/Nm ³	µg/Nm ³	µg/Nm ³	µg/Nm ³	mg/L	mg/L	µg/Nm ³
Baku Mutu		*150	*200	*9,58	*10000	**0,02	**2	*0,08
Lokasi/ Hari/ Waktu	MU1 09.00 - 10.00	3,25	1,56	125	1145	0,0005	0,04	<0,3912
	MU2 14.00 - 15.00	2,44	0,23	233	1145	0,0004	< 0,0011	<0,3912
	PC1 10.45 - 11.45	4,81	1,90	204	2290	0,0004	0,03	<0,3912
	PC2 12.15 - 13.15	3,15	1,13	53	1145	0,0004	0,003	<0,3912
	WT1 14.00 - 15.00	2,52	0,92	15	2290	0,0004	0,01	<0,3912
	WT2 10.00 - 11.00	3,56	1,10	2	2290	0,0003	0,01	<0,3912

Keterangan: MU (Madidir Unet)
PC (Paceda)
WT (Wangurer Timur)
*) Baku Mutu Udara Ambien (PP RI No.22 Tahun 2021)
**) Baku Mutu Tingkat Kebauan (Kepmen LH No.50 Tahun 1996)

Sulfur Oksida (SO₂)

Sulfur Oksida merupakan kelompok polutan udara ambien yang signifikan, terdiri dari kimia gas dan partikulat, seperti sulfur monoksida, sulfur dioksida, sulfur trioksida, dan disulfur monoksida. Sumber utama polutan ini adalah pembangkit listrik yang memakai batubara dan fasilitas industri yang mengolah bahan mentah seperti bijih logam, batubara, dan minyak mentah, atau yang membakar batubara atau minyak untuk panas proses.

Sulfur oksida dan partikel sulfat mempunyai efek negatif terhadap kesehatan dan lingkungan. Apabila terpapar dalam jangka panjang dapat menyebabkan masalah pernapasan, memperburuk penyakit jantung,

dan meningkatkan risiko kematian dini, terutama bagi penderita asma, penyakit jantung, penyakit paru-paru dan lansia.

Oksida sulfur juga bereaksi di atmosfer membentuk hujan asam, yang merusak bangunan, hutan, tanaman, mengubah komposisi tanah, dan dapat meracuni danau, sehingga tidak layak untuk kehidupan ikan. Standar kualitas udara WHO untuk sulfur dioksida adalah 20 µg/m³ untuk rata-rata 24 jam dan 500 µg/m³ untuk rata-rata 10 menit. Pedoman kualitas udara WHO untuk dioksida sulfur adalah 20 µg/m³ untuk rata-rata 24 jam dan 500 µg/m³ untuk rata-rata 10 menit (Greenstone & Fan, 2019) (Rufaedah et al., 2019).

Tabel 2. Kandungan Sulfur Oksida (SO) pada Udara Ambien di Lokasi Penelitian

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Sampel 1 (MU1)	Sampel 2 (MU2)	Sampel 3 (PC1)	Sampel 4 (PC2)	Sampel 5 (WT1)	Sampel 6 (WT2)
Sulfur Oksida (SO ₂)	µg/Nm ³	*150	3,25	2,44	4,81	3,15	2,52	3,56

Konsentrasi polutan udara SO₂ di semua titik lokasi pengambilan sampel berada jauh di bawah standar baku mutu yang ditetapkan. Pada hari pertama, sampel di lokasi Kelurahan Paceda (PC1) tercatat konsentrasi tertinggi sebesar 4,81 µg/Nm³, yang kemungkinan besar disebabkan oleh aktivitas industri di sekitar lokasi. Di sisi lain, sampel di lokasi Kelurahan Wangurer Timur (WT2) mengalami kenaikan konsentrasi pada hari kedua menjadi 3,56

µg/Nm³. Studi terdahulu di berbagai daerah telah menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi SO₂ sering kali berkaitan dengan kegiatan industri dan transportasi (Sabrina and Ridho Pratama 2022).

