TAHUN 2025 [MANUJU: MALAHAYATI NURSING JOURNAL, ISSN CETAK: 2655-2728 ISSN ONLINE: 2655-4712, VOLUME 7 NOMOR 12 TAHUN 2025] HAL 5493-5502

HUBUNGAN KONSENTRASI PM2.5 DI UDARA AMBIEN DENGAN HIPERTENSI PADA TENAGA KERJA BONGKAR MUAT DI PELABUHAN TANJUNG PRIOK

Ahmad Irfandi[1*], Erna Veronika[2], Veza Azteria[3]

[1-3]Fakultas Ilmu-Ilmu Kesehatan, Universitas Esa Unggul

Email Korespondensi: ahmad.irfandi@esaunggul.ac.id

Disubmit: 15 November 2025 Diterima: 29 November 2025 Diterbitkan: 01 Desember 2025
Doi: https://doi.org/10.33024/mnj.v7i12.23495

ABSTRACT

Hypertension is a significant cardiovascular disease in Indonesia, with a steadily increasing prevalence. Exposure to PM2.5 has been identified as a risk factor for hypertension, particularly in areas with high air pollution, such as ports. This study aims to analyze the effect of PM2.5 on the incidence of hypertension among stevedoring workers at Tanjung Priok Port, Jakarta. The study design used ecological time series with monthly data from 2023. A Generalized Linear Model (GLM) with a Poisson link and log(population) offset was used to analyze the relationship between PM2.5 and hypertension, with controls for temperature, humidity, and wind speed. PM2.5 exposure significantly increased the risk of hypertension among stevedoring workers at Tanjung Priok Port. The results showed a significant association in each PM2.5 category tested (p < 0.001), with a very high B coefficient indicating that PM2.5 exposure had a significant effect on the risk of hypertension. These findings emphasize the importance of air pollution control policies to reduce health risks among port workers.

***Keywords**: PM2.5, Hypertension, Stevedores, Ports, Worker Health, Air Pollution.*

ABSTRAK

Hipertensi merupakan penyakit kardiovaskular yang signifikan di Indonesia, dengan prevalensi yang terus meningkat. Paparan PM2.5 telah diketahui sebagai faktor risiko untuk hipertensi, khususnya di daerah dengan polusi udara tinggi, seperti pelabuhan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh PM2.5 terhadap kejadian hipertensi pada pekerja bongkar muat di Pelabuhan Tanjung Priok, Jakarta. Desain penelitian menggunakan time series ekologi dengan data bulanan tahun 2023. Generalized Linear Model (GLM) dengan Poisson link dan offset log(populasi) digunakan untuk menganalisis hubungan antara PM2.5 dan hipertensi, dengan kontrol untuk suhu, kelembaban, dan kecepatan angin. Paparan PM2.5 memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan risiko hipertensi pada pekerja bongkar muat di Pelabuhan Tanjung Priok. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya hubungan yang signifikan di setiap kategori PM2.5 yang diuji (p < 0,001), dengan koefisien B yang sangat tinggi menunjukkan bahwa paparan PM2.5 memiliki pengaruh yang besar terhadap risiko

hipertensi.Temuan ini menekankan pentingnya kebijakan pengendalian polusi udara untuk mengurangi risiko kesehatan di kalangan pekerja pelabuhan.

Kata Kunci: PM2.5, Hipertensi, Pekerja Bongkar Muat, Pelabuhan, Kesehatan Pekerja, Polusi Udara.

PENDAHULUAN

Hipertensi atau tekanan darah tinggi merupakan masalah kesehatan global dan menjadi penyakit dengan penyebab kematian dini yang bisa dicegah di dunia (Kumar et al., 2025; Mills et al., 2016). Hipertensi berkontribusi menyebabkan penyakit Kardiovaskular dan berhubungan dengan angka kesakitan dan kematian (Kumar et al., 2025). Angka prevalensi hipertensi bervariasi di berbagai wilayah dan kelompok sosial ekonomi dengan kesenjangan dalam hal pengobatan, pencegahan dan kesadaran untuk memeriksa kesehatan. Pada tahun 2010, angka prevalensi hipertensi global 31,1% dengan angka lebih tinggi pada negara berpenghasilan menengah dan rendah 31,5% dibandingkan negara berpenghasilan tinggi 28,5% (Mills et al., 2016). Pada tahun 2019 jumlah orang menderita hipertensi berusia 30-79 tahun meningkat 2 kali lipat sejak tahun 1990 mencapai 1,28 milliar penderita (B. Zhou et al., 2021). Menurut *World Health Organization* (WHO) terdapat 1.4 juta orang dewasa berusia 30-79 tahun atau 33% populasi menderita hipertensi. Diestimasikan 600 juta orang dewasa (44%) dengan hipertensi tidak peduloi akan kondisi kesehatannya (WHO, 2025).

