HUBUNGAN ANTARA PAPARAN POLUSI UDARA DENGAN RHINITIS ALERGI

Amalia Febriyanti¹, Ida Laila², Riska Azzahra³, Muhammad Maulana⁴, Rani Himayani⁵

Universitas Lampung^{1,2,3,4}

Email: amaliafbryntii@gmail.com

Informasi	Abstract
Volume : 2	<i>Allergic rhinitis (AR) is an inflammatory disease of the upper respiratory tract whose prevalence increases with exposure to air pollution. This study aims to examine the relationship between air pollution and AR through a literature review of various scientific journals published in 2015–2025. The results show that exposure to PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, and SO₂ contributes to mucosal damage, Th2 immune activation, and increased allergen sensitization. Indoor factors such as high humidity and poor ventilation also exacerbate symptoms. Nutrition-based interventions such as vitamin D, omega-3, and probiotics have shown protective potential, although further validation is needed. Mitigating AR requires an integrated approach between environmental control and strengthening the immune system.</i>
Nomor : 6	
Bulan : Juni	
Tahun : 2025	
E-ISSN : 3062-9624	
	Keywords : <i>allergic rhinitis, air pollution, particulate matter, ventilation, nutritional intervention</i>

Abstrak

Rhinitis alergi (RA) merupakan penyakit inflamasi saluran napas atas yang prevalensinya meningkat seiring paparan polusi udara. Studi ini bertujuan mengkaji hubungan antara polusi udara dan RA melalui tinjauan literatur dari berbagai jurnal ilmiah terbitan 2015–2025. Hasil menunjukkan bahwa paparan PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, dan SO₂ berkontribusi terhadap kerusakan mukosa, aktivasi imun Th₂, serta peningkatan sensitisasi alergen. Faktor dalam ruangan seperti kelembapan tinggi dan ventilasi buruk turut memperparah gejala. Intervensi berbasis nutrisi seperti vitamin D, omega-3, dan probiotik menunjukkan potensi protektif, meski masih perlu validasi lebih lanjut. Mitigasi RA membutuhkan pendekatan terpadu antara pengendalian lingkungan dan penguatan daya tahan tubuh.

Kata Kunci: *Rhinitis Alergi, Polusi Udara, Particulate Matter, Ventilasi, Intervensi Gizi*

A. PENDAHULUAN

Rhinitis alergi (RA) merupakan salah satu penyakit inflamasi kronis saluran pernapasan atas yang ditandai oleh gejala bersin, rinore, hidung tersumbat, dan pruritus, yang sangat mengganggu kualitas hidup penderitanya. Secara global, lebih dari 40% populasi mengalami kondisi ini, dan prevalensinya terus meningkat, terutama di negara-negara berkembang yang tengah mengalami proses industrialisasi dan urbanisasi pesat (Liu et al., 2022). Beban ekonomi dan sosial akibat RA pun signifikan, termasuk meningkatnya biaya pengobatan,

absensi kerja atau sekolah, serta penurunan produktivitas. Salah satu faktor lingkungan utama yang dikaitkan dengan peningkatan prevalensi dan keparahan RA adalah paparan polusi udara, terutama particulate matter seperti PM_{2.5} (partikel dengan diameter $\leq 2,5 \mu\text{m}$) dan PM₁₀ ($\leq 10 \mu\text{m}$). Paparan PM tersebut dapat meningkatkan permeabilitas mukosa hidung, memfasilitasi masuknya alergen, serta menginduksi respons imun inflamasi melalui aktivasi dendritic cell, T-cell, dan peningkatan produksi sitokin proinflamasi serta imunoglobulin E (IgE) (Chen et al., 2025). Studi sistematis di Amerika Latin bahkan menyatakan bahwa individu yang terpapar polusi udara memiliki risiko 43% lebih tinggi mengalami rhinitis alergi dibandingkan yang tidak terpapar (Rosario Filho et al., 2021).

Penelitian di Tiongkok yang dilakukan terhadap 2598 anak usia prasekolah menunjukkan bahwa paparan PM₁₀, NO₂, dan SO₂ selama masa prenatal dan masa kanak-kanak awal berhubungan erat dengan meningkatnya gejala seasonal allergic rhinitis (SAR) yang dipicu oleh serbuk sari. Selain faktor luar ruangan, kondisi dalam ruangan seperti kondensasi jendela juga dikaitkan dengan meningkatnya kejadian RA pada anak-anak (Liu et al., 2022).

Korelasi antara polusi udara dan RA juga ditunjukkan dalam konsensus pakar dari Tiongkok, yang menekankan pentingnya mitigasi risiko melalui pengendalian kualitas udara, terutama di wilayah dengan tingkat pencemaran tinggi. Konsensus tersebut mencatat bahwa polusi udara, terutama partikel halus dan gas buangan kendaraan bermotor, bersinergi dengan kondisi cuaca serta aeroalergen untuk memperburuk gejala RA (Xu et al., 2025).

