

Hubungan Polusi Udara Perkotaan dengan Kejadian Prematuritas dan Gangguan Pertumbuhan Janin di Indonesia: *Scoping Review*

Tasya Aida Herfadila^{a*}, Triana Srisantyorin^a, Suherman Jaksa^a

^a Program Magister Kesehatan Masyarakat, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta, Indonesia

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Received : 09-05-2026

Revised : 29-05-2026

Accepted : 04-06-2026

Keywords: Air Pollution, Fetal Growth Retardation, Prematurity

Kata Kunci: Gangguan Pertumbuhan Janin, Polusi Udara, Prematuritas

Corresponding Author:

tasyaaidaherfadila2@gmail.com*

DOI: <https://doi.org/10.62335>

ABSTRACT

Urban air pollution is one of the most significant environmental health threats globally. Indonesia, with its high urbanization rate and particulate matter (PM_{2.5}) concentrations nearly eight times above World Health Organization (WHO) guidelines, faces serious challenges related to the impact of air pollution on maternal and fetal health (Soesanti et al., 2023b). Exposure to air pollution during pregnancy is associated with various adverse pregnancy outcomes, including low birth weight (LBW), preterm birth, and intrauterine growth restriction (Veras et al., 2022b). This scoping review aimed to map and synthesize scientific evidence on the association between urban air pollution and prematurity and fetal growth restriction in Indonesia. A literature search was conducted in three major databases: PubMed (n=245), Scopus (n=238), and Google Scholar (n=248), with a total of 731 articles identified. After duplicate removal and screening, 28 studies were included in the qualitative synthesis, with 15 studies directly relevant to the Indonesian context. Evidence suggests that exposure to PM_{2.5} and traffic-related pollutants is significantly associated with reduced birth length (-3.83 mm per IQR increase in soot) and an increased risk of preterm birth (OR=2.19) in Southeast Asia, including Indonesia (Thaichana et al., 2025). Underlying mechanisms include oxidative stress, mitochondrial dysfunction, and impaired placental function (Familarì et al., 2019).

ABSTRAK

Polusi udara menjadi salah satu ancaman kesehatan lingkungan yang paling signifikan secara global. Indonesia, dengan tingkat urbanisasi yang tinggi dan konsentrasi *particulate matter* (PM_{2.5}) yang mencapai hampir delapan kali lipat di atas pedoman *World Health Organization* (WHO), menghadapi tantangan serius terkait dampak polusi udara terhadap kesehatan ibu dan janin (Soesanti et al., 2023). Paparan polusi udara selama kehamilan dikaitkan dengan

berbagai outcome kehamilan yang buruk termasuk berat badan lahir rendah (BBLR), kelahiran prematur, dan gangguan pertumbuhan intrauterin (Veras et al., 2022). Scoping review ini bertujuan untuk memetakan dan mensintesis bukti ilmiah mengenai hubungan antara polusi udara perkotaan dengan kejadian prematuritas dan gangguan pertumbuhan janin di Indonesia. Pencarian literatur dilakukan pada tiga database utama: PubMed (n=245), Scopus (n=238), dan Google Scholar (n=248) dengan total 731 artikel yang teridentifikasi. Setelah penghapusan duplikat dan skrining, 28 studi dimasukkan dalam sintesis kualitatif, dengan 15 studi yang secara langsung relevan dengan konteks Indonesia. Bukti menunjukkan bahwa paparan PM2.5 dan polutan terkait lalu lintas secara signifikan terkait dengan pengurangan Birth Length (-3.83 mm per peningkatan IQR jelaga) dan peningkatan risiko kelahiran prematur (OR=2.19) di wilayah Asia Tenggara termasuk Indonesia (Thaichana et al., 2025). Mekanisme yang mendasari meliputi stres oksidatif, disfungsi mitokondria, dan gangguan fungsi plasenta (Nääv et al., 2020)

PENDAHULUAN

Polusi udara merupakan salah satu permasalahan kesehatan lingkungan terbesar di dunia, terutama bagi populasi rentan seperti ibu hamil dan janin. Di wilayah perkotaan Indonesia, konsentrasi PM2.5 rata-rata mencapai hampir delapan kali lipat lebih tinggi dari pedoman WHO saat ini, dan level NO₂ tiga kali lebih tinggi dari standar yang direkomendasikan (Soesanti et al., 2023). Kondisi ini menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan tingkat paparan polusi udara tertinggi bagi populasi ibu hamil di kawasan Asia Tenggara.