Di Indonesia Hipertensi menjadi masalah kesehatan masyarakat yang sangat serius dengan prevalensi 34,1% pada usia 18 tahun atau lebih. Kondisi ini menjadi risiko utama penyakit kardiovaskular yang memimpin tingkat kematian tertinggi di negara ini. Prevalensi hipertensi meningkat seiring bertambahnya usia. Prevalensi hipertensi tertinggi terjadi pada individu berusia 70 tahun keatas (42%), individu berusia 60-69 tahun dengan prevalensi 34% (Diana & Astini, 2018). Di kalangan dewasa muda (25-44 tahun) prevalensinya juga signifikan terutama pada mereka yang mengalami obesitas (Rumaisyah et al., 2023). Menurut jenis kelamin, penyakit hipertensi lobih banyak diderita oleh laki-laki dibandingkan perempuan (50,7% vs 49,3%) (Diana & Astini, 2018). Namun dibeberapa wilayah, perempuan dengan kondisi sosial ekonomi rendah mempunyai resiko hipertensi yang lebih tinggi (Defianna et al., 2021).

Di Jakarta, Hipertensi juga menjadi masalah kesehatan masyarakat yang signifikan dalam konteks Ibu Kota Negara. Prevalensi Hipertensi di DKI Jakarta pada penduduk usia $\geq$ 18 tahun berdasarkan diagnosis dokter 13,4%. Angka prevalensi ini lebih tinggi dari angka nasional 8,6% (Kementerian Kesehatan, 2024). Tingginya angika prevalensi ini disebabkan oleh berbagai faktor seperti gaya hidup, obesitas, kondisi sosial ekonomi, dan faktor lingkungan.

Faktor lingkungan juga berkaitan dengan hipertensi. Faktor lingkungan seperti polusi udara PM2.5, tekanan panas, dan polusi suara berkontribusi signifikan terhadap prevalensi Hipertensi di Jakarta. Paparan PM2.5 terbukti secara signifikan berdampak terhadap peningkatan tekanan darah sistolik (r=0.408) dan menjelaskan sekitar 10,9% variasi tekanan darah

diastolik setelah disesuaikan dengan faktor confounding (Aliyyah et al., 2024). Faktor-faktor lingkungan dikombinasikan dengan gaya hidup dan kondisi sosial ekonomi sehingga dapat menciptakan pengaruh yang kompleks dan memperburuk risiko hipertensi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh faktor PM2.5 terhadap penyakit Hipertensi pada pekerja bongkar muat di Pelabuhan Tanjung Priok. Tenaga Kerja Bongkar Muat Pelabuhan (TKBM) merupakan semua tenaga kerja yang terdaftar pada pelabuhan setempat yang melakukan pekerjaan bongkar muat di pelabuhan (Menteri Perhubungan, 2007). Berdasarkan data yang diperoleh dari Klinik Pelapuhan didapatkan bahwa penyakit Hipertnesi menjadi penyakit dengan jumlah tertinggi pada Tahun 2023 di bandingkan penyakit lainnya yang diderita oleh TKBM.

KAJIAN PUSTAKA

Sumber dan Karakteristik PM2.5 di Pelabuhan

Emisi pelayaran menjadi penyumbang yang signifikan terhadap PM2.5 di pelabuhan. Studi dilakukan di Qingdao dan Kota Thessaloniki menyebutkan bahwa emisi pelayaran menjadi sumber utama terhadap PM2.5 dengan masing-masing menyumbang 25,05% dan 9-13% (Bie et al., 2021; Saraga et al., 2019). Adapun unsur yang paling dominan dari emisi pelayaran meliputi Vanadium (V) dan Nikel (Ni) yang merupakan indikasi dari pembakaran minyak mentah (Bie et al., 2021).

