

**HUBUNGAN PAPARAN PARTIKULAT HALUS (PM2.5) DARI
AKTIVITAS KONSTRUKSI DENGAN ARUS PUNCAK
EKSPIRASI (APE) PADA MASYARAKAT SEKITAR
STADION TELADAN MEDAN**

SKRIPSI



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

Oleh:

ROBY ARYA

2208260024

**FAKULTAS KEDOKTERAN DAN ILMU KESEHATAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN**

2026

**HUBUNGAN PAPARAN PARTIKULAT HALUS (PM2.5) DARI
AKTIVITAS KONSTRUKSI DENGAN ARUS PUNCAK
EKSPIRASI (APE) PADA MASYARAKAT SEKITAR
STADION TELADAN MEDAN**

**Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
kelulusan sarjana kedokteran**



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

Oleh:

ROBY ARYA

2208260024

**FAKULTAS KEDOKTERAN DAN ILMU KESEHATAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN**

2026

HALAMAN PERNYATAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Roby Arya

NPM : 2208260024

Judul Skripsi : HUBUNGAN PAPARAN PARTIKULAT HALUS (PM_{2.5}) DARI AKTIVITAS KONSTRUKSI DENGAN ARUS PUNCAK EKSPIRASI (APE) PADA MASYARAKAT SEKITAR STADION TELADAN MEDAN

Demikianlah pernyataan ini saya perbuat, untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Medan, 13 Juni 2026



Roby Arya

HALAMAN PENGESAHAN



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI, PENELITIAN & PENGEMBANGAN UNIVERSITAS
MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS KEDOKTERAN
Jalan Gedung Arca No. 53 Medan 20217 Telp. (061) 7350163 – 7333162 Ext.
20 Fax. (061) 7363488
Website : fk@umsu.ac.id



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Roby Arya
NPM : 2208260024
Judul : **HUBUNGAN PAPARAN PARTIKULAT HALUS (PM2.5) DARI
AKTIVITAS KONSTRUKSI DENGAN ARUS PUNCAK EKSPIRASI
(APE) PADA MASYARAKAT SEKITAR STADION TELADAN MEDAN**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian
persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana kedokteran Fakultas
Kedokteran Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

DEWAN PENGUJI

Pembimbing,

(Dr. dr. Sri Rezeki Arbaningsih, Sp.P(K)-FCCP)

Penguji 1

(dr. Amiruddin, Sp.P(K))

Penguji 2

(dr. Siti Mirhalina Hasibuan, Sp.PA)

Mengetahui,



(dr. Siti Masliana Siregar, Sp. THT-KL., Subsp. Rino(K))

NIDN: 0106098201

Ketua Program Studi
Pendidikan Dokter
FK UMSU

(dr. Desi Isnayanti, M.Pd.Ked)

NIDN: 0112098605

Ditetapkan di : Medan
Tanggal : 13 Juni 2026

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji Syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan Rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa penulis curahkan kepada baginda Rasulullah SAW, yang telah membimbing umat manusia menuju jalan yang benar dan memberikan inspirasi bagi penulis dalam meneliti perjalanan penelitian ilmiah ini.

Skripsi ini merupakan hasil dari perjalanan panjang yang penuh dengan berbagai tantangan dan perjuangan. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, tidak akan mudah bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Dengan hati yang tulus, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Alm H. Abdul Rasad, S.T., M.M dan Hj. Siti Mahanim Lubis tercinta yang telah membesarkan, memberi dukungan penuh, menyayangi, memberikan motivasi, doa, dan mendukung baik secara moral maupun materil kepada penulis.
2. dr. Siti Masliana Siregar, Sp.THT-KL (K) selaku Dekan Fakultas Kedokteran Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. dr. Desi Isnayanti, M.Pd.Ked., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Dokter Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Dr. dr. Sri Rezeki Arbaningsih, Sp.P(K)-FCCP., selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dukungan serta bimbingan yang sangat berharga dalam menyusun skripsi ini.
5. dr. Amiruddin, Sp.P(K) selaku dosen penguji 1 atas masukan dan arahannya selama penulisan skripsi ini.
6. dr. Siti Mirhalina Hasibuan, Sp.PA selaku dosen penguji 2 atas masukan dan arahannya selama penulisan skripsi ini.

7. dr. Ance Roslina, M.Kes Sp. KKLP., Subsp. FOMC, selaku dosen pembimbing akademik yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, dan pendampingan selama saya menempuh pendidikan preklinik.
8. Abang, kakak, adik dan keponakan, Bobby Arya, Muhammad Arya, Risky Arya, Sri Muliani, Rafasya Pratama Arya, Muhammad Randika Arya dan Rania Humaira Arya yang tidak hentinya selalu memberikan semangat, keceriaan, dukungan, serta doa kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Untuk sahabat seperjuangan penulis Wina, Dara dan Nuril yang selalu saling memberikan dukungan, semangat, serta lelucon yang memenuhi hari-hari penulis selama diperkuliahan.
10. Untuk sahabat yang selalu membantu saya dalam proses selama kuliah, Ilham Rasis, Bayu Saputra, Daffa Rianza, Ade Sedayu, Daffa Rizki, Ario Halki, Kurniawan, Evan Garda, Reza Mukti, Dimas Lesmana, Alfian Rambe, Arvinnanda yang selalu memberikan perhatian, dukungan bahkan membantu dalam proses penulisan skripsi ini.
11. Kelurahan Teladan Barat, yang telah membantu dalam melakukan penelitian sehingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi.
12. Seluruh responden pada penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah bersedia dan membantu dalam penelitian ini.
13. Seluruh dosen dan pegawai Fakultas Kedokteran Ilmu Kesehatan UMSU, atas bimbingan, ilmu, pelayanan akademik, dan dukungan administratif yang sangat membantu selama proses studi hingga penyusunan skripsi.
14. Teman-teman seangkatan di Fakultas Kedokteran Ilmu Kesehatan UMSU, atas kebersamaan, motivasi, dan kerja sama yang baik sepanjang perjalanan perkuliahan hingga penyelesaian skripsi.

Dengan ini, diharapkan bahwa skripsi ini dapat memberikan dampak positif dan kontribusi yang berarti bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan masyarakat. Saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata kesempurnaan. Segala kekurangan dan kesalahan yang terdapat dalam skripsi ini, untuk itu kritik dan saran demi kesempurnaan tulisan ini sangat saya harapkan.

Demikianlah kata pengantar ini saya sampaikan. Dengan penuh harap dan doa, saya menyampaikan kata pengantar ini, semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua. Aamiin.

Medan, 13 Juni 2026

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Roby Arya', with a stylized, cursive script.

Roby Arya

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Roby Arya

NPM : 2208260024

Fakultas : Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bebas Royalti Non-eksklusif atas skripsi saya yang berjudul: **“HUBUNGAN PAPARAN PARTIKULAT HALUS (PM2.5) DARI AKTIVITAS KONSTRUKSI DENGAN ARUS PUNCAK EKSPIRASI (APE) PADA MASYARAKAT SEKITAR STADION TELADAN MEDAN”** beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada tanggal : 13 Juni 2026

Yang menyatakan



Roby Arya

ABSTRAK

Pendahuluan: Aktivitas konstruksi merupakan salah satu sumber utama emisi partikulat halus (PM_{2.5}) di lingkungan perkotaan, PM_{2.5} yang berdiameter $\leq 2,5$ mikrometer mampu menembus hingga ke alveolus paru, memicu respons inflamasi, dan berpotensi menurunkan fungsi paru yang tercermin dari nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE). **Metode:** Penelitian ini menggunakan desain observasional analitik dengan pendekatan *cross-sectional* pada 72 responden yang tinggal atau beraktivitas dalam radius 300–500 meter dari lokasi konstruksi Stadion Teladan Kota Medan, kadar PM_{2.5} diukur menggunakan *Air Quality Detector* portable dan nilai APE diukur menggunakan *peak flow meter*, kemudian dianalisis menggunakan uji Chi-Square. **Hasil:** Tidak ada responden yang terpapar PM_{2.5} kategori baik, dengan 65,3% berada pada kategori sedang dan 34,7% pada kategori tidak sehat, distribusi nilai APE menunjukkan 52,8% kategori sedang, 25,0% baik, dan 22,2% buruk; uji Chi-Square menunjukkan terdapat hubungan yang bermakna antara paparan PM_{2.5} dengan nilai APE ($p < 0,001$), di mana kelompok paparan tidak sehat memiliki proporsi terbesar APE buruk (44,0%). **Kesimpulan:** Terdapat hubungan yang bermakna antara paparan partikulat halus (PM_{2.5}) dari aktivitas konstruksi dengan nilai APE pada masyarakat sekitar Stadion Teladan Kota Medan, dan peningkatan kadar PM_{2.5} berkaitan dengan penurunan nilai APE sebagai indikator fungsi paru.

