

Polusi Udara dan Dermatitis Atopik: Suatu Tinjauan Literatur

Jessica Rosemary Wikanto¹, Lorettha Wijaya^{2*}, Jason Dewantara¹, Anastasya Anjeli Lopulalan¹, Regina Regina²

¹ School of Medicine and Health Sciences, Atma Jaya Catholic University of Indonesia, Jl. Pluit Raya No. 2, Jakarta 14440, Indonesia

² Department of Dermatology and Venereology, School of Medicine and Health Sciences, Atma Jaya Catholic University of Indonesia, Jl. Pluit Raya No. 2, Jakarta 14440, Indonesia

*Corresponding author: lorettha.wijaya@atmajaya.ac.id

Info Artikel: Diterima 5 Agustus 2024; Direvisi 14 Agustus 2025; Disetujui 14 Agustus 2025

Tersedia online: 28 Agustus 2025; Diterbitkan secara teratur: Oktober 2025



Cara citasi: Wikanto JR, Wijaya L, Dewantara J, Lopulalan AA, Regina R. Polusi Udara dan Dermatitis Atopik: Suatu Tinjauan Literatur. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2025 Oct;24(3):297-305. <https://doi.org/10.14710/jkli.65719>.

ABSTRAK

Latar belakang: Polusi udara di Indonesia saat ini cukup tinggi seiring dengan meningkatnya urbanisasi dan industrialisasi. Paparan polusi udara dapat merusak fungsi perlindungan kulit dan diduga berhubungan dengan dermatitis atopik. Studi ini bertujuan untuk mengulas perkembangan studi pengaruh polusi udara terhadap dermatitis atopik.

Metode: Studi ini merupakan tinjauan literatur dengan menggunakan basis data Pubmed, ClinicalKey, EBSCO, dan ProQuest yang terbit dalam 5 tahun terakhir dan berbahasa Inggris. Kata kunci yang digunakan adalah “*particulate matter AND atopic dermatitis*”.

Hasil: Hasil studi menunjukkan bahwa polusi udara dapat merusak sawar kulit dan memicu respon peradangan, sehingga memicu dermatitis atopik. Paparan polusi udara pada masa prenatal dan usia dini berhubungan dengan peningkatan insidensi dermatitis atopik pada anak-anak. Paparan jangka pendek terhadap kadar polutan tinggi dapat meningkatkan risiko kekambuhan dermatitis atopik. Prevalensi dermatitis atopik juga terus mengalami peningkatan di negara-negara berkembang.

Simpulan: Studi ini menyimpulkan bahwa polusi udara dapat menjadi pemicu ataupun memperparah gejala dermatitis atopik.

Kata kunci: polusi udara; *particulate matter*; dermatitis atopik; urbanisasi; industrialisasi

ABSTRACT

Title: Air pollution and atopic dermatitis: A literature review

Background: Currently, air pollution in Indonesia is quite high along with increasing urbanization and industrialization. Exposure to air pollution may cause damage to skin protective function and may be related to atopic dermatitis. This paper aims to review the progress of studies concerning the relationship between air pollution and atopic dermatitis.

Method: Studies, which were published in English within the last 5 years, were obtained through databases (Pubmed, ClinicalKey, EBSCO, and ProQuest). The keywords used are “*particulate matter AND atopic dermatitis*”

Result: Results show that air pollution may damage skin barrier and trigger inflammatory response, thereby inducing atopic dermatitis. Prenatal and early childhood exposure to air pollution were associated with

increasing incidence of atopic dermatitis in children. Acute exposure to high pollutant causes the increase of atopic dermatitis relapse. The prevalence of atopic dermatitis is also increasing in developing countries.

Conclusion: *This study concluded that air pollution may trigger or worsen the symptoms of atopic dermatitis.*

Keywords: *air pollution; particulate matter; atopic dermatitis; urbanization; industrialization*

PENDAHULUAN

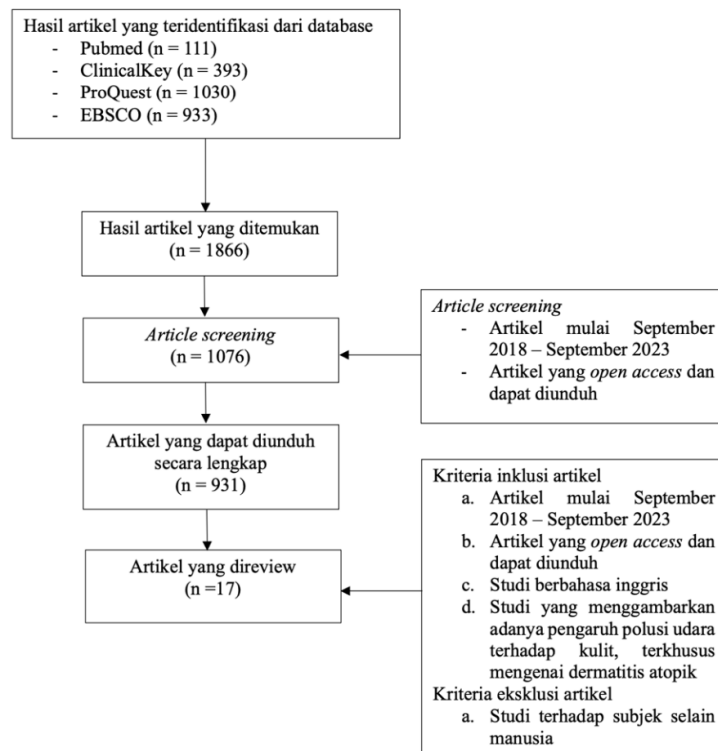
Polusi udara adalah kontaminasi lingkungan di dalam atau luar ruangan oleh zat polutan kimia, fisik, atau biologis yang mengubah karakteristik alami atmosfer.¹ Kendaraan bermotor, pabrik, tempat konstruksi, tungku kayu, pembakaran batu bara, dan kebakaran hutan merupakan sumber polusi udara.² Polutan udara meliputi *particulate matter* (PM), karbon monoksida (CO), ozon (O₃), nitrogen dioksida (NO₂), dan sulfur dioksida (SO₂). PM merupakan indikator umum untuk polusi udara dan dihubungkan dengan dampak negatif terhadap kesehatan.³⁻⁵