Dari perspektif kesehatan masyarakat, risiko RA akibat polusi udara bukan hanya terbatas pada paparan akut, tetapi juga dapat berakumulasi sejak masa prenatal. Studi longitudinal dalam proyek MeDALL (Mechanisms of the Development of ALLergy) di Eropa menunjukkan bahwa anak-anak yang sejak lahir tinggal di daerah dengan konsentrasi polutan tinggi memiliki tingkat sensitisasi IgE yang lebih besar, sebuah indikator penting dalam patogenesis RA (Melén et al., 2020).

Meskipun sejumlah besar penelitian internasional telah menunjukkan adanya hubungan antara polusi udara dan RA, kajian semacam ini masih sangat terbatas di Indonesia, yang notabene memiliki tingkat polusi udara yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan kendaraan bermotor, pembakaran terbuka, dan aktivitas industri. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk mengisi kesenjangan literatur tersebut dengan mengkaji secara ilmiah hubungan antara paparan polusi udara dan kejadian rhinitis alergi, khususnya dalam konteks masyarakat urban di negara berkembang.

TINJAUAN PUSTAKA

Rhinitis Alergi dan Mekanisme Patofisiologisnya

Rhinitis alergi (RA) adalah penyakit inflamasi kronis pada mukosa hidung yang terjadi akibat reaksi hipersensitivitas tipe I yang dimediasi oleh imunoglobulin E (IgE) terhadap alergen udara. Gejalanya meliputi bersin berulang, hidung tersumbat, rinore (hidung meler), dan pruritus nasal. RA dibagi menjadi dua kategori utama: intermiten dan persisten, serta berdasarkan tingkat keparahan menjadi ringan dan sedang-berat, sebagaimana diklasifikasikan oleh kelompok Allergic Rhinitis and its Impact on Asthma (ARIA) (Rosario Filho et al., 2021).

Secara patofisiologis, RA terjadi dalam dua fase utama: fase sensitisasi dan fase efektor. Pada fase sensitisasi, alergen yang masuk melalui udara diambil oleh sel dendritik di mukosa hidung dan dipresentasikan ke sel T-helper 2 (Th2). Hal ini memicu pelepasan sitokin seperti IL-4, IL-5, dan IL-13 yang berperan dalam menginduksi sel B untuk memproduksi IgE spesifik terhadap alergen tersebut. IgE ini kemudian berikatan dengan reseptor pada permukaan sel mast di jaringan mukosa nasal.

Pada fase efektor, paparan ulang terhadap alergen yang sama akan menyebabkan cross-linking IgE pada permukaan sel mast, memicu degranulasi dan pelepasan mediator inflamasi seperti histamin, leukotrien, prostaglandin, dan kemokin. Mediator-mediator ini menyebabkan dilatasi pembuluh darah, peningkatan permeabilitas vaskular, hipersekresi mukus, dan aktivasi saraf sensoris yang menimbulkan gejala khas RA (Chen et al., 2025).

Selain itu, terjadi aktivasi eosinofil pada fase inflamasi lanjut, yang memperkuat peradangan kronis dan menyebabkan kerusakan jaringan epitel mukosa. Studi oleh Xu et al. (2025) juga menunjukkan bahwa paparan polusi udara dapat memperparah respon imun ini dengan meningkatkan ekspresi sitokin proinflamasi dan menurunkan fungsi penghalang epitel nasal, sehingga memperbesar kemungkinan penetrasi alergen dan eksaserbasi gejala RA.

RA tidak hanya berdampak pada kenyamanan hidup penderita, tetapi juga menyebabkan gangguan tidur, penurunan konsentrasi, kelelahan kronis, serta morbiditas yang tinggi, terutama pada anak-anak dan remaja yang sedang berada pada fase perkembangan kognitif dan sosial (Liu et al., 2022). Dengan memahami mekanisme dasar RA, penting untuk mengkaji lebih lanjut bagaimana paparan lingkungan seperti polusi udara dapat memperparah proses ini melalui berbagai jalur inflamasi dan imunologis.

Polusi Udara sebagai Faktor Risiko Rhinitis Alergi

Polusi udara telah diidentifikasi sebagai salah satu faktor lingkungan yang paling signifikan dalam mempengaruhi kesehatan saluran pernapasan, termasuk dalam memicu dan memperparah rhinitis alergi (RA). Paparan terhadap polutan udara, baik dari luar maupun dalam ruangan, diketahui dapat meningkatkan prevalensi, keparahan, dan durasi gejala RA melalui berbagai mekanisme biologis dan imunologis (Chen et al., 2025).

Jenis polutan yang paling banyak dikaji dalam kaitannya dengan RA antara lain:

- a. Particulate matter (PM): terutama PM_{2.5} dan PM₁₀
- b. Nitrogen dioksida (NO₂)
- c. Sulfur dioksida (SO₂)
- d. Ozon (O₃)
- e. Karbon monoksida (CO)

Partikulat halus seperti PM_{2.5} (≤ 2.5 mikrometer) dan PM₁₀ (≤ 10 mikrometer) dapat menembus saluran napas atas hingga ke mukosa nasal, merusak integritas epitel, serta meningkatkan permeabilitas terhadap alergen. Paparan PM juga diketahui dapat meningkatkan aktivasi sel dendritik dan limfosit T, mempercepat produksi IgE, serta memicu pelepasan sitokin proinflamasi seperti IL-4 dan IL-13, yang kesemuanya berkontribusi terhadap patogenesis RA (Xu et al., 2025).