Kata Kunci: PM_{2.5}, partikulat halus, arus puncak ekspirasi, konstruksi, fungsi paru

ABSTRACT

Introduction: Construction activities are one of the primary sources of fine particulate matter (PM_{2.5}) emissions in urban environments; PM_{2.5} with a diameter of ≤ 2.5 micrometers can penetrate deep into the pulmonary alveoli, triggering inflammatory responses and potentially impairing lung function as reflected by Peak Expiratory Flow (PEF) values. **Methods:** This study employed an analytical observational design with a cross-sectional approach involving 72 respondents who lived or conducted activities within a 300–500 meter radius of the Stadion Teladan construction site in Medan; PM_{2.5} levels were measured using a portable Air Quality Detector and PEF values were obtained using a peak flow meter, with data analyzed using the Chi-Square test. **Results:** None of the respondents had good PM_{2.5} exposure levels, with 65.3% in the moderate category and 34.7% in the unhealthy category; PEF distribution showed 52.8% moderate, 25.0% good, and 22.2% poor; the Chi-Square test demonstrated a statistically significant relationship between PM_{2.5} exposure and PEF values ($p < 0.001$), with the unhealthy exposure group having the highest proportion of poor PEF values (44.0%). **Conclusion:** There is a significant relationship between fine particulate matter (PM_{2.5}) exposure from construction activities and Peak Expiratory Flow values in the community surrounding Stadion Teladan Medan, where increased PM_{2.5} levels are associated with decreased PEF values as an indicator of lung function.

Keywords: PM_{2.5}, fine particulate matter, peak expiratory flow, construction, lung function

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.3.1 Tujuan umum	3
1.3.2 Tujuan khusus	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.4.1 Manfaat bagi peneliti.....	4
1.4.2 Manfaat bagi Masyarakat.....	4
1.4.3 Manfaat bagi fakultas.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Paparan Debu Konstruksi.....	5
2.1.1 Definisi Partikulat	5
2.1.2 Klasifikasi Partikulat.....	5
2.1.3 Sumber debu di proyek konstruksi.....	6
2.1.4 Standar Baku Mutu Udara Ambien (SBMUA).....	7
2.1.5 Mekanisme penyebaran dan paparan debu konstruksi.....	9
2.2 Arus Puncak Ekspirasi	10
2.2.1 Definisi Arus Puncak Ekspirasi	10
2.2.2 Peak Flow Meter	10
2.2.3 Faktor yang mempengaruhi Nilai APE	12

2.3 Kaitan partikulat terhadap nilai arus puncak ekspirasi	14
2.4 Kerangka Teori.....	15
2.5 Kerangka Konsep	16
2.6 Hipotesis.....	16
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Definisi Operasional.....	17
3.2 Jenis penelitian	18
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.3.1 Waktu penelitian	18
3.3.2 Tempat penelitian.....	19
3.4 Populasi dan sampel penelitian	19
3.4.1 Populasi penelitian	19
3.4.2 Sampel penelitian	19
3.4.3 Kriteria inklusi dan eksklusi	20
3.5 Teknik pengumpulan data	21
3.5.1 Pengukuran paparan debu	22
3.5.2 Pengukuran arus puncak ekspirasi	22
3.5.3 Instrumen yang digunakan	23
3.6 pengolahan dan analisis data	24
3.6.1 pengolahan data.....	24
3.6.2 Analisis data	25
3.7 Alur penelitian.....	26
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Hasil penelitian.....	27
4.1.1 Analisis univariat	27
4.1.2 Analisis bivariat	31
4.2 Pembahasan.....	33
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	38
5.1 Kesimpulan	38
5.2 Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rentang Konsentrasi Per Jam Partikulat	6
Tabel 2.2 Baku Mutu Udara Ambien.....	8
Tabel 3.1 Definisi Operasional	17
Tabel 3.2 Waktu Penelitian	21
Tabel 4.1 Distribusi data berdasarkan usia responden	27
Tabel 4.2 Distribusi data berdasarkan usia responden	28
Tabel 4. 3 Distribusi data berdasarkan nilai APE responden.....	29
Tabel 4.4 Distribusi data berdasarkan nilai PM 2.5 responden.....	30
Tabel 4.5 Distribusi Data APE Berdasarkan Jenis Kelamin	30
Tabel 4.6 Distribusi Nilai APE berdasarkan Status Merokok	31
Tabel 4.7 Hubungan Paparan Partikulat Halus PM2.5 dengan Arus Puncak Ekspirasi.....	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kerangka Teori.....	15
Gambar 2.2 Kerangka Konsep	16
Gambar 3. 1 Nilai normal APE berdasarkan Proyek Pneumobile Indonesia.....	23
Gambar 3. 2 Air Detector Quality	23
Gambar 3. 3 Peak flow meter.....	23
Gambar 3. 4 Alur Penelitian.....	26

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor konstruksi memiliki peranan penting dalam pembangunan ekonomi nasional. Melalui sektor ini, berbagai infrastruktur seperti jalan, perumahan, gedung, jembatan, dan fasilitas publik lainnya dapat dibangun dan menjadi indikator kemajuan suatu wilayah.¹ Namun demikian, di balik kontribusi positif tersebut, aktivitas konstruksi juga menimbulkan tantangan lingkungan yang kompleks, seperti alih fungsi lahan serta pemanfaatan sumber daya alam secara intensif, dan peningkatan emisi karbon.¹

Salah satu dampak signifikan dari aktivitas konstruksi adalah meningkatnya paparan debu di lingkungan sekitar. Debu merupakan partikel halus berukuran kurang dari 100 mikrometer yang berpotensi mengganggu sistem pernapasan, khususnya jika terjadi paparan berulang dalam jangka panjang. Sumber debu dapat berasal dari bahan organik maupun anorganik, serta dari bahan kimia dan gas lain yang dilepaskan selama proses proyeksi.²

Paparan partikulat halus, terutama PM_{2.5}. ($\leq 2,5$ mikrometer), merupakan ancaman utama dalam polusi udara yang berasal dari kegiatan konstruksi. Partikel-partikel ini dapat terhirup dan masuk ke saluran napas dan bahkan PM_{2.5} mampu menembus hingga ke sirkulasi darah, meningkatkan risiko gangguan paru, kanker, serta kematian dini.³ *Air Quality Life Index* (2021) melaporkan bahwa lebih dari 93% penduduk Indonesia terpapar PM_{2.5} melebihi ambang batas aman *World Health Organization* (WHO), yang dapat menyebabkan penurunan harapan hidup hingga 2,5 tahun, terutama di wilayah perkotaan, seperti Jakarta dan Medan.⁴ Penelitian oleh Sekhavati dan Yengejeh (2023) menunjukkan bahwa pekerja konstruksi memiliki tingkat paparan partikulat halus PM_{2.5} yang tinggi, terutama selama proses pengeboran, dan kondisi ini berasosiasi erat dengan peningkatan risiko gangguan kesehatan yang bersifat kanker maupun non-kanker. Hal ini juga menyiratkan bahwa masyarakat yang tinggal di sekitar lokasi

konstruksi sangat mungkin ikut terdampak, mengingat paparan debu melalui udara tidak terbatas pada area kerja semata.⁵

Untuk menilai risiko kesehatan akibat PM_{2.5}, perlu dilakukan pemantauan kualitas udara secara sistematis. Parameter kualitas udara umumnya diukur menggunakan satuan mikrogram per meter kubik udara ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), dengan alat seperti *DustTrak*, *AirVisual*, atau sensor portabel lainnya. Standar Baku Mutu Udara Ambien (SBMUA) dari *World Health Organization* (2021) menetapkan ambang batas PM_{2.5} sebesar 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rerata harian dan 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rerata tahunan.⁶ Sementara itu, regulasi nasional dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Indonesia menetapkan ambang batas PM_{2.5} sebesar 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rerata harian (PP No. 22 Tahun 2021).⁷

Secara fisiologis, Partikel debu yang masuk melalui saluran napas atas umumnya disaring oleh rambut hidung dan mukosa bersilia. Namun, partikel halus PM_{2.5} dapat melewati sistem pertahanan tersebut dan mencapai saluran napas bawah hingga alveoli. Di sana, partikel-partikel ini akan menempel pada mukosa, merangsang aktivasi sel imun, serta memicu respon inflamasi. Jika paparan berlangsung dengan tingkat paparan yang tinggi dalam jangka waktu yang panjang, kondisi ini dapat menyebabkan iritasi, gangguan fungsi silia, penurunan efektivitas pembersihan mukosilier, dan menurunnya daya tahan paru terhadap infeksi.⁸ Masyarakat yang terpapar secara terus-menerus berisiko mengalami penurunan fungsi paru yang salah satu indikatornya adalah Arus Puncak Ekspirasi (APE).