Bukti epidemiologis dan eksperimental menunjukkan kesepakatan bahwa paparan gestasional terhadap polusi udara perkotaan meningkatkan risiko berat badan lahir rendah (BBLR), kelahiran prematur, malformasi kongenital, *Intrauterine Growth Restriction* (IUGR), dan peningkatan mortalitas neonatal (Veras et al., 2022b). Data dari Indonesia sendiri menunjukkan korelasi signifikan antara konsentrasi PM2.5 di area perkotaan dengan mortalitas anak di bawah lima tahun, dengan prematuritas dan asfiksia lahir sebagai penyebab utama (Soleman et al., 2023). Paparan polusi udara dari kebakaran hutan tahun 1997 di Indonesia juga dikaitkan dengan 15.600 anak yang "hilang" (1,2persen dari kohor kelahiran yang terdampak), dengan paparan prenatal sebagai pendorong utama (Jayachandran, 2009)

Gap Pengetahuan; Meskipun terdapat bukti yang signifikan tentang hubungan antara polusi udara dan outcome kehamilan yang buruk di negara-negara maju, studi spesifik di Indonesia masih terbatas. Pertama, sebagian besar studi yang telah dilakukan

di negara maju dengan tingkat polusi yang lebih rendah dibandingkan negara berkembang (Richards et al., 2016) Kedua, terbatasnya studi yang spesifik mengenai dampak polusi udara terhadap kehamilan di Indonesia. Ketiga, pemahaman terkait *Critical Window of Exposure* dan fenotipe spesifik kelahiran premature masih memerlukan penelitian lebih lanjut (Familar et al., 2019a). Selain itu, mekanisme patofisiologi yang menghubungkan paparan polusi udara dengan gangguan pertumbuhan janin dan prematuritas masih memerlukan eksplorasi lebih lanjut, terutama dalam konteks populasi Indonesia.

Scoping review ini bertujuan untuk: 1. Memetakan dan mensintesis bukti ilmiah terkait hubungan polusi udara perkotaan dengan kejadian prematuritas dan gangguan pertumbuhan janin 2. Mengidentifikasi studi-studi yang relevan dengan kondisi di Indonesia 3. Mengeksplorasi mekanisme patofisiologi yang mendasari hubungan tersebut 4. Mengidentifikasi gap penelitian dan memberikan rekomendasi untuk penelitian dan kebijakan kesehatan masyarakat di Indonesia.

METODE

Strategi Pencarian Literatur

Pencarian literatur dilakukan secara sistematis menggunakan database elektronik, PubMed, Scopus, dan Google Scholar. Pencarian dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci berikut: ("air pollution" OR "particulate matter" OR "PM2.5" OR "urban pollution") AND ("pregnancy outcome" OR "preterm birth" OR "premature" OR "fetal growth" OR "low birth weight" OR "intrauterine growth restriction") AND ("Indonesia" OR "Southeast Asia" OR "developing countries").

Kriteria Inklusi

Studi yang meneliti hubungan antara polusi udara dengan outcome kehamilan - Studi yang dilakukan di Indonesia atau memiliki relevansi dengan konteks negara berkembang di Asia Tenggara - Artikel dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris - Studi observasional, kohort, case-control, atau cross-sectional - Publikasi tahun 2021-2026

Kriteria Eksklusi

Artikel review tanpa data primer (kecuali untuk konteks mekanisme) - Studi dengan data tidak lengkap - Studi yang hanya berfokus pada polusi dalam ruangan tanpa relevansi dengan polusi udara ambien.