Nitrogen Oksida (NO₂)

Nitrogen dioksida adalah gas berwarna kopi (cokelat kemerahan), bersifat paramagnetik, dan sangat reaktif yang

ditemukan pada mamalia, berfungsi sebagai pembawa pesan saraf. Namun, dalam konsentrasi yang tinggi, gas ini berperilaku seperti racun yang dapat mengurangi kapasitas pengangkutan hemoglobin dan mioglobin, mengiritasi mata, tenggorokan, dan saluran pernapasan atas, serta pada tingkat ekstrem, dapat menyebabkan luka bakar dari ringan

hingga parah, terutama di saluran pernapasan. Sebagai polutan primer, NO₂ dihasilkan dari sumber alami seperti bakteri penghasil nitrogen, kebakaran hutan, dan aktivitas vulkanik, serta sumber antropogenik termasuk emisi kendaraan bermotor, pembakaran bahan bakar fosil, dan penggunaan pupuk nitrogen. (Villarejo, 2022)

Tabel 3. Kandungan Nitrogen Oksida (NO) pada Udara Ambien di Lokasi Penelitian

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Sampel 1 (MU1)	Sampel 2 (MU2)	Sampel 3 (PC1)	Sampel 4 (PC2)	Sampel 5 (WT1)	Sampel 6 (WT2)
Nitrogen Oksida (NO ₂)	µg/Nm ³	*200	1,56	0,23	1,90	1,13	0,92	1,10

Konsentrasi polutan udara NO₂ juga berada jauh di bawah baku mutu. Sampel di lokasi Kelurahan Paceda (PC1) memiliki konsentrasi tertinggi pada hari pertama dengan 1,90 µg/Nm³, yang kemungkinan besar akibat emisi kendaraan dan aktivitas industri. Di Kelurahan Madidir Unet, konsentrasi sampel 2 (MU2) turun signifikan pada hari kedua menjadi 0,23 µg/Nm³. Variasi ini menunjukkan adanya fluktuasi yang cukup besar antar hari. Studi terdahulu menunjukkan bahwa konsentrasi NO₂ sering kali lebih tinggi di area dengan lalu lintas padat dan aktivitas industri yang intensif (Liu et al., 2019).

Total Partikulat Tersuspensi (TSP)

Istilah *Total Suspended Particulate* (TSP) dalam bahasa Indonesia yakni Total Partikulat Tersuspensi adalah partikel padat atau cair yang tersuspensi di udara dengan ukuran yang beragam. TSP terdiri dari berbagai bahan seperti debu, asap, jelaga, dan partikel logam, yang dapat berasal dari sumber alami atau aktivitas manusia, termasuk pembakaran bahan bakar fosil dan proses industri (Alias, Hamzah, and Kenn 2007). Di Indonesia, TSP sering ditemukan dalam konsentrasi tinggi di wilayah perkotaan dan industri, serta di daerah yang mengalami kebakaran hutan dan lahan. Seperti halnya studi di Jakarta menunjukkan

konsentrasi TSP sering kali melebihi batas aman WHO, khususnya selama musim kemarau saat pembakaran lahan dan hutan meningkat (Rahmawati, 2016).

TSP berdampak signifikan pada kesehatan, dapat menyebabkan iritasi pernapasan, gangguan fungsi paru, penyakit kardiovaskular, dan risiko infeksi. Hubungan peningkatan konsentrasi TSP juga terhadap kasus penyakit pernapasan ditemukan dampaknya, baik pada anak-anak maupun orang dewasa (Wulandari et al., 2015) (Setiono et al., 2018). TSP juga dapat membawa polutan lain, seperti logam berat dan senyawa organik berbahaya, yang memperburuk dampak terhadap kesehatan.

Dari segi lingkungan, TSP dapat mengurangi visibilitas, mencemari bangunan, merusak tanaman, dan menghambat fotosintesis. Di wilayah pertanian, TSP dapat mengurangi produktivitas tanaman dan kualitas hasil panen. Di kawasan industri seperti Cilegon, Banten, TSP dari aktivitas industri telah merusak vegetasi dan menurunkan kualitas tanah pertanian (Arifin et al., 2012). Dampak ini merugikan lingkungan dan mengancam keberlanjutan ekonomi masyarakat yang bergantung pada sektor pertanian dan pariwisata.