Peningkatan aktivitas pembangunan infrastruktur perkotaan kerap berkontribusi pada emisi debu konstruksi, salah satu sumber penting partikulat udara halus (PM_{2.5}) yang berdifusi jauh dan mencapai area permukiman di sekitarnya. PM_{2.5} mampu menembus saluran napas hingga alveolus dan memicu respons inflamasi serta stres oksidatif yang dapat mengganggu fungsi pernapasan populasi yang terpapar, termasuk penurunan parameter fungsi paru seperti Arus Puncak Ekspirasi. Studi observasional dan intervensi menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi PM_{2.5} berkaitan dengan perubahan PEF/APE secara akut

dan kronis pada berbagai kelompok umur, termasuk pekerja terpapar dan populasi umum.⁹

Sejumlah penelitian lima tahun terakhir mendukung adanya hubungan antara paparan PM_{2.5} dan penurunan parameter fungsi paru. Studi oleh Xue et al. (2021) menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi PM secara signifikan meningkatkan fungsi paru populasi.¹⁰ Meta-analisis tahun 2023 juga melaporkan bahwa peningkatan paparan PM_{2.5} akut berkaitan dengan penurunan nilai PEF/APE. Selain itu, penelitian pada pekerja konstruksi dan fiber/cement workers (2023) menemukan bahwa paparan partikulat halus dalam lingkungan kerja dapat menurunkan kapasitas paru dan mempercepat gejala gangguan pernapasan.¹¹ Temuan ini mengindikasikan bahwa PM_{2.5} dari aktivitas konstruksi berpotensi memengaruhi fungsi paru masyarakat di sekitar proyek. Namun, belum ada penelitian yang menilai hubungan paparan PM_{2.5} dari aktivitas konstruksi dengan APE pada masyarakat sekitar Stadion Teladan Medan. Mengingat APE merupakan indikator sederhana dan sensitif terhadap gangguan aliran udara akibat polusi, penelitian ini penting untuk memberikan bukti ilmiah lokal, mendukung mitigasi polusi konstruksi, dan melindungi kesehatan masyarakat perkotaan..

1.2 Rumusan Masalah

Apakah terdapat hubungan antara paparan partikulat halus (PM_{2.5}) yang berasal dari aktivitas konstruksi dengan nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE) pada masyarakat yang tinggal dan beraktivitas di sekitar kawasan Stadion Teladan Medan?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan umum

Mengetahui hubungan antara paparan partikulat halus (PM_{2.5}) yang berasal dari aktivitas konstruksi dengan nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE) pada masyarakat yang tinggal dan beraktivitas di sekitar kawasan Stadion Teladan Medan.

1.3.2 Tujuan khusus

1. Menentukan tingkat paparan partikulat halus ($PM_{2.5}$) yang dihasilkan dari aktivitas konstruksi di kawasan Stadion Teladan Medan.
2. Mengidentifikasi nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE) pada masyarakat yang tinggal dan beraktivitas di sekitar kawasan Stadion Teladan Medan
3. Menganalisis hubungan antara tingkat paparan partikulat halus ($PM_{2.5}$) dengan nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE) pada masyarakat di sekitar kawasan Stadion Teladan Medan.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat bagi peneliti

Penelitian ini memberikan pengalaman langsung bagi peneliti dalam merancang dan melaksanakan penelitian kuantitatif dengan desain observasional, serta memperluas pemahaman mengenai hubungan antara paparan partikulat halus ($PM_{2.5}$) dari aktivitas konstruksi dengan nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE) pada masyarakat yang tinggal di sekitar kawasan Stadion Teladan Medan.

1.4.2 Manfaat bagi Masyarakat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada masyarakat mengenai dampak paparan partikulat halus ($PM_{2.5}$) terhadap fungsi paru, sehingga dapat meningkatkan kesadaran untuk melakukan upaya pencegahan dan menjaga kesehatan pernapasan di lingkungan sekitar.

1.4.3 Manfaat bagi fakultas

Penelitian ini memberikan data awal yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan program pengabdian kepada masyarakat berbasis bukti, khususnya dalam upaya pencegahan gangguan saluran pernapasan akibat paparan partikulat halus ($PM_{2.5}$) dari aktivitas konstruksi di kawasan Stadion Teladan Medan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Paparan Debu Konstruksi

2.1.1 Definisi Partikulat

Partikulat udara (*particulate matter*, PM) adalah campuran partikel padat dan cair dengan komposisi heterogen yang tersuspensi di atmosfer. Partikel-partikel ini terdiri dari berbagai komponen fisik dan kimia seperti mineral, logam berat, senyawa organik, dan senyawa anorganik. PM dapat berasal dari sumber alami seperti debu tanah, asap kebakaran hutan, dan aktivitas vulkanik, serta sumber antropogenik seperti pembakaran bahan bakar fosil, emisi kendaraan bermotor, dan aktivitas industri. Partikulat memiliki ukuran yang sangat bervariasi, mulai dari partikel kasar yang relatif besar hingga partikel halus dan ultrafine yang sangat kecil. Ukuran partikulat sangat penting karena menentukan lama partikel tersebut tetap tersuspensi di udara dan sejauh mana partikel dapat masuk ke sistem pernapasan manusia. Partikulat yang berukuran kecil, terutama partikel yang memiliki diameter aerodinamis kurang dari 2,5 mikrometer (PM_{2.5}), dapat menembus hingga ke alveoli paru-paru dan bahkan dapat memasuki peredaran darah, sehingga berpotensi menimbulkan efek toksik sistemik yang serius. Selain itu, Partikulat menjadi salah satu polutan udara utama yang berkontribusi secara signifikan terhadap morbiditas dan mortalitas akibat penyakit pernapasan dan kardiovaskular. Peningkatan konsentrasi partikulat di udara telah dikaitkan dengan peningkatan risiko kejadian asma, bronkitis kronis, penurunan fungsi paru, hingga kematian dini akibat gangguan kardiovaskular.¹²

2.1.2 Klasifikasi Partikulat

Particulate Matter (PM) atau partikel debu merupakan partikel padat atau cair yang tersuspensi di udara dan menjadi salah satu indikator utama pencemaran udara. Dalam jurnal “Analisis Konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2.5} pada Titik Pemantauan Bundaran HI Jakarta Pusat”, partikel debu diklasifikasikan berdasarkan ukuran partikel serta berdasarkan konsentrasi terhadap kualitas udara. Secara ukuran, PM dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- a. PM_{10} , yaitu partikel berukuran kurang dari 10 mikrometer, yang umumnya berasal dari proses mekanis seperti debu jalanan, aktivitas industri dan pertanian.
- b. $PM_{2.5}$, yaitu partikel lebih halus dengan ukuran kurang dari 2,5 mikrometer, yang sebagian besar berasal dari proses pembakaran dan reaksi kimia di atmosfer.

Selain berdasarkan ukuran, partikel debu juga diklasifikasikan berdasarkan kategori kualitas udara sesuai Peraturan BMKG No. 2 Tahun 2020. Kategori ini dibedakan menurut tingkat konsentrasi partikel per jam dan ditandai dengan warna tertentu.¹⁵

Berikut adalah klasifikasi partikel debu berdasarkan konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2.5}$:

Tabel 2.1 Rentang Konsentrasi Per Jam Partikulat

WARNA	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	KATEGORI
HIJAU	0–50	0–15	Baik
BIRU	51–150	16–65	Sedang
KUNING	151–350	66–150	Tidak Sehat
MERAH	351–420	151–250	Sangat Tidak Sehat
HITAM	> 420	> 250	Berbahaya

Kategori ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi partikulat, maka semakin buruk kualitas udara dan semakin tinggi pula risiko kesehatan yang ditimbulkan. Kategori “Berbahaya” (hitam) menandakan kondisi udara yang sangat berisiko mengganggu kesehatan Masyarakat, terutama pada kelompok yang lebih rentan seperti anak-anak, lanjut usia dan individu dengan penyakit pernapasan.¹³

2.1.3 Sumber debu di proyek konstruksi

Debu yang dihasilkan dari aktivitas konstruksi merupakan salah satu sumber utama polusi udara partikula, terutama dalam bentuk PM_{10} dan $PM_{2.5}$. Partikulat

ini dapat berasal dari berbagai tahapan pekerjaan konstruksi dan berpotensi menimbulkan dampak kesehatan yang signifikan bagi pekerja maupun masyarakat sekitar.

Salah satu sumber utama debu berasal dari kegiatan penggalian, pemindahan tanah, dan penggunaan alat berat, yang menghasilkan partikulat kasar (PM10) dalam jumlah besar. Aktivitas tersebut menyumbang lebih dari 50% total partikulat tersuspensi di lokasi konstruksi, dan partikel ini dapat terangkat ke udara terutama saat permukaan tanah kering dan tidak tertutup. Proses pembongkaran struktur bangunan lama serta pemotongan material seperti beton, batu bata, dan logam menghasilkan debu halus (PM2.5) yang dapat terdispersi ke lingkungan sekitar. Debu ini sering kali mengandung partikel silika kristalin yang bersifat karsinogenik dan berbahaya bagi kesehatan pernapasan. Kegiatan pembongkaran menyumbang hingga 77,68% dari total emisi PM2.5 di area konstruksi.