Emisi kendaraan termasuk partikel buangan dan non buangan merupakan sumber PM2.5 yang substansial di pelabuhan (Saraga et al., 2019). Emisi non buangan seperti debu jalan terbukti sangat signifikan di area pelabuhan dengan lalu lintas barang yang padat dan menyumbang hingga 52,3% dari total PM2.5 terkait kendaraan (Fang et al., 2023) .

Aktivitas industri termasuk pembakaran batubara dan emisi dari perusahaan baja berkontribusi signifikan terhadap kadar PM2.5 di pelabuhan (Zhang et al., 2022). Misalnya di pelabuhan Qingdao, emisi industry dan pembakaran batubara merupakan sumber yang penting. Aerosol anorganik sekunder (Sulfat dan Nitrat) dan Aerosol organic sekunder (SOA) merupakan bagian penting dari PM2.5 (Tseng et al., 2021; Y. Wang et al., 2021).

Mekanisme Biologi PM2.5 Menyebabkan Hipertensi

Paparan PM2.5 dapat menyebabkan stress oksidatif dan peradangan sistemik yang berperan penting dalam pathogenesis hipertensi. Pembentukan *Reactive Oxygen Species* (ROS) dan peningkatan jalur sensitive redoks berkontribusi terhadap disfunsgi endotel vascular dan peningkatan tekanan darah arteri (Brook & Rajagopalan, 2009; Chaudhary et al., 2024; Y. Wang et al., 2018; Xu et al., 2019; Z. Zhou et al., 2022).

Respons inflamasi dipicu oleh PM2.5 yang menyebabkan peningkatan kadar sitokin pro inflamasi seperti IL-6, IL-1β, dan TNF-α yang dapat mengganggu fungsi vascular dan memicu hipertensi (Brook & Rajagopalan, 2009; Thukham-Mee et al., 2025; B. Wang et al., 2022; Y. Wang et al., 2018). PM2.5 dapat dengan cepat mempengaruhi system saraf otonom sehingga menyebabkan ketidakseimbangan yang dapat meningkatkan tekanan darah dalam bebrapa menit setalah terhirup (Brook & Rajagopalan, 2009).

Paparan kronis PM2.5 telah terbukti mengaktifkan RAAS yang menyebabkan peningkatan kadar angiotensin II (Ang II) dan Aldosteron

yang berkontribusi terhadap hipertensi Aktivitas ini berkaitan dengan peningkatan stress oksidatif dan peradangan pada sel endotel vaskulardengan mendorong jalur pro vasokontriksi dan mengurangi kapasitas vasodilator (Du et al., 2020; Xu et al., 2019). Disfungsi ini merupakan contributor signifikan terhadap peningkatan tekanan darah arteri dan perkembangan hipertensi (Du et al., 2020; Xu et al., 2019).

Beban Hipertensi pada Pekerja Pelabuhan

Studi terdahulu menunjukkan prevalensi hipertensi pada pekerja pelabuhan cukup signifikan. Studi crossectional yang melibatkan 200 pekerja pria di terminal peti kemas pelabuhan menunjukkan prevalensi hipertensi sebesar 50,5% (Daud & Elias, 2023). Studi lain di pelabuhan Owendo Gabon melaporkan prevalensi hipertensi sebesar 28,2% diantara 489 pekerja (Coulibaly et al., 2025).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan studi ekologi time series dengan unit waktu bulanan sepanjang tahun 2023. Analisis dilakukan terpisah untuk dua luaran penyakit: Infeksi Saluran Pernafasan Akut (ISPA) dan Hipertensi. Pendekatan ini dipilih untuk menilai hubungan temporal Antara konsentrasi partikulat (PM2.5) dan angka kasus penyakit pada populasi di wilayah studi, dengan pengendalian factor Iklim. dengan menggunakan model Generalized Linier Model(GLM).

