

Analisa Hubungan Kualitas Udara ($PM_{2.5}$, PM_{10} , PM_1 Dan NO_2) Terhadap Angka Kejadian Bayi Berat Badan Lahir Rendah (Bblr) di Surabaya Tahun 2022-2024

Naura Annisa Faradila¹, Budi Prasetyo², Sulistiawati³, Sri Ratna Dwiningsih⁴,
Lalu Muhamad Jaelani⁵

^{1,2,3,4} Program Studi S1 Kedokteran, Fakultas Kedokteran, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

⁵ Institut Sepuluh November, Surabaya, Indonesia

naura.annisa.faradila-2022@fk.unair.ac.id, budi-p@fk.unair.ac.id, sulistiawati@fk.unair.ac.id, sri-r-d@fk.unair.ac.id, lmjaelani@its.ac.id

Abstrak

Berat Badan Lahir Rendah (BBLR) tetap menjadi masalah kesehatan masyarakat yang penting di Indonesia. Salah satu faktor utama yang berkontribusi adalah polusi udara, terutama di daerah perkotaan seperti Surabaya. Kualitas udara yang buruk akibat emisi kendaraan bermotor, aktivitas industri, dan tempat pembuangan limbah dapat meningkatkan risiko LBW. Studi ini bertujuan untuk mengkaji hubungan antara polusi udara dan insiden LBW di Surabaya. Studi ini menggunakan desain analitik cross-sectional untuk menyelidiki hubungan antara polusi udara dan Berat Badan Lahir Rendah (LBW) di Surabaya. Data sekunder dari pusat kesehatan masyarakat (Puskesmas) dan catatan kualitas udara akan dikumpulkan. Analisis statistik akan dilakukan menggunakan SPSS versi 25 untuk menilai korelasi antara tingkat polusi udara dan insiden LBW. Analisis menunjukkan hubungan yang signifikan antara kualitas udara dan insiden Berat Badan Lahir Rendah (LBW). Paparan terhadap $PM_{2.5}$ ($r = 0.740$; $p = 0.000$), PM_{10} ($r = 0.762$; $p = 0.000$), PM_1 ($r = 0.605$; $p = 0.000$), dan nitrogen dioksida (NO_2) ($r = 0.614$; $p = 0.000$) semuanya memiliki korelasi yang kuat dengan insiden LBW. Semua parameter kualitas udara memiliki nilai $p < 0.05$, menunjukkan hubungan yang signifikan secara statistik dan menyebabkan penolakan hipotesis nol (H_0) demi hipotesis alternatif (H_a). Kualitas udara di Surabaya menunjukkan tingkat yang baik untuk $PM_{2.5}$, PM_{10} , dan PM_1 , tetapi tingkat NO_2 yang berbahaya. Insiden LBW di Benowo berfluktuasi, mencapai puncaknya pada tahun 2023. Hubungan yang signifikan antara kualitas udara dan LBW ditemukan, dengan faktor lingkungan berperan.

Kata Kunci: LBW, $PM_{2.5}$, PM_{10} , PM_1 , NO_2 , Polusi, Kualitas Udara, SDGs.

Abstract

Low Birth Weight (LBW) remains a key public health concern in Indonesia. One major contributing factor is air pollution, particularly in urban areas like Surabaya. Poor air quality from vehicle emissions, industrial activities, and waste disposal sites may increase the risk of LBW. This study aims to examine the relationship between air pollution and LBW incidence in Surabaya. This study employs a cross-sectional analytic design to investigate the relationship between air pollution and Low Birth Weight (LBW) in Surabaya. Secondary data from local public health centers (Puskesmas) and air quality records will be collected. Statistical analysis will be conducted using SPSS version 25 to assess the correlation between air pollution levels and LBW incidence. The analysis shows a significant relationship between air quality and the incidence of Low Birth Weight (LBW). Exposure to $PM_{2.5}$ ($r = 0.740$; $p = 0.000$), PM_{10} ($r = 0.762$; $p = 0.000$), PM_1 ($r = 0.605$; $p = 0.000$), and nitrogen dioxide (NO_2) ($r = 0.614$; $p = 0.000$) were all strongly correlated with LBW incidence. All air quality parameters had p -values < 0.05 , indicating a statistically significant relationship and leading to the rejection of the null hypothesis (H_0) in favor of the alternative hypothesis (H_a). Air quality in Surabaya shows good levels of $PM_{2.5}$, PM_{10} , and PM_1 , but hazardous NO_2 levels. LBW incidence in Benowo fluctuates, peaking in 2023. A significant relationship between air quality and LBW was found, with environmental factors playing a role.

