ZONA
Jurnal Lingkungan
ISSN : 2502-6496 (Print)
ISSN : 2775-4065 (Online)

Volume 10, No 2, Oktober 2026, p.110-116
http://zona.pelantarpress.co.id
https://doi.org/10.52364/zona.v10i2.250

RESEARCH ARTICLE OPEN ACCESS

Penilaian Pola Konsentrasi, Alokasi Sumber, dan Risiko Paparan PFAS Pada Debu Luar Ruangan di Iquitos, Peru

Nandina Salsabila Putri Santana*
Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Jl. Rungkut Madya No.1, Gunung Anyar, Kec. Gunung Anyar, Kota Surabaya, Jawa Timur 60294, Indonesia

**Correspondent email: nandinasb@gmail.com*

Diterima: 13 Mei 2026| Disetujui: 30 Oktober 2026 | Diterbitkan: 31 Oktober 2026

Abstract: *Despite the ubiquitous threat of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS), assessments of their accumulation in urban environments remain notably scarce in developing Amazonian cities.To bridge this knowledge deficit, the occurrence, emission origins, and exposure hazards of settled outdoor dust were systematically evaluated across ambient public spaces in Iquitos, Peru.Fourteen particulate samples from exterior environments were quantified via liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS), coupled with advanced receptor modeling.Spatial analysis revealed that exterior environments were heavily characterized by 6:2 fluorotelomer sulfonate (6:2 FTS), which constituted over half (56.6%) of the ambient analyte mass.Multivariate apportionment leveraging Positive Matrix Factorization (PMF) and Principal Component Analysis (PCA) delineated the emission landscape.Exterior pollution was driven by three primary factors: industrial surfactant runoff, vehicle-related abrasion in high-traffic zones, and municipal solid waste degradation.Furthermore, toxicological modeling highlighted severe pediatric vulnerabilities, with Hazard Quotients for specific compounds, such as 6:2 FTCA, exponentially exceeding safe thresholds for children.Ultimately, this investigation provides foundational evidence of pervasive fluorinated contamination in the region, demonstrating that external high-traffic zones serve as critical repositories requiring targeted regulatory action.*

Keywords: *Iquitos; outdoor dust; PFAS; risk assessment; source apportionment*

PENDAHULUAN

Zat per- dan polifluoroalkil (PFAS) merupakan kelompok besar bahan kimia sintetis yang mencakup lebih dari 10.000 senyawa buatan manusia pada berbagai produk konsumen, proses industri, dan busa pemadam kebakaran (AFFF) (Glüge et al., 2020; Hofman, 2026). Sifat ikatan karbon-fluorin (C–F) yang sangat persisten, bioakumulatif, dan sulit terdegradasi menjadikan PFAS dijuluki sebagai "bahan kimia abadi" (*forever chemicals*) yang terus bersirkulasi di antara udara, air, tanah, debu, serta biota (Panieri et al., 2022). Akumulasi jangka panjang senyawa ini di lingkungan menciptakan jalur paparan kronis yang berkaitan erat dengan gangguan sistem endokrin, imunotoksisitas, hepatotoksisitas, dan peningkatan risiko kanker (Fenton et al., 2021; Panieri et al., 2022). Bukti ilmiah terbaru menggarisbawahi urgensi penanganan transportasi PFAS melalui atmosfer, di mana akumulasi polutan pada antarmuka udara-air (*air-water interface*) mempercepat pengayaan aerosol serta deposisi atmosferik ke lingkungan terestrial (Brusseau et al., 2020; Fang et al., 2026). Akibatnya, paparan pada manusia kini tidak lagi terbatas pada rantai makanan dan air minum, melainkan semakin intensif terjadi melalui inhalasi partikel udara pembawa PFAS yang mengendap menjadi debu luar ruangan (*outdoor dust*) (DeLuca et al., 2022).