Analisis utama menggunakan GLM untuk data hitungan dengan link log dan offset populasi. Bentuk umum model yang digunakan: $\log\{E(Y_t)\}=\log(Popt)+\beta 0+\beta 1PM10t/10+\beta 2\ Suhut+\beta 3\ RHt+\beta 4\ Angint+f(t)$, dengan Yt adalah jumlah kasus pada bulan ke-t dan f(t) adalah representasi musiman (tren linear atau sin/cos). Estimasi awal menggunakan Poisson; karena opsi Negative Binomial tidak tersedia pada instalasi, kami menerapkan koreksi overdispersi dengan scale parameter (Pearson) dan robust (sandwich) standard errors. Hasil dilaporkan sebagai Rate Ratio (RR) beserta 95% CI. Kriteria kecocokan model mencakup Deviance/df dan Pearson x^2/df (~1 diharapkan) serta AIC untuk perbandingan spesifikasi.

Populasi penelitian ini adalah seluruh pekerja TKBM yang berkunjung ke Klinik dan terpapar lingkungan udara di wilayah studi sepanjang tahun 2023. Sampel penelitian ini mencakup 12 bulan tahun 2023 beserta seluruh nilai agregat yang tersedia pada masing-masing bulan seperti jumlah kasus Hipertensi, konsentrasi PM2.5 , Suhu, Kelembaban, dan Kecepatan Angin. Teknik sampling yang digunakan adalah total sampling. yang tinggal , sampel dan teknik sampling. Data yang digunakan adalah data agregat bulanan tanpa identitas individu sehingga penelitian ini tidak memerlukan persetujuan etik individu.

HASIL PENELITIAN

Tabel 1. Hasil Analisis Deskriptif

No	Variabel	Mean	Standar Deviasi (SD)
1.	Jumlah Kasus Hipertensi	40,42	13,43
2.	Kadar PM2.5	57,67	12,32
3.	Kadar Suhu	29,02	0,79

4.	Kadar Kelembaban	78,45	3,64
5.	Kecepatan Angin	2,16	0,39

Berdasarkan hasil deskriptif diatas diketahui bahwa rata-rata jumlah kasus hipertensi per bulan adalah 40,42 dengan SD 13,43, ini menunjukkan adanya variasi yang cukup besar dalam jumlah kasus hipertensi antar bulan. Variasi ini dapat dipengaruhi oleh factor musiman. Rata-rata konsentrasi PM2.5 selama periode tahun 2023 adalah 57,67 μg/m³ dengan standar deviasi sebesar 12,32 μg/m³, ini menunjukkan bahwa kadar PM2.5 di wilayah studi berfluktuasi secara signifikan antar bulan. Tingginya nilai rata-rata ini mengindikasikan paparan polusi udara yang cukup tinggi, yang berpotensi memengaruhi kesehatan para pekerja di pelabuhan.

Suhu rata-rata bulanan tercatat 29,02°C dengan standar deviasi sebesar 0,79°C. Ini menunjukkan bahwa suhu selama tahun 2023 di wilayah studi relatif stabil, dengan variasi yang tidak terlalu besar antara bulan-bulan yang berbeda. Rata-rata kelembaban udara bulanan adalah 78,45% dengan standar deviasi 3,64%. Ini menunjukkan tingkat kelembaban yang relatif stabil dengan sedikit variasi sepanjang tahun, meskipun ada fluktuasi kecil antar bulan.Rata-rata kecepatan angin di wilayah studi adalah 2,16 m/s dengan standar deviasi sebesar 0,39 m/s, menunjukkan adanya variasi kecepatan 5497ngina yang kecil.

Tabel 2. ***Goodnes Of Fit***

No		Value
1.	Pearson Chi Square	0,000
2.	Akaike's Information Criterion (AIC)	89,854
3.	Bayesian Information Criterion (BIC)	95,673
4.	Consistent AIC (CAIC)	107,673

Secara keseluruhan model GLM Poisson yang digunakan memliki fit yang sangat baik berdasarkan hasil statitsik Goodness of Fiit, dengan AIC yang rendah dan Pearson Chi Square yang kecil (<0,05) sehingga menunjukkan model dapat menggambarkan data dengan baik tidak ada masalah overdispersi yang signifikan. Model ini juga mempertimbangkan jumlah parameter dengan menggunakan AIC, BIC, dan CAIC untuk memastikan tidak terjadi overfitting.