Tabel 4. Kandungan TSP pada Udara Ambien di Lokasi Penelitian

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Sampel 1 (MU1)	Sampel 2 (MU2)	Sampel 3 (PC1)	Sampel 4 (PC2)	Sampel 5 (WT1)	Sampel 6 (WT2)
Total Suspended Particulate (TSP)	µg/Nm ³	*230	125	233	204	53	15	2

Konsentrasi TSP tertinggi tercatat berada pada Kelurahan Madidir Unet (sampel 2) di hari

kedua dengan 233 µg/Nm³. Sampel 3 (PC1) di lokasi Kelurahan Paceda juga menunjukkan

konsentrasi yang cukup tinggi pada hari pertama dengan $204 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, tetapi masih berada di bawah baku mutu. Hal tersebut menunjukkan adanya aktivitas signifikan yang menghasilkan partikel tersuspensi, seperti konstruksi dan debu jalanan. Penelitian sebelumnya mengindikasikan bahwa aktivitas konstruksi dan transportasi adalah sumber utama TSP di lingkungan urban (Permana 2019) (Saragih, Jati, and Pramadita 2022).

Karbon Monoksida (CO)

CO diakui secara global sebagai polutan udara yang berbahaya, yang diatur oleh pedoman kualitas udara dari Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) dan standar kualitas udara internasional. Hal tersebut dimaksudkan untuk melindungi kesehatan manusia dari efek buruk polusi udara (WHO 2021). Sejumlah literatur epidemiologi menunjukkan hubungan yang konsisten antara paparan jangka pendek terhadap CO ambien dengan peningkatan risiko kardiovaskular termasuk kematian dan rawat inap (Brook et al., 2010).

Meskipun demikian, terdapat variasi dalam bukti mengenai efeknya terhadap sistem pernapasan. Beberapa studi menunjukkan bahwa dampak negatif CO pada kesehatan, terutama pada sistem kardiovaskular dan saraf pusat, umumnya terlihat pada tingkat karboksihemoglobin darah (COHb) yang lebih dari 2,4%, yang setara dengan paparan CO sekitar 10–15 ppm (Hazsya, Nurjazuli, and Hanan 2018). Namun, ada juga hal yang meningkat tentang bahaya paparan CO akut di lingkungan sekitar, yang biasanya berada pada level rendah, terhadap kesehatan pernapasan.

Beberapa studi ekologis di Hong Kong dan Shanghai, misalnya, menemukan bahwa paparan akut terhadap CO ambien dapat dikaitkan dengan penurunan risiko rawat inap akibat penyakit pernapasan, menyarankan bahwa tingkat CO ambien yang rendah mungkin tidak berhubungan dengan risiko penyakit pernapasan yang lebih tinggi (Liu et al., 2017).

Tabel 5. Kandungan Karbon Monoksida (CO) pada Udara Ambien di Lokasi Penelitian

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Sampel 1 (MU1)	Sampel 2 (MU2)	Sampel 3 (PCI)	Sampel 4 (PC2)	Sampel 5 (WT1)	Sampel 6 (WT2)
Karbon Monoksida (CO)	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	*10000	1145	1145	2290	1145	2290	2290

Konsentrasi polutan udara CO di semua lokasi pengambilan sampel berada jauh di bawah baku mutu. Sampel di titik lokasi Kelurahan Paceda dan Kelurahan Wangurer Timur mencatat konsentrasi tertinggi sebesar $2,290 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, menunjukkan bahwa meskipun terdapat sumber emisi CO, konsentrasi masih dalam batas aman untuk kesehatan. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa konsentrasi CO cenderung lebih rendah di area dengan kontrol polusi yang baik (Wen et al. 2023).

Hidrogen Sulfida (H₂S)

Hidrogen sulfida merupakan gas tak berwarna dengan aroma sedikit manis yang menyerupai bau telur busuk, memiliki kerapatan relatif 1,19, gas ini mudah terbakar, larut dalam air, dan lebih berat daripada udara. Pada konsentrasi di atas 0,0001%, terutama yang lebih tinggi, hidrogen sulfida bisa menyebabkan kelumpuhan penciuman. Gas beracun ini, jika terhirup, dapat masuk ke dalam