Perkembangan riset terkini (*State of the Art*) di Amerika Utara, Eropa, dan Asia menunjukkan bahwa debu luar ruangan efektif memetakan pergeseran emisi PFAS warisan (*legacy PFAS* seperti PFOA dan PFOS) menuju prekursor fluorotelomer rantai pendek (6:2 FTS dan diPAPs) serta elektrolit baterai litium-ion (LiTFSI) melalui analisis LC-MS/MS yang dipadukan dengan pemodelan reseptor *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Positive Matrix Factorization* (PMF) (Ahmadireskety et al., 2022; Marqués et al., 2020; Xia et al., 2022; Yamazaki et al., 2023). Namun, analisis kesenjangan penelitian (*gap analysis*) memperlihatkan bahwa studi debu luar ruangan masih terfokus di negara industri maju, sedangkan kajian terpadu di kawasan Amerika Latin, khususnya di Peru yang belum memiliki regulasi baku mutu PFAS, masih sangat terbatas (Ehsan et al., 2023; Yamazaki et al., 2023). Kota Iquitos sebagai pusat perkotaan terbesar di hutan hujan Amazon Peru yang terisolasi dari jalan darat nasional menghadirkan latar penelitian unik karena paparan PFAS di wilayah ini lebih dipengaruhi oleh aktivitas urban lokal, transportasi *moto-taxi*, pengelolaan limbah, dan deposisi atmosferik jarak jauh dibandingkan industri berat.

© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

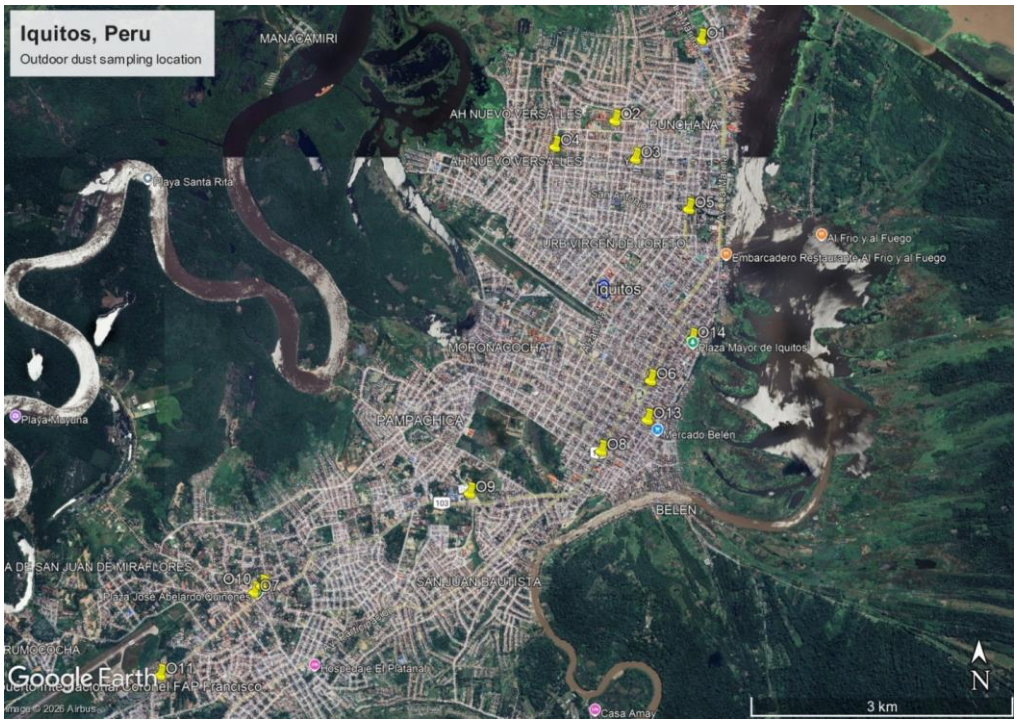
ZONA
Jurnal Lingkungan
ISSN : 2502-6496 (Print)
ISSN : 2775-4065 (Online)

Volume 10, No 2, Oktober 2026, p.110-116
http://zona.pelantarpress.co.id
https://doi.org/10.52364/zona.v10i2.250