Lalu lintas kendaraan dan alat berat yang melintasi permukaan tanah yang tidak beraspal juga menjadi sumber signifikan debu konstruksi. Getaran dan gerakan roda mengangkat debu halus dari permukaan tanah kering ke udara sekitar. Selain itu, knalpot kendaraan diesel juga melepaskan partikel karbon yang berukuran sangat kecil (PM2.5). Pengangkutan material kering seperti semen, pasir, dan agregat tanpa penutup yang memadai dapat menyebabkan pelepasan debu ke udara. Proses pemindahan dan pencampuran material ini juga berkontribusi terhadap emisi partikulat halus. Kondisi cuaca seperti angin kencang dan kelembaban rendah dapat memperburuk penyebaran debu dari lokasi konstruksi ke area sekitarnya. Tanah yang kering dan tidak tertutup vegetasi lebih rentan terhadap erosi angin, yang meningkatkan emisi partikulat.¹⁴

2.1.4 Standar Baku Mutu Udara Ambien (SBMUA)

Standar Baku Mutu Udara Ambien (SBMUA) adalah ukuran yang ditetapkan untuk menentukan batas aman konsentrasi zat pencemar di udara guna melindungi kesehatan manusia dan lingkungan. Dalam konteks penelitian ini, SBMUA menjadi acuan penting untuk menilai sejauh mana aktivitas konstruksi berkontribusi terhadap pencemaran udara, khususnya partikel debu halus seperti

PM10 dan PM2.5, yang diketahui berdampak langsung terhadap kesehatan saluran pernapasan.⁸

PM10 (partikulat dengan diameter ≤ 10 mikrometer) dapat masuk ke saluran napas atas dan menyebabkan iritasi, sedangkan PM2.5 (diameter $\leq 2,5$ mikrometer) dapat menembus lebih dalam hingga ke alveoli paru-paru, memicu reaksi inflamasi yang berkontribusi terhadap gangguan pernapasan seperti gejala infeksi saluran pernapasan akut (ISPA). Konsentrasi partikulat yang tinggi di lingkungan padat aktivitas konstruksi meningkatkan risiko paparan jangka pendek maupun panjang terhadap masyarakat sekitar. Pemerintah Indonesia melalui Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 menetapkan ambang batas harian 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk PM10 dan 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk PM2.5 sebagai batas maksimal yang diperbolehkan dalam udara ambien selama 24 jam.⁸ Namun, standar ini masih lebih longgar dibandingkan rekomendasi dari *World Health Organization* (WHO) yang menetapkan ambang batas yang lebih ketat, yaitu 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk PM10 dan 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk PM2.5. WHO menekankan bahwa bahkan pada konsentrasi rendah sekalipun, paparan partikel halus dapat meningkatkan kejadian penyakit pernapasan, terutama pada anak-anak, lansia, dan kelompok rentan lainnya.⁶

Tabel 1.2 Baku Mutu Udara Ambien

Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu
Sulfur Dioksida (SO ₂)	1 Jam	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 Jam	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 Tahun	50 $\mu\text{g}/\text{m}$
Karbon Monoksida (CO)	8 Jam	10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Nitrogen Dioksida (NO ₂)	1 Jam	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 Jam	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 Tahun	65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ozon (O ₃)	1 Jam	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	8 Jam	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 Tahun	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Hidrokarbon Non Metana (NMHC)	3 Jam	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Partikulat debu < 100 μm (TSP)	24 Jam	230 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Partikulat debu < 10 μm (PM10)	24 Jam	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 Tahun	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Partikulat debu < 2,5 μm (PM _{2,5})	24 Jam	55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 Tahun	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Timbal (Pb)	24 Jam	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Sumber: PP 22/21 Lampiran VII.

2.1.5 Mekanisme penyebaran dan paparan debu konstruksi

Partikulat debu melayang atau Suspended Particulate Matter (SPM) tersusun atas campuran yang sangat kompleks, terdiri dari berbagai jenis senyawa organik dan anorganik. Partikel ini tersebar di udara dalam ukuran yang sangat bervariasi, yaitu mulai dari kurang dari 1 mikron hingga mencapai sekitar 500 mikron. Dalam kondisi tertentu, partikulat ini dapat tetap tersuspensi di atmosfer dalam jangka waktu yang relatif lama dan mudah terhirup oleh manusia melalui saluran pernapasan. Paparan terhadap partikulat debu tidak hanya berdampak pada kesehatan, tetapi juga dapat mengganggu jarak pandang (visibilitas) serta memicu berbagai reaksi kimia di atmosfer. Secara umum, partikel SPM mengandung senyawa kimia dengan ukuran, bentuk, dan karakteristik yang berbeda-beda tergantung dari sumber emisinya. Dalam konteks proyek konstruksi, sumber debu bisa berasal dari aktivitas penggalian, pemotongan material bangunan, serta pergerakan alat dan kendaraan.¹⁵

Ukuran partikel sangat menentukan sejauh mana partikel tersebut dapat masuk ke dalam saluran pernapasan. Partikel dengan ukuran antara 0,1 hingga 10 mikron tergolong berbahaya bagi kesehatan. Secara umum, partikel dengan ukuran sekitar ≤ 5 mikron dapat langsung masuk ke dalam paru-paru dan mengendap di alveoli. Namun, partikel dengan ukuran lebih besar dari itu tidak bisa dianggap aman, karena masih dapat menyebabkan gangguan pada saluran pernapasan bagian atas, seperti iritasi dan inflamasi mukosa. Efek buruk debu terhadap saluran pernapasan juga sangat dipengaruhi oleh mekanisme penyaringannya di tubuh. Partikel debu berukuran 5–10 mikron cenderung

tertahan di saluran pernapasan atas. Partikel kasar biasanya dapat disaring oleh rambut hidung, sedangkan partikel yang lebih halus akan terjebak dalam mukosa hidung. Reaksi tubuh terhadap masuknya debu ini umumnya berupa rasa gatal di hidung dan bersin.

Selanjutnya, partikel halus berukuran 3–5 mikron dapat terdorong ke arah faring dan menyebabkan batuk sebagai respons refleks tubuh terhadap benda asing. Debu berukuran 1–3 mikron dapat mencapai bagian atas alveoli dan menimbulkan iritasi, sedangkan partikel yang lebih kecil lagi, antara 0,5 hingga 1 mikron, memiliki kemampuan menembus hingga ke alveoli dan menempel pada selaput lendir paru-paru, yang pada akhirnya dapat menyebabkan fibrosis paru bila terjadi paparan jangka panjang. Dampak paparan ini akan menjadi lebih parah jika terjadi reaksi sinergistik antara partikulat debu dengan gas lain di udara seperti sulfur dioksida (SO_2), yang juga umum dijumpai di lingkungan industri dan konstruksi. Kombinasi ini dapat memperkuat efek iritasi pada saluran pernapasan serta meningkatkan kemungkinan terjadinya gangguan fungsi respirasi, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak, lanjut usia dan individu yang memiliki penyakit paru sebelumnya.¹⁵

2.2 Arus Puncak Ekspirasi

2.2.1 Definisi Arus Puncak Ekspirasi

Arus Puncak Ekspirasi adalah volume udara yang dikeluarkan secara paksa dari paru dalam satu hembusan cepat, dan merupakan indikator yang andal untuk menilai kecukupan ventilasi serta adanya obstruksi aliran udara. Nilai puncak ekspirasi normal dapat berbeda pada setiap orang dan bergantung pada faktor-faktor seperti jenis kelamin, usia, dan tinggi badan. PEFr umumnya lebih tinggi pada laki-laki dibandingkan perempuan dan lebih tinggi pada individu yang bertubuh lebih tinggi. Setelah mengalami peningkatan sesuai yang diharapkan selama masa kanak-kanak dan remaja, PEFr akan mulai menurun seiring bertambahnya usia, khususnya mulai usia 30–40 tahun ke atas.¹⁶

2.2.2 Peak Flow Meter

Peak flow meter (PFM) merupakan alat pemantauan yang dapat digunakan di rumah untuk mengukur puncak aliran ekspirasi, yaitu kekuatan hembusan napas tertinggi yang mencerminkan fungsi paru-paru. Nilai yang diperoleh berasal dari puncak aliran udara terbaik yang mampu dicapai pasien, sehingga alat ini membantu mengidentifikasi adanya serta tingkat obstruksi saluran pernapasan.