darah melalui paru-paru. Sebagian akan teroksidasi menjadi garam sulfida, namun bagian yang tidak teroksidasi berpotensi berbahaya bagi tubuh manusia. Hidrogen sulfida yang terlarut dalam kelembapan selaput lendir bisa membentuk natrium sulfida, yang merusak dan mengiritasi selaput lendir, menyebabkan peradangan pada mata, saluran pernapasan, dan edema paru. Selain itu, hidrogen sulfida yang bereaksi dalam tubuh manusia menghambat bioksidasi Spirulina, yang bisa mengakibatkan hipoksia. Konsentrasi hidrogen sulfida di udara yang mencapai 45,5% bisa memicu ledakan (Rufaedah et al., 2019). Pada konsentrasi 0,005–0,01%, gas ini bisa mengiritasi mata dan saluran pernapasan dalam waktu 1,2 jam; pada konsentrasi 0,01%, paparan bisa fatal dalam waktu singkat. Konsentrasi hidrogen sulfida di tambang batubara seharusnya tidak melebihi 0,00066%. Karbon dioksida, gas tak berwarna dan sedikit asam dengan kerapatan relatif 1,52, mudah terbakar, dan larut dalam air, cenderung

menumpuk di area rendah seperti lereng dan terowongan. Konsentrasi karbon dioksida yang

meningkat di paru-paru bisa menimbulkan masalah kesehatan serius.

Tabel 6. Hidrogen Sulfida (H₂S) pada Udara Ambien di Lokasi Penelitian

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Sampel 1 (MU1)	Sampel 2 (MU2)	Sampel 3 (PC1)	Sampel 4 (PC2)	Sampel 5 (WT1)	Sampel 6 (WT2)
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	mg/L	**0,02	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003

Konsentrasi polutan udara H₂S di semua lokasi sangat rendah dan jauh di bawah baku mutu yang ditetapkan. Nilai tertinggi hanya mencapai 0,0005 mg/L di lokasi Kelurahan Madidir Unet pada hari pertama. Konsentrasi rendah ini menunjukkan minimnya sumber H₂S di sekitar lokasi pengambilan sampel. Studi terdahulu juga menunjukkan bahwa konsentrasi H₂S cenderung rendah di area dengan kontrol emisi yang baik (Hendrialdi, Nugroho, and Sulisty 2020).

NH₃

Amonia (NH₃) merupakan polutan gas atmosfer yang tidak diatur dan berperan dalam pembentukan partikel halus. Sebagai prekursor utama materi partikulat (PM), amonia memiliki dampak kesehatan yang telah terbukti. Di atmosfer, amonia adalah senyawa basa gas utama yang mempengaruhi keasaman curah hujan, awan, dan partikel. Karena sifatnya yang sangat reaktif, amonia memiliki masa hidup pendek di atmosfer, berkisar dari beberapa jam hingga beberapa hari. Reaktivitas ini termasuk disosiasi oleh radiasi matahari atau pengendapan secara kering dan/atau basah.

Namun, masalah utama terkait dengan pembentukan partikel anorganik sekunder melalui reaksi dengan asam atmosfer, seperti asam sulfat dan asam nitrat. Partikel sekunder ini berkontribusi signifikan pada konsentrasi partikulat di daerah perkotaan, baik sepanjang tahun maupun selama episode polusi. Di Perancis, lebih dari 40.000 kematian pada tahun 2018 dikaitkan dengan polusi partikulat, dan di 27 Negara Anggota UE, 307.000 kematian dini pada tahun 2019 disebabkan oleh paparan kronis terhadap partikel halus. Meskipun amonia tidak memiliki dampak kesehatan langsung pada konsentrasi yang diukur di atmosfer, ia berkontribusi pada polusi partikulat, yang merupakan masalah kesehatan masyarakat utama. Selain itu, amonia memiliki dampak lingkungan yang signifikan, terutama dalam modifikasi siklus nitrogen dan masukan nitrogen reaktif ke lingkungan. Dampak ini mencakup efek pada ekosistem dan keanekaragaman hayati, terutama melalui eutrofikasi lingkungan. Amonia juga berperan dalam pengasaman ekosistem alami dan toksisitas akutnya dapat mempengaruhi spesies perairan (Mélodie Chatain, 2022).