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan secara eksplisit untuk mengidentifikasi dan mengkuantifikasi pola konsentrasi spasial serta profil komposisi 15 senyawa PFAS pada debu luar ruangan di Kota Iquitos, Peru menggunakan instrumen LC-MS/MS. Selain itu, penelitian ini bertujuan secara eksplisit untuk menganalisis alokasi sumber pencemaran (*source apportionment*) PFAS pada debu luar ruangan melalui integrasi model statistik multivariat PCA dan PMF guna menentukan kontribusi spesifik tiap aktivitas antropogenik perkotaan. Lebih lanjut, penelitian ini bertujuan secara eksplisit untuk mengevaluasi risiko paparan inhalasi debu luar ruangan pada orang dewasa dan anak-anak melalui perhitungan *Estimated Daily Intake* (EDI) serta *Hazard Quotient* (HQ) sebagai landasan perumusan kebijakan pengelolaan bahan kimia di Peru.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Koleksi Sampel



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel debu luar ruangan dilakukan pada periode 9-11 Januari 2025 di 14 titik lokasi strategis (O1-O14) di Iquitos, Peru seperti halaman rumah sakit, sekolah, taman kota, dan persimpangan lalu lintas padat. Sampel debu dikumpulkan menggunakan penyedot debu portabel yang dilengkapi sikat. disimpan pada suhu ruang sebelum diekstraksi.

Ekstraksi Sampel dan Analisis LC-MS/MS

Sebanyak 500 mg sampel debu ditempatkan dalam tabung sentrifus dan ditambahkan 30 mL pelarut metanol (MeOH). dilanjutkan dengan sentrifugation pada kecepatan 2.500 rpm selama 30 menit . aliran gas nitrogen (N2), dilarutkan kembali dengan 1 mL MeOH, disaring, dan dipindahkan ke vial untuk disimpan pada suhu -20°C. Kuantifikasi 40 senyawa PFAS target dilakukan menggunakan Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry (LC-MS/MS).

Analisis Alokasi Sumber (PCA dan PMF)

Identifikasi sumber polusi menggunakan pendekatan statistik multivariat. Principal Component Analysis (PCA) digunakan untuk mengurangi dimensi data dan mengelompokkan senyawa PFAS yang saling berkorelasi. Untuk kuantifikasi absolut persentase kontribusi sumber, digunakan model Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 dari US EPA. Model PMF menerapkan batasan non-negativitas untuk memastikan profil emisi yang dihasilkan logis secara fisik.

© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ZONA
Jurnal Lingkungan
ISSN : 2502-6496 (Print)
ISSN : 2775-4065 (Online)

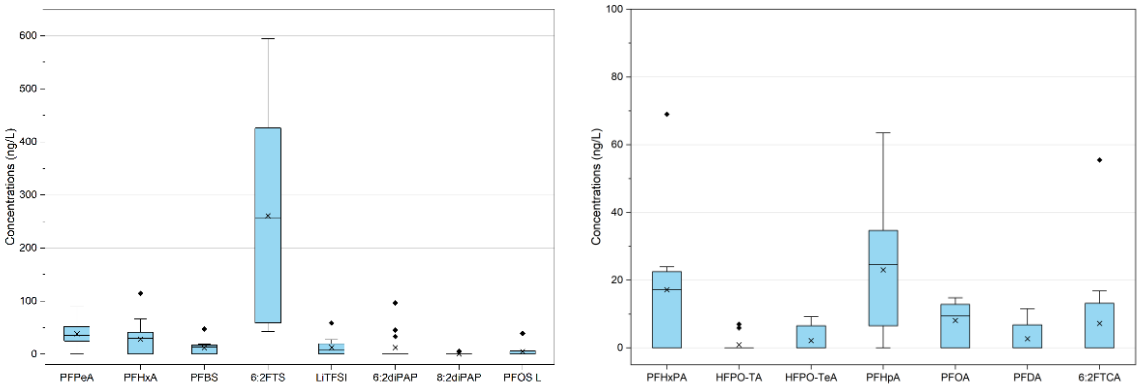
Volume 10, No 2, Oktober 2026, p.110-116
http://zona.pelantarpress.co.id
https://doi.org/10.52364/zona.v10i2.250

Penilaian Risiko Paparan

Risiko kesehatan dievaluasi menggunakan Estimated Daily Intake (EDI) dan Hazard Quotient (HQ) melalui jalur inhalasi debu. HQ dihitung dengan membagi EDI dengan Tolerable Daily Intake (TDI). tingkat akurasi varians yang tinggi pada sampel lingkungan yang heterogen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi dan Komposisi PFAS pada Debu Luar Ruangan