Tabel 3. ***Parameter Estimates***

Parameter	B	Std. Error	95% Wald Confident Interval		Hypotesist Tset	
			Lower	Upper	Wald Chi Square	Sig
Intercept	305.493	1.1756E-14	305.493	305.493	6.752E+32	0.00
PM2.5_10=3.41	126.519	2.2180E-14	126.519	126.519	3.254E+31	0.00

PM2.5_10=3.95	54.905	1.8663E-14	54.905	54.905	8.655E+30	0.00
PM2.5_10=4.74	162.037	1.3481E-14	162.037	162.037	1.445E+32	0.00
PM2.5_10=4.79	99.037	1.3481E-14	99.037	99.037	5.397E+31	0.00
PM2.5_10=5.99	75.777	1.7348E-14	75.777	75.777	1.908E+31	0.00
PM2.5_10=6.00	23.803	1.7482E-14	23.803	23.803	1.854E+30	0.00
PM2.5_10=6.42	18.656	1.6430E-14	18.656	18.656	1.289E+30	0.00
PM2.5_10=6.44	56.576	1.7694E-14	56.576	56.576	1.022E+31	0.00
PM2.5_10=6.73	73.548	1.6639E-14	73.548	73.548	1.954E+31	0.00
PM2.5_10=6.88	42.884	1.6114E-14	42.884	42.884	7.083E+30	0.00
PM2.5_10=6.91	78.519	2.2180E-14	78.519	78.519	1.253E+31	0.00

Dari hasil Tabel 3 di atas, dapat disimpulkan bahwa PM2.5 berhubungan signifikan dengan hipertensi, dengan konsentrasi yang lebih tinggi menunjukkan risiko yang lebih besar terhadap hipertensi. Hubungan ini sangat signifikan di setiap kategori PM2.5 yang diuji ($p < 0,001$), dengan koefisien B yang sangat tinggi menunjukkan bahwa paparan PM2.5 memiliki pengaruh yang besar terhadap risiko hipertensi. Model ini memberikan bukti kuat bahwa penurunan paparan PM2.5 dapat menjadi strategi penting untuk mengurangi risiko hipertensi, dan perlu dipertimbangkan dalam kebijakan pengendalian kualitas udara.

PEMBAHASAN

Hasil dari model GLM Poisson dengan link log ini menunjukkan bahwa paparan PM2.5 berhubungan signifikan dengan peningkatan risiko hipertensi. Setiap peningkatan PM2.5 dalam kisaran yang lebih tinggi (misalnya 5.06–5.99 μg/m^3) berhubungan dengan peningkatan risiko hipertensi sebesar 75% hingga lebih dari 160%. Hasil ini konsisten dengan literatur sebelumnya yang menunjukkan bahwa paparan PM2.5 dapat menyebabkan peradangan dan stres oksidatif, yang berkontribusi pada peningkatan resistansi pembuluh darah dan akhirnya menyebabkan hipertensi (Brook & Rajagopalan, 2009; Tang et al., 2020).

Model ini juga menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi PM2.5 di berbagai rentang secara konsisten berhubungan dengan peningkatan risiko hipertensi yang signifikan, yang menggarisbawahi pentingnya pengendalian kualitas udara untuk mengurangi dampak kesehatan pada pekerja di area dengan paparan polusi udara tinggi.

Gaya hidup yang berkaitan dengan kejadian hipertensi seperti kurangnya aktivitas fisik, kebiasaan diet (konsumsi tinggi pada lemak, makanan asin, dan manis, konsumsi mie instan, dan kopi), kurangnya

aktivitas fisik, dan perilaku merokok (Ikhlasia et al., 2025; Purba et al., 2019; Wahidin et al., 2025; Zulkarnain et al., 2022). Obesitas umum dan obesitas sentral sangat berkaitan dengan hipertensi. Individu dengan obesitas gabungan memiliki resiko lebih tinggi, diikuti dengan mereka yang mengalami obesitas umum dan obesitas sentral (Nurdiantami et al., 2018; Purba et al., 2019; Rumaisyah et al., 2023). Kondisi sosial ekonomi berkaitan dengan kejadian hipertensi dimana tingkat pendidikan rendah dan kesenjangan sosial ekonomi berkaitan dengan tingginya angka hipertensi (Christiani et al., 2015).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa PM2.5 memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan risiko hipertensi, terutama pada konsentrasi yang lebih tinggi. Temuan ini mendukung perlunya kebijakan pengendalian polusi udara di wilayah dengan paparan PM2.5 tinggi, seperti di pelabuhan, untuk melindungi kesehatan pekerja dan mencegah dampak negatif jangka panjang pada kesehatan mereka.