Meskipun terdapat berbagai desain peak flow meter, semuanya bekerja dengan teknik dasar yang sama. Klinisi harus menginstruksikan pasien untuk melakukan langkah-langkah berikut:

1. Periksa *peak flow meter* Anda untuk memastikan corongnya bersih dan bebas dari benda apa pun.
2. Pindahkan penanda ke bagian bawah skala angka. Anda mungkin perlu menggoyangkannya untuk menurunkan penanda.
3. Berdiri atau duduk dengan tegak.
4. Tarik napas dalam melalui hidung.
5. Letakkan alat di antara gigi atau gusi, gigit perlahan. Kemudian rapatkan bibir dengan kuat di sekitar corong.
6. Hembuskan napas sekeras dan secepat mungkin dalam satu kali hembusan.
7. Baca angka yang berada di samping penanda. Catat angka tersebut.
8. Untuk mengatur ulang alat, pindahkan penanda kembali ke nol dan ulangi langkah-langkah di atas 2 kali lagi.
9. Jika Anda merasa pusing, berhenti dan istirahatlah, lalu lakukan kembali nanti.
10. Angka tertinggi dari ketiga hasil tersebut adalah nilai *peak flow* Anda.¹⁷

Peak flow meter umumnya dilengkapi dengan penanda pengukur yang menunjukkan 3 zona yang dapat diatur oleh pasien atau klinisi untuk membantu pengguna menafsirkan nilai *peak flow* mereka. Untuk memudahkan pemahaman pasien, warna yang digunakan mengikuti warna lampu lalu lintas tradisional, yang

menunjukkan tingkat keterbatasan *peak flow* yang berbeda. Zona-zona tersebut mempunyai tiga warna zona dengan ketentuan masing-masing sebagai berikut:

1. Zona hijau: Zona ini menunjukkan nilai *peak flow* sebesar 80% hingga 100% dari nilai terbaik pribadi pasien.
2. Zona kuning: Zona ini mencakup nilai *peak flow* antara 50% hingga 80% dari nilai terbaik pribadi pasien. Ketika nilai berada di zona ini, pasien harus mengikuti rencana tindakan di rumah, dimulai dengan penggunaan bronkodilator.
3. Zona merah: Pasien yang berada di zona merah memiliki nilai *peak flow* di bawah 50% dari nilai terbaik pribadi mereka. Pasien harus segera memulai terapi bronkodilator dan menghubungi klinisi jika nilai *peak flow* tidak segera kembali ke zona kuning atau hijau. Nilai *peak flow* pada rentang ini menunjukkan kemungkinan adanya obstruksi jalan napas yang berat dan merupakan keadaan darurat medis.¹⁸

2.2.3 Faktor yang mempengaruhi Nilai APE

Nilai Arus Puncak Ekspirasi bervariasi pada setiap individu karena dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai APE antara lain sebagai berikut:

1. Usia

Usia merupakan salah satu faktor fisiologis yang memengaruhi nilai APE. Individu pada kelompok usia yang lebih muda umumnya memiliki nilai APE yang lebih tinggi dibandingkan kelompok usia lanjut. Seiring bertambahnya usia, terjadi berbagai perubahan pada sistem respirasi, seperti menurunnya elastisitas jaringan paru, berkurangnya compliance dinding dada dan berkurangnya volume paru, sehingga kemampuan mengeluarkan udara secara maksimal ikut menurun.

2. Jenis kelamin

Arus Puncak Ekspirasi (APE) pada laki-laki umumnya sekitar 25% lebih tinggi dibandingkan perempuan. Kondisi ini berkaitan dengan kapasitas paru laki-laki yang secara anatomis dan fisiologis lebih besar, sehingga

menghasilkan aliran udara ekspirasi maksimal yang lebih tinggi dibandingkan perempuan.

3. Obesitas

Overweight dan obesitas berhubungan dengan penumpukan jaringan adiposa pada dinding dada yang dapat membatasi pergerakan toraks dan menurunkan elastisitasnya. Perubahan tersebut mempengaruhi mekanisme ventilasi paru dengan menurunkan volume tidal serta kapasitas residu fungsional. Berkurangnya peregangan saluran napas selama siklus pada akhirnya dapat menurunkan nilai Arus Puncak Ekspirasi dan mengurangi kemampuan ekspansi dada.

4. Tinggi Badan

Tinggi badan mempengaruhi fungsi paru karena berkaitan dengan perkembangan fungsi tubuh, termasuk fungsi paru. Hal ini berkaitan dengan penumbuhan organ paru serta peningkatan massa otot yang terjadi seiring bertambahnya tinggi badan. Oleh karena itu, individu dengan postur lebih tinggi umumnya memiliki ventilasi paru yang lebih besar dibandingkan dengan individu postur tubuh lebih rendah.

5. Alat Pelindung Diri (APD)

Dalam melakukan pekerjaan atau aktivitas fisik, APD berperan sebagai bentuk perlindungan pada tingkat akhir terhadap berbagai potensi bahaya. Salah satu APD yang paling mudah diperoleh dan paling banyak digunakan adalah masker. Penggunaan masker dapat membantu melindungi saluran pernapasan dari paparan bakteri, virus, serta partikel halus yang berpotensi menimbulkan gangguan pada sistem pernapasan.

6. Perokok

Merokok dapat menginduksi proses inflamasi kronis pada saluran pernapasan yang mengakibatkan berbagai perubahan histopatologis, termasuk hiperplasia kelenjar mukosa dan fibrosis. Perubahan tersebut meningkatkan ketebalan dinding bronkus, menyebabkan penyempitan

lumen saluran napas, serta menghambat aliran udara inspirasi maupun ekspirasi yang pada akhirnya dapat menurunkan fungsi paru.

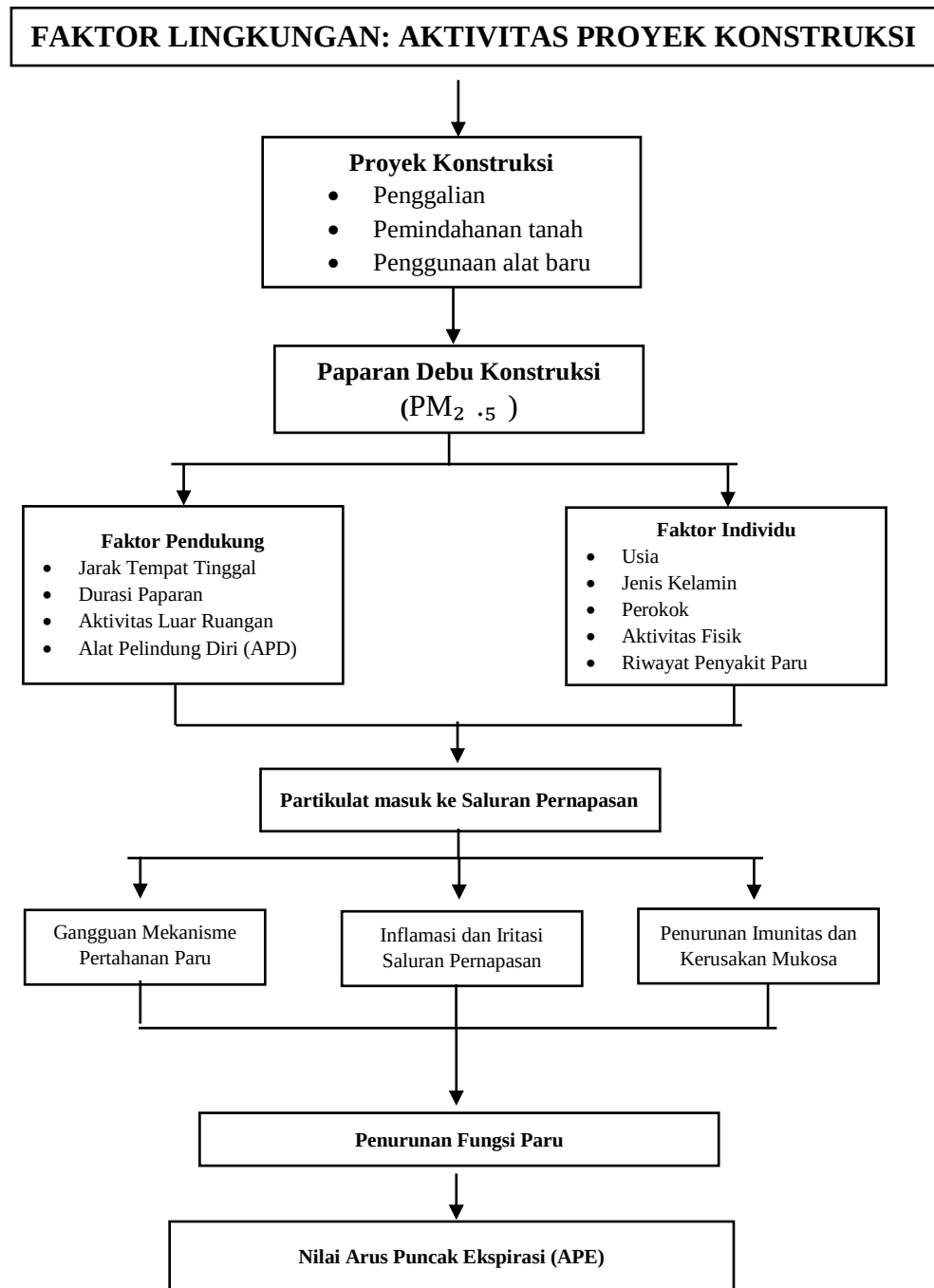
7. Aktivitas fisik dan pekerjaan

Pemeliharaan kebugaran kardiorespirasi melalui aktivitas fisik yang teratur dapat memberikan pengaruh positif terhadap nilai Arus Puncak Ekspirasi. Hal ini disebabkan aktivitas fisik mampu meningkatkan kapasitas paru, memperkuat otot-otot pernapasan, serta meningkatkan efisiensi ventilasi paru.¹⁹