Studi epidemiologis di Tiongkok menunjukkan bahwa paparan PM₁₀, NO₂, dan SO₂ pada masa prakonsepsi hingga masa kanak-kanak awal berhubungan signifikan dengan peningkatan kejadian seasonal allergic rhinitis (SAR). Sebagai contoh, paparan NO₂ satu tahun sebelum kehamilan menunjukkan odds ratio sebesar 1.72 (95% CI: 1.10–2.71), sedangkan paparan PM₁₀ selama periode saat ini menunjukkan OR 1.78 (95% CI: 1.07–2.96) (Liu et al., 2022).

Kaitan antara polusi udara dan RA juga diperkuat oleh data dari studi MeDALL yang dilakukan di beberapa negara Eropa. Studi tersebut menemukan bahwa anak-anak yang tinggal di wilayah dengan tingkat polusi udara tinggi memiliki risiko lebih besar mengalami sensitisasi IgE terhadap alergen inhalan seperti serbuk sari, debu rumah, dan spora jamur (Melén et al., 2020).

Di Amerika Latin, sebuah telaah sistematis menemukan bahwa partikel PM₁₀ merupakan polutan paling dominan dalam meningkatkan risiko RA. Meta-analisis dalam studi tersebut menyatakan bahwa individu yang terpapar polusi udara memiliki kemungkinan 43% lebih tinggi untuk mengalami RA dibandingkan mereka yang tidak terpapar (OR = 1.43; 95% CI: 1.026–1.980) (Rosario Filho et al., 2021).

Paparan kronis terhadap polusi udara tidak hanya memperparah RA, tetapi juga dapat memperluas spektrum gejalanya hingga mencakup konjungtivitis alergi, asma, dan gejala sistemik lain seperti gangguan tidur, kelelahan, dan penurunan kognitif, terutama pada anak-anak (Liu et al., 2022).

Secara keseluruhan, polusi udara merupakan faktor lingkungan yang signifikan dalam memperburuk kondisi RA, baik melalui jalur inflamasi langsung maupun melalui peningkatan kepekaan terhadap alergen. Oleh karena itu, pemantauan dan pengendalian kualitas udara harus menjadi bagian integral dari strategi mitigasi RA dalam kerangka kesehatan masyarakat.

Temuan Empiris dari Studi Epidemiologis

Sejumlah studi epidemiologis dari berbagai belahan dunia telah menunjukkan bukti kuat bahwa paparan polusi udara berkorelasi signifikan dengan peningkatan kejadian rhinitis alergi (RA), baik dalam populasi anak-anak maupun dewasa. Polutan seperti particulate matter (PM_{2.5} dan PM₁₀), nitrogen dioksida (NO₂), ozon (O₃), dan sulfur dioksida (SO₂) merupakan faktor pencetus utama yang memperburuk inflamasi mukosa hidung dan memicu eksaserbasi gejala RA.

Studi sistematis dan meta-analisis oleh Rosario Filho et al. (2021) di negara-negara Amerika Latin, yang mencakup Argentina, Brasil, Chile, Kolombia, Peru, dan Costa Rica, menemukan bahwa individu yang terpapar polusi udara memiliki peluang 43% lebih tinggi untuk mengalami rhinitis alergi dibandingkan dengan populasi yang tidak terpapar (OR = 1,43; 95% CI: 1,026–1,980). Pada kelompok anak-anak dan remaja, risiko tersebut tetap signifikan (OR = 1,359; 95% CI: 1,051–1,759).

Di Tiongkok, Liu et al. (2022) melaksanakan studi potong lintang terhadap 2.598 anak usia 3–6 tahun di Kota Changsha, dan menemukan bahwa paparan terhadap PM₁₀, SO₂, dan NO₂ pada periode pra-kehamilan hingga masa kanak-kanak awal secara signifikan dikaitkan dengan peningkatan prevalensi seasonal allergic rhinitis (SAR) terhadap serbuk sari. Sebagai contoh, paparan NO₂ selama kehamilan memiliki OR = 1.82 (95% CI: 1.17–2.83), dan paparan PM₁₀ saat ini mencapai OR = 1.78 (95% CI: 1.07–2.96).

Di Eropa, proyek MeDALL (Mechanisms of the Development of Allergy) menunjukkan bahwa paparan jangka panjang terhadap polusi udara di masa kanak-kanak berhubungan dengan peningkatan sensitisasi terhadap alergen yang terukur melalui kadar IgE spesifik. Studi ini mencakup empat kohort kelahiran besar di Jerman, Belanda, Spanyol, dan Swedia. Paparan PM_{2.5} dan NO₂ secara konsisten dikaitkan dengan peningkatan risiko sensitisasi

terhadap alergen udara seperti serbuk sari dan tungau debu rumah (Melén et al., 2020).

