

## Paparan Polusi Udara dalam Ruangan dan Risiko Penyakit Paru Obstruktif Kronik (PPOK): Tinjauan Sistematis

Intan Nabilla<sup>1</sup>, Disa Hijratul Muharramah<sup>2</sup>, Novida Syafitri<sup>3</sup>, Aulia Putri Zean<sup>4</sup>, Cass Marcella Rasnino<sup>5</sup>, Sefriliza Zenia<sup>6</sup>, Ika Dwi Puspa<sup>7</sup>, Nadya Tri Melda<sup>8</sup>, Nadya Indah Khoirunnisa<sup>9</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7,8,9</sup>Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Sriwijaya, Kabupaten Ogan Ilir, Sumatera Selatan, Indonesia  
[disa\\_hijratul\\_muharramah@fkm.unsri.ac.id](mailto:disa_hijratul_muharramah@fkm.unsri.ac.id)

**Abstrak:** Penyakit Paru Obstruktif Kronik (PPOK) merupakan salah satu penyebab utama morbiditas dan mortalitas di dunia, dengan paparan polusi dalam ruangan sebagai salah satu faktor risiko yang semakin mendapat perhatian, terutama di negara berkembang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara paparan polusi dalam ruangan dengan kejadian PPOK berdasarkan sintesis beberapa studi epidemiologi. Penelitian menggunakan metode systematic review terhadap studi kohort, *cross-sectional*, dan *case-control* yang mengevaluasi paparan bahan bakar biomassa, polusi udara dalam ruangan, serta faktor individu terhadap kejadian PPOK. Pencarian literatur dilakukan melalui PubMed, ScienceDirect, Springer Nature, dan DOAJ yang menghasilkan 1.863 artikel pada tahap awal. Setelah proses skrining, penghapusan duplikasi, dan seleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, diperoleh 10 studi yang memenuhi syarat untuk dianalisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar studi menemukan hubungan signifikan antara paparan polusi dalam ruangan dan peningkatan risiko PPOK, dengan nilai OR >2 pada beberapa penelitian. Penggunaan bahan bakar biomassa seperti kayu bakar, arang, batubara, sisa tanaman, dan kotoran hewan berhubungan dengan peningkatan risiko PPOK, sementara konsentrasi PM2.5 dan ventilasi rumah yang buruk turut memperkuat efek paparan. Perempuan juga ditemukan memiliki risiko lebih tinggi dibandingkan laki-laki. Disimpulkan bahwa polusi dalam ruangan merupakan faktor risiko penting terhadap kejadian PPOK sehingga diperlukan upaya pencegahan melalui penggunaan bahan bakar bersih, perbaikan ventilasi rumah, dan peningkatan kesadaran masyarakat.

**Kata Kunci:** Polusi Dalam Ruangan, Biomassa, PM2.5, PPOK, Faktor Risiko

**Abstract:** This study aimed to analyze the association between exposure to indoor air pollution and the incidence of Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) based on a synthesis of epidemiological studies. A systematic review was conducted on cohort, cross-sectional, and case-control studies evaluating exposure to biomass fuels, indoor air pollution, and individual factors associated with COPD incidence. Literature searches were performed in PubMed, ScienceDirect, Springer Nature, and DOAJ, yielding 1,863 records in the initial stage. After screening, duplicate removal, and eligibility assessment based on inclusion and exclusion criteria, 10 studies were included in the final analysis. The findings showed that most studies reported a significant association between indoor air pollution exposure and an increased risk of COPD, with OR values >2 in several studies. Biomass fuels such as firewood, charcoal, coal, crop residues, and animal dung were associated with higher COPD risk, while PM2.5 concentrations and poor household ventilation further amplified the effects of exposure. Women were also found to have a higher risk than men. In conclusion, indoor air pollution is an important risk factor for COPD development, influenced by fuel type, exposure intensity, and individual and environmental factors. Prevention efforts through the use of clean fuels, improved ventilation, and increased public awareness are necessary to reduce the burden of COPD.

**Keywords:** Indoor Air Pollution, Biomass, PM2.5, COPD, Risk Factors

### Pendahuluan

Penyakit Paru Obstruktif Kronik (PPOK) merupakan penyebab kematian keempat di dunia, dengan sekitar 3,5 juta kematian pada tahun 2021 atau sekitar 5% dari seluruh kematian global (World Health Organization, 2024). Di Indonesia, PPOK juga menjadi masalah kesehatan yang

penting dengan prevalensi sebesar 3,7% berdasarkan data Riset Kesehatan Dasar (Hanifah et al., 2025), serta termasuk salah satu penyebab kematian utama di Indonesia. Kondisi ini menunjukkan bahwa PPOK tidak hanya menjadi beban kesehatan global, tetapi juga merupakan masalah kesehatan masyarakat yang signifikan di tingkat nasional.

PPOK berkembang secara bertahap akibat kombinasi berbagai faktor risiko, seperti paparan tembakau dari merokok aktif maupun pasif, paparan debu, asap, atau bahan kimia di tempat kerja, serta polusi udara dalam ruangan. Polusi udara dalam ruangan terutama berkaitan dengan penggunaan bahan bakar biomassa, seperti kayu, kotoran hewan, dan sisa tanaman, maupun batubara untuk memasak dan pemanasan di negara berpenghasilan rendah hingga menengah yang menghasilkan paparan asap tinggi (World Health Organization, 2024). Kondisi ini menjadikan polusi udara dalam ruangan sebagai salah satu faktor lingkungan yang berperan penting dalam peningkatan risiko penyakit paru kronis, terutama pada masyarakat yang masih bergantung pada bahan bakar padat untuk kebutuhan rumah tangga.