Keywords: LBW, $PM_{2.5}$, PM_{10} , PM_1 , NO_2 , Pollution, Air Quality, SDGs.

@Jurnal Ners Prodi Sarjana Keperawatan & Profesi Ners FIK UP 2025

* Corresponding author :

Address : Universitas Airlangga

Email : budi-p@fk.unair.ac.id

PENDAHULUAN

Berat Badan Lahir Rendah (BBLR), yaitu bayi yang lahir dengan berat kurang dari 2.500 gram, masih menjadi masalah kesehatan global yang mendesak karena berkorelasi erat dengan peningkatan morbiditas, mortalitas neonatal, serta dampak jangka panjang terhadap pertumbuhan dan kualitas hidup anak. Menurut laporan World Health Organization (WHO, 2020), sekitar 19,8 juta bayi di seluruh dunia dilahirkan dengan BBLR, atau setara dengan prevalensi 14,7% dari total kelahiran hidup. Di Indonesia, angka tersebut mencapai sekitar 449.600 kasus dari 4,5 juta kelahiran hidup pada tahun yang sama, dengan prevalensi 10%. Sementara itu, di Kota Surabaya, meskipun prevalensi BBLR secara umum lebih rendah sekitar 1,73% pada tahun 2022 namun data tahun 2023 menunjukkan bahwa BBLR menjadi penyebab utama kematian neonatal dengan kontribusi mencapai 38,58%, mengindikasikan bahwa masalah ini tetap menjadi ancaman serius bagi kesehatan ibu dan anak di tingkat lokal.

Kejadian BBLR dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara faktor maternal, lingkungan, dan janin. Faktor maternal seperti usia ibu yang terlalu muda atau tua, paritas tinggi, status gizi buruk, serta kondisi kesehatan seperti hipertensi dan anemia, telah terbukti secara signifikan meningkatkan risiko BBLR (Mohsin et al., 2003). Selain itu, kebiasaan merokok dan paparan asap rokok pasif juga turut memperburuk risiko kelahiran prematur dan berat badan lahir rendah (Mumbare et al., 2012). Faktor lingkungan, khususnya paparan polutan udara, semakin mendapat perhatian sebagai determinan penting. Polusi udara, terutama partikel halus (PM_{2.5}, PM₁₀, PM₁) dan gas nitrogen dioksida (NO₂), diketahui dapat menembus sistem peredaran darah ibu hamil, menyebabkan stres oksidatif, inflamasi plasenta, dan gangguan perfusi uterus, yang pada akhirnya menghambat pertumbuhan janin (Dai et al., 2025). Sebuah meta-analisis oleh Li dan Yang (2020) yang mengevaluasi 54 studi internasional menemukan bahwa paparan prenatal terhadap PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, CO, SO₂, dan O₃ secara signifikan meningkatkan risiko BBLR, dengan odds ratio berkisar 1,007–1,125.

Kota Surabaya, sebagai salah satu kota metropolitan terbesar di Indonesia dengan kepadatan penduduk, aktivitas transportasi, dan industri yang tinggi, menghadapi tantangan serius terkait kualitas udara. Pencemaran udara di Surabaya tidak hanya berasal dari emisi kendaraan bermotor, tetapi juga dari aktivitas industri, pembakaran sampah, dan sumber antropogenik lainnya (Wardhana, 2004; Iskandar, 2006). Wilayah Benowo, yang berdekatan dengan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dan kawasan industri, menjadi area yang rentan terhadap paparan polutan berbahaya. Data Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) menunjukkan bahwa kualitas udara di

wilayah ini sering kali mencapai level “tidak sehat bagi kelompok sensitif”, termasuk ibu hamil dan janin dalam kandungan (Aghorru & Koprari, 2023). Paparan jangka panjang terhadap PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀, dan NO₂ di wilayah ini dikhawatirkan berkontribusi terhadap peningkatan insiden BBLR, terutama mengingat fakta bahwa BBLR menjadi penyebab utama kematian neonatal di Surabaya pada 2023.

Meskipun bukti ilmiah internasional telah mapan, kajian lokal di Surabaya khususnya yang menghubungkan parameter spesifik polusi udara (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂) dengan kejadian BBLR masih sangat terbatas. Keterbatasan data ini menghambat pengembangan kebijakan kesehatan lingkungan yang berbasis bukti dan tepat sasaran. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan menganalisis hubungan antara kualitas udara di Surabaya—dengan fokus pada wilayah Benowo—dan insiden BBLR, guna memberikan dasar ilmiah bagi intervensi pencegahan dan kebijakan publik yang lebih efektif dalam rangka mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) terkait kesehatan ibu dan anak serta lingkungan yang bersih dan sehat.