Sementara itu, studi Li et al. (2022) yang menganalisis lebih dari 1,9 juta data rawat inap pasien dengan komorbid kardiovaskular-diabetes di Beijing, juga menemukan bahwa peningkatan konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀ bukan hanya berkontribusi terhadap penyakit jantung, tetapi juga meningkatkan lama rawat inap dan biaya rumah sakit, menandakan efek sistemik dari polutan terhadap kondisi inflamasi tubuh secara umum, termasuk penyakit-penyakit atopik seperti RA.

Konsensus pakar nasional di Tiongkok juga menegaskan bahwa paparan polusi udara merupakan faktor risiko yang nyata terhadap perkembangan dan eksaserbasi rhinitis alergi. Dokumen konsensus ini merekomendasikan peningkatan kesadaran klinis dan publik terhadap peran polutan udara dalam memperburuk gejala RA, serta pentingnya menetapkan standar kualitas udara berbasis bukti untuk mencegah morbiditas jangka panjang (Xu et al., 2025).

Secara umum, temuan-temuan tersebut mengindikasikan bahwa hubungan antara paparan polusi udara dan RA bersifat kuat, konsisten, dan mencakup berbagai kelompok usia, geografi, serta jenis polutan. Oleh karena itu, studi lebih lanjut dalam konteks lokal sangat diperlukan untuk memperkuat basis data nasional dan merancang strategi mitigasi yang tepat sasaran.

Upaya Mitigasi dan Peran Gizi sebagai Intervensi Tambahan

Mengurangi dampak polusi udara terhadap kesehatan masyarakat, termasuk kejadian rhinitis alergi (RA), memerlukan pendekatan multidimensi yang mencakup regulasi lingkungan, perlindungan individu, serta intervensi kesehatan berbasis bukti. Upaya mitigasi utama meliputi peningkatan standar kualitas udara, pembatasan emisi kendaraan bermotor dan industri, serta pengembangan ruang hijau perkotaan yang dapat berfungsi sebagai filter alami partikel polutan (Xu et al., 2025)

Namun, mengingat sebagian besar paparan terhadap polusi udara terjadi secara tidak terhindarkan dalam kehidupan sehari-hari, maka diperlukan pendekatan tambahan yang bersifat preventif dan suportif. Salah satu pendekatan yang kini mulai diperhatikan adalah intervensi melalui nutrisi dan suplementasi gizi, yang memiliki potensi dalam mengurangi respons inflamasi akibat paparan polusi udara.

Menurut Chen et al. (2025) dalam tinjauan sistematisnya, beberapa suplemen gizi menunjukkan potensi sebagai agen imunomodulator dan anti-inflamasi terhadap peradangan yang disebabkan oleh particulate matter (PM). Suplemen tersebut meliputi:

- a. Vitamin D: meningkatkan integritas epitel mukosa dan menurunkan ekspresi sitokin proinflamasi.
- b. Asam lemak omega-3: menurunkan aktivitas mediator lipid inflamasi seperti prostaglandin dan leukotrien.
- c. Lactoferrin dan probiotik: membantu mengatur respons imun mukosa dan meningkatkan toleransi imun terhadap alergen.
- d. Kefir peptides: bersifat antioksidan dan mampu menurunkan stres oksidatif akibat paparan PM2.5

Mekanisme kerja dari intervensi nutrisi ini sebagian besar berfokus pada pengurangan stres oksidatif dan modulasi jalur imun Th2 yang dominan pada penderita RA. Nutrisi yang cukup dan kaya antioksidan diketahui dapat memperkuat sistem imun mukosa dan mengurangi kerusakan jaringan akibat paparan polutan.

Meskipun potensi intervensi ini menjanjikan, bukti klinis terkait efektivitas dan dosis optimal dari masing-masing suplemen masih terbatas. Oleh karena itu, penggunaan suplementasi sebaiknya tidak menggantikan upaya utama seperti pengendalian sumber polusi dan peningkatan ventilasi rumah, melainkan sebagai pelengkap dalam strategi pengelolaan RA.

Selain itu, edukasi publik mengenai pentingnya perilaku protektif individu seperti menggunakan masker N95 saat kualitas udara memburuk, menutup jendela rumah saat indeks polusi tinggi, dan menggunakan penyaring udara dalam ruangan juga merupakan bagian integral dari upaya pencegahan gejala RA yang berkaitan dengan polusi udara (Liu et al., 2022).

Dengan demikian, integrasi kebijakan kesehatan lingkungan dan pendekatan berbasis gaya hidup sehat, termasuk intervensi gizi, diharapkan dapat memperkuat ketahanan individu terhadap paparan polusi udara dan mengurangi beban penyakit rhinitis alergi secara keseluruhan.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi literatur yang bertujuan untuk mengkaji hubungan antara paparan polusi udara dengan kejadian rhinitis alergi berdasarkan temuan empiris dan teori-teori yang telah dipublikasikan dalam jurnal ilmiah nasional maupun internasional. Penelusuran literatur dilakukan secara sistematis terhadap artikel-artikel yang relevan dan terkini, khususnya dalam rentang tahun 2015 hingga 2025, dengan fokus utama pada studi

epidemiologis, klinis, dan kajian mekanisme imunologi terkait polusi udara dan rhinitis alergi.