Gambar 2. Konsentrasi PFAS

Tabel 1. Hasil Analisis LC-MS/MS

Titik	PFPeA	PFHxA	PFBS	6:2FTS	LiTFSI	6:2diPAP	8:2diPAP	PFOS L
O1	55,50	114,50	11,95	43,00	19,75	ND	ND	ND
O2	ND	ND	14,50	426,00	8,20	ND	ND	ND
O3	23,55	ND	ND	343,50	9,10	ND	ND	39,20
O4	28,75	ND	17,15	257,50	ND	ND	ND	ND
O5	28,25	ND	ND	134,00	ND	ND	ND	ND
O6	32,90	ND	16,10	276,50	11,50	45,25	ND	6,65
O7	24,80	66,00	ND	85,00	58,50	ND	ND	ND
O8	52,00	43,45	ND	59,00	6,45	ND	ND	5,60
O9	89,50	35,70	14,00	473,50	6,15	ND	ND	ND
O10	46,45	26,75	47,50	595,00	ND	ND	ND	ND
O11	42,65	35,10	14,00	58,00	5,95	ND	ND	5,85
O12	37,15	34,00	ND	585,00	26,25	ND	ND	5,70
O13	58,00	41,50	19,15	56,00	27,25	33,40	ND	ND
O14	18,50	ND	18,45	257,00	ND	96,50	5,55	6,30

Titik	PFHxPA	HFPO-TA	HFPO-TeA	PFHpA	PFOA	PFDA	6:2FTCA
O1	18,55	ND	ND	16,95	9,65	6,80	ND
O2	ND	ND	ND	ND	7,95	ND	ND
O3	ND	5,90	9,20	7,00	ND	ND	16,85
O4	17,50	ND	ND	6,50	ND	ND	ND
O5	ND	ND	6,50	ND	12,85	ND	ND
O6	16,85	ND	ND	ND	9,25	ND	ND
O7	22,50	ND	7,75	63,50	9,00	ND	55,50
O8	15,20	ND	ND	34,20	ND	9,55	ND
O9	23,65	ND	ND	27,65	9,95	ND	ND
O10	23,95	ND	ND	34,65	ND	9,55	13,15
O11	11,10	ND	ND	41,60	14,25	ND	ND
O12	ND	7,00	6,55	35,90	11,65	ND	ND
O13	69,00	ND	ND	32,75	14,00	ND	15,60
O14	22,00	ND	ND	21,60	14,80	11,55	ND

© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

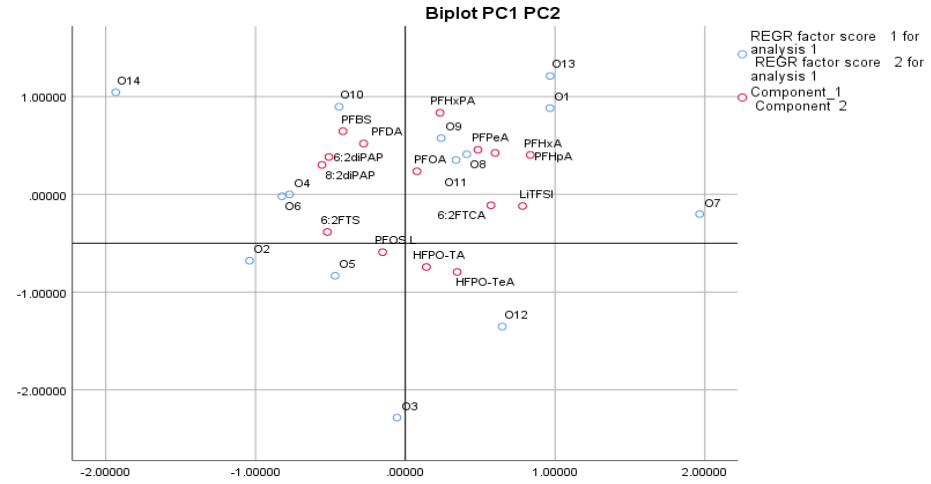
ZONA
Jurnal Lingkungan
ISSN : 2502-6496 (Print)
ISSN : 2775-4065 (Online)