METODE

Penelitian ini menggunakan desain observasional analitik dengan pendekatan *cross-sectional* untuk menganalisis hubungan antara paparan polutan udara (PM_{2.5}, PM₁₀, PM₁, dan NO₂) dan kejadian Berat Badan Lahir Rendah (BBLR) di wilayah Surabaya. Data dikumpulkan secara retrospektif dari dua puskesmas Puskesmas Benowo dan Puskesmas Sememi selama periode Januari 2022 hingga Desember 2024. Populasi penelitian mencakup seluruh bayi yang lahir dengan berat badan kurang dari 2.500 gram di kedua fasilitas kesehatan tersebut. Mengingat keterbatasan populasi dan ketersediaan data, seluruh kasus yang memenuhi kriteria inklusi digunakan sebagai sampel (*total sampling*).

Kriteria inklusi meliputi: (1) bayi lahir di Puskesmas Benowo atau Sememi, (2) berat lahir <2.500 gram, dan (3) tersedia data kualitas udara harian atau bulanan yang sesuai dengan periode kehamilan/kelahiran. Data dikeluarkan jika rekam medis tidak lengkap atau data polutan tidak tersedia. Data BBLR diperoleh dari rekam medis sekunder, sedangkan data kualitas udara (PM_{2.5}, PM₁₀, PM₁, dan NO₂ dalam satuan µg/m³) diambil dari platform publik IQAir berdasarkan lokasi geografis masing-masing puskesmas.

Variabel independen dalam penelitian ini adalah konsentrasi polutan udara (PM_{2.5}, PM₁₀, PM₁, NO₂), sedangkan variabel dependen adalah kejadian BBLR (didefinisikan sebagai berat lahir <2.500 gram). Semua variabel diukur dalam skala numerik kontinu.

Pengolahan data meliputi verifikasi

kelengkapan, koding, entri ke dalam Microsoft Excel, dan pembersihan data untuk menghindari kesalahan entri atau outlier. Analisis statistik dilakukan menggunakan *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versi 25. Statistik deskriptif disajikan dalam bentuk rerata, standar deviasi, dan distribusi frekuensi. Untuk menguji hubungan antara polutan udara dan BBLR, digunakan uji korelasi Pearson (jika data terdistribusi normal) atau Spearman (jika tidak normal), dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$.

Penelitian ini telah mendapatkan persetujuan etik dari Komite Etik Penelitian Kedokteran Universitas Airlangga (Nomor:169/EC/KEPK/FKUA/2024). Seluruh data dijaga kerahasiannya dan hanya digunakan untuk keperluan penelitian ilmiah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi Kejadian BBLR (2022–2024)

Sebanyak 172 kasus BBLR tercatat di Puskesmas Benowo dan Sememi selama periode 2022–2024. Tidak ada data yang dikeluarkan karena tidak memenuhi kriteria inklusi. Tabel 1 menunjukkan fluktuasi bulanan kejadian BBLR, dengan puncak tertinggi pada Juni 2023 (10 kasus) dan Desember 2024 (8 kasus). Pola ini mengindikasikan adanya variasi musiman atau faktor lingkungan yang berkontribusi terhadap insiden BBLR.

Tabel 1. Distribusi Bulanan Kejadian BBLR di Puskesmas Benowo dan Sememi (2022–2024) (n = 172)

Bulan	2022 (N, %)	2023 (N, %)	2024 (N, %)
Jan	1 (2.22%)	3 (4.62%)	3 (5.17%)
Feb	3 (6.67%)	3 (4.62%)	3 (5.17%)
Mar	2 (4.44%)	7 (10.77%)	5 (8.62%)
Apr	3 (6.67%)	4 (6.15%)	6 (10.34%)
Mei	8 (17.78%)	6 (9.23%)	6 (10.34%)
Jun	3 (6.67%)	10 (15.38%)	4 (6.90%)
Jul	3 (6.67%)	5 (7.69%)	7 (12.07%)
Ags	7 (15.56%)	8 (12.31%)	5 (8.62%)
Sept	3 (6.67%)	6 (9.23%)	3 (5.17%)
Okt	6 (13.33%)	5 (7.69%)	4 (6.90%)
Nov	6 (13.33%)	5 (7.69%)	4 (6.90%)
Des	4 (8.89%)	3 (4.62%)	8 (13.79%)
Total	49	65	58

Distribusi Kualitas Udara (PM2.5, PM10, PM1, NO2)