Sumber data diperoleh dari berbagai basis data elektronik seperti PubMed, ScienceDirect, Scopus, dan Google Scholar. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian antara lain: "air pollution", "particulate matter", "allergic rhinitis", "environmental exposure", dan "inflammation". Selain itu, beberapa artikel diperoleh dari repository jurnal terbuka seperti MDPI dan Elsevier, serta dokumen konsensus dari lembaga kesehatan internasional yang relevan.

Kriteria inklusi dalam studi ini adalah artikel penelitian asli (original research), sistematik review, dan meta-analisis yang membahas secara langsung hubungan antara polusi udara (PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, SO₂, O₃) dengan kejadian atau gejala rhinitis alergi pada manusia. Artikel yang tidak tersedia dalam versi penuh (full-text), berbahasa non-Inggris tanpa terjemahan, atau tidak relevan dengan topik dibatasi sebagai kriteria eksklusi.

Analisis dilakukan dengan metode deskriptif kualitatif, yaitu dengan menelaah dan membandingkan hasil-hasil penelitian yang telah dipublikasikan. Setiap artikel yang relevan dikaji berdasarkan desain penelitian, lokasi studi, jumlah sampel, jenis polutan yang diteliti, serta hasil hubungan antara polusi udara dan rhinitis alergi. Temuan-temuan tersebut kemudian disintesis untuk melihat pola hubungan, kekonsistenan bukti, dan kemungkinan mekanisme yang mendasarinya.

Untuk menjaga validitas data, artikel yang digunakan dipilih dari jurnal-jurnal dengan reputasi baik dan telah melalui proses peer review. Selain itu, referensi silang juga dilakukan untuk memastikan keakuratan dan kesesuaian konteks antara satu artikel dengan artikel lainnya.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan Polusi Udara dan Kejadian Rhinitis Alergi

Berbagai studi epidemiologis menunjukkan bahwa paparan polusi udara secara signifikan berkorelasi dengan peningkatan kejadian rhinitis alergi (RA), baik dalam populasi anak-anak maupun dewasa. Polusi udara mengandung beragam zat berbahaya seperti particulate matter (PM_{2.5} dan PM₁₀), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), ozon (O₃), dan karbon monoksida (CO), yang mampu memicu respons imun alergi melalui kerusakan epitel mukosa dan aktivasi jalur inflamasi.

Penelitian sistematik yang dilakukan oleh Rosario Filho et al. (2021) di negara-negara Amerika Latin menyimpulkan bahwa individu yang terpapar polusi udara memiliki kemungkinan 43% lebih tinggi untuk mengalami rhinitis alergi dibandingkan individu yang

tidak terpapar. Dalam studi tersebut, particulate matter PM10 menjadi polutan paling sering dikaitkan dengan gejala RA, diikuti oleh NO₂ dan O₃. Selain itu, efek paparan lebih menonjol pada kelompok anak-anak dan remaja, yang memiliki sistem pernapasan yang lebih rentan terhadap iritan lingkungan.

Temuan serupa juga dilaporkan oleh Liu et al. (2022) dalam penelitian terhadap 2.598 anak usia prasekolah di Changsha, Tiongkok. Hasil studi menunjukkan bahwa paparan PM10 selama masa kehamilan dan masa kanak-kanak berhubungan erat dengan peningkatan gejala seasonal allergic rhinitis (SAR) yang dipicu oleh serbuk sari. Odds ratio (OR) paparan PM10 saat masa sekarang adalah 1,78 (95% CI: 1,07–2,96), sedangkan paparan NO₂ selama masa prenatal mencapai OR 1,82 (95% CI: 1,17–2,83), yang menunjukkan hubungan kuat antara polusi dan kejadian rhinitis.

Di wilayah Eropa, hasil dari proyek MeDALL (Mechanisms of the Development of ALLergy) juga menunjukkan korelasi serupa. Studi longitudinal tersebut menemukan bahwa paparan jangka panjang terhadap polusi udara berhubungan dengan peningkatan sensitisasi IgE terhadap alergen udara, seperti serbuk sari dan tungau debu rumah. Anak-anak yang tinggal di daerah dengan kadar PM2.5 tinggi memiliki kemungkinan lebih besar mengalami gejala alergi, termasuk rhinitis (Melén et al., 2020).

Secara umum, hubungan antara paparan polusi udara dan RA bersifat kuat, konsisten, dan logis secara biologis. Paparan jangka panjang terhadap partikel polutan tidak hanya menyebabkan kerusakan lokal pada saluran pernapasan, tetapi juga dapat meningkatkan kepekaan sistem imun terhadap alergen yang sebelumnya tidak menimbulkan reaksi. Oleh karena itu, kualitas udara yang buruk di daerah perkotaan menjadi faktor risiko utama dalam meningkatnya prevalensi rhinitis alergi.