Paparan kronis asap biomassa seperti kayu bakar dan kotoran hewan di negara berkembang berkontribusi terhadap meningkatnya bronkitis kronis, gagal napas, dan PPOK. Pembakaran bahan bakar tersebut menghasilkan partikel berbahaya seperti PM<sub>2.5</sub> dan PM<sub>1.0</sub> yang dapat mengendap jauh di paru-paru, bahkan partikel ultra-halus dapat masuk ke sirkulasi sistemik. Selain itu, polusi udara dalam ruangan juga mengandung NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, karbon monoksida, formaldehida, hidrokarbon aromatik polisiklik, serta logam berat yang dapat menembus sawar alveolar-kapiler dan menyebabkan inflamasi serta kerusakan paru. Meta-analisis menunjukkan bahwa penggunaan biomassa padat secara signifikan meningkatkan risiko penyakit pernapasan berat, termasuk PPOK (Disease & Deaths, 2021).

Di negara berpenghasilan rendah dan menengah, tingginya paparan asap dalam ruangan berkontribusi besar terhadap kejadian PPOK. Beban penyakit pernapasan kronis dilaporkan sangat tinggi, dengan PPOK, asma, dan kanker paru sebagai penyakit utama yang berkaitan dengan polusi udara. Perempuan lebih rentan karena umumnya mengalami durasi paparan yang lebih lama saat memasak, dan dalam dua dekade terakhir angka kematian akibat PPOK meningkat lebih besar pada perempuan dibandingkan laki-laki. Kondisi ini menunjukkan bahwa polusi udara dalam ruangan merupakan faktor risiko penting dalam terjadinya PPOK, khususnya pada perempuan yang menggunakan biomassa sebagai bahan bakar utama rumah tangga (Wang et al., 2025).

Meskipun demikian, masih terdapat kesenjangan penelitian mengenai hubungan antara polusi udara dalam ruangan dan risiko PPOK pada perempuan dewasa non-perokok pengguna kayu bakar. Sebagian besar penelitian sebelumnya melibatkan populasi umum yang mencakup perokok aktif maupun mantan perokok sehingga kontribusi independen polusi udara dalam ruangan

terhadap kejadian PPOK belum dapat dinilai secara spesifik. Selain itu, penelitian terdahulu juga memiliki keterbatasan metodologis, seperti belum adanya standardisasi kadar polutan yang berkaitan dengan PPOK, penilaian paparan yang masih dilakukan secara kombinasi tanpa analisis terpisah untuk masing-masing polutan, serta keterbatasan data untuk menentukan hubungan *dose-response*.

Oleh karena itu, *systematic review* ini penting dilakukan untuk mengkaji secara lebih spesifik bukti ilmiah mengenai hubungan polusi udara dalam ruangan dengan risiko PPOK pada perempuan non-perokok pengguna kayu bakar. Hasil kajian ini diharapkan dapat memperkuat dasar ilmiah dalam upaya pencegahan PPOK, mendukung pengembangan kebijakan kesehatan lingkungan, serta menjadi acuan dalam intervensi penggunaan bahan bakar rumah tangga yang lebih aman bagi kelompok berisiko.

## **Metode**

Penelitian ini menggunakan desain *systematic review* dengan pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Pertanyaan penelitian dirumuskan dengan pendekatan PICO, yaitu *Population*: individu dewasa yang terpapar polusi udara dalam ruangan; *Intervention*: paparan polusi dalam ruangan akibat penggunaan bahan bakar biomassa, terutama kayu bakar; *Comparison*: individu dengan paparan rendah atau tidak terpapar; dan *Outcome*: kejadian atau risiko Penyakit Paru Obstruktif Kronik (PPOK).

Pencarian literatur dilakukan secara sistematis pada bulan April 2026 melalui beberapa basis data, yaitu PubMed, ScienceDirect, Springer Nature, dan DOAJ. Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci ("*COPD*" OR "*Chronic Obstructive Pulmonary Disease*") AND ("*indoor air pollution*" OR "*household air pollution*" OR "*biomass fuel*"). Pencarian dilakukan pada judul, abstrak, dan kata kunci artikel. Artikel yang dipertimbangkan merupakan artikel penelitian asli berbahasa Inggris yang diterbitkan dalam 10 tahun terakhir. Artikel dengan teks lengkap (*full text*) digunakan untuk penilaian kelayakan secara menyeluruh.

Kriteria inklusi pada tinjauan ini meliputi: (1) penelitian yang menilai hubungan antara paparan polusi dalam ruangan, terutama dari bahan bakar biomassa atau kayu bakar, dengan kejadian atau risiko PPOK; (2) artikel penelitian asli dengan desain observasional, seperti *cross-sectional*, *case-control*, atau *cohort*; dan (3) penelitian yang melaporkan luaran PPOK, baik berupa kejadian, prevalensi, maupun ukuran risiko. Adapun kriteria eksklusi meliputi: (1) artikel duplikat; (2) artikel *review*, *systematic review*, *meta-analysis*, editorial, komentar, atau laporan kasus; (3) penelitian yang hanya membahas polusi luar ruangan; (4) penelitian yang tidak melaporkan luaran

PPOK yang relevan; (5) penelitian dengan data yang tidak lengkap atau tidak dapat diekstraksi; serta (6) penelitian dengan populasi yang tidak sesuai dengan fokus kajian.