Proses Seleksi dan Ekstraksi Data

Proses seleksi mengikuti panduan PRISMA-ScR (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews*). Dua peneliti independen melakukan skrining judul dan abstrak, diikuti dengan evaluasi teks lengkap untuk artikel yang memenuhi kriteria. Data yang diekstraksi meliputi: lokasi studi, desain

penelitian, populasi, paparan (jenis polutan dan metode pengukuran), outcome (prematurnitas, BBLR, IUGR, *Birth Length*), dan temuan utama.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Dari total 731 artikel yang teridentifikasi dari tiga database (PubMed: 245, Scopus: 238, Google Scholar: 248), sebanyak 219 duplikat dihapus, menghasilkan 512 artikel untuk skrining. Setelah skrining judul dan abstrak, 389 artikel dieksklusi karena tidak relevan, menyisakan 123 artikel untuk evaluasi teks lengkap. Dari jumlah tersebut, 95 artikel dieksklusi dengan alasan: tidak spesifik untuk Indonesia (n=45), tidak memiliki outcome kehamilan (n=23), merupakan artikel review (n=15), dan data tidak lengkap (n=12). Akhirnya, 28 studi dimasukkan dalam sintesis kualitatif, dengan 15 studi yang memiliki data Indonesia atau langsung aplikatif untuk konteks Indonesia.

Temuan Utama: Hubungan Polusi Udara dengan Outcome Kehamilan

Kelahiran Prematur

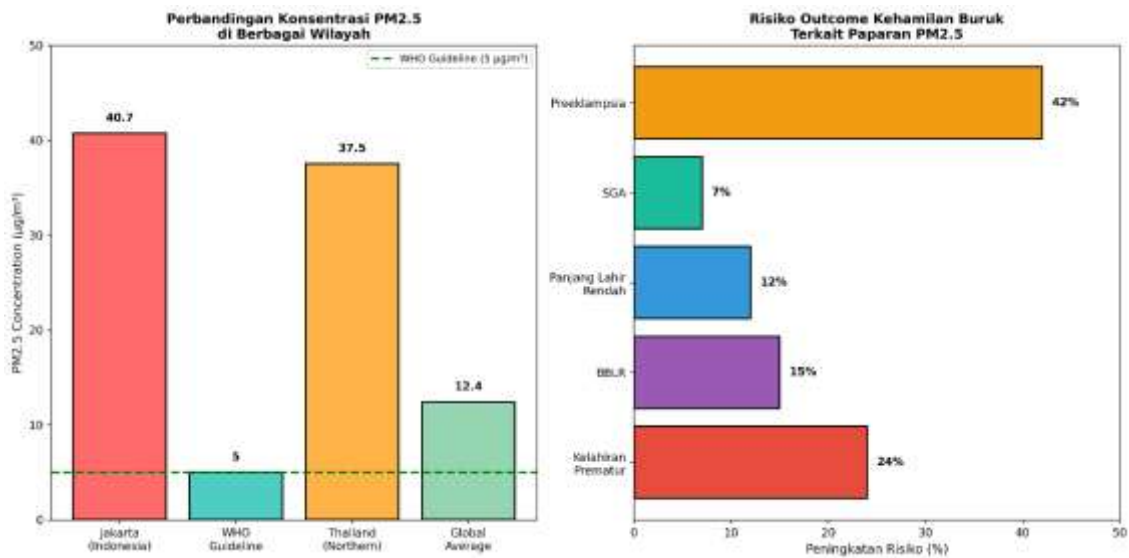
Tinjauan komprehensif menunjukkan bahwa paparan *particulate matter* dan ozon selama kehamilan secara signifikan dikaitkan dengan risiko kelahiran prematur yang lebih tinggi. Estimasi efek pooled untuk PM_{2.5} adalah 1.24 (95persen CI: 1.08-1.41) per peningkatan 10 µg/m³, sedangkan untuk PM₁₀ adalah 1.09 (95persen CI: 1.03-1.16) (Familar et al., 2019b). Di Thailand Utara, studi kohort besar menunjukkan bahwa paparan PM_{2.5} di atas 37.5 µg/m³ selama kehamilan secara signifikan meningkatkan risiko kelahiran prematur (aOR = 2.19, p < 0.001) (Thaichana et al., 2025).