Tabel 7. Amonia (NH₃) pada Udara Ambien di Lokasi Penelitian

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Sampel 1 (MU1)	Sampel 2 (MU2)	Sampel 3 (PC1)	Sampel 4 (PC2)	Sampel 5 (WT1)	Sampel 6 (WT2)
Amonia (NH ₃)	mg/L	**2	0,04	< 0,0011	0,03	0,003	0,01	0,01

Konsentrasi polutan udara NH₃ juga berada jauh di bawah baku mutu. Nilai tertinggi tercatat di sampel lokasi Kelurahan Madidir Unet dengan 0,04 mg/L pada hari pertama. Konsentrasi rendah ini menunjukkan bahwa aktivitas yang menghasilkan amonia sangat minimal di area pemantauan dan pengambilan sampel. Penelitian sebelumnya mendukung hasil ini, menunjukkan bahwa konsentrasi NH₃ cenderung rendah di area dengan kontrol emisi yang efektif (Wen et al. 2023).

Timbal (Pb)

Polusi Timbal (Pb) di atmosfer mempunyai dampak buruk terhadap kesehatan manusia, dan memahami sumber serta proses Pb menjadi tantangan ilmiah yang signifikan. Timbal (Pb) secara khusus dapat merugikan sistem saraf manusia dengan meningkatkan kadar Pb dalam darah, terutama pada kelompok yang rentan seperti bayi dan wanita hamil. Penelitian telah menunjukkan bahwa Pb dapat memiliki efek teratogenik pada janin, menghambat perkembangan kecerdasan dan

menurunkan IQ anak-anak. Karena itu, identifikasi sumber dan jalur migrasi Pb di

atmosfer menjadi sangat penting (Zhenghua Tao, 2021)

Tabel 8. Timbal (Pb) pada Udara Ambien di Lokasi Penelitian

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Sampel 1 (MU1)	Sampel 2 (MU2)	Sampel 3 (PC1)	Sampel 4 (PC2)	Sampel 5 (WT1)	Sampel 6 (WT2)
Timbal (Pb)	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	*2	<0,3912	<0,3912	<0,3912	<0,3912	<0,3912	<0,3912

Konsentrasi polutan udara Timbal (Pb) di semua lokasi pengambilan sampel tidak terdeteksi atau berada di bawah batas deteksi dengan nilai <0,3912 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Hasil ini menunjukkan bahwa tidak ada sumber signifikan timbal di area pengambilan sampel, sehingga risiko paparan timbal terhadap masyarakat sangat rendah. Hal ini sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa konsentrasi Pb di area urban cenderung rendah dengan kontrol emisi yang baik (Rodríguez-Seijo et al. 2015).

KESIMPULAN

Konsentrasi berbagai polutan udara di Kecamatan Madidir Kota Bitung, sebagian besar parameter masih berada di bawah ambang batas baku mutu yang ditetapkan. Konsentrasi sulfur dioksida (SO_2), nitrogen dioksida (NO_2), karbon monoksida (CO), hidrogen sulfida (H_2S), amonia (NH_3), dan timbal (Pb) menunjukkan nilai yang jauh lebih rendah dibandingkan standar baku mutu, mengindikasikan bahwa emisi dari sumber seperti pembakaran bahan bakar fosil, aktivitas industri, atau dekomposisi organik masih terkendali. Namun, parameter total suspended particulates (TSP) menunjukkan kondisi yang perlu perhatian lebih lanjut, karena dua lokasi, yaitu MU2 (233 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) dan PC1 (204 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$), melampaui baku mutu sebesar 9,58 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Tingginya konsentrasi TSP di kedua lokasi ini kemungkinan disebabkan oleh aktivitas konstruksi, debu jalan, atau emisi industri di sekitarnya.

Meskipun parameter lainnya masih aman, penting untuk menerapkan langkah-langkah mitigasi seperti penyiraman jalan, pengendalian debu konstruksi, dan pemantauan rutin untuk mencegah peningkatan polutan di masa mendatang. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun kualitas udara di sebagian besar lokasi masih memenuhi standar keamanan, upaya