2.3 Kaitan partikulat terhadap nilai arus puncak ekspirasi

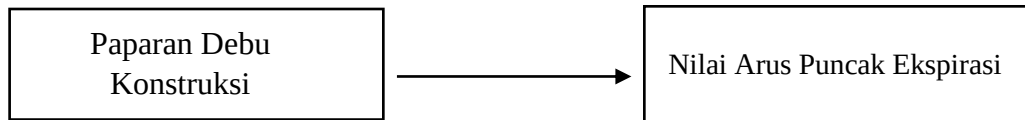
Paparan partikulat terutama PM_{2.5} dan PM₁₀ telah terbukti memberikan dampak negatif terhadap fungsi paru yang salah satunya diukur melalui nilai arus puncak ekspirasi (Peak Expiratory Flow/PEF). Beberapa studi menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi partikulat di udara berhubungan dengan penurunan PEF baik pada paparan jangka pendek maupun jangka panjang. penelitian yang ditunjukkan oleh Kim et al. (2020), yang menganalisis paparan PM_{2.5} dalam ruangan dan menemukan bahwa peningkatan kadar PM_{2.5} mingguan menyebabkan penurunan PEF sekitar 1–2%.²⁰ Pada paparan jangka panjang, penelitian Ye et al. (2024) di China menunjukkan bahwa setiap kenaikan 10 µg/m³ PM_{2.5} menyebabkan penurunan PEF sebesar 2,23%.⁹ Temuan ini diperkuat oleh meta-analisis yang melaporkan bahwa peningkatan polusi partikulat secara konsisten menurunkan nilai PEF pada individu sehat maupun penderita penyakit pernapasan. Secara keseluruhan, bukti ilmiah menunjukkan bahwa paparan partikulat, terutama PM_{2.5}, dapat menyebabkan inflamasi saluran napas, peningkatan resistensi bronkial, dan penurunan kemampuan ekspirasi maksimal, sehingga menurunkan nilai arus puncak ekspirasi.

2.4 Kerangka Teori



Gambar 2.1 Kerangka Teori

2.5 Kerangka Konsep



Gambar 2.2 Kerangka Konsep

2.6 Hipotesis

(H0): Tidak ditemukan hubungan yang bermakna antara paparan debu konstruksi dengan nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE) pada masyarakat di sekitar proyek konstruksi Kota Medan.

(H1): Ditemukan hubungan yang bermakna antara paparan debu konstruksi dengan nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE) pada masyarakat di sekitar proyek konstruksi Kota Medan.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Definisi Operasional

Tabel 3.1 Definisi Operasional

No	Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Skala Ukur	Hasil Ukur
1	Paparan Debu	Konsentrasi partikel debu halus (PM2.5) yang diukur langsung di lingkungan tempat tinggal responden menggunakan alat Air Quality Detector satu kali pada pagi hari.	Alat Air Quality Detector Portable (PM2.5)	Ordinal	baik: 0-15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Sedang: 16-65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Tidak sehat: 66-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	Arus Puncak Ekspirasi	Arus Puncak Ekspirasi adalah volume udara yang dikeluarkan secara paksa dari paru dalam satu hembusan cepat, dan merupakan indikator yang andal untuk menilai kecukupan ventilasi	Peak Flow Meter	Ordinal	Baik 80-100% Sedang 50-79% Berat <50%

3.2 Jenis penelitian

Penelitian ini menggunakan desain penelitian observasional analitik dengan pendekatan cross-sectional yang dilakukan untuk mengevaluasi hubungan antara partikulat terhadap nilai arus puncak ekspirasi pada masyarakat di sekitar area proyek konstruksi, serta hubungannya dengan faktor jenis kelamin, usia pada area sejauh 300-500 meter dari lokasi proyek.

Desain penelitian yang digunakan adalah *cross-sectional*, yaitu digunakan karena pengumpulan data terhadap seluruh variabel dilakukan secara bersamaan dalam satu waktu.

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

3.3.1 Waktu penelitian

Penelitian akan mulai dilakukan bulan februari 2026

Tabel 3.2 Waktu Penelitian

Kegiatan	Bulan						
	November 2025	Desember 2025	Januari 2026	Februari 2026	Maret 2026	April 2026	Mei 2026
Pengumpulan Judul							
Penyusunan Proposal							
Seminar Proposal							
Pengumpulan Data							
Analisis dan evaluasi data							

3.3.2 Tempat penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di sekitar area proyek konstruksi di Stadion Teladan, Kota Medan. Tempat pengambilan data mencakup rumah tempat tinggal dan area usaha atau tempat berdagang responden yang berada dalam radius tertentu dari titik konstruksi.

3.4 Populasi dan sampel penelitian

3.4.1 Populasi penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh masyarakat yang tinggal di sekitar proyek konstruksi di Stadion Teladan Kota Medan yang berpotensi terpapar debu dari aktivitas konstruksi.

3.4.2 Sampel penelitian

Penentuan jumlah sampel dalam penelitian diperoleh menggunakan rumus uji korelasi antara variabel ordinal-ordinal. Rumus ini digunakan karena penelitian bertujuan melihat hubungan antara paparan debu (ordinal) dan APE(ordinal). Perhitungan dilakukan dengan asumsi koefisien korelasi minimum yang dianggap bermakna sebesar $r = 0,3$, tingkat kesalahan tipe I (α) sebesar 5% ($Z\alpha = 1,64$), dan kesalahan tipe II (β) sebesar 20% ($Z\beta = 0,84$), sehingga digunakan rumus berikut:

$$n = \left[\frac{(Z_{\alpha} + Z_{\beta})}{0.5 \ln \left(\frac{1+r}{1-r} \right)} \right]^2 + 3$$

Keterangan:

N= Jumlah Sampel penelitian

Alpha (α)= Tingkat kesalahan tipe I ditetapkan 5%, hipotesis satu arah

$Z\alpha$ = Nilai baku $\alpha=1,64$

Beta(β)= Tingkat kesalahan tipe II, ditetapkan 20%

$Z\beta$ = Nilai baku $\beta=0,84$

r = Koefisien korelasi minimum yang ditetapkan 0,3

$$n = \left[\frac{(1,64 + 0,84)}{0.5 \times \ln \left(\frac{1+0,3}{1-0,3} \right)} \right]^2 + 3$$

$$n = \left[\frac{2,48}{0.5 \times \ln(1,8571)} \right]^2 + 3$$

$$n = \left[\frac{2,48}{0.5 \times 0,6190} \right]^2 + 3$$

$$n = \left[\frac{2,48}{0.5 \times 0,6190} \right]^2 + 3$$

$$n = \left[\frac{(2,48)}{0,3095} \right]^2 + 3$$

$$n = (8,013)^2 + 3$$

$$n = 64,21 + 3$$

$$n = 67,21$$

Berdasarkan perhitungan kebutuhan sampel untuk uji korelasi dengan Koefisien korelasi minimum yang ditetapkan sebesar 0,3, tingkat kesalahan tipe I (α) sebesar 5% dengan hipotesis satu arah, serta kesalahan tipe II (β) sebesar 20%, diperoleh jumlah minimal responden sebanyak 68 orang. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan diikutsertakan sebanyak 72 responden untuk menjamin ketepatan hasil dan kekuatan uji statistik yang optimal.²¹

Sampel penelitian dilakukan dengan menggunakan teknik purposive sampling, yaitu proses penentuan subjek secara sengaja berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Teknik ini dipilih karena populasi tidak memiliki daftar pasti, serta penelitian bersifat observasional analitik dengan pendekatan *cross-sectional*, yang memerlukan partisipan dengan karakteristik tertentu yang relevan dengan tujuan penelitian.

3.4.3 Kriteria inklusi dan eksklusi

a. Kriteria Inklusi:

1. Masyarakat yang berdomisili atau beraktivitas (misalnya berdagang) di sekitar proyek konstruksi di Stasiun Teladan kota Medan.
2. Berusia antara 18 hingga 60 tahun.
3. Tinggal atau beraktivitas dalam radius maksimal 300-500 meter dari lokasi proyek konstruksi Stadion Teladan Kota Medan.²²

4. Bersedia menjadi responden dan menandatangani lembar persetujuan (*informed consent*).

b. Kriteria Eksklusi:

1. Responden yang memiliki riwayat penyakit paru kronis, seperti asma, PPOK, atau tuberkulosis aktif.
2. Responden yang sedang mengalami infeksi saluran pernapasan berat lain yang terdiagnosis secara medis.
3. Responden dengan penyakit sistemik berat yang dapat menimbulkan gejala pernapasan, seperti gagal jantung atau gagal ginjal.
4. Responden yang tidak bersedia mengikuti seluruh tahapan pengisian kuisioner atau menarik diri dari penelitian
5. Responden yang tinggal di area kontruksi tetapi dengan rutinitas sehari berada diluar area kontruksi.
6. Responden dengan rutinitas sehari-harinya sudah sering terpapar debu selain debu kontruksi seperti asap kendaraan. Misal, tukang becak dan kuli bangunan.
7. Masyarakat yang turut bergabung sebagai relawan pekerja proyek sehingga sering terpapar debu kontruksi.
8. Responden yang selalu memakai masker dalam setiap kondisi.
9. Responden yang memiliki alergi terhadap debu proyek yang membuatnya menjadi tidak ingin kontak dengan debu.