DAFTAR PUSTAKA

Aliyyah, N., Kusnoputranto, H., Wispriyono, B., & Fitria, L. (2024). Ambient Particulate Matter With Blood Pressure In Adult Women Living In Urban City. *Kesmas: Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional*, *19*(5), 24–31. Https://Doi.Org/10.21109/Kesmas.V19isp1.1125

Alonso, A., Perona, J. S., Ruiz-Gutiérrez, V., & Martínez-González, M. A. (2010). Olive Oil Consumption And Reduced Incidence Of Hypertension: The Sun Study. In *Olives And Olive Oil In Health And Disease Prevention* (Pp. 801–805). Elsevier Inc. Https://Doi.Org/10.1016/B978-0-12-374420-3.00084-X

Bie, S., Yang, L., Zhang, Y., Huang, Q., Li, J., Zhao, T., Zhang, X., Wang, P., & Wang, W. (2021). Source Appointment Of Pm2.5 In Qingdao Port, East Of China. *Science Of The Total Environment*, *755*. Https://Doi.Org/10.1016/J.Scitotenv.2020.142456

Brook, R. D., & Rajagopalan, S. (2009). Particulate Matter, Air Pollution, And Blood Pressure. *Journal Of The American Society Of Hypertension*, *3*(5), 332–350. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jash.2009.08.005

Chaudhary, F., Ahmed, Z., Fraix, M. P., & Agrawal, D. K. (2024). Air Pollution And The Pathogenesis Of Cardiovascular Disease. In *Advances In Biochemistry In Health And Disease* (Vol. 30, Pp. 133–166). Springer Nature. Https://Doi.Org/10.1007/978-3-031-62806-1_4

Christiani, Y., Byles, J. E., Tavener, M., & Dugdale, P. (2015). Assessing Socioeconomic Inequalities Of Hypertension Among Women In Indonesia's Major Cities. *Journal Of Human Hypertension*, *29*(11), 683–688. Https://Doi.Org/10.1038/Jhh.2015.8

Coulibaly, M. C., Comlan, P., Landimi, P., Maghendji-Nzondo, S., Ibinga, E., & Ngoungou, E. B. (2025). Non-Communicable Disease Burden And Occupational Fitness: A Cross-Sectional Analysis Of Port Industry Workers In Gabon. *Health Research In Africa*, *3*(5), 42–47.

Https://Doi.Org/10.5281/Hra.V3i5.6685

Crocker, I., & Heazell, A. (2010). The Pathophysiology Of Hypertension In Pregnancy. In *Hypertension In Pregnancy* (Pp. 19–34). Cambridge University Press. Https://Doi.Org/10.1017/Cbo9780511902529.004

Daud, N. I. M., & Elias, S. M. (2023). Prevalence Of Hypertension And Its Determinant Factors Among Workers At Port Container Terminal. *Malaysian Journal Of Medicine And Health Sciences*, *19*(S14), 71–79. Https://Doi.Org/10.47836/Mjmhs.19.S14.8

Defianna, S. R., Santosa, A., Probandari, A., & Dewi, F. S. T. (2021). Gender Differences In Prevalence And Risk Factors For Hypertension Among Adult Populations: A Cross-Sectional Study In Indonesia. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, *18*(12). Https://Doi.Org/10.3390/Ijerph18126259

Diana, D. A. I. A. T., & Astini, D. A. A. A. S. (2018). Prevalence Of Hypertension Among Adults In Kintamani Subdistrict-Bali. In N. A.B.D. & A. A.G. (Eds.), *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering* (Vol. 434, Issue 1). Institute Of Physics Publishing. Https://Doi.Org/10.1088/1757-899x/434/1/012322

Du, X., Zeng, X., Zhang, J., Pan, K., Song, L., Zhou, J., Zhou, L., Xie, Y., Sun, Q., Ge, W., Chen, R., Zhao, J., & Kan, H. (2020). Ambient Fine Particulate Matter Induced The Elevation Of Blood Pressure Through Ace2/Ang(1–7) Pathway: The Evidence From Urine Metabolites. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, *203*. Https://Doi.Org/10.1016/J.Ecoenv.2020.111044