Volume 10, No 2, Oktober 2026, p.110-116
http://zona.pelantarpress.co.id
https://doi.org/10.52364/zona.v10i2.250

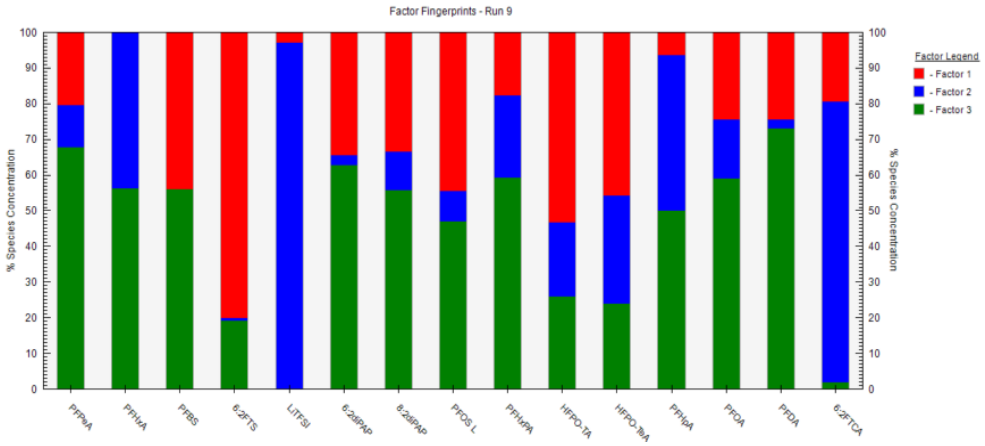
Analisis terhadap debu luar ruangan menunjukkan tingkat variabilitas spasial yang substansial, sebagaimana tergambar pada distribusi boxplot konsentrasi PFAS (Gambar 2).Senyawa PFAS berbasis fluorotelomer, khususnya 6:2 FTS, menunjukkan rentang konsentrasi paling lebar serta nilai median tertinggi dibandingkan analit lainnya.Berdasarkan data pada Tabel 1, total PFAS paling ekstrem ditemukan pada titik O10 (Plaza José Abelardo Quiñones), di mana senyawa 6:2 FTS mendominasi pada angka 595 ng/L.Sebaliknya, titik dengan konsentrasi tunggal yang terendah adalah persimpangan Putumayo-Próspero (titik O14), dengan nilai 8:2 diPAP sebesar 5,55 ng/L.

Secara komposit, senyawa 6:2 FTS menyumbang lebih dari separuh (56,6%) dari total mass PFAS di seluruh lokasi luar ruangan di Iquitos. Temuan ini sangat sejalan dengan studi oleh Ahmadireskety et al. (2022) dan Yamazaki et al. (2023), yang menegaskan bahwa fluorotelomer sulfonat mendominasi debu luar ruangan dan jalan raya akibat transportasi atmosferik jarak jauh serta resuspensi dari aktivitas perkotaan seperti lalu lintas.Tingginya akumulasi pada titik O10 (taman kota) secara spesifik membuktikan bahwa ruang publik terbuka bertindak sebagai zona tangkapan (*sink*) pasif yang menampung deposisi atmosferik kering dari emisi aerosol, pengikisan aspal jalan, dan limpasan perkotaan.Eksistensi dominan 6:2 FTS yang banyak diformulasikan sebagai penekan kabut asam industri dan residu pemadam kebakaran (AFFF) menjadi manifestasi nyata pergeseran industri ke penggunaan senyawa rantai pendek pengganti PFOS yang ternyata tetap bersifat persisten di lingkungan terbuka (Glüge et al., 2020).