Faktor-faktor risiko untuk kelahiran prematur meliputi kelas sosial yang lebih rendah, pendidikan lebih rendah, status pernikahan tunggal, penghasilan rendah, usia maternal yang lebih muda, berat badan rendah, etnisitas, merokok, dan perumahan yang buruk, yang semuanya dapat dieksaserbasi oleh paparan polusi udara (Leem & Ha, 2011). Di Indonesia, data dari kebakaran hutan tahun 1997 menunjukkan bahwa paparan prenatal terhadap polusi udara *particulate matter* menyebabkan mortalitas signifikan pada kohor kelahiran yang terdampak, dengan efek yang jauh lebih besar di area yang lebih miskin .

Berat Badan Lahir Rendah dan Gangguan Pertumbuhan Janin

Studi kohort di Jakarta menunjukkan temuan penting mengenai dampak polusi udara terkait lalu lintas terhadap antropometri lahir. Konsentrasi PM_{2.5} rata-rata di Jakarta hampir delapan kali lebih tinggi dari pedoman WHO saat ini, dan level NO₂ tiga kali lebih tinggi (1). Jelaga dan NO_x secara signifikan dikaitkan dengan penurunan *Birth Length*, dengan *Birth Length* berkurang -3.83 mm (95persen CI -6.91; -0.75) untuk setiap peningkatan IQR (0.74×10^{-5} per m) jelaga, dan berkurang -2.82 mm (95persen CI -5.33; -0.30) untuk setiap peningkatan IQR (4.68 µg/m³) NO_x.

Meta-analisis global menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar masak yang berpolusi dikaitkan dengan BBLR (OR: 1.37, 95persen CI: 1.24, 1.52), SGA (OR: 1.48, 95persen CI: 1.13, 1.94), dan lahir mati (OR: 1.38, 95persen CI: 1.23, 1.55) (Luo et al., 2023). Di negara berkembang yang berkembang pesat dengan tingkat polusi udara tinggi seperti China, level polusi udara tertinggi mungkin menjadi perhatian untuk kelahiran prematur dan berat badan lahir rendah (Richards et al., 2016)



Gambar 1. Perbandingan konsentrasi PM2.5 di berbagai wilayah dan risiko *outcome* kehamilan buruk terkait paparan PM2.5. Data menunjukkan bahwa konsentrasi PM2.5 di Jakarta jauh melebihi pedoman WHO, dengan peningkatan risiko preeklampsia sebagai *outcome* yang paling signifikan (Soesanti et al., 2023; Thaichana et al., 2025).

Interpretasi Hasil

Hasil dari *scoping review* ini menunjukkan bukti kuat tentang hubungan antara paparan polusi udara perkotaan dengan *outcome* kehamilan yang buruk, termasuk prematuritas dan gangguan pertumbuhan janin. Berdasarkan kondisi di Indonesia, studi kohort di Jakarta memberikan bukti langsung bahwa paparan polutan terkait lalu lintas seperti jelaga dan NO_x selama kehamilan dikaitkan dengan penurunan signifikan pada Birth Length bayi (Soesanti et al., 2023b). Temuan ini konsisten dengan literatur global yang menunjukkan bahwa polusi udara merupakan salah satu faktor risiko lingkungan yang paling penting untuk *outcome* kehamilan yang merugikan.