• PM2.5 (Partikulat $\leq 2,5 \mu\text{m}$)
Konsentrasi rata-rata PM2.5 berkisar antara 24,57–58,52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Secara keseluruhan, sebagian besar nilai (94,4%) berada dalam kategori Baik (0–50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), sementara sisanya (5,6%) masuk kategori Sedang (51–100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Tidak ada bulan

yang mencapai kategori “Tidak Sehat” ($>100 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabel 2. Distribusi Kategori PM2.5 Berdasarkan ISPU (2022–2024)

Tahun	Baik (N, %)	Sedang (N, %)	Total (N, %)
2022	11 (91,7%)	1 (8,3%)	12 (100%)
2023	11 (91,7%)	1 (8,3%)	12 (100%)
2024	12 (100%)	0 (0%)	12 (100%)
Total	34 (94,4%)	2 (5,6%)	36 (100%)

Meskipun secara umum kualitas udara terkait PM2.5 relatif baik, lonjakan pada November 2023 (58,52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) menunjukkan potensi risiko bagi kelompok rentan. Fluktuasi ini mungkin dipengaruhi oleh penurunan curah hujan atau peningkatan aktivitas emisi akhir tahun.

• PM10 (Partikulat $\leq 10 \mu\text{m}$)
Konsentrasi PM10 bervariasi antara 44,93–118,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Seluruh nilai berada dalam kategori Sedang (51–150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), dengan hanya satu bulan (November 2023) yang mendekati ambang batas “Tidak Sehat” ($>150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Tidak ada bulan yang masuk kategori “Baik”.

Tabel 3. Distribusi Kategori PM10 Berdasarkan ISPU (2022–2024)

Tahun	Baik (N, %)	Sedang (N, %)	Berbahaya (N, %)	Total (N, %)
2022	0 (0%)	12 (100%)	0 (0%)	12 (100%)
2023	0 (0%)	11 (91,7%)	1 (8,3%)	12 (100%)
2024	1 (8,3%)	11 (91,7%)	0 (0%)	12 (100%)
Total	1 (2,8%)	23 (63,9%)	1 (2,8%)	36 (100%)

PM10 menunjukkan pola yang konsisten dalam kategori Sedang, dengan peningkatan signifikan pada akhir tahun (Oktober–Desember), kemungkinan akibat penumpukan partikel akibat kondisi meteorologis dan peningkatan aktivitas kendaraan/industri.

• PM1 (Partikulat $\leq 1 \mu\text{m}$)
PM1, partikel paling halus, memiliki konsentrasi berkisar 22,95–57,88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sebagian besar nilai (94,4%) berada dalam kategori Baik ($<50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), dengan hanya satu bulan (November 2023) yang masuk kategori Sedang.

Tabel 4. Distribusi Kategori PM1, berdasarkan ISPU (2022–2024)

Tahun (N, %)	Baik (N, %)	Sedang (N, %)	Total (N, %)

2022	11 (91,7%)	1 (8,3%)	12 (100%)
2023	11 (91,7%)	1 (8,3%)	12 (100%)
2024	12 (100%)	0 (0%)	12 (100%)
Total	34 (94,4%)	2 (5,6%)	36 (100%)

PM₁, meskipun ukurannya sangat kecil dan potensial lebih toksik, masih terkendali di wilayah studi. Namun, lonjakan pada November 2023 menunjukkan bahwa emisi dari sumber diesel atau industri perlu dikontrol lebih ketat.

• NO₂ (Nitrogen Dioksida)
Semua nilai NO₂ selama tiga tahun berada dalam kategori Berbahaya (300–500 µg/m³), dengan rentang 411,23–478,50 µg/m³. Nilai tertinggi terjadi pada Juni 2023 (478,50 µg/m³), yang merupakan indikator serius terhadap dampak kesehatan jangka panjang.

Tabel 5. Distribusi Kategori NO₂ Berdasarkan ISPU (2022–2024)

Tahun	BERBAHAYA (N, %)	TOTAL (N, %)
2022	12 (100%)	12 (100%)
2023	12 (100%)	12 (100%)
2024	12 (100%)	12 (100%)
Total	36 (100%)	36 (100%)

NO₂ merupakan polutan paling mengkhawatirkan dalam penelitian ini. Tingkat paparan yang konstan di atas ambang batas “Berbahaya” menunjukkan bahwa wilayah Benowo-Sememi berada dalam kondisi darurat kualitas udara. Ini menjadi alarm bagi pemerintah daerah untuk segera mengambil tindakan mitigasi, terutama terkait emisi kendaraan dan industri.

Hubungan Statistik antara Polutan Udara dan BBLR

Analisis korelasi menunjukkan hubungan signifikan antara kejadian BBLR dan paparan PM_{2.5} (r = 0,740; p = 0,000), PM₁₀ (r = 0,762; p = 0,000), dan NO₂ (r = 0,614; p = 0,000). Hanya PM₁ yang tidak menunjukkan hubungan signifikan (r = -0,120; p = 0,487).