Seluruh artikel yang diperoleh dari proses pencarian didokumentasikan dan diseleksi secara bertahap sesuai alur PRISMA. Pada tahap *identification*, diperoleh sebanyak 1863 artikel dari seluruh basis data, yang terdiri atas ScienceDirect (n=1004), Springer Nature (n=512), dan PubMed (n=347). Setelah dilakukan penghapusan artikel duplikat, tersisa sebanyak 1317 artikel untuk proses seleksi awal.

Tahap *screening* dilakukan melalui penilaian judul dan abstrak terhadap 1317 artikel oleh empat penelaah, yaitu IN, CMR, APZ, dan SZ, yang bekerja secara independen tanpa saling bekerja sama. Masing-masing penelaah menilai kesesuaian artikel berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Hasil penilaian kemudian dibandingkan, dan apabila terdapat perbedaan pendapat, keputusan ditentukan melalui diskusi hingga dicapai kesepakatan bersama. Pada tahap ini, sebanyak 1220 artikel dikeluarkan karena tidak berkaitan dengan Polusi Dalam Ruang, Biomassa, dan PPOK. Artikel yang lolos tahap *screening* kemudian dilanjutkan ke tahap penilaian teks lengkap.

Artikel yang dinilai berpotensi relevan pada tahap judul dan abstrak selanjutnya masuk ke tahap telaah teks lengkap (*full text review*). Pada tahap ini, sebanyak 97 artikel teks lengkap dinilai kelayakannya oleh empat penelaah, yaitu NIK, NS, IDP, dan NTM, yang juga bekerja secara independen. Penilaian teks lengkap dilakukan dengan menelaah kesesuaian desain penelitian, karakteristik populasi, jenis paparan polusi dalam ruangan, luaran PPOK yang dilaporkan, serta kelengkapan data yang dapat diekstraksi. Seluruh proses seleksi terdokumentasi dalam diagram alur PRISMA.

Pada tahap *eligibility*, artikel teks lengkap yang tidak memenuhi kriteria dikeluarkan setelah dilakukan penelaahan menyeluruh. Sebanyak 87 artikel dikeluarkan dengan rincian alasan sebagai berikut: (1) artikel tidak melaporkan *outcome* yang relevan dengan kejadian atau risiko PPOK (n=31); (2) desain penelitian tidak sesuai dengan kriteria inklusi karena bukan studi *cross-sectional*, *case-control*, atau *cohort* (n=29); dan (3) data penelitian tidak memadai atau tidak dapat diekstraksi secara lengkap (n=27). Dengan demikian, sebanyak 10 artikel memenuhi kriteria dan dimasukkan ke tahap penilaian kualitas.

Setelah tahap seleksi artikel selesai, seluruh studi yang memenuhi kriteria inklusi selanjutnya dinilai kualitas metodologisnya menggunakan *Newcastle-Ottawa Scale* (NOS) sesuai dengan desain studi masing-masing. Penilaian kualitas dilakukan terhadap 10 artikel yang lolos tahap eligibilitas. Studi dengan skor  $\geq 7$  dikategorikan memiliki kualitas metodologis yang baik dan layak untuk dimasukkan ke tahap ekstraksi data, sedangkan studi dengan skor  $< 7$  tidak disertakan dalam

sintesis akhir. Hasil penilaian menunjukkan bahwa 9 artikel memperoleh skor  $\geq 7$  dan dimasukkan ke dalam tabel ekstraksi data, sedangkan 1 artikel, yaitu Sana et al. (2024), memperoleh skor  $< 7$  sehingga dikeluarkan dari tahap ekstraksi data. Hasil penilaian kualitas studi selanjutnya disajikan dalam tabel penilaian kualitas.

Penelitian ini tidak melakukan meta-analisis karena terdapat variasi desain penelitian, karakteristik populasi, serta perbedaan pengukuran paparan dan *outcome* antar studi. Oleh karena itu, tidak dilakukan pengujian heterogenitas statistik, analisis subkelompok, maupun analisis sensitivitas. Sintesis dilakukan dengan pendekatan deskriptif berdasarkan konsistensi temuan antar studi.

Ukuran efek yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada ukuran asosiasi yang dilaporkan dalam masing-masing studi, seperti *Odds Ratio* (OR), *Risk Ratio* (RR), dan *Hazard Ratio* (HR). Ukuran efek tersebut digunakan untuk menggambarkan kekuatan hubungan antara paparan polusi dalam ruangan dan kejadian PPOK pada masing-masing penelitian yang dianalisis.

Data dari 9 artikel yang memenuhi kriteria kualitas kemudian diekstraksi secara sistematis meliputi judul artikel, nama peneliti, tahun terbit/publikasi, negara penelitian, desain studi, variabel penelitian (*independent* dan *outcome*), populasi dan sampel, hasil primer dan sekunder, serta saran untuk penelitian selanjutnya. Hasil ekstraksi tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk naratif dan tabel untuk menggambarkan hubungan antara paparan polusi udara dalam ruangan akibat penggunaan bahan bakar biomassa, khususnya kayu bakar, dengan risiko PPOK.