Ibu hamil yang terpapar asap, termasuk smog, memiliki risiko lebih tinggi mengalami berbagai komplikasi kehamilan. Bayi yang dilahirkan dari ibu dengan paparan tersebut berisiko mengalami restriksi pertumbuhan janin, kelahiran prematur, serta peningkatan predisposisi terhadap asma (Sohail, 2024). Selain itu, paparan particulate matter yang terkandung dalam smog juga dikaitkan dengan komplikasi maternal, seperti

diabetes gestasional, hipertensi akibat kehamilan, infeksi, dan ketuban pecah dini, yang berhubungan erat dengan peningkatan morbiditas dan mortalitas neonatal.

SIMPULAN, KETERBATASAN DAN SARAN

Scoping review ini menunjukkan bukti yang kuat tentang hubungan antara polusi udara perkotaan dengan kejadian prematuritas dan gangguan pertumbuhan janin, dengan relevansi khusus untuk kejadian di Indonesia. Temuan utama meliputi: (1) Paparan PM_{2.5}, jelaga, dan NO_x selama kehamilan secara signifikan dikaitkan dengan penurunan Birth Length dan peningkatan risiko outcome kehamilan buruk di Indonesia dan wilayah Asia Tenggara; (2) Konsentrasi PM_{2.5} di wilayah perkotaan Indonesia jauh melebihi pedoman WHO (hampir delapan kali lipat), menempatkan ibu hamil pada risiko tinggi untuk outcome kehamilan yang buruk; (3) Mekanisme patofisiologi yang mendasari meliputi stres oksidatif, disfungsi mitokondria, perubahan epigenetik, dan gangguan fungsi plasenta yang dapat menyebabkan restriksi pertumbuhan intrauterin, preeklampsia, dan kelahiran prematur; (4) Populasi rentan seperti ibu hamil dari keluarga berpenghasilan rendah dan yang tinggal di area dengan polusi tinggi mengalami dampak yang tidak proporsional dari paparan polusi udara.

Scoping review ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan: (1) Jumlah Studi Indonesia yang Terbatas: Meskipun review ini mengidentifikasi beberapa studi yang dilakukan di Indonesia, jumlah studi dengan data primer Indonesia masih terbatas, sehingga sebagian temuan diekstrapolasi dari studi di negara lain yang mungkin memiliki karakteristik berbeda; (2) Variabilitas Metodologi: Terdapat variabilitas yang luas dalam metode penilaian paparan, jendela paparan yang diamati, dan definisi outcome di antara studi yang dimasukkan, yang membuat perbandingan menjadi kompleks (Klepac et al., 2018); (3) Potensi Confounding: Faktor-faktor sosial seperti status sosioekonomi, nutrisi maternal, akses layanan prenatal, dan merokok sering menjadi confounder dalam studi hubungan polusi udara dengan outcome kehamilan. Jalur patoetiologis yang terbagi antara paparan particulate matter dan lingkungan sosial menimbulkan tantangan epidemiologis dalam memisahkan efek masing-masing (Erickson & Arbour, 2014); (4) Keterbatasan Penilaian Paparan: Sebagian besar studi menggunakan model paparan berbasis alamat tempat tinggal, yang mungkin tidak mencerminkan paparan aktual mengingat mobilitas ibu hamil dan paparan indoor yang tidak terukur (Richards et al., 2016); (5) Kurangnya Data Polusi Indoor: Data tentang polutan udara dalam ruangan dan pengaruh potensial dari faktor confounding yang tidak terukur masih kurang dalam literatur yang tersedia

Saran

Saran untuk Penelitian: 1) Melakukan studi kohort prospektif dengan skala besar di berbagai wilayah perkotaan Indonesia untuk mengkuantifikasi hubungan kausal antara

polusi udara dan outcome kehamilan, 2) Mengembangkan metode penilaian paparan yang lebih presisi menggunakan monitor polusi udara personal dan biomarker paparan, 3) Meneliti lebih lanjut jendela kerentanan kritis selama kehamilan dan mekanisme patofisiologi spesifik dalam populasi Indonesia, 4) Mengeksplorasi interaksi antara polusi udara dan faktor risiko lain seperti nutrisi, stres psikososial, dan kondisi kesehatan maternal yang sudah ada sebelumnya.