Selama dua puluh tahun terakhir, Indonesia telah mengalami perubahan yang drastis dalam hal kualitas udaranya. Sejak tahun 1998 hingga 2016, Indonesia telah berubah dari negara dengan udara bersih menjadi salah satu dari dua puluh negara yang memiliki tingkat polusi tinggi, karena konsentrasi partikulat polusi udaranya meningkat 171%. Polusi meningkat lebih dari dua kali lipat sejak tahun 2013 hingga 2016, dan sebagian dari peningkatan tersebut kemungkinan disebabkan oleh kebakaran hutan.⁶ Menurut IQAir, kualitas udara di Indonesia memiliki *particulate matter* (PM_{2,5}) tertinggi di Asia Tenggara pada tahun 2021 dan 2022.⁷

Polusi udara dapat secara langsung merusak fungsi perlindungan dan homeostasis kulit, sehingga dapat berkontribusi pada perkembangan dan eksaserbasi dari penyakit kulit. Dermatitis atopik (DA) merupakan penyakit kulit inflamasi yang ditandai oleh kerusakan sawar kulit dan respon imun yang tinggi terhadap iritan dan alergen.^{8,9} Studi terbaru menunjukkan adanya hubungan positif yang signifikan antara DA dan paparan PM jangka panjang.¹⁰ Oleh karena itu, artikel ini ditulis dengan tujuan untuk mengulas pengaruh polusi udara terhadap dermatitis atopik.

MATERI DAN METODE

Penulis menggunakan sumber referensi berupa artikel dan jurnal ilmiah yang relevan. Pencarian referensi dilakukan melalui basis data Pubmed, ClinicalKey, EBSCO, dan ProQuest yang terbit dalam 5 tahun terakhir. Kata kunci yang digunakan adalah "*particulate matter AND atopic dermatitis*". Kriteria inklusi yang digunakan dalam artikel ini adalah studi berbahasa Inggris, studi yang menggambarkan adanya pengaruh polusi udara terhadap kulit, terkhusus mengenai dermatitis atopik. Kriteria eksklusi yang digunakan dalam artikel ini adalah studi terhadap subjek selain manusia.



Gambar 1. Bagan PRISMA dalam Mencari dan Menyeleksi Artikel

Tabel 1. Hasil Tinjauan Literatur Polusi Udara dan Dermatitis Atopik

No	Pengarang dan Judul	Hasil Tinjauan Literatur	Kesimpulan dan Temuan
1	Fadadu RP, dkk. Air pollution and atopic dermatitis, from molecular mechanisms to population-level evidence: A review. 2023. International Journal of Environmental Research and Public Health. https://doi.org/10.3390/ijerph20032526	Studi terhadap sel dan hewan menunjukkan bahwa polusi udara berkontribusi terhadap gejala DA dengan mengaktifkan jalur reseptor <i>aryl hidrocarbon</i> , memicu stres oksidatif dan respon inflamasi, serta merusak fungsi sawar kulit. Studi epidemiologi secara keseluruhan melaporkan bahwa polusi udara berhubungan dengan DA pada anak-anak dan dewasa, meskipun beberapa studi potong lintang menunjukkan hasil yang berbeda. Studi juga menunjukkan hubungan positif antara kunjungan DA ke fasilitas kesehatan dan polusi udara.	Studi tinjauan ini menunjukkan hubungan antara paparan polusi udara dan dermatitis atopik. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan tatalaksana untuk mencegah atau memperingan gejala DA yang berhubungan dengan polusi udara.
2	Park TH, dkk. Associations of particulate matter with atopic dermatitis and chronic inflammatory skin diseases in South Korea. 2022. Clinical and Experimental Dermatology. https://doi.org/10.1111/ced.14910	Terdapat hubungan signifikan antara peningkatan konsentrasi PM _{2,5} , PM ₁₀ , SO ₂ dan CO dengan kunjungan pasien DA ke fasilitas kesehatan. Setiap peningkatan 10 µg/m ³ PM _{2,5} dan PM ₁₀ menunjukkan peningkatan kunjungan pasien sebesar 2,71% (95% CI = 0,76%–4,71%; P<0.01) dan 2,01% (95% CI = 0,92%–3,11%; P<0.001). Sedangkan setiap peningkatan 1 <i>part per billion</i> (ppb) SO ₂ dan 100 ppb CO menunjukkan peningkatan kunjungan pasien sebesar 2,26% (95% CI = 1,35%–3,17%; P<0.001) dan 2,86% (95% CI = 1,35%–4,40%; P<0.001). Tidak terdapat hubungan signifikan antara konsentrasi NO ₂ dan O ₃ dengan kunjungan pasien DA (P>0.05). Peningkatan konsentrasi PM _{2,5} dan PM ₁₀ juga memiliki hubungan bermakna dengan peningkatan kunjungan psoriasis, dermatitis seboroik, dan rosacea.	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa PM berhubungan dengan DA. PM _{2,5} memiliki dampak yang lebih besar terhadap DA dibandingkan dengan PM ₁₀ . Polutan lain seperti SO ₂ dan CO juga berhubungan signifikan dengan peningkatan kunjungan pasien DA. PM juga berhubungan dengan penyakit kulit lainnya seperti psoriasis, dermatitis seboroik, dan rosacea.
3	Isaifan D, dkk. Fc epsilon RI-neuroimmune interplay in pruritus triggered by particulate matter in atopic dermatitis patients. 2023. International Journal of Molecular Sciences. https://doi.org/10.3390/ijms241411851	Dampak polusi udara terhadap eksaserbasi pruritus DA telah dilaporkan di beberapa negara berkembang yang mengalami urbanisasi dan industrialisasi. PM luar ruangan dapat menjadi kunci penyebab eksaserbasi pruritus DA yang semakin meningkat. Paparan lingkungan dapat menjadi pemicu kekambuhan gatal. Pada tingkat molekuler, dampak PM terhadap pruritus berat di DA dapat disebabkan oleh efek toksik pada jalur neuro-imun kompleks. DA merupakan manifestasi gangguan pada sistem imun dan saraf. Studi ini menggambarkan konsep dasar jalur sensorik (gatal) pada sistem neuro-imun pasien DA. Studi ini juga menggambarkan dampak PM terhadap jalur neuro-imun di patogenesis DA dengan memfokuskan kepada jalur Fc Epsilon RI.	Pruritus merupakan gejala klinis DA yang dapat dipicu oleh alergen dari lingkungan seperti PM. Ukuran PM yang halus menyebabkannya mudah berpenetrasi dan merusak sawar kulit manusia. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa jalur sinyal Fc Epsilon RI berhubungan dengan gatal pada penyakit kulit atopik. Studi ini membahas mengenai peranan jalur sinyal Fc Epsilon RI dalam pruritus yang berhubungan dengan paparan PM jangka panjang pada pasien DA. Mediator yang bekerja di jalur sinyal Fc Epsilon RI dapat menjadi target terapeutik pada pasien pruritus DA.
4	Kim YM, dkk. Effects of exposure to indoor fine particulate matter on atopic dermatitis in children. 2021. International Journal of Environmental Research and Public Health. https://doi.org/10.3390/ijerph182111509	Hasil penelitian ini menunjukkan terdapat 49,3% gejala DA pada 9321 <i>person-days</i> catatan gejala dari 64 subjek. Rerata konsentrasi PM _{2,5} sebesar 28,7±24,3 µg/m ³ , dengan nilai tertinggi pada musim dingin (47,1±29,6 µg/m ³). Secara keseluruhan, dampak PM _{2,5} terhadap gejala DA tidak berhubungan signifikan. Namun, peningkatan 10 µg/m ³ PM dalam ruangan berhubungan dengan peningkatan skor gejala DA, sebanyak 16,5% (95% CI: 6,5–27,5) di musim semi, 12,6% (95% CI: 4,3–21,5) di musim dingin, 6,7% (95% CI: 2,3–11,3) pada suhu dalam ruangan < 25,5 °C, dan 14,9% (95% CI: 3,5–27,7) pada rumah yang tidak menggunakan pembersih udara. Dampak buruk PM _{2,5} signifikan pada laki-laki, anak usia 6-18 tahun, dan anak yang memiliki sensitisasi terhadap alergen inhalan, dengan peningkatan skor gejala DA sebesar 4,9% (95% CI: 1,4–8,6); 12,0% (95% CI: 5,3–19,1); 7,0% (95% CI: 1,9–12,3) per 10 µg/m ³ PM _{2,5} . Anak yang memiliki sensitisasi terhadap alergen inhalan dan gejala berat menunjukkan efek PM _{2,5} yang lebih besar dalam peningkatan skor gejala DA sebanyak 15,7% (95% CI: 4,5–28,1) per 10 µg/m ³ PM _{2,5} .	Paparan terhadap PM _{2,5} dalam ruangan dapat mengeksaserbasi gejala DA pada anak-anak di musim semi, musim dingin, dan suhu dalam ruangan < 25,5 °C. Dampak buruk ini lebih jelas terlihat pada anak yang memiliki sensitisasi terhadap alergen inhalan dan gejala berat. Perlu meminimalkan paparan terhadap PM _{2,5} dalam ruangan untuk manajemen penyakit DA.