Alokasi Sumber Berdasarkan Pemodelan PCA dan PMF



(a) Biplot PC 1 Versus PC 2



(b) Fingerprint Faktor

Gambar 3. Hasil Analisis PCA dan PMF

© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ZONA
Jurnal Lingkungan
ISSN : 2502-6496 (Print)
ISSN : 2775-4065 (Online)

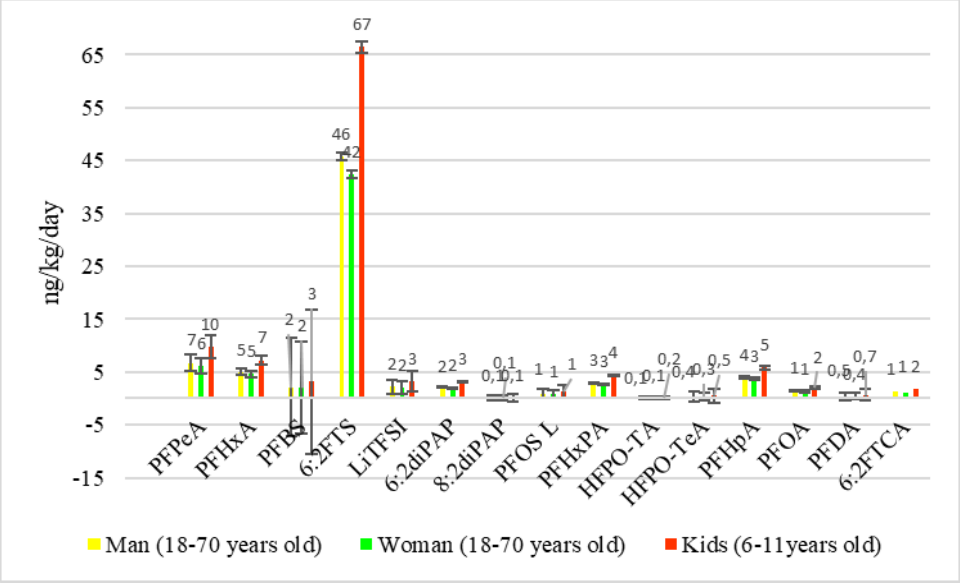
Volume 10, No 2, Oktober 2026, p.110-116
http://zona.pelantarpress.co.id
https://doi.org/10.52364/zona.v10i2.250

Identifikasi asal-usul kontaminan luar ruangan dipetakan melalui plot spasial biplot Principal Component Analysis (PCA) pada Gambar 3 (a). Pada pemetaan antara PC1 dan PC2, terlihat jelas sebaran klaster sampel yang didorong ke arah sumbu positif, bertepatan dengan orientasi vektor LiTFSI dan PFAS rantai pendek seperti PFHxA.Klaster analit ini secara langsung merefleksikan zona dengan kepadatan lalu lintas tinggi serta hub aktivitas komersial/elektronik. Di Iquitos, tarikan vektor pada sumbu positif ini menunjukkan bahwa emisi dari lalu lintas (termasuk moto-taxi) yang membawa senyawa pelumas bermuatan LiTFSI bercampur secara dinamis dengan debu jalanan. Korelasi ini mengonfirmasi hipotesis Gao et al. (2020) bahwa pada daerah dengan tata guna lahan campuran, persimpangan padat dan zona transportasi akan menghasilkan jejak kimia multivariat yang tumpang tindih.

Secara kuantitatif, analisis Positive Matrix Factorization (PMF) pada Gambar 3 (b) mempersempit *landscape* emisi luar ruangan menjadi tiga faktor profil. Faktor 1 (Aktivitas Pembersihan Fasilitas Besar) dicirikan oleh konsentrasi ekstrem 6:2 FTS (>204 ng/g) yang disertai PFPeA dan PFBS.Faktor ini memuncak di area rumah sakit regional (O2), pusat perbelanjaan komersial (O9), dan alun-alun kota (O10). Pola kimiawi ini mencerminkan tumpahan (limpasan) atau resuspensi sisa-sisa busa AFFF serta pembersihan fasilitas menggunakan surfaktan industri. Faktor 2 (Degradasi Baterai/E-Waste) yang menonjolkan PFHxA, PFHpA, 6:2 FTCA, bersama dengan LiTFSI secara mencolok. Faktor ini dominan di kompleks kerajinan tradisional (O7) dan area sekitar rumah sakit (O1). Korelasi ini merupakan indikasi kuat masuknya kontaminasi dari komponen elektronik atau baterai, serta proses pembakaran limbah informal di area pejalan kaki.