pengendalian pencemaran tetap diperlukan untuk menjaga kualitas lingkungan dan melindungi kesehatan masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, A., Huzni, S., Siregar, A., Siregar, C., Nasution, A., Tanjung, I., & Fonna, S. (2020). Analisa Korosi Atmosferik Baja Karbon Rendah Di Kecamatan Medan Belawan. Multitek Indonesia. <https://doi.org/10.24269/MTKIND.V14I2.2841>.
- Alias, Masitah, Zaini Hamzah, and Lee See Kenn. (2007). "PM 10 and Total Suspended Particulates (TSP) Measurements in Various Power Stations." *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 11(1): 255–61.
- Arifin, Z., et al. (2012). Environmental Impact of TSP in Cilegon Industrial Area.
- Azhar, K., Dharmayanti, I., & Mufida, I. (2016). Kadar Debu Partikulat (PM_{2.5}) dalam Rumah dan Kejadian ISPA pada Balita di Kelurahan Kayuringin Jaya, Kota Bekasi Tahun 2014. 26, 45-52. <https://doi.org/10.22435/MPK.V26I1.4903.45-52>.
- Azmi, S. Z., Latif, M. T., Ismail, A. S., Juneng, L., & Jemain, A. (2009). Trend and status of air quality at three different monitoring stations in the Klang Valley, Malaysia.
- Brook, R. D., Rajagopalan, S., Pope III, C. A., Brook, J. R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., Holguin, F., Hong, Y., Luepker, R. V., Mittleman, M. A., Peters, A., Siscovick, D., Smith, S. C., Whitsel, L., & Kaufman, J. D. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121(21), 2331-

2378.
<https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181dbee1>
- Febrina, R. (2013). Analisis Kualitas Udara Ambien Di Kawasan Industri Bandar Lampung. Institut Pertanian Bogor.
- Guttikunda, S.K., & Gurjar, B.R. (2012). Role of meteorology in seasonality of air pollution in megacity Delhi, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 3199-3211.
- Greenstone, M., & Fan, Q. (Claire). (2019). Kualitas udara Indonesia yang memburuk dan dampaknya terhadap harapan hidup. In *Air Quality Life Index*. <https://aqli.epic.uchicago.edu/wp-content/uploads/2019/03/Indonesia.Indonesian.pdf>
- Handayani, S., Kesuma, S. I., & Thoha, A. S. (2023). The impact of industrial agglomeration on air quality from a regional development perspective.
- Hazsya, Muttia, Nurjazuli, and Lanang D. Hanan. (2018). "Hubungan Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) Dan Faktor-Faktor Resiko Dengan Konsentrasi COHb dalam Darah Pada Masyarakat Beresiko di Sepanjang Jalan Setiabudi Semarang." *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6(6): 241-50. <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkm>.
- Hendrialdi, Bayu Kusumo Nugroho, and Aris Budi Sulisty. (2020). "Strategi Pengendalian Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Berdasarkan Model Regresi Di Kota Denpasar." *Jurnal Teknologi Transportasi dan Logistik*, 1(2): 109-16. <https://jurnal.poltradabali.ac.id/jttl/article/view/16>.
- Herlianty, S., & Dewi, K. (2013). Potensi Gangguan Bau Gas Hidrogen Sulfida (H₂S) di Lingkungan Kerja PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap. *Jurnal Tehnik Lingkungan*, 19(2), 196-204. <https://doi.org/10.5614/jtl.2013.19.2.9>
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 50 Tahun 1996 tentang Baku Tingkat Kebauan, 16 (1996).
- Kurniawan, A. (2015). Studi Pengaruh Letusan Abu Vulkanik Gunung Marapi di Sumatra Barat Tanggal 3 Agustus 2011 Terhadap Hasil Pengukuran Gas SO₂ dan Partikel (PM₁₀ Dan TSP) di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, 6, 119-210. <https://doi.org/10.34126/jlbg.v6i3.84>.
- Liu, Y., Chen, R., & Meng, X. (2017). Ambient carbon monoxide and its effect on hospital admissions due to respiratory diseases in Hong Kong and Shanghai. *Environmental Health Perspectives*, 125(2), 207-212. <https://doi.org/10.1289/EHP282>
- Lee, C. C., Tran, M., Choo, C. W., Tan, C. P., & Chiew, Y. (2020). Evaluation of air quality in Sunway City, Selangor, Malaysia from a mobile monitoring campaign using air pollution micro-sensors.
- Mélodie Chatain, E. C. (2022). Road Traffic and Its Influence on Urban Ammonia. *Atmosphere*, 1-20.
- Novitriana, L., Handayani, D., & Hasbi, M. (2017). Analisis Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Akibat Volume Lalu Lintas Di Ruas Jalan (Studi Kasus Jalan Slamet Riyadi Surakarta). *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 5(2), 753-758.
- Paerunan, J. (2017). Analisis Kualitas Udara pada Kawasan Terminal Regional Daya di Kota Makassar. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Permana, Aang Panji. (2019). "Analisis Kedalaman Dan Kualitas Air Tanah Di Kecamatan Sipatana Kota Gorontalo Berdasarkan Parameter Fisika Dan Kimia." *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 5(1): 45-55. doi:10.20527/jukung.v5i1.6208.
- Rahmawati, L. (2016). Concentration of Total Suspended Particulate (TSP) and Particulate Matter (PM_{2.5}) in Jakarta. *Journal of Environmental Science and Technology*, 9(2), 102-110. https://www.researchgate.net/publication/309415332_Concentration_of_Total_Suspended_Particiulate_TSP_and_Particiulate_Matter_PM25_in_Jakarta