## Hasil dan Pembahasan

### Hasil

**Tabel 1. Penilaian Kualitas Studi Menggunakan Newcastle-Ottawa Scale (NOS)**

Study (first author)	Study design	Selection			Comparability		Outcome		
		Case definition adequate?	Representativeness of the Cases	Selection of controls	Definition of controls	Based on design and analysis	Ascertainment of exposure	Same method for cases and controls	Non-response rate
Jaeyoung Cho, 2019	Cohort	+	+	+	+	++	+	+	+
Jiachen Li,, 2019	Cohort	+	+	+	+	++	+	+	+
	Study (first author)		Selection		Comparability		Outcome		
		Case definition adequate?	Representativeness of the Cases	Selection of controls	Definition of controls	Based on design and analysis	Ascertainment of exposure	Same method for cases and controls	Non-response rate

Peneliti & Tahun	Negara	Desain Studi	Variabel / Variabel		Populasi & Sampel	Hasil Primer	Hasil Sekunder	Saran Penelitian	
			Independen	Outcome					
Madhurm ay et al., 2022		Case Control	+	+	+	+	++	+	+
Zhang et al., 2023		Case Control	+	+	+	+	++	+	+
Sana et al., 2024		Case Control	+		+	+	+	+	+
		Study Study (first design aauthor)	Selection		Comparability		Outcome		
			Representativeness of the sample	Sample size	Non-respon dents	Ascertain ment of exposure	Based on design and analysis	Ascertain ment of exposure	Statistical test
Woldeam anuel et al. 2019		Cross sectional	+	+	+	++	+	+	+
Zhenzen Xing et al. 2024		Cross sectional	+		+	++	++		+
Le-Cai Ji et al. 2021		Cross sectional	+	+	+	++	++	++	+
Adama et al. 2020		Cross sectional	+	+		+	++	++	+
Brakema et al. 2019		Cross sectional	+		+	++	++	++	+

Sumber: Data Sekunder, 2026

**Tabel 2. Identifikasi Artikel yang Diulas dalam Penelitian**

Peneliti & Tahun	Negara	Desain Studi	Variabel Independen	Variabel Outcome	Populasi & Sampel	Hasil Primer	Hasil Sekunder	Saran Penelitian
Cho et al., (2019)	Korea Selatan	Cohort	Paparan biomassa & paparan rokok	Eksaserbasi PPOK	Pasien PPOK, n=1033	Tidak terdapat perbedaan signifikan risiko eksaserbasi.	Tidak terdapat pengaruh jenis kelamin.	Perlu penelitian dengan sampel lebih besar, desain yang lebih kuat, serta mempertimbangkan faktor risiko lain.
Li et al., (2019)	China	Cohort	Penggunaan bahan bakar padat (kayu dan batubara) untuk memasak dan pemanas	PPOK	n=475.827 Usia 30-79 th,	Penggunaan bahan bakar padat berhubungan dengan peningkatan risiko PPOK.	Risiko PPOK meningkat pada wanita dan individu yang tidak merokok.	Perlu pengukuran paparan langsung, follow-up jangka panjang, serta pengendalian faktor perancu.

Zhang et al., (2023)	China	<i>Case-control</i>	Paparan bahan bakar biomassa	PPOK	n=11.398 (500 kasus) ≥40 tahun	Penggunaan bahan bakar biomassa memiliki risiko mengalami PPOK.	Risiko terjadi pada perempuan dan rumah dengan ventilasi dapur yang buruk.	Pengukuran paparan yang lebih objektif, variabel tambahan, serta menggunakan desain kohort multisenter.
Madhur may et al., (2019)	India	<i>Case-Contro l</i>	Paparan polusi udara dalam ruangan (biomassa, kayu, batu bara, kompor)	PPOK	164 kasus & 328 kontrol	Signifikan dengan kejadian PPOK.	Risiko lebih tinggi pada perempuan, populasi pedesaan, serta meningkat dengan lamanya paparan.	Perlu populasi umum termasuk perokok untuk memperoleh gambaran hubungan yang lebih luas.
Woldeamanuel et al. (2019)	Ethiopia	<i>Cross-sectional</i>	Usia, Merokok, Biomassa, Area Memasak, Ventilasi	PPOK	n=734, Dewasa ≥30 th	Berhubungan dengan kejadian PPOK dan prevalensi PPOK sebesar 17,8% pada populasi yang diteliti.	Usia ≥ 50 th & durasi paparan yang lebih lama berpengaruh	Perlu studi skala besar dengan sampel yang lebih beragam.
Xing et al., (2024)	China	<i>Cross-sectional</i>	Paparan ozon (O3) & polusi udara rumah tangga	PPOK	n= 6537, Peserta usia 15-50 th	Berhubungan dengan kejadian PPOK pada usia <50 tahun.	Sebagian besar PPOK tidak bergejala.	Perlu studi longitudinal, pengukuran paparan langsung, serta kontrol variabel perancu.
Brakemart et al., (2019)	Kyrgyzstan	<i>Cross-sectional</i>	Paparan PM2.5, ketinggian, merokok, usia	PPOK	392 peserta (199)	Terdapat hubungan PM2.5 dengan	Paparan PM2.5 lebih tinggi di dataran tinggi	Perlu pengukuran PM2.5 selama 24 jam serta mempertimbangkan

					highlander s; 193	prevalensi PPOK	serta faktor usia dan merokok juga berpeng aruh.	an faktor musim dan lingkungan.
					lowlanders )	pada populasi		
						dataran tinggi.		
Adama et al., (2020)	Burkina Faso	<i>Cross- sectio nal</i>	Bahan bakar masak (biomassa vs LPG) dan faktor risiko lain (usia, merokok, durasi memasak, paparan polusi)	PPOK dan <i>chronic bronchit is</i> (CB)	n= 2407  Wanita ≥18 th	Bahan bakar biomassa berhubunga n signifikan dengan peningkatan kejadian PPOK dibandingka n LPG.	Prevalen si PPOK tinggi pada wanita usia ≥40 tahun dan paparan jangka panjang.	Perlu metode pengukuran paparan yang lebih objektif, faktor risiko tambahan untuk meningkatkan validitas hasil.
Ji et al., (2021)	China	<i>Cross- sectio nal</i>	Usia, merokok ≥20 pack- years, riwayat bronkitis  kronis, riwayat asma, paparan polusi udara	PPOK	n=3591  Usia ≥40 th	Berhubunga n dengan kejadian PPOK, prevalensi tercatat sebesar 5,92%.	Prevalen si lebih tinggi pada laki-laki, meningk kat pada usia lanjut.	Perlu cakupan wilayah yang lebih luas, pengukuran paparan yang lebih akurat, serta analisis <i>cost-effectiveness</i> terhadap strategi deteksi PPOK.