Saran untuk Kebijakan: 1) Mengembangkan dan mengimplementasikan standar kualitas udara nasional yang lebih ketat sesuai dengan pedoman WHO terbaru, 2) Mengintegrasikan monitoring kualitas udara dengan sistem surveilans kesehatan maternal untuk pemantauan real-time dampak polusi, 3) Mengembangkan kebijakan transportasi berkelanjutan dan pengendalian emisi industri di wilayah perkotaan, 4) Mempromosikan transisi dari bahan bakar masak biomassa ke energi bersih di rumah tangga.

Saran untuk Praktik Klinis: 1) Menginkorporasikan penilaian paparan lingkungan dalam perawatan antenatal rutin, 2) Memberikan edukasi kepada ibu hamil tentang langkah-langkah untuk mengurangi paparan polusi udara, 3) Mempertimbangkan faktor risiko lingkungan dalam stratifikasi risiko kehamilan, 4) Meningkatkan surveillance outcome kehamilan pada populasi yang tinggal di area dengan polusi tinggi.

Saran untuk Masyarakat: 1) Meningkatkan kesadaran tentang dampak polusi udara terhadap kesehatan kehamilan melalui program edukasi masyarakat, 2) Mengadvokasi untuk lingkungan yang lebih bersih dan transportasi publik yang berkelanjutan, 3) Mendukung ibu hamil dalam mengakses informasi tentang kualitas udara dan langkah-langkah protektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, H., & Kuo, H. W. (2014). Adverse effects of parental smoking during pregnancy in urban and rural areas. *BMC Pregnancy and Childbirth*, *14*(1), 414. <https://doi.org/10.1186/S12884-014-0414-Y>
- Andriani, H., Putri, S., Kosasih, R. I., & Kuo, H. W. (2019). Parental Smoking and Under-Five Child Mortality in Southeast Asia: Evidence from Demographic and Health Surveys. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(23), 4756. <https://doi.org/10.3390/IJERPH16234756>
- Bearblock, E., Aiken, C. E., & Burton, G. J. (2021). Air pollution and pre-eclampsia; associations and potential mechanisms. *Placenta*, *104*, 188–194. <https://doi.org/10.1016/J.PLACENTA.2020.12.009>
- Erickson, A. C., & Arbour, L. (2014). The shared pathoetiological effects of particulate air pollution and the social environment on fetal-placental development. *Journal of*

- Environmental and Public Health*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/901017>
- Erlandsson, L., Lindgren, R., Nääv, Å., Kraus, A. M., Strandberg, B., Lundh, T., Boman, C., Isaxon, C., Hansson, S. R., & Malmqvist, E. (2020). Exposure to wood smoke particles leads to inflammation, disrupted proliferation and damage to cellular structures in a human first trimester trophoblast cell line. *Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987)*, 264. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.114790>
- Familiari, M., Nääv, Å., Erlandsson, L., de Iongh, R. U., Isaxon, C., Strandberg, B., Lundh, T., Hansson, S. R., & Malmqvist, E. (2019a). Exposure of trophoblast cells to fine particulate matter air pollution leads to growth inhibition, inflammation and ER stress. *PLOS ONE*, 14(7), e0218799. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0218799>
- Familiari, M., Nääv, Å., Erlandsson, L., de Iongh, R. U., Isaxon, C., Strandberg, B., Lundh, T., Hansson, S. R., & Malmqvist, E. (2019b). Exposure of trophoblast cells to fine particulate matter air pollution leads to growth inhibition, inflammation and ER stress. *PLOS ONE*, 14(7), e0218799. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218799>
- Janssen, B. G., Byun, H. M., Gyselaers, W., Lefebvre, W., Baccarelli, A. A., & Nawrot, T. S. (2015). Placental mitochondrial methylation and exposure to airborne particulate matter in the early life environment: An ENVIRONAGE birth cohort study. *Epigenetics*, 10(6), 536–544. <https://doi.org/10.1080/15592294.2015.1048412>
- Jayachandran, S. (2009). Air Quality and Early-Life Mortality. *Journal of Human Resources*, 44(4), 916–954. <https://doi.org/10.3368/JHR.44.4.916>
- Klepac, P., Locatelli, I., Korošec, S., Künzli, N., & Kukec, A. (2018). Ambient air pollution and pregnancy outcomes: A comprehensive review and identification of environmental public health challenges. *Environmental Research*, 167, 144–159. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2018.07.008>
- Leem, J.-H., & Ha, E.-H. (2011). Air Pollution and Adverse Pregnancy Outcome. *Air Pollution - New Developments*. <https://doi.org/10.5772/20214>
- Li, Z., Liu, R., & Zhang, E. (2025). Impacts of PM2.5 on stillbirth and the potential mechanism: a narrative review. *Reviews on Environmental Health*, 40(4), 677–694. <https://doi.org/10.1515/REVEH-2025-0090>
- Luo, M., Liu, T., Ma, C., Fang, J., Zhao, Z., Wen, Y., Xia, Y., Zhao, Y., & Ji, C. (2023). Household polluting cooking fuels and adverse birth outcomes: An updated systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Public Health*, 11, 978556. <https://doi.org/10.3389/FPUBH.2023.978556/FULL>