Mekanisme Biologis Paparan Polusi terhadap Rhinitis Alergi

Paparan polusi udara memicu terjadinya rhinitis alergi (RA) melalui berbagai jalur biologis dan imunologis yang kompleks. Mekanisme utama melibatkan kerusakan epitel mukosa hidung, peningkatan permeabilitas terhadap alergen, dan aktivasi respon imun tipe 2 (T-helper 2/Th2 response). Zat polutan seperti particulate matter (PM2.5 dan PM10), nitrogen dioksida (NO₂), dan ozon (O₃) memiliki kemampuan untuk menstimulasi proses inflamasi lokal maupun sistemik yang memperkuat gejala RA.

Partikulat halus seperti PM2.5 dapat menembus epitel mukosa hidung dan merusaknya, sehingga mempermudah masuknya alergen ke dalam jaringan. Selanjutnya, alergen ini ditangkap oleh sel dendritik dan dipresentasikan ke limfosit T, yang kemudian mengaktifkan

jalur Th2. Aktivasi jalur ini mendorong produksi sitokin seperti interleukin-4 (IL-4), IL-5, dan IL-13 yang merangsang sel B untuk menghasilkan IgE spesifik terhadap alergen tertentu (Chen et al., 2025). IgE ini kemudian berikatan dengan reseptor pada sel mast, yang akan mengalami degranulasi saat terpapar ulang dengan alergen, menghasilkan mediator inflamasi seperti histamin dan leukotrien. Paparan polusi udara juga menyebabkan stres oksidatif dan meningkatkan produksi reactive oxygen species (ROS) yang memperburuk kerusakan sel dan jaringan. Proses ini menyebabkan pelepasan lebih banyak mediator inflamasi, memperkuat infiltrasi eosinofil, serta memperpanjang inflamasi mukosa nasal. Hal ini menyebabkan gejala RA menjadi lebih berat dan sulit sembuh, bahkan pada individu yang sebelumnya tidak memiliki riwayat alergi (Xu et al., 2025).

Selain itu, polusi udara dapat memodifikasi struktur protein pada serbuk sari dan partikel biologis lainnya. Ketika struktur ini berubah akibat reaksi kimia dengan polutan seperti NO₂ atau ozon, maka kemampuan antigenik alergen meningkat, sehingga lebih mudah dikenali oleh sistem imun sebagai ancaman. Proses ini disebut sebagai peningkatan allergenic potency dan telah dibuktikan melalui studi toksikologi dan molekuler (Liu et al., 2022).

Studi dalam proyek MeDALL juga menunjukkan bahwa anak-anak yang terpapar polusi udara dalam jangka panjang mengalami peningkatan kadar IgE total dan spesifik terhadap alergen lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa polusi udara tidak hanya memperparah gejala, tetapi juga meningkatkan risiko sensitisasi terhadap alergen baru (Melén et al., 2020).

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa paparan polusi udara memengaruhi patogenesis rhinitis alergi melalui kombinasi efek iritasi langsung, aktivasi jalur imun spesifik, dan peningkatan respons alergi sistemik. Pemahaman terhadap mekanisme ini penting untuk mendukung pengembangan intervensi yang lebih efektif dalam mencegah dan mengelola RA pada populasi yang tinggal di lingkungan dengan tingkat polusi tinggi.

Kontribusi Faktor Lingkungan Dalam Ruangan

Selain polusi udara luar ruangan, kualitas udara dalam ruangan (indoor air quality) juga memberikan kontribusi signifikan terhadap kejadian dan keparahan rhinitis alergi. Dalam konteks kehidupan modern yang sebagian besar dihabiskan di dalam ruangan, paparan terhadap alergen dan polutan dalam rumah menjadi faktor risiko yang penting dan sering kali diabaikan.

Faktor lingkungan dalam ruangan yang sering dikaitkan dengan rhinitis alergi meliputi kondensasi jendela, kelembapan tinggi, jamur, bau apek, serta ventilasi yang buruk. Kondisi ini menciptakan lingkungan yang ideal bagi pertumbuhan mikroorganisme seperti jamur dan

tungau debu rumah, yang merupakan alergen utama pemicu rhinitis alergi.

Penelitian oleh Liu et al. (2022) menunjukkan bahwa kondensasi jendela, yang menjadi indikator kelembapan berlebih di dalam rumah, berkorelasi secara signifikan dengan kejadian seasonal allergic rhinitis (SAR) pada anak-anak. Dalam studi terhadap 2.598 anak usia 3–6 tahun di Changsha, Tiongkok, ditemukan bahwa paparan prenatal dan postnatal terhadap kelembapan ruangan, ditandai oleh adanya kondensasi jendela, memiliki odds ratio (OR) sebesar 1,37 (95% CI: 1,05–1,77) dan 1,38 (95% CI: 1,02–1,88) terhadap SAR.