Espinosa, R., García-Vera, M. P., & Sanz, J. (2012). Psychosocial Factors Involved In Hypertension Control. *Hipertension Y Riesgo Vascular*, *29*(2), 44–49. Https://Doi.Org/10.1016/J.Hipert.2011.12.002

Fang, T., Wang, T., Zou, C., Guo, Q., Lv, J., Zhang, Y., Wu, L., Peng, J., & Mao, H. (2023). Heavy Vehicles' Non-Exhaust Exhibits Competitive Contribution To Pm2.5 Compared With Exhaust In Port And Nearby Areas. *Environmental Pollution*, *333*. Https://Doi.Org/10.1016/J.Envpol.2023.122124

Ikhlasia, N. F., Syafarina, I., & Latifah, A. L. (2025). Prevalence Of Hypertension In Indonesia: 2018 Basic Health Research. *Kemas*, *20*(3), 425–431. Https://Doi.Org/10.15294/Kemas.V20i3.21685

Karthik Rao, N., Patil, N., Rau, N. R., Jayaprakash, B., Rao, R., Jaunky, C., Ahmed, T., & Varghese, G. (2015). Occupational Stress, Dietary And Socio Economic Factors In A Patient With Hypertension-An Indian Perspective. *Research Journal Of Pharmaceutical, Biological And Chemical Sciences*, *6*(6), 960–964. Https://Www.Scopus.Com/Inward/Record.Uri?Eid=2-S2.0-84951757651&Partnerid=40&Md5=743e5ea9490e303c5801df54698a1978

Kementerian Kesehatan. (2024). *Survei Kesehatan Indonesia (Ski) Dalam Angka*. Https://Drive.Google.Com/Fil

e/D/1rjndg_F8xg6-Y9wmhjunxhj-Vufevvjc/View

Kumar, R., Keshri, K., & Gupta, A. (2025). Spatial Analysis Of Hypertension's Awareness, Treatment And Control In India: Evidence From National Family Health Survey 2019-21. *Bmc Public Health*, *25*(1). Https://Doi.Org/10.1186/S12889-025-23590-7

Nurdiantami, Y., Watanabe, K., Tanaka, E., Pradono, J., & Anme, T. (2018). Association Of General And Central Obesity With Hypertension. *Clinical Nutrition*, *37*(4), 1259–1263. Https://Doi.Org/10.1016/J.Clnu.2017.05.012

Purba, E. N., Santosa, H., & Siregar, F. A. (2019). The Relationship Of Physical Activity And Obesity With The Incidence Of Hypertension In Adults Aged 26-45 Years In Medan. *Open Access Macedonian Journal Of Medical Sciences*, *7*(20), 3464–3468. Https://Doi.Org/10.3889/Oamjms.2019.447

Rumaisyah, R., Fatmawati, I., Arini, F. A., & Octaria, Y. C. (2023). Association Between Types Of Obesity And Hypertension In Young Adults In Indonesia. *Amerta Nutrition*, *7*(2sp), 24–30. Https://Doi.Org/10.20473/Amnt.V7i2sp.2023.24-30

Saraga, D. E., Tolis, E. I., Maggos, T., Vasilakos, C., & Bartzis, J. G. (2019). Pm2.5 Source Apportionment For The Port City Of Thessaloniki, Greece. *Science Of The Total Environment*, *650*, 2337–2354. Https://Doi.Org/10.1016/J.Scitotenv.2018.09.250

Selvaraj, S., Martinez, E. E., Aguilar, F. G., Kim, K.-Y. A., Peng, J., Sha, J., Irvin, M. R., Lewis, C. E., Hunt, S. C., Arnett, D. K., & Shah, S. J. (2016). Association Of Central Adiposity With Adverse Cardiac Mechanics; Findings From The Hypertension Genetic Epidemiology Network Study. *Circulation: Cardiovascular Imaging*, *9*(6). Https://Doi.Org/10.1161/Circimaging.115.004396

Singhal, B., Sidana, N., & Singh, J. (2024). Intersections Of Population Health Management, Pharmacogenomics, And Patient-Centered Care In Hypertension. In *Convergence Of Population Health Management, Pharmacogenomics, And Patient-Centered Care* (Pp. 191–203). Igi Global. Https://Doi.Org/10.4018/979-8-3693-3260-3.Ch009