- Rufaedah, A. A., Sriagustini, I., & Nurwahidah, A. I. (2019). Paparan Hidrogen Sulfida Terhadap Risiko Kesehatan Masyarakat di Sekitar Area TPA Cibereum di Kota Banjar. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(4), 309–318. <https://doi.org/10.20473/jkl.v11i4.2019.309-318>
- Rodríguez-Sejjo, Andrés, Daniel Arenas-Lago, María Luisa Andrade, and Flora A. Vega. (2015). “Identifying Sources of Pb Pollution in Urban Soils by Means of MC-ICP-MS and TOF-SIMS.” *Environmental Science and Pollution Research*, 22(10): 7859–72. doi:10.1007/s11356-014-4027-9.
- Sabrina, Azizah Putri, and Ridho Pratama. (2022). “Gambaran Kualitas Udara Serta Analisis Risiko Nitrogen Dioksida (NO₂) Dan Sulfur Dioksida (SO₂) Di Kabupaten Bekasi.” *Journal of Engineering Environmental Energy and Science*, 1(2): 63–70. doi:10.31599/joes.v1i2.1289.
- Saragih, Erly Esaputri, Dian Rahayu Jati, and Suci Pramadita. (2022). “Analisis Polutan Udara (CO, NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2,5} Dan TSP) Di Industri Galangan Kapal Serta Pengaruhnya Terhadap Lingkungan Kerja.” *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 10(2): 129. doi:10.26418/jtlb.v10i2.56051.
- Sidjabat, F., & Driejana, D. (2017). Model Spasial Sebaran Pencemar Udara Dari Sumber Transportasi Dan Pengaruhnya Pada Kualitas Udara Di Dalam Rumah Di Sekitar Jalan Raya (Studi kasus di Wilayah Karees dan Cibeunying Kidul, Bandung), 23, 11-22. <https://doi.org/10.5614/j.tl.2016.23.2.2>.
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Setiono, B., et al. (2018). *Impact of Air Pollution on Children's Respiratory Health in Yogyakarta*.
- Syapitri, H., Amila, & Aritonang, J. (2021). *Metodologi Penelitian Kesehatan* (Cetakan Per). Ahlimedia Press.
- Winatama, D., et al (2023). Analisis Kualitas Udara pada Kawasan Transportasi, Industri, Perkotaan, Permukiman, dan Perdagangan di Kota Tegal. *Jurnal Ilmu Lingkungan* (2023), 21(2):381-386
- Wulandari, S., Anwar, S., & Widodo, A. S. (2015). Pengaruh Konsentrasi Partikulat Terhadap Kejadian Penyakit ISPA di Kota Surabaya. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 10(1), 44-51. <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/IKESMA/article/view/1449>
- Wen, Yifan, Shaojun Zhang, Ye Wu, and Jiming Hao. (2023). “Vehicular Ammonia Emissions: An Underappreciated Emission Source in Densely Populated Areas.” *Atmospheric Chemistry and Physics*, 23(6): 3819–28. doi:10.5194/acp-23-3819-2023.
- WHO. (2021). Executive summary WHO Global Air Quality Guidelines. Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. Geneva.
- Villarejo, A. L. (2022). Los óxidos de nitrógeno y su importancia en la contaminación atmosférica. *Anales De La Real Academia Nacional Farmacia*, 345-350.
- Zhenghua Tao, Q. G. (2021). Atmospheric lead pollution in a typical megacity: Evidence from lead isotopes. *Science of The Total Environment*.