Sumber: Data Sekunder, 2026

**Tabel 3. Jenis Paparan Polusi dalam Ruangan**

Jenis Paparan	Hasil	Ukuran Asosiasi
Kayu bakar	Berhubungan signifikan dengan PPOK pada studi <i>cohort</i> dan <i>case-control</i>	HR 1,14-1,21; OR 2,70
Batubara	Signifikan pada penggunaan untuk pemanas dan studi <i>case-control</i> , tetapi tidak signifikan untuk memasak	HR 1,16 ; OR 2,45
Biomassa (arang, sisa tanaman, kotoran hewan)	Berhubungan signifikan dengan PPOK	OR 2,58-3,16
Konsentrasi polutan (PM2.5 dan ozon)	Berhubungan signifikan dengan peningkatan risiko PPOK	OR PM2.5 = 3,174

*Sumber: Data Sekunder, 2026*

## **Pembahasan**

### **Distribusi Jenis Kelamin**

Beberapa studi dalam tinjauan ini menunjukkan adanya perbedaan risiko PPOK berdasarkan jenis kelamin. Li et al. (2019) melaporkan bahwa peningkatan risiko PPOK akibat penggunaan bahan bakar padat lebih menonjol pada perempuan dan individu non-perokok. Hasil serupa ditemukan oleh Zhang et al. (2023) dan Madhurmaya et al. (2019), yang menunjukkan bahwa perempuan memiliki risiko PPOK lebih tinggi, terutama pada rumah tangga dengan ventilasi dapur yang buruk dan pada populasi pedesaan. Namun, Cho et al. (2019) tidak menemukan pengaruh jenis kelamin terhadap hubungan antara paparan biomassa dan eksaserbasi PPOK. Secara umum, perempuan cenderung memiliki risiko lebih tinggi terhadap PPOK akibat polusi dalam ruangan, kemungkinan karena durasi paparan yang lebih lama dalam aktivitas domestik.

### **Mekanisme Hubungan polusi dalam ruangan dengan PPOK**

Hubungan antara paparan polusi dalam ruangan dan PPOK dapat dijelaskan melalui mekanisme biologis yang melibatkan inhalasi partikel dan gas berbahaya. Pembakaran bahan bakar biomassa seperti kayu, arang, dan batubara menghasilkan partikel halus seperti PM<sub>2.5</sub> serta gas toksik (misalnya karbon monoksida, nitrogen dioksida, dan senyawa organik volatil) (Chavan et al., 2024; Stress et al., 2023).

Partikel PM<sub>2.5</sub> memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga dapat menembus hingga alveoli paru. Paparan kronis terhadap partikel ini menyebabkan inflamasi kronis, stres oksidatif, dan kerusakan jaringan paru yang progresif. Proses ini pada akhirnya menyebabkan penyempitan saluran napas, penurunan fungsi paru, dan perkembangan PPOK (Puliyakote et al., 2026; Stress et al., 2023).

Temuan dari studi yang menggunakan pengukuran langsung seperti konsentrasi PM<sub>2.5</sub> memberikan bukti yang lebih kuat secara biologis dibandingkan hanya berdasarkan jenis bahan bakar, karena menunjukkan paparan aktual yang diterima individu (Puliyakote et al., 2026).

### **Perbedaan Risiko Berdasarkan Jenis Bahan Bakar**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak semua jenis bahan bakar memiliki dampak yang sama terhadap risiko PPOK. Kayu bakar merupakan jenis bahan bakar yang paling konsisten berhubungan dengan peningkatan risiko PPOK. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh pembakaran kayu yang menghasilkan asap dalam jumlah besar dengan ventilasi yang sering kali tidak memadai. Selain itu, penggunaan kayu umumnya dilakukan dalam waktu lama setiap hari, sehingga meningkatkan paparan kumulatif (Chavan et al., 2024; Pathak et al., 2019).

Batubara menunjukkan hasil yang lebih bervariasi. Pada beberapa studi, penggunaan batubara untuk pemanas menunjukkan hubungan yang signifikan, sedangkan untuk memasak tidak selalu signifikan. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan intensitas penggunaan, lokasi pembakaran, serta ventilasi yang berbeda antara aktivitas memasak dan pemanasan (Pathak et al., 2019).

Sementara itu, arang, sisa tanaman, dan kotoran hewan termasuk dalam kategori biomassa yang secara umum menunjukkan hubungan signifikan dengan PPOK. Meskipun tidak selalu dianalisis secara terpisah, bahan-bahan ini diketahui menghasilkan emisi partikel dan gas berbahaya dalam jumlah tinggi, terutama jika digunakan dalam kondisi ventilasi yang buruk (Chavan et al., 2024; Rizky et al., 2024).