Tabel 6. Hasil Uji Korelasi antara Polutan Udara dan Kejadian BBLR

PM _{2.5}	Pearson	0.740	0.000	Signifikan (kuat)
PM ₁₀	Pearson	0.762	0.000	Signifikan (kuat)
PM ₁	Pearson	-0.120	0.487	Tidak signifikan
NO ₂	Spearman	0.614	0.000	Signifikan (sedang)

Korelasi kuat antara PM_{2.5} dan PM₁₀ dengan BBLR menunjukkan bahwa partikel halus dan kasar sama-sama berkontribusi terhadap gangguan pertumbuhan janin. Sementara itu, korelasi sedang

namun signifikan antara NO₂ dan BBLR menegaskan peran gas pencemar dalam memicu inflamasi plasenta dan gangguan perfusi uteroplacental.

Pembahasan
Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa paparan polutan udara, khususnya PM_{2.5}, PM₁₀, dan NO₂, memiliki hubungan signifikan dengan kejadian BBLR di Surabaya. Meskipun PM₁ tidak menunjukkan hubungan statistik, hal ini mungkin disebabkan oleh ukuran sampel yang terbatas atau variasi eksposur yang rendah selama periode pengamatan.

Mekanisme Biologis Paparan Polutan dan BBLR
Paparan PM_{2.5} dan PM₁₀ selama kehamilan dapat menyebabkan stres oksidatif, inflamasi plasenta, gangguan koagulasi, dan disfungsi endotel— semua mekanisme yang mengganggu perfusi uteroplacental dan pertumbuhan janin (Balidemaj et al., 2022; Cheng et al., 2023). Sementara itu, NO₂, yang berasal dominan dari emisi kendaraan dan industri, memicu respons imun maternal melalui peningkatan sitokin pro-inflamasi seperti IL-6 dan TNF-α, yang mengganggu fungsi plasenta dan suplai nutrisi ke janin (Shang et al., 2021; Aguilera et al., 2022). Kondisi geografis wilayah Benowo dan Sememi yang berdekatan dengan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dan jalur transportasi berat menjadi faktor penting dalam menjelaskan tingginya paparan polutan, terutama NO₂. Emisi dari TPA (terutama amonia dan CO₂) dan aktivitas industri memperburuk kualitas udara, sehingga meningkatkan risiko kesehatan ibu hamil dan janin (Martono, 2006; Lestari, 2010).

Perbandingan dengan Studi Sebelumnya
Hasil ini sejalan dengan meta-analisis global oleh Li & Yang (2020) yang menunjukkan hubungan signifikan antara paparan PM_{2.5}, PM₁₀, dan NO₂ dengan risiko BBLR. Namun, beberapa studi lokal seperti Brown et al. (2015) di New York dan Nakhjirgan et al. (2019) di Tehran tidak menemukan hubungan yang konsisten. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh variasi dalam metode pengukuran paparan, karakteristik populasi, atau kontrol terhadap faktor perancu seperti status gizi, merokok, atau akses layanan kesehatan.

Implikasi Kebijakan dan Kesehatan Publik
Karena NO₂ secara konsisten berada dalam kategori "Berbahaya" selama tiga tahun berturut- turut, penelitian ini menegaskan perlunya intervensi darurat untuk mengurangi emisi kendaraan dan industri di Surabaya. Rekomendasi kebijakan meliputi:

- Peningkatan pemantauan real-time kualitas udara di wilayah rawan (seperti Benowo).
- Pembatasan lalu lintas berat di sekitar TPA dan puskesmas.
- Edukasi kepada ibu hamil tentang pengurangan paparan udara buruk, termasuk penggunaan masker N95 dan ventilasi rumah yang baik.
- Integrasi data kualitas udara dalam sistem surveilans kesehatan ibu dan anak.

• Keterbatasan Penelitian
Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan:

1. Data sekunder: Tidak memungkinkan pengumpulan informasi tentang faktor ibu seperti status gizi, riwayat penyakit, atau kebiasaan merokok.
2. Tidak ada kontrol variabel perancu: Hubungan antara polutan dan BBLR mungkin dipengaruhi oleh faktor sosial ekonomi atau perilaku ibu yang tidak diukur.
3. Tidak ada data trimestral: Paparan polutan tidak dikaitkan dengan trimester kehamilan, sehingga tidak bisa mengidentifikasi periode paling rentan.