Selain itu, keberadaan jamur dan bau lembap yang sering dijumpai pada rumah dengan ventilasi buruk diketahui meningkatkan risiko RA melalui pelepasan spora ke udara dan paparan senyawa organik volatil (volatile organic compounds/VOCs) yang bersifat iritatif. Lingkungan seperti ini memperparah reaksi imun mukosa dan memperbesar kemungkinan terjadinya sensitisasi terhadap alergen.

Kualitas udara dalam ruangan juga dapat terpengaruh oleh aktivitas manusia, seperti penggunaan bahan bakar padat untuk memasak, asap rokok, serta penggunaan bahan kimia rumah tangga. Polutan dari dalam rumah ini, ketika terakumulasi tanpa ventilasi yang cukup, dapat memberikan efek serupa dengan polusi udara luar, bahkan dalam intensitas yang lebih tinggi pada ruang tertutup.

Fakta bahwa lebih dari 90% waktu seseorang dihabiskan di dalam ruangan menekankan pentingnya pengendalian kualitas udara dalam rumah sebagai bagian dari strategi pencegahan rhinitis alergi. Ventilasi silang yang baik, penggunaan alat penyaring udara (air purifier), serta kontrol kelembapan dan kebersihan rumah secara berkala dapat membantu menurunkan paparan alergen dan iritan dalam ruangan. Dengan demikian, kontribusi faktor lingkungan dalam ruangan terhadap kejadian rhinitis alergi tidak dapat diabaikan. Kombinasi antara polusi luar dan paparan dalam ruangan membentuk beban paparan total yang dapat memperkuat atau memperpanjang gejala rhinitis, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak, lansia, dan individu dengan predisposisi atopik.

Strategi Mitigasi dan Peran Gizi

Upaya mitigasi terhadap dampak polusi udara pada kejadian rhinitis alergi (RA) memerlukan pendekatan multidimensi yang mencakup kebijakan lingkungan, intervensi klinis, serta penguatan gaya hidup sehat berbasis bukti. Meskipun strategi utama tetap terfokus pada pengurangan sumber emisi dan peningkatan kualitas udara, intervensi pendukung seperti pengelolaan lingkungan mikro (indoor) dan nutrisi telah menjadi perhatian dalam beberapa penelitian mutakhir.

Secara kebijakan, penurunan konsentrasi polutan seperti PM_{2.5} dan NO₂ dapat dicapai melalui pengendalian emisi kendaraan bermotor, pembatasan industri pencemar, serta penataan ulang ruang kota yang berorientasi pada ekosistem hijau. Studi konsensus oleh Xu et al. (2025) menyarankan perlunya penerapan standar kualitas udara yang lebih ketat dan berbasis kesehatan, serta peningkatan literasi publik terhadap bahaya polusi terhadap sistem pernapasan, termasuk RA. Dalam lingkup individu, langkah-langkah mitigasi dapat dilakukan dengan:

- a. Menghindari aktivitas luar ruangan saat indeks kualitas udara buruk.
- b. Menggunakan masker respirator (seperti N95) saat terpapar polusi tinggi.
- c. Meningkatkan sirkulasi udara dalam rumah dan menggunakan penyaring udara (air purifier).
- d. Mengurangi sumber polutan dalam ruangan, termasuk asap rokok, lilin aromaterapi, dan penggunaan bahan bakar padat.

Menariknya, berbagai studi terbaru mulai meninjau intervensi berbasis gizi sebagai strategi tambahan untuk mengurangi dampak inflamasi dari polusi udara terhadap mukosa saluran napas. Penelitian oleh Chen et al. (2025) menyebutkan bahwa beberapa nutrisi memiliki potensi efek antiinflamasi dan imunomodulator, yang dapat membantu menekan gejala RA akibat paparan partikulat halus. Beberapa nutrisi yang telah dikaji meliputi:

- a. Vitamin D: berperan dalam meningkatkan integritas sawar epitel dan mengatur keseimbangan respon imun, serta menurunkan ekspresi sitokin Th2.
- b. Asam lemak omega-3: menghambat biosintesis mediator lipid proinflamasi seperti prostaglandin dan leukotrien.
- c. Lactoferrin dan probiotik: meningkatkan toleransi imun dan menjaga keseimbangan mikrobiota yang berperan dalam regulasi respons alergi.
- d. Kefir peptides: berfungsi sebagai antioksidan yang mampu menekan stres oksidatif akibat paparan PM_{2.5}.

Meskipun berbagai studi menunjukkan hasil yang menjanjikan, sebagian besar temuan tersebut masih bersifat eksperimental atau studi awal, sehingga efektivitas praktisnya dalam populasi luas masih perlu divalidasi melalui uji klinis berskala besar dan meta-analisis lebih lanjut.