Faktor 3 (Resuspensi Limbah Padat & Lalu Lintas) ditandai oleh 6:2 diPAP dan tingkat moderat PFOA.Karena diPAP umum digunakan pada kemasan makanan kertas anti-leminyak, memuncaknya faktor ini di persimpangan jalan utama (seperti O13 dan O14) secara logis mengindikasikan bahwa sampah kemasan yang terbuang telah terdegradasi, mengering, dan tersuspensi kembali menjadi debu jalanan yang kemudian tercampur dengan partikel abrasi ban. Pola dari PMF ini menggarisbawahi urgensi rekomendasi spasial (seperti yang disarankan oleh Ahmadireskety et al., 2022) perlunya pembangunan zona penyangga (*buffer zones*) berupa vegetasi antara jalan raya berintensitas tinggi dan area publik untuk meminimalkan paparan debu beracun.

Risiko Paparan dan Bahaya Toksikologi



Gambar 4. Estimated Daily Intake (EDI)

Bukti tingginya risiko bagi kesehatan masyarakat secara kuantitatif didemonstrasikan melalui analisis Estimated Daily Intake (EDI) (Gambar 4.14). Pada debu luar ruangan, asupan harian manusia dikuasai secara berurutan oleh 6:2 FTS, PFHxA, dan PFPeA. Gambar 4.14 menyoroti grafik palang di mana kelompok anak-anak (usia 6-11 tahun) menelan asupan harian secara dramatis melebihi pria dan wanita dewasa. Hal ini bukan kebetulan matematis semata; yang lebih besar (Xia et al., 2022; Panieri et al., 2022). Kapasitas sistem metabolisme mereka yang belum berkembang sempurna memfasilitasi deposisi patogen berbahaya lebih jauh ke dalam tubuh.

© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ZONA
Jurnal Lingkungan
ISSN : 2502-6496 (Print)
ISSN : 2775-4065 (Online)

Volume 10, No 2, Oktober 2026, p.110-116
http://zona.pelantarpress.co.id
https://doi.org/10.52364/zona.v10i2.250

Tabel 2. Hazard Quotient (HQ)

PFAS	Man (18-70 years old)		Woman (18-70 years old)		Kids (6-11years old)	
	HQ	SE	HQ	SE	HQ	SE
PFPeA	43,1	6,472	39,887	5,989	62,708	9,416
PFHxA	4,973	1,549	4,603	1,433	7,236	2,254
PFBS	108,237	29,992	100,167	27,756	157,478	43,636
PFHpA	182,243	40,161	168,655	37,167	265,152	58,432
PFOA	70999,451	13370,606	65705,632	12373,674	103299	19453,301
PFDA	1563,846	701,256	1447,244	648,969	2275,29	1020,278

Ancaman ini dipertegas dengan kalkulasi Hazard Quotient (HQ) pada Tabel 4.6. Senyawa turunan spesifik memunculkan angka yang jauh melampaui batas ambang aman non-karsinogenik (HQ>1). Terutama pada anak-anak, senyawa 6:2 FTCA mencatatkan nilai ekstrem yang melampaui batas bahaya hingga di atas 708 kali lipat (HQ > 708) di lingkungan luar ruangan. Kesimpulannya, analisis ini mendemonstrasikan peringatan kritis sejalan dengan temuan DeLuca et al. (2022) bahwa jalanan dan zona eksternal publik berlalu lintas tinggi bukanlah lingkungan bebas ancaman, melainkan merupakan transmitter utama penyebaran beban bahan kimia yang mengganggu sistem endokrin manusia.

.

SIMPULAN

Debu luar ruangan di ruang publik Iquitos bertindak sebagai perangkap lingkungan yang persisten bagi senyawa PFAS. matriks polusi. Pemodelan reseptor (PCA dan PMF) berhasil membuktikan bahwa penyebaran PFAS di wilayah perkotaan ini tidak terjadi secara acak, melainkan digerakkan oleh tiga aktivitas antropogenik utama: (1) limpasan surfaktan dari fasilitas besar/AFFF, (2) emisi dan abrasi dari infrastruktur transportasi serta limbah baterai elektronik (LiTFSI), dan (3) degradasi limbah kemasan makanan berlapis fluorin di persimpangan jalan. melampaui batas aman secara eksponensial (HQ > 708 untuk senyawa 6:2 FTCA).