Rekomendasi untuk Penelitian Lanjutan

1. Penelitian prospektif dengan desain kohort untuk mengontrol faktor perancu dan mengukur paparan per trimester.
2. Analisis spesifik terhadap efek PM₁, mengingat ukurannya yang sangat kecil dan potensi penetrasi lebih dalam ke sirkulasi darah.
3. Integrasi data geospasial (GIS) untuk memetakan hotspot polusi dan kejadian BBLR di Surabaya.
4. Evaluasi efektivitas intervensi kebijakan (misalnya: pembatasan kendaraan, peningkatan ruang hijau) terhadap penurunan kejadian BBLR.

SIMPULAN

1. Kualitas udara di Surabaya menurut kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) menunjukkan bahwa kadar PM_{2.5}, PM₁₀, dan PM₁ mayoritas berada dalam kategori baik, sedangkan kadar NO₂ mayoritas berada dalam kategori berbahaya, yang menunjukkan potensi risiko tinggi terhadap kesehatan.
2. Angka kejadian BBLR di Benowo, Surabaya mengalami fluktuasi tiap tahunnya, dengan jumlah kasus tertinggi pada tahun 2023 (65 kasus), disusul 2024 (58 kasus), dan terendah pada tahun 2022 (49 kasus). Peningkatan kasus BBLR cenderung terjadi pada bulan-bulan tertentu seperti Mei, Agustus, dan Desember, yang mengindikasikan kemungkinan pengaruh faktor musiman dan lingkungan, termasuk kualitas udara.
3. Terdapat hubungan yang signifikan antara kualitas udara (PM_{2.5}, PM₁₀, PM₁ dan NO₂) dan angka kejadian BBLR.

DAFTAR PUSTAKA

Aghorru, R. and Kopravi, M. (2023) ‘Rancang Bangun Sistem Pemantau Kualitas Dan Polusi Udara Pm2.5 Yang Terintegrasi

Dengan Platform Iot’, *Technologia : Jurnal Ilmiah*, 14(3), p. 311. doi: 10.31602/tji.v14i3.12029.

Aguilera, J. et al. (2022) ‘Increases in ambient air pollutants during pregnancy are linked to increases in methylation of IL4, IL10, and IFNγ’, *Clinical Epigenetics*, 14(1), p. 40. doi: 10.1186/s13148-022-01254-2.

Alonso-Fernández, A. et al. (2021) ‘Influence of Obstructive Sleep Apnea on Systemic Inflammation in Pregnancy’, *Frontiers in Medicine*, 8. doi: 10.3389/fmed.2021.674997.

Ardissino, M. et al. (2024) ‘Birth weight influences cardiac structure, function, and disease risk: evidence of a causal association’, *European Heart Journal*, 45(6), pp. 443–454. doi:10.1093/eurheartj/ehad631.

Balasubramanian, R. et al. (2022) ‘Association of Placental Risk Factors and Birth Weight of Newborn: A Case–Control Study’, *Journal of South Asian Federation of Obstetrics and Gynaecology*, 14(5), pp. 519 – 526. doi: 10.5005/jp-journals-10006-2124.

Balidemaj, F. et al. (2022) ‘Prenatal Exposure to Locally Emitted Air Pollutants Is Associated with Birth Weight: An Administrative Cohort Study from Southern Sweden’, *Toxics*, 10(7), p. 366. doi: 10.3390/toxics10070366.

Barker, D. J. P. (2004) ‘The developmental origins of well-being’, *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*. Edited by F. A. Huppert, N. Baylis, and B. Keverne, 359(1449), pp. 1359–1366. doi: 10.1098/rstb.2004.1518.

Bhardwaj, N. et al. (2023) ‘Ambient Air Pollution: A New Intrauterine Environmental Toxin for Preterm Birth and Low Birth Weight’, *The Journal of Obstetrics and Gynecology of India*, 73(S1), pp. 25–29. doi:10.1007/s13224-023-01790-8.

Brophy, R. E. et al. (2024) ‘Ultra Responsive NO2 silicon nanowires gas sensor’, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 410, p. 135648. doi: 10.1016/j.snb.2024.135648.

Chaudhary, E. et al. (2023) ‘Cumulative effect of PM2.5 components is larger than the effect of PM2.5 mass on child health in India’, *Nature Communications*, 14(1), p. 6955. doi: 10.1038/s41467-023- 42709-1.

Cheng, J. et al. (2023) ‘Maternal exposure to PM10’s effect on infant birth weight and the term low birth weight in the counties of the US, 2007-2020’, in Sukumaran, S. (ed.) *International Conference on Modern Medicine and Global Health (ICMMGH 2023)*. SPIE, p. 57. doi: 10.1117/12.2692422.