No	Pengarang dan Judul	Hasil Tinjauan Literatur	Kesimpulan dan Temuan
5	Park SK, dkk. Exposure to air pollution and incidence of atopic dermatitis in the general population: A national population-based retrospective cohort study. 2022. Journal of the American Academy of Dermatology. https://doi.org/10.1016/j.jaad.2021.05.061	Hasil studi ini menunjukkan terdapat 3203 kasus DA dari 1.030.324 <i>person-years</i> . Terdapat hubungan signifikan antara kejadian DA dengan paparan konsentrasi rerata PM _{2,5} jangka panjang (<i>hazard ratio</i> [HR] 1,420; 95% CI: 1,392–1,448; untuk 1 µg/m ³), PM ₁₀ (HR, 1,333, 95% CI: 1,325–1,341; untuk 1 µg/m ³), SO ₂ (HR, 1,626; 95% CI: 1,559–1,695; untuk 1 <i>parts per billion</i>), NO ₂ (HR, 1,200; 95% CI: 1,187–1,212; untuk 1 <i>parts per billion</i>), dan CO (HR, 1,005; 95% CI: 1,004–1,005; untuk 1 <i>parts per billion</i>).	Paparan jangka panjang terhadap polusi udara yang meliputi PM dan gas dapat meningkatkan perkembangan DA.
6	Narla S, Silverberg JI. The role of environmental exposures in atopic dermatitis. 2020. Current Allergy and Asthma Reports. https://doi.org/10.1007/s11882-020-00971-z	Studi ini meninjau peran genetik dan lingkungan dalam patogenesis DA. Paparan <i>in utero</i> yang ditinjau termasuk terhadap asap rokok, alkohol, berbagai suplemen pencernaan, diabetes gestasional, dan stres maternal. Paparan pada usia dini meliputi diet maternal, microbiota usus, antibiotik, dan menyusui. Paparan lingkungan seperti iklim, polusi udara, produk rumah tangga, alergen dalam ruangan, air dengan kadar mineral tinggi, pH dan mikrobiota kulit.	Faktor lingkungan dapat mempengaruhi DA. Intervensi untuk mencegah dan memperbaiki DA diperlukan terutama pada usia awal kehidupan. Saat ini telah ditemukan hubungan suplementasi probiotik saat kehamilan, merokok, iklim, polusi udara, pH, dan <i>Staphylococcus aureus</i> kulit dengan DA.
7	Luger T, dkk. Atopic dermatitis: role of the skin barrier, environment, microbiome, and therapeutic agents. 2021. Journal of Dermatological Science. https://doi.org/10.1016/j.jdermsci.2021.04.007	Sawar kulit berperan sebagai perlindungan terhadap inflamasi kulit. Epidermis membentuk barier fisik, kimia, imunologik, neuro-sensorik, dan mikrobial antara lingkungan internal dan eksternal. Kerusakan protein struktural sawar kulit termasuk filagrin dapat meningkatkan risiko DA. Studi menunjukkan bahwa alergen seperti tungau, kecoa, serbuk sari dapat menginduksi DA. Polusi udara juga berhubungan dengan peningkatan DA. Terdapat beberapa tatalaksana topikal dan sistemik untuk DA. Tatalaksana DA berfokus pada anti-inflamasi dan memiliki efek baik bagi fungsi perlindungan sawar kulit.	Kerusakan sawar kulit berperan penting dalam patogenesis DA. Selain komponen genetik, paparan terhadap alergen, iklim, dan polusi udara juga berperan dalam perkembangan DA. Tatalaksana DA meliputi kortikosteroid topikal, inhibitor kalsineurin topikal, pelembap, dan <i>novel treatment</i> yang menargetkan sawar kulit.
8	Lai A, dkk. The impact of air pollution on atopic dermatitis. 2023. Current Allergy and Asthma Reports. https://doi.org/10.1007/s11882-023-01095-w	Dermatitis atopik dapat disebabkan oleh berbagai hal yang dapat dikelompokkan menjadi gangguan fungsi sawar kulit dan gangguan regulasi imun. DA dihubungkan dengan polusi udara lingkungan luar seperti PM dan gas. Paparan polutan dalam ruangan seperti asap rokok dan jamur juga dihubungkan dengan peningkatan kejadian DA. Polutan sebagian besar menghasilkan <i>reactive oxygen species</i> (ROS), merusak DNA, dan mengganggu regulasi aktivitas sel T dan produksi sitokin.	Studi ini mendukung adanya hubungan yang kuat antara polusi udara dan DA. Hal ini menunjukkan peluang untuk penelitian lebih lanjut untuk mengklarifikasi dan mencari terapi potensial untuk DA.
9	Bonamonte D, dkk. The role of the environmental risk factors in the pathogenesis and clinical outcome of atopic dermatitis. 2019. Biomed Research International. https://doi.org/10.1155/2019/2450605	Prevalensi DA meningkat di seluruh dunia. Peningkatan tersebut berhubungan dengan faktor lingkungan yang mempengaruhi kejadian DA. Faktor risiko yang berpengaruh seperti cuaca, diet, polusi udara, kebersihan, endotoksin bakteri, hewan peliharaan. Faktor genetik (gangguan fungsi sawar kulit) dan faktor imun dapat terjadi bersamaan dengan faktor lingkungan dalam patofisiologi DA.	Meningkatnya prevalensi DA di dunia tidak hanya disebabkan oleh faktor genetik namun faktor lingkungan juga dapat mempengaruhi kejadian DA. Faktor lingkungan dapat menimbulkan inflamasi dan juga merusak fungsi sawar kulit. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mempelajari lebih dalam mengenai interaksi genetik dan lingkungan dalam patofisiologi DA.
10	Ye C, dkk. Air pollution and weather conditions are associated with daily outpatient visits of atopic dermatitis in Shanghai, China. 2022. Dermatology. https://doi.org/10.1159/000522491	Terdapat 34.633 kasus DA yang ditemukan sejak 2013–2018. Gejala DA diperberat dengan suhu yang sangat rendah (persentil pertama, 0,5°C) (RR = 1,32, 95% CI: 1,16–1,51) dan penurunan setiap 10 unit kelembapan (RR = 1,10, 95% CI: 1,12–2,47). Peningkatan konsentrasi polusi udara (PM _{2,5} , PM ₁₀ , dan NO ₂) kecuali ozon (O ₃) berpengaruh terhadap peningkatan risiko DA. Peningkatan 10 µg/m ³ SO ₂ dan NO ₂ dapat meningkatkan kunjungan DA sebesar 6,03% (95% CI: 2,29%–9,91%) dan 1,96% (95% CI: 0,46%–3,48%). Pasien DA berusia 8–17 tahun paling rentan dengan suhu sangat rendah dan pasien berusia 0–7 tahun paling rentan dengan polusi udara (PM ₁₀ , SO ₂ , dan NO ₂). Laki-laki lebih sensitif terhadap suhu sangat rendah daripada perempuan, sedangkan perempuan lebih rentan dengan polusi udara. Dampak SO ₂ dan NO ₂ terhadap DA dapat diperburuk secara signifikan oleh musim panas atau polutan lainnya.	Paparan terhadap suhu sangat rendah, kelembapan yang rendah, dan kadar polusi udara tinggi berhubungan dengan peningkatan risiko DA. Dampak tersebut lebih terlihat pada anak usia di bawah 7 tahun, perempuan, dan musim panas.
11	Wang H, dkk. Ambient air pollutants increase the risk of	Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan jangka panjang dan pendek terhadap PM ₁₀	Studi ini menunjukkan bahwa paparan terhadap polusi udara dapat meningkatkan