3.5 Teknik pengumpulan data

Pada penelitian ini, data yang dikumpulkan merupakan data primer. Data primer yang dimaksud meliputi:

1. Paparan Debu: Diukur sekali di rumah responden menggunakan *Air Quality Detector*. Nilai yang digunakan adalah kadar $PM_{2.5}$.
2. Nilai Arus Puncak Ekspirasi : Diperoleh menggunakan *peak flow meter*.

3.5.1 Pengukuran paparan debu

Pengukuran paparan debu dilakukan menggunakan alat Air Quality Detector portable yang dapat mendeteksi konsentrasi partikel debu halus jenis PM_{2.5} dalam satuan mikrogram per meter kubik ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Proses pengukuran dilakukan sebanyak satu kali untuk tiap responden, baik di lokasi tempat tinggal maupun lokasi aktivitas (seperti berdagang), tergantung tempat subjek paling sering beraktivitas. Alat diletakkan pada ketinggian ± 1 – $1,5$ meter dari permukaan tanah, menjauh dari sumber asap langsung seperti kendaraan bermotor atau pembakaran sampah. Pengukuran dilakukan selama ± 5 menit, dan hasil yang tercatat adalah angka digital PM_{2.5} yang ditampilkan oleh alat.

Nilai PM_{2.5} yang diperoleh kemudian dikategorikan sebagai berikut:

- a. Baik : $0-15 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- b. Sedang: $16-65 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- c. Tinggi: $66-150 \mu\text{g}/\text{m}^3$

3.5.2 Pengukuran arus puncak ekspirasi

Pengukuran Arus Puncak Ekpirasi dilakukan menggunakan *peak flow meter*.

Proses pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali untuk tiap responden, adapun caranya adalah sebagai berikut:

1. Periksa *peak flow meter* Anda untuk memastikan corongnya bersih dan bebas dari benda apa pun.
2. Pindahkan penanda ke bagian bawah skala angka. Anda mungkin perlu menggoyangkannya untuk menurunkan penanda.
3. Berdiri atau duduk dengan tegak.
4. Tarik napas dalam melalui hidung.
5. Letakkan alat di antara gigi atau gusi, gigit perlahan. Kemudian rapatkan bibir dengan kuat di sekitar corong.
6. Hembuskan napas sekeras dan secepat mungkin dalam satu kali hembusan.
7. Baca angka yang berada di samping penanda. Catat angka tersebut.

8. Untuk mengatur ulang alat, pindahkan penanda kembali ke nol dan ulangi langkah-langkah di atas 2 kali lagi.
9. Jika Anda merasa pusing, berhenti dan istirahatlah, lalu lakukan kembali nanti.
10. Angka tertinggi dari ketiga hasil tersebut adalah nilai *peak flow* Anda

Nilai normal APE berdasarkan Proyek Pneumobile Indonesia

Nilai rata-rata (mean) faal paru pada 6 kelompok umur													
UMUR KELAMIN	13-18		19-21		22-30		31-40		41-50		51-60		
	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	
FEF1	2.98	2.32	3.28	2.39	3.14	2.35	2.92	2.15	2.61	1.87	2.37	1.62	
FVC	3.28	2.51	3.69	2.63	3.65	2.63	3.51	2.47	3.27	2.23	3.12	2.03	
FEV1/FVC	91	93	89	91	86	89	83	87	80	83	76	80	
PEFR	8.94	6.53	9.68	6.61	10.14	6.73	10.43	6.75	9.98	6.46	8.96	6.04	

FEV1, FVC (liter), Rasio (%), PEFR (1/detik)

Gambar 3.1 Nilai normal APE berdasarkan Proyek Pneumobile Indonesia

3.5.3 Instrumen yang digunakan



- Air detector quality

Gambar 3. 2 Air Detector Quality model ZN-MT07 made in China

Sebagai pembanding, metode standar dalam pengukuran PM2.5 adalah metode gravimetri (gravimetric method) yang merupakan *gold standard*, serta alat monitoring berbasis Beta Attenuation Monitor (BAM) atau TEOM (Tapered

Element Oscillating Microbalance) yang termasuk dalam kategori *reference-grade instruments*.



- *Peak flow meter*

Gambar 3. 3 Peak flow meter merk Phillips

- lembar observasi

3.6 pengolahan dan analisis data

3.6.1 pengolahan data

Pengolahan data bertujuan mengubah data mentah menjadi informasi yang dapat digunakan untuk menjawab tujuan penelitian.

1. *Editing*

Memeriksa data hasil pengumpulan untuk memastikan kelengkapan dan konsistensi, serta memperbaiki data yang kurang tepat.

2. *Coding*

Memberi kode numerik pada setiap jawaban responden agar memudahkan input dan analisis data.

3. *Cleaning*

Melakukan pengecekan ulang untuk menghilangkan data yang tidak lengkap, duplikat, atau tidak sesuai.

4. *Tabulating*

Menyusun data yang telah dikode dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan pemahaman.

5. *Saving*

Menyimpan data yang telah diproses dalam format yang sesuai agar siap digunakan dalam analisis statistik.

3.6.2 Analisis data

1. Analisis Univariat

Analisis univariat dilakukan untuk menggambarkan karakteristik responden serta distribusi masing-masing variable yang diteliti. Data dianalisis dalam bentuk frekuensi dan persentase, yang meliputi:

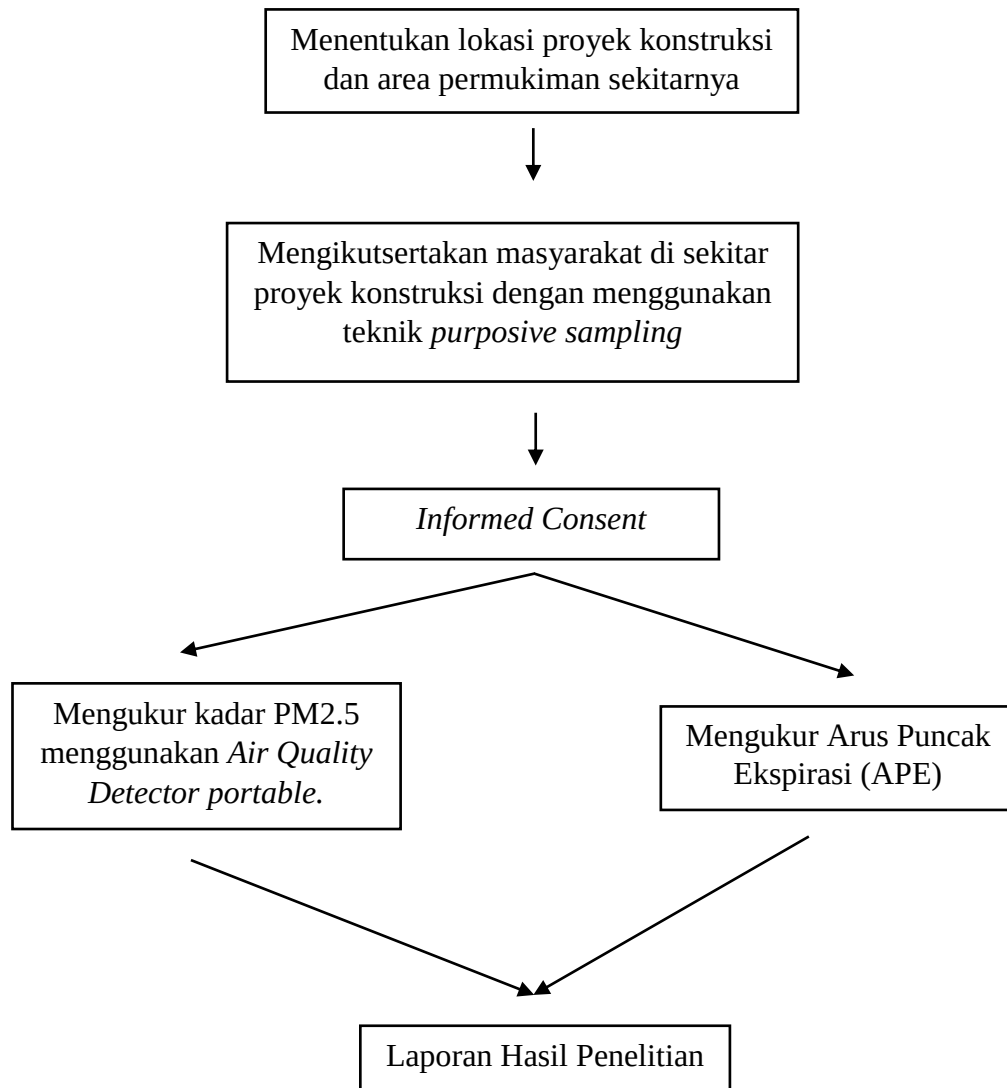
- Variabel independen: tingkat paparan debu (PM2.5)
- Variabel dependen: nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE)

Hasil disajikan dalam bentuk tabel distribusi frekuensi.