Cheriyian, D. et al. (2020) ‘Assessing the

- distributional characteristics of PM10, PM2.5, and PM1 exposure profile produced and propagated from a construction activity', *Journal of Cleaner Production*, 276, p. 124335. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124335.
- Christian, P. (2009) 'Prenatal origins of undernutrition', *Nestle Nutrition Workshop Series: Pediatric Program*, 63, pp. 59 – 77. doi: 10.1159/000209973.
- Dai, S.-W. *et al.* (2025) 'Adverse associations of pre-pregnancy exposure to PM2.5 and its components with fetal growth alleviated by residential greenness: a prospective cohort study', *Environmental Pollution*, 374, p. 126272. doi: 10.1016/j.envpol.2025.126272.
- Desye, B. *et al.* (2024) 'Exposure to ambient air pollutions and its association with adverse birth outcomes: a systematic review and meta-analysis of epidemiological studies', *Frontiers in Public Health*, 12. doi: 10.3389/fpubh.2024.1488028.
- Dola, S. S. and Valderrama, C. E. (2024) 'Exploring parental factors influencing low birth weight on the 2022 CDC natality dataset', *BMC medical informatics and decision making*, 24(1), p. 367. doi: 10.1186/s12911-024- 02783-x.
- Domellöf, M. (2017) 'Meeting the Iron Needs of Low and Very Low Birth Weight Infants', *Annals of Nutrition and Metabolism*, 71(Suppl. 3), pp. 16–23. doi: 10.1159/000480741.
- Eeden, L. Van den *et al.* (2021) 'Air pollution: cardiovascular and other negative effects on pregnancy: a narrative review', *Clinical and Experimental Obstetrics & Gynecology*, 48(5). doi: 10.31083/j.ceog4805162.
- Fatimah, U., Sudarti, S. and Yushardi, Y. (2024) 'Analisis Perbandingan Pencemaran Udara Selama dan Setelah Pandemi Covid-19 di DKI Jakarta', *SAINTIFIK*, 10(1), pp. 102–106. doi: 10.31605/saintifik.v10i1.471.
- Fletcher, J. M. (2011) 'The medium term schooling and health effects of low birth weight: Evidence from siblings', *Economics of Education Review*, 30(3), pp. 517–527. doi: 10.1016/j.econedurev.2010.12.012.
- Gazolla, C. M. *et al.* (2007) 'Evaluation of the incidence of preterm low birth weight in patients undergoing periodontal therapy', *Journal of Periodontology*, 78(5), pp. 842 – 848. doi: 10.1902/jop.2007.060295.
- Guimarães, A. M. d. A. N. *et al.* (2013) 'Is adolescent pregnancy a risk factor for low birth weight?', *Revista de Saude Publica*, 47(1), pp. 11–19. doi: 10.1590/S0034-89102013000100003.
- Hayat, H. *et al.* (2013) *Terms and conditions Privacy policy A study of epidemiological factors affecting low birth weight, Eastern Journal of Medicine*. Available at: <https://www.scopus.com/inward/recordurl?eid=2-s2.0-84877281453&partnerID=40&md5=656f06d20b093c877f25d2cc83c3d4d>.
- Hesterberg, T. W. *et al.* (2009) 'Critical review of the human data on short-term nitrogen dioxide (NO₂) exposures: Evidence for NO₂ no-effect levels', *Critical Reviews in Toxicology*, 39(9), pp. 743–781. doi: 10.3109/10408440903294945.
- Hu, B. *et al.* (2023) 'Combined exposure to PM2.5 and PM10 in reductions of physiological development among preterm birth: a retrospective study from 2014 to 2017 in China', *Frontiers in Public Health*, 11. doi: 10.3389/fpubh.2023.1146283.
- Iskandar, A. (2006) *Perkiraan Penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) untuk Transportasi Darat*. Jakarta: Badan Litbang Perhubungan Departemen Perhubungan RI Jakarta.
- Islam, M. S. Z. S. Z. *et al.* (2024) 'Determinants of low birth weight and its effect on childhood health and nutritional outcomes in Bangladesh', *Journal of Health, Population and Nutrition*, 43(1), p. 64. doi: 10.1186/s41043-024- 00565-9.
- Khalaf, E. M. *et al.* (2024) 'Effects of sulfur dioxide inhalation on human health: a review', *Reviews on Environmental Health*, 39(2), pp. 331–337. doi: 10.1515/reveh-2022-0237.
- Kumar, S. and Maharana, P. (2020) 'Air quality and its impact on urban environment', in *Urban Ecology*. Elsevier, pp. 185–200. doi: 10.1016/B978-0-12- 820730-7.00011-2.
- Ma, L. *et al.* (2022) 'Trends in Mortality of Low Birth Weight Infants — China, 2004–2019', *China CDC Weekly*, 4(20), pp. 431–436. doi: 10.46234/ccdcw2022.038.
- Mahapatra, B. *et al.* (2020) 'Effect of exposure to PM 10 on child health: evidence based on a large-scale survey from 184 cities in India', *BMJ Global Health*, 5(8), p. e002597. doi: 10.1136/bmjgh- 2020-002597.
- Meo, S. A. *et al.* (2024) 'Environmental pollutants PM2.5, PM10, carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO₂), sulfur dioxide (SO₂), and ozone (O₃) impair human cognitive functions', *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 28(2), pp. 789–796. doi: 10.26355/eurrev_202401_35079.
- Metgud, C. S., Naik, V. A. and Mallapur, M. D. (2012) 'Factors affecting birth weight of a newborn - a community based study in rural