- Mandakh, Y., Oudin, A., Erlandsson, L., Isaxon, C., Hansson, S. R., Broberg, K., & Malmqvist, E. (2021). Association of Prenatal Ambient Air Pollution Exposure With Placental Mitochondrial DNA Copy Number, Telomere Length and Preeclampsia. *Frontiers in Toxicology*, *3*, 659407–659407. <https://doi.org/10.3389/FTOX.2021.659407>
- Nääv, Å., Erlandsson, L., Isaxon, C., Åsander Frostner, E., Ehinger, J., Sporre, M. K., Kraus, A. M., Strandberg, B., Lundh, T., Elmér, E., Malmqvist, E., & Hansson, S. R. (2020). Urban PM_{2.5} Induces Cellular Toxicity, Hormone Dysregulation, Oxidative Damage, Inflammation, and Mitochondrial Interference in the HRT8 Trophoblast Cell Line. *Frontiers in Endocrinology*, *11*. <https://doi.org/10.3389/FENDO.2020.00075>
- Richards, D. A., Ekers, D., McMillan, D., Taylor, R. S., Byford, S., Warren, F. C., Barrett, B., Farrand, P. A., Gilbody, S., Kuyken, W., O'Mahen, H., Watkins, E. R., Wright, K. A., Hollon, S. D., Reed, N., Rhodes, S., Fletcher, E., & Finning, K. (2016). Cost and Outcome of Behavioural Activation versus Cognitive Behavioural Therapy for Depression (COBRA): a randomised, controlled, non-inferiority trial. *The Lancet*, *388*(10047), 871–880. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31140-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31140-0)
- Saenen, N. D., Vrijens, K., Janssen, B. G., Roels, H. A., Neven, K. Y., Vanden Berghe, W., Gyselaers, W., Vanpoucke, C., Lefebvre, W., De Boever, P., & Nawrot, T. S. (2017). Lower Placental Leptin Promoter Methylation in Association with Fine Particulate Matter Air Pollution during Pregnancy and Placental Nitrosative Stress at Birth in the ENVIRONAGE Cohort. *Environmental Health Perspectives*, *125*(2), 262–268. <https://doi.org/10.1289/EHP38>
- Soesanti, F., Hoek, G., Brunekreef, B., Meliefste, K., Chen, J., Idris, N. S., Putri, N. D., Uiterwaal, C. S. P. M., Grobbee, D. E., & Klipstein-Grobusch, K. (2024). Perinatal exposure to traffic related air pollutants and the risk of infection in the first six months of life: a cohort study from a low-middle income country. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, *97*(5), 575–586. <https://doi.org/10.1007/S00420-024-02064-0>
- Soesanti, F., Uiterwaal, C. S. P. M., Meliefste, K., Chen, J., Brunekreef, B., Idris, N. S., Grobbee, D. E., Klipstein-Grobusch, K., & Hoek, G. (2023a). The effect of exposure to traffic related air pollutants in pregnancy on birth anthropometry: a cohort study in a heavily polluted low-middle income country. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, *22*(1), 22–22. <https://doi.org/10.1186/S12940-023-00973-0>
- Soesanti, F., Uiterwaal, C. S. P. M., Meliefste, K., Chen, J., Brunekreef, B., Idris, N. S., Grobbee, D. E., Klipstein-Grobusch, K., & Hoek, G. (2023b). The effect of