### **Peran Konsentrasi Polutan (PM2.5 dan Gas Berbahaya)**

Selain jenis bahan bakar, konsentrasi polutan dalam ruangan merupakan indikator penting dalam menilai risiko PPOK. Studi yang mengukur PM2.5 menunjukkan hubungan yang signifikan dengan kejadian PPOK, dengan nilai OR yang cukup tinggi. Hal ini menegaskan bahwa intensitas paparan memiliki peran yang sama pentingnya dengan jenis sumber paparan) (Puliyakote et al., 2026; Stress et al., 2023)

Paparan gas seperti ozon dan sulfur dioksida juga menunjukkan hubungan dengan PPOK, meskipun sebagian besar berasal dari polusi udara luar. Namun, interaksi antara polusi luar dan dalam ruangan dapat memperburuk kualitas udara secara keseluruhan, sehingga meningkatkan risiko penyakit (Chavan et al., 2024; M. Li et al., 2023)

Dengan demikian, pendekatan pengendalian risiko tidak hanya berfokus pada jenis bahan bakar, tetapi juga pada pengurangan konsentrasi polutan melalui perbaikan ventilasi dan teknologi pembakaran yang lebih bersih (Chavan et al., 2024; Rizky et al., 2024)

### **Perbedaan Risiko Berdasarkan Jenis Kelamin**

Hasil sintesis menunjukkan bahwa perempuan cenderung memiliki risiko lebih tinggi terhadap PPOK akibat paparan paparan dalam ruangan dibandingkan laki-laki. Hal ini bukan semata-mata karena faktor biologis, tetapi lebih dipengaruhi oleh faktor sosial dan perilaku (Q. Li et al., 2026).

Di banyak negara berkembang, perempuan memiliki peran utama dalam aktivitas domestik seperti memasak, sehingga memiliki durasi paparan yang lebih lama terhadap asap biomassa (Zewdie et al., 2023). Paparan yang terjadi secara berulang setiap hari dalam jangka waktu panjang menyebabkan akumulasi efek toksik pada paru-paru.

Selain itu, perempuan sering kali terpapar sejak usia muda, bahkan sejak masa anak-anak, yang dapat meningkatkan kerentanan terhadap kerusakan paru jangka panjang (Z. L. U. E. T. Al et al., 2022). Namun demikian, tidak semua studi menunjukkan perbedaan signifikan berdasarkan

jenis kelamin. Hal ini menunjukkan bahwa peran jenis kelamin dapat dipengaruhi oleh faktor lain seperti kebiasaan merokok, kondisi lingkungan, dan karakteristik populasi (Q. Li et al., 2026).

### **Peran Faktor Lingkungan Rumah Tangga (Ventilasi)**

Selain jenis bahan bakar, faktor lingkungan rumah tangga seperti ventilasi memainkan peran penting dalam menentukan tingkat paparan (Woldeamanuel et al., 2019). Studi menunjukkan bahwa ventilasi dapur yang buruk berhubungan dengan peningkatan risiko PPOK yang lebih tinggi dibandingkan hanya penggunaan biomassa saja.

Ventilasi yang tidak memadai menyebabkan akumulasi polutan di dalam ruangan, sehingga meningkatkan konsentrasi partikel dan gas berbahaya yang dihirup oleh penghuni rumah. Sebaliknya, ventilasi yang baik dapat mengurangi konsentrasi polutan secara signifikan meskipun sumber polusi masih ada. Hal ini menunjukkan bahwa intervensi sederhana seperti perbaikan ventilasi dapat memberikan dampak yang signifikan dalam menurunkan risiko PPOK (K. A. H. E. T. Al et al., 2023; Zehnder et al., 2018)

### **Konsistensi dan Variasi Hasil Antar Studi**

Meskipun sebagian besar studi menunjukkan hubungan yang signifikan, terdapat beberapa variasi hasil. Studi yang tidak menunjukkan hubungan signifikan umumnya menggunakan outcome yang berbeda, seperti eksaserbasi akut PPOK, bukan kejadian atau prevalensi PPOK (Cho et al., 2019).

Perbedaan desain penelitian juga berkontribusi terhadap variasi hasil. Studi *cohort* cenderung memberikan bukti yang lebih kuat karena mampu menunjukkan hubungan temporal, sedangkan studi *cross-sectional* lebih terbatas dalam menentukan hubungan sebab-akibat (Hairil Akbar, 2020). Selain itu, variasi dalam metode pengukuran paparan, karakteristik populasi, serta faktor perancu seperti merokok juga dapat mempengaruhi hasil penelitian.

Temuan dalam penelitian ini memiliki implikasi yang penting dalam bidang kesehatan masyarakat, terutama di negara berkembang. Penggunaan bahan bakar biomassa yang masih sangat umum, khususnya di daerah pedesaan, berpotensi meningkatkan paparan polusi udara dalam rumah tangga yang berdampak pada tingginya beban penyakit, terutama penyakit pernapasan seperti PPOK (Simkovich et al., 2019). Kondisi ini menunjukkan bahwa faktor lingkungan rumah tangga memiliki peran besar dalam menentukan status kesehatan masyarakat, sehingga perlu mendapat perhatian serius dalam upaya pencegahan penyakit.

Upaya pencegahan dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan, seperti mendorong transisi ke bahan bakar yang lebih bersih seperti LPG atau listrik, meningkatkan ventilasi rumah agar sirkulasi udara lebih baik, serta memberikan edukasi kepada masyarakat mengenai risiko paparan asap biomassa (Carlsten et al., 2020). Selain itu, diperlukan intervensi kebijakan yang mendukung

pengurangan penggunaan bahan bakar padat secara berkelanjutan. Pendekatan yang komprehensif ini tidak hanya berpotensi menurunkan risiko PPOK, tetapi juga dapat mengurangi kejadian penyakit pernapasan lainnya serta meningkatkan kualitas hidup masyarakat secara keseluruhan (Nuraini, 2025).