D. KESIMPULAN

Dengan demikian, strategi mitigasi paparan polusi udara terhadap rhinitis alergi tidak dapat bergantung hanya pada intervensi lingkungan makro, tetapi perlu dilengkapi dengan

pendekatan berbasis rumah tangga dan individu, termasuk penguatan status gizi dan konsumsi suplemen imunoprotektif. Sinergi antara kebijakan publik, edukasi kesehatan, dan penerapan gaya hidup adaptif menjadi kunci dalam menurunkan beban penyakit akibat paparan lingkungan. Berdasarkan hasil kajian literatur, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara paparan polusi udara dengan peningkatan kejadian dan keparahan rhinitis alergi. Polutan seperti PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, dan SO₂ terbukti dapat merusak epitel saluran pernapasan atas, memicu respons imun tipe Th₂, serta meningkatkan sensitisasi terhadap alergen lingkungan. Selain itu, kualitas udara dalam ruangan, seperti kelembapan tinggi dan ventilasi buruk, turut memperparah gejala rhinitis, khususnya pada anak-anak dan kelompok rentan.

Studi-studi yang dianalisis juga menunjukkan bahwa beban paparan tidak hanya berasal dari lingkungan luar, tetapi juga dari aktivitas rumah tangga yang tidak disertai pengelolaan udara yang baik. Oleh karena itu, pendekatan mitigasi harus bersifat menyeluruh, mulai dari intervensi struktural seperti perbaikan kebijakan kualitas udara dan perencanaan kota, hingga edukasi individu tentang perilaku protektif dan penguatan sistem imun melalui asupan nutrisi yang tepat.

Sebagai alternatif pendukung, intervensi gizi seperti vitamin D, omega-3, dan probiotik menjanjikan manfaat sebagai agen imunoprotektif terhadap efek buruk polusi udara, meskipun efektivitasnya masih perlu diuji lebih lanjut secara klinis. Sinergi antara kebijakan publik, pengendalian lingkungan mikro, dan kesadaran individu menjadi landasan penting untuk menekan angka kejadian rhinitis alergi di masa mendatang. Diperlukan penelitian lanjutan di konteks lokal Indonesia untuk mengukur secara lebih spesifik tingkat kontribusi polusi udara terhadap rhinitis alergi, serta potensi pencegahan berbasis nutrisi atau intervensi gaya hidup lainnya. Dengan pemahaman yang lebih mendalam dan lintas sektor, diharapkan beban penyakit akibat paparan polusi udara dapat diminimalisasi secara berkelanjutan.

E. DAFTAR PUSTAKA

Chen, Shih wei, Tsai, Stella Chin shaw, Chang, Kuang hsi, Chuang, Kai cheng, Sufian, Muhammad, Fan, Hueng chuen, & Chen, Chuan mu. (2025). Air Pollution-Associated Rhinitis : Exploring the Preventive Role of Nutritional Supplements Against Particulate Matter-Induced Inflammation. *Nutrients*, 17(829), 1–16.

Filho, Nelson A. Rosario, Satoris, Rogério Aranha, & Scala, Wanessa Ruiz. (2021). Allergic

- rhinitis aggravated by air pollutants in Latin America : A systematic review. *World Allergy Organization Journal*, 14(8), 100574.
<https://doi.org/10.1016/j.waojou.2021.100574>
- Li, Zhiwei, Mengyang, Liu, Wu, Zhiyuan, Liu, Yue, & Li, Weiming. (2026). Association between ambient air pollution and hospital admissions , length of hospital stay and hospital cost for patients with cardiovascular diseases and comorbid diabetes mellitus : Base on 1 , 969 , 755 cases in Beijing , China , 2014 – 2019. *Environment International* 165, 165(107301), 2014–2019.
- Liu, Yingjie, Lu, Chan, Li, Yuguo, Norbäck, Dan, & Deng, Qihong. (2022). Outdoor Air Pollution and Indoor Window Condensation Associated with Childhood Symptoms of Allergic Rhinitis to Pollen. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19(8071), 1–12.
- Standl, Marie, Gehring, Ulrike, Altug, Hicran, Ant, Maria, Mel, Erik, Bousquet, Jean, Heinrich, Joachim, Berdel, Dietrich, & Bergstr, Anna. (2020). Environmental and occupational disease Air pollution and IgE sensitization in 4 European birth cohorts — the MeDALL project. *Environmental and Occupational Disease*, 713–722.
<https://doi.org/10.1016/j.jaci.2020.08.030>
- Xu, Xu, Zhang, Yuan, Cheng, Lei, Fan, Yunping, Han, Yaozhong, Jie, Ying, Li, Huabin, Li, Xiaobo, Liu, Huanhai, Liu, Jianfeng, Liu, Weiwei, Lv, Wei, Ma, Yongjian, Ouyang, Yuhui, Shan, Chunguang, Shi, Guanggang, Song, Xicheng, Sun, Shengzhi, Wang, Jiajia, Wang, Xiangdong, Wang, Xueyan, Wang, Zhenlin, Xu, Yu, Yang, Qintai, Zhang, Yana, Zhang, Yu, Zhu, Dongdong, Wang, Chengshuo, Chen, Rui, & Zhang, Luo. (2025). Chinese Expert Consensus on the Impact of Ambient Air Pollution on Allergic Rhinitis and Recommendations for Mitigation Strategies. *Allergy Asthma Immunol Res.* 2025, 17(2), 149–164.