- exposure to traffic related air pollutants in pregnancy on birth anthropometry: a cohort study in a heavily polluted low-middle income country. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 22(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s12940-023-00973-0>
- Sohail, N. (2024). SMOG IN LAHORE: A LOOMING THREAT TO REPRODUCTIVE HEALTH. *Pakistan Postgraduate Medical Journal*, 35(04), 130–131. <https://doi.org/10.51642/PPMJ.V35I04.739>
- Soleman, S. R., Rifai, M., & Indah, M. F. (2023). Correlation between fine particulate matter air pollution and under-five children mortality in Indonesia: A secondary data analysis of WHO Global Health Observatory. *Public Health of Indonesia*, 9(1), 13–20. <https://doi.org/10.36685/PHI.V9I1.662>
- Sun, Y., Bhuyan, R., Jiao, A., Avila, C. C., Chiu, V. Y., Slezak, J. M., Sacks, D. A., Molitor, J., Benmarhnia, T., Chen, J. C., Getahun, D., & Wu, J. (2024). Association between particulate air pollution and hypertensive disorders in pregnancy: A retrospective cohort study. *PLoS Medicine*, 21(4). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PMED.1004395>
- Thaichana, P., Sripan, P., Rerkasem, A., Tongsong, T., Sangsawang, S., Kawichai, S., Srisukkhom, W., Wanapirak, C., Sirilert, S., Mattawanon, N., Phanpong, C., Ongprasert, K., Derraik, J. G. B., & Rerkasem, K. (2025a). Association of Maternal PM2.5 Exposure with Preterm Birth and Low Birth Weight: A Large-Scale Cohort Study in Northern Thailand (2016–2022). *Toxics*, 13(4), 304–304. <https://doi.org/10.3390/TOXICS13040304>
- Thaichana, P., Sripan, P., Rerkasem, A., Tongsong, T., Sangsawang, S., Kawichai, S., Srisukkhom, W., Wanapirak, C., Sirilert, S., Mattawanon, N., Phanpong, C., Ongprasert, K., Derraik, J. G. B., & Rerkasem, K. (2025b). Association of Maternal PM2.5 Exposure with Preterm Birth and Low Birth Weight: A Large-Scale Cohort Study in Northern Thailand (2016–2022). *Toxics*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/TOXICS13040304>
- Veras, M., Waked, D., & Saldiva, P. (2022a). Safe in the womb? Effects of air pollution to the unborn child and neonates. *Jornal de Pediatria*, 98 Suppl 1(Suppl 1), S27–S31. <https://doi.org/10.1016/J.JPED.2021.09.004>
- Veras, M., Waked, D., & Saldiva, P. (2022b). Safe in the womb? Effects of air pollution to the unborn child and neonates. *Jornal de Pediatria*, 98, S27–S31. <https://doi.org/10.1016/J.JPED.2021.09.004>
- Villarroel, F., Ramírez, E., Ponce, N., Nualart, F., & Salinas, P. (2025). Impact of PM2.5 Emitted by Wood Smoke on the Expression of Glucose Transporter 1 (GLUT1) and Sodium-Dependent Vitamin C Transporter 2 (SVCT2) in the Rat Placenta: A

Pregestational and Gestational Exposure Study. *Antioxidants*, 14(9).
<https://doi.org/10.3390/ANTIOX14091050>