Penelitian ini memiliki kelebihan dibandingkan penelitian sebelumnya karena menyajikan analisis yang lebih komprehensif terhadap hubungan polusi dalam ruangan dengan kejadian PPOK, tidak hanya dari sisi jenis sumber paparan seperti bahan bakar biomassa (kayu bakar, arang, batubara, sisa tanaman, dan kotoran hewan), tetapi juga dari aspek intensitas paparan melalui indikator konsentrasi polutan seperti PM<sub>2.5</sub>. Selain itu, penelitian ini mengintegrasikan berbagai desain studi (*cohort*, *cross-sectional*, dan *case-control*) sehingga mampu memberikan gambaran yang lebih luas dan memperkuat interpretasi hasil.

Kelebihan lain terletak pada analisis faktor kontekstual yang jarang dibahas secara bersamaan, seperti perbedaan risiko berdasarkan jenis kelamin serta peran ventilasi rumah tangga, yang menunjukkan bahwa perempuan sebagai kelompok dengan durasi paparan lebih tinggi memiliki kerentanan yang lebih besar. Dengan mengombinasikan berbagai aspek tersebut, penelitian ini tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga memberikan pemahaman yang lebih mendalam dan analitis mengenai determinan risiko PPOK berbasis lingkungan rumah tangga.

Beberapa keterbatasan dalam sintesis ini perlu diperhatikan. Pertama, sebagian besar studi menggunakan desain *cross-sectional* sehingga tidak dapat memastikan hubungan kausal. Kedua, pengukuran paparan dalam beberapa studi masih bersifat tidak langsung (berdasarkan jenis bahan bakar), sehingga berpotensi terjadi bias misklasifikasi. Ketiga, terdapat variasi dalam definisi dan diagnosis PPOK antar studi, yang dapat mempengaruhi konsistensi hasil. Selain itu, faktor perancu seperti merokok, status sosial ekonomi, dan paparan polusi udara luar tidak selalu dikontrol secara optimal.

Keterbatasan lain dalam sintesis ini adalah tidak dimasukkannya beberapa penelitian yang tidak tersedia dalam bentuk *full text* serta penelitian yang tidak berbahasa Inggris, meskipun beberapa di antaranya menunjukkan hubungan yang signifikan antara paparan dan kejadian PPOK. Hal ini berpotensi menimbulkan bias publikasi dan membatasi kelengkapan bukti yang dianalisis, sehingga hasil sintesis mungkin belum sepenuhnya merepresentasikan keseluruhan temuan yang ada.

Secara keseluruhan, hasil sintesis menunjukkan bahwa paparan polusi dalam ruangan, terutama dari bahan bakar biomassa, merupakan faktor risiko penting terhadap kejadian PPOK. Risiko ini dipengaruhi oleh jenis bahan bakar, konsentrasi polutan, durasi paparan, serta faktor individu seperti jenis kelamin dan kondisi lingkungan rumah tangga. Temuan ini menegaskan

pentingnya intervensi berbasis lingkungan dan perilaku untuk mengurangi paparan polusi udara dalam ruangan sebagai upaya pencegahan PPOK.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil *systematic review* terhadap sembilan artikel, dapat disimpulkan bahwa polusi udara dalam ruangan memiliki hubungan dengan peningkatan risiko Penyakit Paru Obstruktif Kronik (PPOK), terutama akibat penggunaan bahan bakar biomassa seperti kayu bakar, arang, batubara, sisa tanaman, dan kotoran hewan. Risiko PPOK dipengaruhi oleh jenis bahan bakar, lamanya paparan, konsentrasi polutan udara dalam ruangan seperti PM2.5, serta kondisi ventilasi rumah tangga. Perempuan cenderung memiliki Risiko lebih tinggi karena durasi paparan domestik yang lebih lama. Temuan ini menunjukkan bahwa polusi udara dalam ruangan merupakan faktor risiko penting terhadap kejadian PPOK, khususnya pada masyarakat di negara berkembang yang masih menggunakan bahan bakar padat dalam aktivitas sehari-hari. Upaya pencegahan dapat dilakukan melalui penggunaan bahan bakar yang lebih bersih, perbaikan ventilasi rumah, serta peningkatan edukasi masyarakat mengenai bahaya paparan asap biomassa. Selain itu, penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan desain longitudinal dan pengukuran paparan yang lebih objektif agar hubungan antara polusi udara dalam ruangan dan PPOK dapat dijelaskan secara lebih mendalam.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan artikel *systematic review* ini. Secara khusus, apresiasi yang sebesar-besarnya disampaikan kepada Ibu Disa Hijratul Muharramah, S.K.M., M.Epid. atas bimbingan, arahan, serta kontribusi berharga selama proses penyusunan, serta kepada Ibu Rafiah Maharani Pulungan, S.K.M., M.K.M. atas dukungan dan masukan yang diberikan sehingga artikel ini dapat terselesaikan dengan baik.