DAFTAR PUSTAKA

Ahmadireskety, A., Da Silva, BF, Robey, NM, Douglas, TE, Aufmuth, J., Solo-Gabriele, HM, Yost, RA, Townsend, TG, & Bowden, JA (2022). Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Street Sweepings. Environmental Science & Technology, 56(10), 6069-6077. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03766.

Brusseau, ML, Anderson, RH, & Guo, B. (2020). PFAS concentrations in soils: Background levels versus contaminated sites. Science of The Total Environment, 740, 140017. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140017.

DeLuca, NM, Minucci, JM, Hubal, EAC, & Mullikin, A. (2022). Human exposure pathways to poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) from indoor media: A systematic review. Environment International, 130(2), 107149. https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107149.

Ehsan, A., Li, Y., & Zhang, C. (2023). Distribution of PFAS in environmental matrices near landfills. Science of The Total Environment, 856, 159012. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159012.

Fang, S., Yang, Y., & Sun, H. (2026). PFAS partitioning at the air–water interface: Implications for aerosolization and transport. Environmental Science & Technology, 59(2), 1011-1020. https://doi.org/10.1021/acs.est.4c05211.

Fenton, SE, Ducatman, A., Boobis, A., DeWitt, JC, Lau, C., Ng, C., Smith, JS, & Roberts, SM (2021). Per- and polyfluoroalkyl substance toxicity and human health review. Toxicological Sciences, 181(1), 30-45. https://doi.org/10.1093/toxsci/kfaa174.

© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ZONA
Jurnal Lingkungan
ISSN : 2502-6496 (Print)
ISSN : 2775-4065 (Online)

Volume 10, No 2, Oktober 2026, p.110-116
http://zona.pelantarpress.co.id
https://doi.org/10.52364/zona.v10i2.250

Gao, K., Chen, Y., Xue, Q., Fu, J., Fu, K., Fu, J., Zhang, A., Cai, Z., & Jiang, G. (2020). Trends and perspectives in per-and polyfluorinated alkyl substances (PFASs) determination: Faster and broader. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 133, 116114. https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.116114.

Glüge, J., Scheringer, M., Cousins, IT, DeWitt, JC, Goldenman, G., Herzke, D., ... & Wang, Z. (2020). An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). Environmental Science: Processes & Impacts, 22(12), 2345-2373. https://doi.org/10.1039/d0em00291g.

Hofman, J. (2026). PFAS classification and chemical space visualization: Advances in OECD methodologies. Journal of Environmental Management, 330, 117082. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117082.

Marqués, M., Domingo, JL, & Nadal, M. (2020). Levels of legacy and alternative per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in outdoor and indoor dust: Implication for human exposure. Environment International, 143, 105943. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105943.

Panieri, E., Baralic, K., Djukic-Cosic, D., Djordjevic, AB, & Saso, L. (2022). PFAS Molecules: A Major Concern for the Human Health and the Environment. Toxics, 10(2), 44. https://doi.org/10.3390/toxics10020044.

Pignotti, E., & Dinelli, E. (2021). Distribution of PFAS in urban environments: A review of the main sources, pathways, and effects. Environmental Science and Pollution Research, 28(21), 26315-26330. https://doi.org/10.1007/s11356-021-13740-1.

Xia, C., Diamond, ML, Peaslee, GF, Peng, H., Blum, A., Wang, Z., ... & Venier, M. (2022). Per and Polyfluoroalkyl Substances in North American School Uniforms. Environmental Science & Technology, 56(19), 13845-13857. https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02111.

Yamazaki, E., Lalwani, D., Ruan, Y., Taniyasu, S., Hanari, N., Kumar, NJI, Lam, PKS, & Yamashita, N. (2023). Nationwide distribution of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in road dust from India. Science of The Total Environment, 856, 164538. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164538.

© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)