No	Pengarang dan Judul	Hasil Tinjauan Literatur	Kesimpulan dan Temuan
	immunoglobulin E-mediated allergic diseases: A systematic review and meta-analysis. 2022. Environmental Science and Pollution Research. https://doi.org/10.1007/s11356-022-20447-z	meningkatkan risiko eksim (RR paparan jangka panjang = 1,583, 95% CI: 1,328–1,888; RR paparan jangka pendek = 1,006, 95% CI: 1,003–1,008). Paparan jangka pendek terhadap NO ₂ juga berhubungan dengan eksim (RR = 1,009, 95% CI: 1,008–1,011). Paparan jangka pendek terhadap SO ₂ berhubungan dengan peningkatan risiko DA (RR = 1,008, 95% CI: 1,001–1,015). Faktor risiko yang berpengaruh terhadap rhinitis alergi adalah paparan jangka panjang PM _{2,5} (RR = 1,058, 95% CI: 1,014–1,222), paparan jangka pendek PM ₁₀ (RR = 1,028, 95% CI: 1,008–1,049), dan paparan jangka pendek NO ₂ (RR = 1,018, 95% CI: 1,007–1,029).	risiko penyakit alergi yang di mediasi oleh IgE. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menggambarkan mekanisme polusi udara dan penyakit alergi.
12	Kim B, dkk. Particulate matter causes skin barrier dysfunction. 2021. JCI Insight. https://doi.org/10.1172/jci.insight.145185	Studi ini meneliti mengenai dampak PM _{2,5} terhadap filaggrin (FLG) dan fungsi sawar kulit secara <i>in vitro</i> dan <i>in vivo</i> . Kadar produk degradasi FLG menurun secara signifikan pada sampel <i>skin tape stripping</i> ketika dipindahkan dari Denver (area dengan PM _{2,5} yang rendah) ke Seoul (area dengan PM _{2,5} yang tinggi). PM _{2,5} di Seoul juga menghambat FLG, lorikrin, keratin-1, desmokol-1, dan korneodesmosin. Namun ekspresi gen involukrin dan kladudin-1 di keratinosit tidak terpengaruh oleh PM _{2,5} . PM _{2,5} juga menghambat ekspresi FLG pada <i>human skin equivalents</i> dan kulit tikus. Hal tersebut menyebabkan gangguan pada fungsi sawar kulit dan peningkatan <i>transepidermal water loss</i> (TEWL). Sawar kulit yang terganggu karena paparan PM _{2,5} dapat menyebabkan timbulnya penyakit alergi seperti DA.	PM _{2,5} menginduksi TNF- α yang menyebabkan defisiensi FLG pada kulit, sehingga terjadi kerusakan sawar kulit. Intervensi yang mencegah paparan PM _{2,5} pada kulit dapat melindungi kulit dari dampak buruk PM _{2,5} pada sawar kulit dan potensi terjadinya sensitisasi alergi melalui kulit. Model hewan menunjukkan bahwa inhibitor reseptor TNF- α dapat digunakan untuk melindungi perubahan sawar kulit akibat PM. Antagonis reseptor TNF topikal juga dapat dipertimbangkan untuk perlindungan kulit dari polusi udara.
13	Hsiao YY, dkk. The relationship between outdoor air pollutants and atopic dermatitis of adults: A systematic review and meta-analysis. 2022. Asian Pacific Journal of Allergy and Immunology. https://doi.org/10.12932/ap-060922-1448	Polusi udara jangka panjang (dalam beberapa bulan hingga tahun) dan PM _{2,5} berhubungan dengan DA pada populasi dewasa (OR 1,40; 95%CI: 1,24–1,58 dan 1,67; 95%CI: 1,26–2,21). Paparan terhadap PM _{2,5} dan NO ₂ berhubungan dengan kejadian DA (OR 2,30 (95%CI: 1,25–4,25) dan 1,30 (95%CI: 1,04–1,61) setiap peningkatan 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Paparan polusi udara jangka pendek (dalam beberapa hari) khususnya PM ₁₀ dan SO ₂ berhubungan dengan eksaserbasi DA. Paparan polusi udara jangka panjang dan pendek terhadap polusi udara berhubungan juga dengan gejala DA (eksim, pruritus, dan gangguan tidur).	Paparan polusi udara baik jangka pendek maupun panjang memiliki dampak buruk bagi DA pada populasi dewasa seperti memicu perkembangan, memperparah ataupun eksaserbasi dari gejala.
14	Bellinato F, dkk. Association between short-term exposure to environmental air pollution and atopic dermatitis flare in patients treated with dupilumab. 2023. Journal of the American Academy Dermatology. https://doi.org/10.1016/j.jdin.2023.01.018	Penelitian ini dilakukan pada 169 dari 528 pasien DA yang diberikan terapi dupilumab. Rerata usia pasien 41,4 $\pm$ 20,3 tahun, dengan 94 (55%) pasien adalah laki-laki. Studi menunjukkan setiap peningkatan 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO _x , dan NO ₂ berhubungan dengan 82%, 67%, 28%, dan 113% kemungkinan kekambuhan DA.	Paparan polusi udara berhubungan dengan peningkatan risiko kekambuhan DA pada pasien yang diberikan terapi dupilumab. Polusi udara dapat menjadi faktor pencetus lingkungan yang menyebabkan kekambuhan DA yang belum tentu disebabkan karena hilangnya respon pengobatan tertentu.
15	Trinh P, dkk. Association between yearlong air pollution and moderate-severe atopic dermatitis: A United States cross-sectional claims analysis. 2023. Journal of the American Academy Dermatology. https://doi.org/10.1016/j.jdin.2023.04.017	Penelitian ini dilakukan di US, negara dengan sebagian besar penduduknya tinggal di daerah dengan tingkat PM _{2,5} sesuai standar <i>Environmental Protection Agency</i> (EPA). Studi potong lintang dilakukan pada 31.405 pasien DA dengan rerata usia 46 tahun dan 64% di antaranya adalah perempuan. Tingkat PM _{2,5} rerata sepanjang tahun sebanding antara pasien DA derajat sedang-berat dan ringan (8,35 vs 8,39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Tidak terdapat hubungan antara konsentrasi PM _{2,5} sepanjang tahun dengan derajat keparahan DA (OR = 1,001; 95% CI: 0,987–1,015, P=0,905)	Konsentrasi PM _{2,5} sepanjang tahun tidak berhubungan dengan derajat keparahan DA pada pasien yang tinggal di daerah sesuai standar EPA (12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
16	Noh SR, dkk. Spectrum of susceptibility to air quality and weather in individual children with atopic dermatitis. 2019. Pediatric Allergy and Immunology. https://doi.org/10.1111/pai.13005	Studi ini dilakukan pada 89 anak dengan DA berusia 0–6 tahun yang tinggal di Seoul dan daerah metropolitan di sekitarnya. Tujuan studi ini adalah untuk meneliti spektrum variabilitas individual dalam hal asosiasi antara keparahan DA dengan polusi udara dan cuaca.	Respons anak-anak dengan DA terhadap polusi udara dan cuaca sangat bervariasi antar individu. Hasil ini merekomendasikan tatalaksana gejala DA lebih berdasarkan faktor-faktor pencetus individual yang dapat diidentifikasi daripada menerapkan panduan umum untuk mencegah perburukan gejala.