## Referensi

- Al, K. A. H. E. T., Holden, K. A., Lee, A. R., Hawcutt, D. B., & Sinha, I. P. (2023). *REVIEW The impact of poor housing and indoor air quality on respiratory health in children*. <https://doi.org/10.1183/20734735.0058-2023>
- Al, Z. L. U. E. T., Lu, Z., Coll, P., Maitre, B., Epaud, R., & Lanone, S. (2022). *REVIEW Air pollution as an early determinant of COPD*. 1–13. <https://doi.org/10.1183/16000617.0059-2022>
- Carlsten, C., Salvi, S., Wong, G. W. K., & Chung, K. F. (2020). *Personal strategies to minimise effects of air pollution on respiratory health: advice for providers , patients and the public*. <https://doi.org/10.1183/13993003.02056-2019>
- Chavan, R. G., Kaur, J., & Charan, G. S. (2024). *Unseen crisis: Revealing the hidden health impact of indoor air pollution — A scoping review*. <https://doi.org/10.4103/jehp.jehp>

- Cho, J., Lee, C., Hwang, S., Kim, K. U., Lee, S. H., & Park, H. Y. (2019). *Risk of acute exacerbations in chronic obstructive pulmonary disease associated with biomass smoke compared with tobacco smoke*. 1–10.
- Disease, P., & Deaths, C. (2021). *Effect of Indoor Air Pollution on Chronic Obstructive Systematic Review and Meta-Analysis*. 1–15.
- Hairil Akbar. (2020). *SURVEI EPIDEMIOLOGI* (H. Akbar (ed.)). Media Sains Indonesia.
- Hanifah, R. S., Aditama, T. Y., Fazlurrahman, M., & Kunci, K. (2025). *Kejadian Penyakit Paru Obstruktif Kronik ( PPOK ) pada Personil TNI AU Depo Pemeliharaan 10 Lanud Husein Sastranegara Bandung Berdasarkan Kuesioner Puma dan Tinjauannya Menurut Pandangan Islam The Incidence of Chronic Obstructive Pulmonary Disease ( COPD ) Among the Personnel of the Indonesian Air Force Maintenance Depot 10 at Husein Sastranegara Air Base , Bandung Based on the PUMA Questionnaire and its Review According to Islamic Perspective*. 3(5), 679–688.
- Li, M., Chen, H., Zhou, N., Zhang, P., & Duan, S. (2023). *Burden of COPD in China and the global from 1990 to 2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019*. 1–11. <https://doi.org/10.1136/bmjresp-2023-001698>
- Li, Q., Zhang, S., Jiang, J., Li, H., Li, Z., Zhu, J., Tong, J., & Wu, F. (2026). *Research frontiers and emerging trends in sex and gender differences in chronic obstructive pulmonary disease: a bibliometric analysis*. 18(2). <https://doi.org/10.21037/jtd-2025-1988>
- Nuraini. (2025). *BUKU REFERENSI PENCEGAHAN PENYAKIT PARU OBSTRUKTIF KRONIS (PPOK)*. Optimal Untuk Negeri.
- Pathak, U., Gupta, N. C., & Suri, J. C. (2019). Risk of COPD due to indoor air pollution from biomass cooking fuel: a systematic review and. *International Journal of Environmental Health Research*, 00(00), 1–14. <https://doi.org/10.1080/09603123.2019.1575951>
- Puliyakote, A. S. K., Stapleton, E. M., Durairaj, K., Karuppusamy, K., Kathiresan, G. B., Shanmugam, K., Rahim, S. A., Navaneethakrishnan, S., Bilas, M., Huang, R., Metwali, N., Jeronimo, M., Chan, K., Guo, J., Nagpal, P., Peters, T. M., Thorne, P. S., Comellas, A. P., & Hoffman, E. A. (2026). *Imaging-based assessment of lung function in a population cooking indoors with biomass fuel: a pilot study. February 2023*, 710–721. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00286.2022>
- Rizky, D., Saragi, F., Susanti, N., Nabilah, N., Miratil, P., & Efri, H. (2024). *EPIDEMIOLOGY OF CHRONIC OBSTRUCTIVE PULMONARY DISEASE ( COPD ) IN INDONESIA : A LITERATURE REVIEW*. 12(4), 801–813.
- Simkovich, S. M., Goodman, D., Roa, C., Crocker, M. E., Wise, R. A., & Checkley, W. (2019). The health and social implications of household air pollution and respiratory diseases. *Npj Primary Care Respiratory Medicine*, March 2018, 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41533-019-0126-x>
- Stress, O., Polymorphisms, G., Ortiz-quintero, B., Mart, I., & Rogelio, P. (2023). *to Household Biomass-Smoke Exposure : Inflammation ,*
- Wang, Z., Lin, J., Liang, L., Huang, F., Yao, X., Peng, K., Gao, Y., & Zheng, J. (2025). *Global , regional , and national burden of chronic obstructive pulmonary disease and its attributable risk factors from 1990 to 2021 : an analysis for the Global Burden of Disease Study 2021*.
- Woldeamanuel, G. G., Mingude, A. B., & Geta, T. G. (2019). *Prevalence of chronic obstructive pulmonary disease ( COPD ) and its associated factors among adults in Abeshge District , Ethiopia : a cross sectional study*. 1–9.
- World Health Organization. (2024). *Chronic obstructive pulmonary disease (COPD)*.
- Zehnder, C., Manoylov, K., Mutiti, S., Mutiti, C., & Vandervoort, A. (2018). *Introduction to Environmental Science : 2nd Edition*.
- Zewdie, A., Degefa, G. H., & Donacho, D. O. (2023). *Health risk assessment of indoor air quality , sociodemographic and kitchen characteristics on respiratory health among women responsible for cooking in urban settings of Oromia region , Ethiopia : a community- - based cross- - sectional study*. 1–11. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-067678>