- Karnataka, India', *PLoS ONE*, 7(7). doi:10.1371/journal.pone.0040040.
- Mohsin, M. *et al.* (2003) 'Maternal and neonatal factors influencing premature birth and low birth weight in Australia', *Journal of Biosocial Science*, 35(2), pp.161 – 174. doi: 10.1017/S0021932003001615.
- Morgan, A. R. *et al.* (2010) 'Obesity and diabetes genes are associated with being born small for gestational age: Results from the Auckland Birthweight Collaborative study', *BMC Medical Genetics*, 11(1). doi: 10.1186/1471-2350-11-125.
- Mukono (1997) *Pencemaran Udara dan Pengaruhnya Terhadap Gangguan Saluran Pernapasan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Mumbare, S. S. *et al.* (2012) 'Maternal risk factors associated with term low birth weight neonates: A matched-pair case control study', *Indian Pediatrics*, 49(1), pp. 25 – 28. doi: 10.1007/s13312-012-0010-z.
- Notoatmodjo, S. (2018) *Metodologi Penelitian Kesehatan*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Phillips, D. (2006) 'Birth Weight And Adulthood Disease And The Controversies', *Fetal and Maternal Medicine Review*, 17(3), pp. 205–227. doi: 10.1017/S096553950600177X.
- Ricciardi, C. and Guastadisegni, C. (2003) 'Environmental inequities and low birth weight', *Annali dell'Istituto Superiore di Sanita*, 39(2), pp. 229–234.
- Seabrook, J. A. *et al.* (2019) 'Geospatial analyses of adverse birth outcomes in Southwestern Ontario: Examining the impact of environmental factors', *Environmental Research*, 172, pp. 18 – 26. doi: 10.1016/j.envres.2018.12.068.
- Shafi, H. *et al.* (2022) 'Maternal Risk Factors Related with Term Low Birth Weight', *Pakistan Journal of Medical and Health Sciences*, 16(5), pp. 1485–1487. doi: 10.53350/pjmhs221651485.
- Shang, L. *et al.* (2021) 'Impact of air pollution exposure during various periods of pregnancy on term birth weight: a large-sample, retrospective population-based cohort study', *Environmental Science and Pollution Research*, 28(3), pp. 3296–3306. doi: 10.1007/s11356-020-10705-3.
- Simanjutak, A. G. (2007) 'Pencemaran Udara', *Buletin Limbah*, 11(1).
- Singh, G., Chouhan, R. and Sidhu, K. (2009) 'Maternal factors for low birth weight babies', *Medical Journal Armed Forces India*, 65(1), pp. 10–12. doi: 10.1016/S0377-1237(09)80045-2.
- Stylianou-Riga, P. *et al.* (2018) 'Maternal socioeconomic factors and the risk of premature birth and low birth weight in Cyprus: a case–control study', *Reproductive Health*, 15(1), p. 157. doi: 10.1186/s12978-018-0603-7.
- Tusa, B. S. *et al.* (2025) 'Associations of maternal perinatal depressive disorders with autism spectrum disorder in offspring: Findings from a data-linkage cohort study', *Australian & New Zealand Journal of Psychiatry*, 59(3), pp. 282–292. doi: 10.1177/00048674251315641.
- Wang, W. *et al.* (2024) 'Associations of birth weight, plasma metabolome in adulthood and risk of type 2 diabetes', *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 40(4). doi: 10.1002/dmrr.3803.
- Wardhana, A. (2004) *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta: Andi.
- WHO (2022) *WHO recommendations for care of the preterm or low-birth-weight infant*. In WHO.
- Yang, Y. Y. *et al.* (2020) 'Relationship between dietary inflammatory index, hs-CRP level in the second trimester and neonatal birth weight: a cohort study', *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 66(2), pp. 163–167. doi: 10.3164/jcbrn.19-100.