No	Pengarang dan Judul	Hasil Tinjauan Literatur	Kesimpulan dan Temuan
		Odds ratios individual berkisar antara 0,24–8,11 untuk PM ₁₀ ; 0,09–101,92 untuk NO ₂ ; 0,03–44,00 untuk O ₃ ; 0,11–58,30 untuk SO ₂ ; 0,00–15,83 untuk CO; 0,00–39 446,94 untuk suhu; dan 0,03–5,18 untuk kelembapan relatif, menunjukkan variabilitas individual yang sangat lebar. Analisis keseluruhan menunjukkan asosiasi positif yang signifikan dengan PM ₁₀ , NO ₂ , SO ₂ , and CO dengan gejala DA, sedangkan suhu dan kelembapan relatif memiliki asosiasi yang negatif. Polusi udara berperan dalam memperparah gejala dari 24,7% (O ₃) sampai 39,3% (SO ₂) pada anak-anak dengan DA. Secara keseluruhan, 71,9% anak-anak DA berespons terhadap sedikitnya satu atau lebih variabel polusi udara dan cuaca.	
17	Patella V, dkk. Atopic dermatitis severity during exposure to air pollutants and weather changes with an Artificial Neural Network (ANN) analysis. 2020. <i>Pediatric Allergy and Immunology</i> . https://doi.org/10.1111/pai.13314	Studi observasional prospektif dilakukan terhadap 60 pasien DA berusia ≥5 tahun (rerata 23,5±12,5 tahun) di Campania (Italia Selatan) selama 18 bulan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efek polusi udara dan perubahan cuaca pada pasien DA. Gejala DA berkorelasi positif dengan suhu di luar ruangan (suhu harian rerata, kisaran suhu diurnal), kelembapan relatif di luar ruangan, presipitasi, PM ₁₀ , NO ₂ , O ₃ , dan jumlah polen total.	Perubahan cuaca dan polusi udara mempunyai dampak yang signifikan pada reaktivitas kulit dan keluhan pasien, meningkatkan keparahan dari dermatitis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Polusi udara

Polusi udara disebabkan oleh polutan yang merupakan campuran kompleks dari partikel padat tertentu, *liquid droplets*, dan molekul gas. Partikel padat yang termasuk di dalam polutan udara adalah partikel yang sangat halus, berukuran lebih kecil dari 0,1 mikron. Partikel padat tersebut dapat ditemukan dalam debu, asap, dan jelaga.⁸