Wahidin, M., Mustikawati, I. S., Handayani, R., & Letelay, A. M. (2025). Overview Of Hypertension Prevalence And Its Main Risk Factors In Indonesia – A District-Level Data Analysis. *Amerta Nutrition*, *9*(3), 438–442. Https://Doi.Org/10.20473/Amnt.V9i3.2025.438-442

Wang, B., Sun, T., Sun, L., Li, L., Wan, H., Ding, Z., & Ye, X. (2022). Amygdalin Attenuates Pm2.5-Induced Human Umbilical Vein Endothelial Cell Injury Via The Tlr4/Nf-Kb And Bcl-2/Bax Signaling Pathways. *Acta Biochimica Et Biophysica Sinica*, *54*(10), 1476–1485. Https://Doi.Org/10.3724/Abbs.2022136

Wang, Y., Xiong, L., Wu, T., Zhang, T., Kong, L., Xue, Y., & Tang, M. (2018). Analysis Of Differentially Changed Gene Expression In Ea.Hy926 Human Endothelial Cell After Exposure Of Fine Particulate Matter On

The Basis Of Microarray Profile. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, *159*, 213–220. Https://Doi.Org/10.1016/J.Ecoenv.2018.05.002

Wang, Y., Zhang, Y., Li, X., & Cao, J. (2021). Refined Source Apportionment Of Atmospheric Pm2.5 In A Typical City In Northwest China. *Aerosol And Air Quality Research*, *21*(1), 1–11. Https://Doi.Org/10.4209/Aaqr.2020.04.0146

Who. (2025). *Hypertension Factsheet*. Https://Www.Who.Int/News-Room/Fact-Sheets/Detail/Hypertension

Xu, X., Xu, H., Qimuge, A., Liu, S., Wang, H., Hu, M., & Song, L. (2019). Mapk/Ap-1 Pathway Activation Mediates At1r Upregulation And Vascular Endothelial Cells Dysfunction Under Pm2.5 Exposure. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, *170*, 188–194. Https://Doi.Org/10.1016/J.Ecoenv.2018.11.124

Zhang, Z., Liu, B., Meng, H., Shi, L., Wang, J., Wu, J., & Feng, Y. (2022). Study On The Pollution Characteristics And Source Apportionment Of Ambient Pm2.5 In Qingdao Port Area. *Huanjing Kexue Xuebao/Acta Scientiae Circumstantiae*, *42*(11), 293–307. Https://Doi.Org/10.13671/J.Hjkxxb.2022.0149

Zhou, B., Carrillo-Larco, R. M., Danaei, G., Riley, L. M., Paciorek, C. J., Stevens, G. A., Gregg, E. W., Bennett, J. E., Solomon, B., Singleton, R. K., Sophiea, M. K., Iurilli, M. L. C., Lhoste, V. P. F., Cowan, M. J., Savin, S., Woodward, M., Balanova, Y., Cifkova, R., Damasceno, A., … Zuñiga Cisneros, J. (2021). Worldwide Trends In Hypertension Prevalence And Progress In Treatment And Control From 1990 To 2019: A Pooled Analysis Of 1201 Population-Representative Studies With 104 Million Participants. *The Lancet*, *398*(10304), 957–980. Https://Doi.Org/10.1016/S0140-6736(21)01330-1

Zhou, Z., Qin, M., Khodahemmati, S., Li, W., Niu, B., Li, J., Liu, Y., & Gao, J. (2022). Gene Expression In Human Umbilical Vein Endothelial Cells Exposed To Fine Particulate Matter: Rna Sequencing Analysis. *International Journal Of Environmental Health Research*, *32*(9), 2052–2064. Https://Doi.Org/10.1080/09603123.2021.1935785

Zulkarnain, O. F., Firmansyah, Y. W., Ramadhansyah, M. F., Widyawati, A., Rachmawati, I., Muslyana, M., Sukaningtyas, R., Rafika, R., Hardiyanto, A., Nurany, H., Afifah, A. S., & Pratama, A. Y. (2022). A Systematic Literature Review With Meta-Analysis On Risk Factors For Hypertension. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, *14*(3), 201–208. Https://Doi.Org/10.20473/Jkl.V14i3.2022.201-208