Particulate matter, yang merupakan salah satu komponen polutan udara, adalah campuran dari partikel padat dan cair yang tersuspensi di udara. PM dijadikan parameter tingkat polusi udara.¹¹ Komposisi utama dalam PM yaitu debu mineral, SO₄, NO₃, NH₄, NaCl, karbon hitam, dan air. Tingkat PM di lingkungan dipengaruhi oleh polutan gas lokal, geografi, pola musiman, dan meteorologi.¹² PM diklasifikasikan ke dalam PM kasar dengan diameter ≤ 10 µm (PM₁₀) dan PM halus dengan diameter ≤ 2,5 µm (PM_{2,5}).¹¹ PM_{2,5} terutama berasal dari pembakaran selama proses industri, pembakaran batu bara dan emisi kendaraan, sedangkan PM₁₀ terutama berasal dari pemotongan mekanis, debu yang tersuspensi, dan bioaerosol.¹²

PM dapat dihasilkan dari dalam ruangan maupun luar ruangan. Tingkat PM dalam ruangan di rumah-rumah daerah perkotaan dipengaruhi oleh kegiatan manusia dalam ruangan, seperti memasak dan merokok. Sebagian PM yang terdapat di dalam ruangan berasal dari luar, yang dikaitkan dengan adanya ventilasi.¹³ PM dari luar ruangan dapat disebabkan karena adanya perubahan lingkungan (seperti kebakaran hutan) dan tren sosiokultural (urbanisasi dan industrialisasi), serta peningkatan jumlah kendaraan bermotor dan pembangkit listrik berbahan bakar batu bara.⁸

Polusi udara memiliki banyak dampak negatif, terutama dalam kesehatan manusia. Polusi udara dapat secara negatif mempengaruhi fungsi beberapa organ,

terutama jantung dan paru-paru. Selain itu, polusi udara juga dapat menjadi pemicu respons inflamasi dalam tubuh dan dinilai berpengaruh besar pada kesehatan kulit, karena kulit manusia terus berhubungan dengan lingkungan yang tercemar dengan polusi udara.^{8,14}

Dermatitis atopik

Dermatitis atopik (DA) merupakan penyakit inflamasi kulit kronis yang disertai rasa gatal. Gambaran lesi pada DA ditandai adanya eritema, likenifikasi, *oozing*, kering, dan krusta.¹² Etiologi dari penyakit ini kompleks, melibatkan interaksi antara faktor lingkungan, genetik, dan imun.¹⁵ Adanya gangguan fungsi perlindungan sawar kulit, morfologi epidermis dan komposisi lipid pada stratum korneum, serta inflamasi yang didominasi oleh sel T *helper 2* merupakan karakteristik dari DA.¹⁶

Prevalensi DA mengalami peningkatan yang cukup besar secara global.¹⁵ Dahulu DA dianggap lebih banyak terjadi pada anak-anak, namun DA juga dapat terjadi pada orang dewasa.¹⁰ Prevalensi DA diperkirakan sebesar 15-20% pada anak-anak dan 1-3% pada orang dewasa di seluruh dunia.¹⁶ Secara global, terdapat lebih dari 280 juta individu mengalami DA. Sebanyak hampir 85% diagnosis DA dimulai pada anak-anak dan sebagian besar berlanjut hingga dewasa atau mengalami relaps setelah remisi.¹² Prevalensi DA bervariasi antara negara-negara berpendapatan tinggi dan rendah. Prevalensi DA pada anak-anak usia 13-14 tahun meningkat di negara-negara berkembang, namun menurun di negara-negara maju.¹⁶

DA memiliki dampak besar pada kualitas hidup pasien, orang tua, dan pengasuh mereka, juga memengaruhi gaya hidup (misalnya, pembatasan pakaian, kemampuan untuk berpartisipasi dalam olahraga, tidur) serta kesehatan mental.¹⁰ Anak dengan DA dapat mengalami berbagai penyakit alergi lainnya, seperti alergi makanan, rhinitis alergi, dan asma.¹²

Patogenesis polusi udara terhadap dermatitis atopik

Particulate matter, khususnya PM_{2,5}, dapat melintasi plasenta, kulit, dan saluran respirasi serta dapat berada di udara dalam waktu yang lama.¹⁷ PM dapat menembus sawar kulit yang terganggu fungsinya melalui folikel rambut, bahkan masuk ke kapiler dermal, dan menginduksi stres oksidatif. PM_{2,5}, yang berukuran lebih kecil, dapat juga masuk ke dalam tubuh manusia melalui dilatasi pori-pori saat cuaca panas. Polutan SO₂ dan NO₂, yang memiliki kemampuan penetrasi kecil, dapat langsung merangsang serta merusak sawar kulit dengan cara larut dalam keringat.^{14,18}

Mekanisme paparan polusi udara terhadap perkembangan DA belum sepenuhnya diketahui. Beberapa mekanisme telah diusulkan. Salah satu mekanisme tersebut adalah melalui aktivasi *nuclear factor kappa B* (NFkB) dan jalur *aryl hydrocarbon receptor* (AhR) yang memicu produksi faktor neutrofilik artemin, sehingga menyebabkan infiltrasi granulosit dan inflamasi serta pruritus.¹² Tiga mekanisme lain yang telah diusulkan, yaitu disfungsi sawar kulit, kerusakan oksidatif, dan disfungsi peradangan.¹⁹

Fungsi sawar kulit dapat mengalami kerusakan oleh PM karena adanya penurunan produksi *E-cadherin* dan protein struktural di stratum korneum, seperti sitokeratin dan filaggrin, serta peningkatan produksi matriks metaloproteinase.⁸ Paparan PM juga dapat meningkatkan *reactive oxygen species* (ROS) dan mengganggu keseimbangan antara oksidan dan antioksidan dengan mengurangi transkripsi enzim antioksidan.¹⁹ ROS akan memicu stres oksidatif dan mengaktifkan respons peradangan dengan sekresi sitokin proinflamasi seperti TNF- α , IL-1- α , IL-8 yang menyebabkan disfungsi sawar epitel.^{18,19} Produksi sitokin TNF- α yang diinduksi PM dapat menghambat produksi filaggrin.²⁰ PM juga memicu peningkatan sel imun Th2, produksi IgE, dan aktivasi keratinosit, fibroblas, dan sel mast sehingga menimbulkan gejala klinis DA.^{12,21}

Hubungan polusi udara terhadap dermatitis atopik

Paparan terhadap polusi udara dapat terjadi pada saat prenatal maupun setelah kelahiran dan seterusnya. Paparan tersebut dapat terjadi dalam waktu singkat maupun jangka panjang dan dapat terjadi akibat polutan udara di dalam maupun di luar ruangan. Paparan ini dapat meningkatkan risiko untuk mengalami DA serta eksaserbasi DA. Berikut akan dikemukakan berbagai penelitian yang mencari hubungan antara polusi udara dengan kejadian DA.

Prevalensi DA pada satu tahun pertama kehidupan, yang meliputi sepertiga kasus DA, akan meningkat dua kali lipat dengan adanya paparan prenatal (pada ibu hamil) yang tinggi terhadap PM_{2,5} dan paparan terhadap asap rokok setelah kelahiran.¹⁷

Studi juga menunjukkan paparan PM, CO, dan NO₂ sebelum kelahiran, terutama pada trimester pertama ketika janin mengalami perkembangan yang cepat, dapat meningkatkan risiko mengalami DA sebelum berusia 6 bulan.⁸ Paparan terhadap polutan udara pada saat periode gestasional dan satu tahun pertama kehidupan berhubungan dengan peningkatan insidensi DA pada anak-anak prasekolah.¹⁵

Pasien DA yang berusia 0–7 tahun lebih rentan terhadap polutan udara dibandingkan dengan kelompok yang berusia lebih tua.¹⁸ Bayi yang tinggal di perkotaan merupakan populasi rentan terhadap polusi udara dan mengalami DA karena bayi memiliki sawar kulit yang belum matur.⁸ Paparan dini polutan udara dari kelahiran hingga usia 5 tahun berhubungan dengan timbulnya penyakit alergi yang dimediasi oleh IgE selama masa kanak-kanak. Penelitian meta-analisis oleh Wang, *et al.* menunjukkan bahwa paparan polutan udara pada individu yang berusia kurang dari 18 tahun memiliki risiko lebih tinggi untuk mengalami penyakit alergi yang dimediasi oleh IgE dibandingkan dengan individu dewasa yang berusia lebih dari 18 tahun.¹⁹

Paparan jangka pendek terhadap PM dapat menimbulkan eksaserbasi DA pada anak yang tinggal di daerah industri perkotaan dengan kadar polutan tinggi. Studi di Italia menunjukkan bahwa paparan terhadap polusi udara akut berhubungan dengan peningkatan risiko kekambuhan DA pada pasien yang tinggal di daerah industri. PM_{2,5} memiliki efek yang lebih kuat dibandingkan dengan PM₁₀.²² Prevalensi DA terus mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya urbanisasi dan perkembangan industri yang memperburuk lingkungan, terutama di negara-negara berkembang di Asia Tenggara, Afrika, dan Amerika Latin.^{19,22}

Penelitian pada populasi umum di Korea Selatan juga mendapatkan bahwa paparan jangka panjang polusi udara berhubungan signifikan dengan peningkatan risiko mengalami DA. Peningkatan konsentrasi rerata PM_{2,5} dan PM₁₀ sebesar 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dalam jangka panjang akan meningkatkan insidensi DA sebesar 42% dan 33,3%.¹⁴ Studi telaah sistematis dan meta-analisis oleh Hsiao, *et al.* menunjukkan bahwa paparan jangka panjang (dalam beberapa bulan hingga tahun) dan jangka pendek dari polusi udara berhubungan dengan prevalensi DA pada dewasa. PM_{2,5} dihubungkan dengan peningkatan dua kali lipat insidensi DA.⁽²¹⁾ Studi meta-analisis lainnya juga menyatakan bahwa paparan jangka panjang terhadap PM, NO₂, SO₂, CO, dan paparan jangka pendek PM_{2,5} dan SO₂ berhubungan signifikan dengan DA.¹⁹

Polusi udara luar ruangan dapat menjadi pemicu DA. Hubungan antara tinggal di daerah dekat lalu lintas ramai dengan prevalensi DA didapatkan pada studi potong lintang di Bolivia dan Lebanon.⁸ Sebaliknya, studi potong lintang oleh Trinh, *et al.* di USA pada 31,405 pasien DA remaja dan dewasa menunjukkan bahwa tidak terdapat hubungan signifikan antara PM_{2,5} dan keparahan DA. Konsentrasi rata-rata PM_{2,5} di USA cukup rendah (8,47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dan tidak melebihi

standar ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$). $\text{PM}_{2,5}$ hanya berhubungan dengan DA bila rata-rata konsentrasi jangka panjang $\text{PM}_{2,5}$ melebihi $24,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau jangka pendek $\text{PM}_{2,5}$ meningkat melebihi $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$.²³ Studi pada pasien DA yang berusia 3 bulan–8 tahun menunjukkan hubungan signifikan perburukan *scoring atopic dermatitis* (SCORAD) pada tingginya konsentrasi PM dan senyawa organik volatil luar ruangan lainnya. Studi di dalam rumah yang bersih dan rumah sakit yang memiliki kadar polutan rendah secara signifikan menunjukkan perbaikan SCORAD pada pasien DA.¹⁷

Beberapa studi menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara polusi udara dalam ruangan dengan DA. Studi oleh Kim *et al.* di Korea Selatan menunjukkan bahwa terdapat peningkatan skor gejala DA oleh karena adanya peningkatan tingkat $\text{PM}_{2,5}$ dalam ruangan pada musim-musim tertentu seperti musim semi dan musim dingin, pada suhu dalam ruangan $<25,5^\circ\text{C}$, dan di rumah yang tidak menggunakan *air purifier*.¹³ Studi lainnya di Seoul, Korea juga menunjukkan bahwa paparan polutan dalam ruangan seperti PM_{10} , toluen, dan NO_2 dapat meningkatkan risiko pruritus pada pasien DA. Pengurangan konsentrasi PM_{10} juga berhubungan dengan berkurangnya prevalensi DA.⁸

Beberapa studi longitudinal juga menunjukkan hubungan signifikan antara polusi udara dan DA. Studi oleh Park, *et al.* di Korea Selatan menunjukkan bahwa terdapat hubungan signifikan antara peningkatan konsentrasi PM dengan peningkatan jumlah kunjungan pasien DA (setiap peningkatan konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ dan PM_{10} sebesar $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, maka jumlah kunjungan pasien DA meningkat sebesar 2,71%). Peningkatan konsentrasi SO_2 dan CO juga berhubungan signifikan dengan peningkatan jumlah kunjungan pasien DA (setiap peningkatan 1 ppb SO_2 dan setiap peningkatan 100 ppb CO didapatkan peningkatan kunjungan sebesar 2,26%).¹¹ Selain itu, peningkatan konsentrasi polutan udara ($\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2) juga dapat memperburuk gejala DA pada studi di Shanghai, China.¹⁸

Studi kohort prospektif oleh Noh, *et al.* pada 89 anak usia 0–6 tahun yang mengalami DA menunjukkan polusi udara memiliki hubungan positif dengan DA, namun penelitian tersebut juga mendapatkan bahwa sekitar 30% responden anak-anak tidak menunjukkan reaksi apapun berkaitan dengan paparan polusi udara. Hal ini menunjukkan adanya variasi pada anak dengan DA.²⁴ Studi kohort prospektif lainnya pada 60 pasien DA menyatakan bahwa derajat keparahan DA berhubungan positif dengan PM_{10} .²⁵

SIMPULAN

Polusi udara memiliki dampak negatif pada kulit manusia. Polusi udara dalam ruangan maupun luar ruangan dapat menjadi pemicu ataupun memperparah gejala dermatitis atopik. Paparan prenatal maupun pada usia dini dapat meningkatkan risiko dermatitis atopik pada anak-anak. Prevalensi dermatitis atopik juga terus mengalami peningkatan

terutama pada negara-negara berkembang karena urbanisasi dan perkembangan industri yang meningkatkan polusi udara.

DAFTAR PUSTAKA

1. WHO. Air pollution [Internet]. [cited 2023 Dec 6]. Available from: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
2. CDC. Particle pollution [Internet]. [cited 2023 Dec 6]. Available from: https://www.cdc.gov/air/particulate_matter.html
3. WHO. Ambient (outdoor) air pollution [Internet]. [cited 2023 Dec 6]. Available from: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
4. Susanto A. Air pollution and human health. Medical Journal of Indonesia. 2020;29(1):8–10. <https://doi.org/10.13181/mji.com.204572>
5. Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. Front Public Health. 2020;8(14):1–13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
6. Greenstone M, Fan Q. Indonesia's worsening air quality and its impact on life expectancy [Internet]. AQLI. 2019. Available from: <https://aqli.epic.uchicago.edu/wp-content/uploads/2019/03/Indonesia-Report.pdf>
7. IQAir. 2022 World Air Quality Report.
8. Fadadu RP, Abuabara K, Balmes JR, Hanifin JM, Wei ML. Air pollution and atopic dermatitis, from molecular mechanisms to population-level evidence: A review. Int J Environ Res Public Health. 2023;20(3):2526. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032526>
9. Ahn K. The role of air pollutants in atopic dermatitis. Journal of Allergy and Clinical Immunology. 2014;134(5):993–9. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2014.09.023>
10. Lai A, Owens K, Patel S, Nicholas M. The impact of air pollution on atopic dermatitis. Curr Allergy Asthma Rep. 2023;23(8):435–42. <https://doi.org/10.1007/s11882-023-01095-w>
11. Park TH, Park S, Cho MK, Kim S. Associations of particulate matter with atopic dermatitis and chronic inflammatory skin diseases in South Korea. Clin Exp Dermatol. 2022;47(2):325–34. <https://doi.org/10.1111/ced.14910>
12. Isaifan D, Crovella S, Soubra L, Al-Nesf M, Steinhoff M. Fc epsilon RI–neuroimmune interplay in pruritus triggered by particulate matter in atopic dermatitis patients. Int J Mol Sci. 2023;24:11851. <https://doi.org/10.3390/ijms241411851>
13. Kim YM, Kim J, Ha SC, Ahn K. Effects of exposure to indoor fine particulate matter on atopic dermatitis in children. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(21):11509. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111509>

14. Park SK, Kim JS, Seo HM. Exposure to air pollution and incidence of atopic dermatitis in the general population: A national population-based retrospective cohort study. *J Am Acad Dermatol.* 2022;87(6):1321–7. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2021.05.061>
15. Narla S, Silverberg JI. The role of environmental exposures in atopic dermatitis. *Curr Allergy Asthma Rep.* 2020;20(12):74. <https://doi.org/10.1007/s11882-020-00971-z>
16. Luger T, Amagai M, Dreno B, Dagnelie MA, Liao W, Kabashima K, et al. Atopic dermatitis: role of the skin barrier, environment, microbiome, and therapeutic agents. *J Dermatol Sci.* 2021;102(3):142–57. <https://doi.org/10.1016/j.jdermsci.2021.04.007>
17. Bonamonte D, Filoni A, Vestita M, Romita P, Foti C, Angelini G. The role of the environmental risk factors in the pathogenesis and clinical outcome of atopic dermatitis. *Biomed Res Int.* 2019;2019:1–11. <https://doi.org/10.1155/2019/2450605>
18. Ye C, Gu H, Li M, Chen R, Xiao X, Zou Y. Air pollution and weather conditions are associated with daily outpatient visits of atopic dermatitis in Shanghai, China. *Dermatology.* 2022;238(5):939–49. <https://doi.org/10.1159/000522491>
19. Wang H, Li XB, Chu XJ, Cao NW, Wu H, Huang RG, et al. Ambient air pollutants increase the risk of immunoglobulin E-mediated allergic diseases: A systematic review and meta-analysis. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2022;29(33):49534–52. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20447-z>
20. Kim B, Kim J, Goleva E, Berdyshev E, Lee J, Vang KA, et al. Particulate matter causes skin barrier dysfunction. *JCI Insight.* 2021;6(5):e145185. <https://doi.org/10.1172/jci.insight.145185>
21. Hsiao YY, Chen YH, Hung WT, Tang KT. The relationship between outdoor air pollutants and atopic dermatitis of adults: A systematic review and meta-analysis. *Asian Pac J Allergy Immunol.* 2022;40(4):295–307. <https://doi.org/10.12932/AP-060922-1448>
22. Bellinato F, Adami G, Furci A, Cattani G, Schena D, Girolomoni G, et al. Association between short-term exposure to environmental air pollution and atopic dermatitis flare in patients treated with dupilumab. *J Am Acad Dermatol.* 2023;11:72–7. <https://doi.org/10.1016/j.jdin.2023.01.018>
23. Trinh P, Allerup JAC, Li S, Ko J, Chen J, Linos E, et al. Association between yearlong air pollution and moderate-severe atopic dermatitis: A United States cross-sectional claims analysis. *J Am Acad Dermatol.* 2023;13:4–6. <https://doi.org/10.1016/j.jdin.2023.04.017>
24. Noh SR, Kim JS, Kim EH, Jeon BH, Kim JH, Kim YM, et al. Spectrum of susceptibility to air quality and weather in individual children with atopic dermatitis. *Pediatr Allergy Immunol.* 2019;30(2):179–87. <https://doi.org/10.1111/pai.13005>
25. Patella V, Florio G, Palmieri M, Bousquet J, Tonacci A, Giuliano A, et al. Atopic dermatitis severity during exposure to air pollutants and weather changes with an Artificial Neural Network (ANN) analysis. *Pediatric Allergy and Immunology.* 2020;31(8):938–45. <https://doi.org/10.1111/pai.13314>



©2025. This open-access article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.