2. Analisis Bivariat

Analisis bivariat dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya hubungan antara tingkat paparan debu dengan paparan debu dengan nilai APE pada masyarakat di sekitar proyek konstruksi. Dalam penelitian ini, variabel tingkat paparan debu dikategorikan dalam skala ordinal, sedangkan variabel nilai APE berada pada skala ordinal. Oleh karena kedua variabel bersifat kategorik, analisis hubungan dilakukan menggunakan uji Chi-Square (χ^2). Uji ini bertujuan untuk melihat perbedaan proporsi nilai APE pada kelompok dengan tingkat paparan debu yang berbeda. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel silang (crosstab) yang memperlihatkan distribusi frekuensi tiap kategori, serta dilengkapi dengan nilai p-value sebagai indikator signifikansi statistik. Hubungan dianggap bermakna secara statistik apabila nilai $p < 0,05$.

3.7 Alur penelitian



Gambar 3. 4 Alur Penelitian

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil penelitian

Penelitian ini menggunakan desain penelitian observasional analitik dengan pendekatan cross-sectional yang dilakukan untuk mengevaluasi hubungan partikulat terhadap nilai arus puncak ekspirasi pada masyarakat di sekitar area proyek konstruksi stadion Teladan Kota Medan, serta hubungannya dengan faktor jenis kelamin, usia pada area sejauh 300-500 meter dari lokasi proyek. Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari 2026 di sekitar area 300-500 dari proyek konstruksi stadion Teladan Kota Medan, Sumatera Utara setelah memperoleh persetujuan dari Komisi Etik Penelitian Kesehatan (KEPK) Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh masyarakat yang tinggal di sekitar 300-500m dari proyek konstruksi di Stadion Teladan Kota Medan yang berpotensi terpapar debu dari aktivitas konstruksi yg berjumlah 72 orang.

4.1.1 Analisis univariat

Analisis univariat digunakan untuk mendeskripsikan karakteristik umum responden yang meliputi umur, jenis kelamin, nilai APE, serta nilai PM 2.5 pada masyarakat yang tinggal di sekitar 300-500m dari proyek konstruksi di Stadion Teladan Kota Medan.

Tabel 4.1 Distribusi data berdasarkan usia responden

Usia	Frekuensi
18-30 tahun	12 (16.7%)
31 – 40 tahun	15 (20.8%)
41- 50 tahun	17 (23.6%)
51 – 60 tahun	28 (38.9%)
Total	72 (100%)

Berdasarkan Tabel 4.1, distribusi responden menurut usia menunjukkan bahwa mayoritas responden berada pada kelompok usia 51–60 tahun, yaitu sebanyak 28 orang (38,9%). Sementara itu, kelompok usia 41–50 tahun berjumlah 17 orang (23,6%), usia 31–40 tahun sebanyak 15 orang (20,8%), dan yang paling sedikit adalah kelompok usia 18–30 tahun dengan jumlah 12 orang (16,7%).

Hasil tersebut mengindikasikan bahwa sebagian besar responden dalam penelitian ini berada pada kategori usia dewasa akhir hingga lansia awal. Kondisi tersebut dapat memengaruhi hasil penelitian, terutama jika variabel yang diteliti berkaitan dengan fungsi fisiologis atau kesehatan, karena pada usia yang lebih tua umumnya terjadi penurunan fungsi organ, termasuk fungsi paru. Selain itu, kelompok usia yang lebih tua cenderung memiliki paparan faktor risiko yang lebih lama terhadap paparan PM 2.5.

Tabel 4.2 Distribusi data berdasarkan usia responden

Jenis Kelamin	Frekuensi
Laki-Laki	26 (36.1%)
Perempuan	46 (63.9%)
Total	72 (100%)

Berdasarkan Tabel 4.2, distribusi responden menurut jenis kelamin menunjukkan bahwa mayoritas responden adalah perempuan, yaitu sebanyak 46 orang (63,9%), sedangkan laki-laki berjumlah 26 orang (36,1%). Perbedaan proporsi ini mencerminkan karakteristik responden dalam penelitian yang didominasi oleh perempuan.

Variasi distribusi jenis kelamin ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti tingkat partisipasi responden serta kondisi saat pengambilan data di lapangan. Secara umum, perempuan dan laki-laki memiliki perbedaan dalam karakteristik fisiologis, aktivitas fisik, serta paparan lingkungan.

Oleh karena itu, komposisi jenis kelamin dalam penelitian ini perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi interpretasi hasil penelitian. Data jenis kelamin juga

digunakan sebagai informasi dasar untuk memahami karakteristik sampel yang diteliti.

Tabel 4. 3 Distribusi data berdasarkan nilai APE responden

Hasil Ukur	Frekuensi
Baik	18 (25.0%)
Sedang	38 (52.8%)
Buruk	16 (22.2%)
Total	72 (100%)

Berdasarkan Tabel 4.3, distribusi responden berdasarkan nilai APE menunjukkan bahwa sebagian besar responden berada pada kategori sedang, yaitu sebanyak 38 orang (52,8%). Selanjutnya, responden dengan kategori baik berjumlah 18 orang (25,0%), sedangkan kategori buruk berjumlah 16 orang (22,2%).

Distribusi ini menunjukkan bahwa mayoritas responden memiliki fungsi paru dalam kategori sedang. Secara umum, nilai APE digunakan untuk menggambarkan kemampuan aliran udara ekspirasi maksimal yang mencerminkan kondisi fungsi paru seseorang.

Adanya responden yang berada pada kategori sedang dan buruk dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti usia, paparan polusi udara, kebiasaan merokok, serta kondisi kesehatan individu. Oleh karena itu, distribusi nilai APE ini memberikan gambaran awal mengenai kondisi fungsi paru responden dalam penelitian.

Tabel 4.4 Distribusi data berdasarkan nilai PM 2.5 responden

Hasil Ukur	Frekuensi
Baik	0 (0%)
Sedang	47 (65.3%)
Tidak sehat	25 (34.7%)
Total	72 (100%)

Berdasarkan tabel 4.4, distribusi responden berdasarkan kadar PM2.5 menunjukkan bahwa Sebagian besar berada pada kategori sedang, yaitu sebanyak 47 orang (65.3 %), sedangkan kategori tidak sehat berjumlah 25 orang (34.7%) dan tidak terdapat responden dengan kategori baik (0%).

Distribusi ini menunjukkan bahwa kualitas udara yang terpapar pada responden cenderung berada pada tingkat sedang hingga tidak sehat. Secara umum, PM2.5 merupakan partikel halus di udara yang dapat masuk ke dalam saluran pernapasan dan berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan, terutama pada sistem pernapasan.

Tabel 4.5 Distribusi Data APE Berdasarkan Jenis Kelamin

	APE Baik	APE Sedang	APE Buruk	Total
Jenis Kelamin				
Perempuan	14 (30,4%)	24 (52,2%)	8 (17,4%)	46 (100%)
Laki-Laki	4 (15,4%)	14 (53,8%)	8 (30,8%)	26 (100%)
Total	18 (25,0%)	38 (52,8%)	16 (22,2%)	72 (100%)

Berdasarkan tabel 4.5, distribusi nilai APE berdasarkan jenis kelamin menunjukkan bahwa sebagian besar responden perempuan memiliki nilai APE kategori sedang, yaitu sebanyak 24 orang (51,1%), diikuti kategori baik sebanyak 14 orang (29,8%) dan kategori buruk sebanyak 9 orang (19,1%). Pada responden laki-laki, sebagian besar juga berada pada kategori APE sedang, yaitu sebanyak

15 orang (60,0%), diikuti kategori buruk sebanyak 7 orang (28,0%) dan kategori baik sebanyak 3 orang (12,0%)

Tabel 4.6 Distribusi Nilai APE berdasarkan Status Merokok

Status	APE Baik	APE Sedang	APE Buruk	Total
Merokok				
Merokok	1 (5,9%)	10 (58,8%)	6 (35,3%)	17 (100%)
Tidak	16 (29,1%)	29 (52,7%)	10 (18,2%)	55 (100%)
Merokok				
Total	17 (23,6%)	39 (54,2%)	16 (22,2%)	72 (100%)

Berdasarkan tabel diatas, distribusi nilai APE berdasarkan status merokok menunjukkan bahwa pada kelompok responden yang merokok, sebagian besar memiliki nilai APE kategori sedang, yaitu sebanyak 10 orang (58,8%), diikuti kategori buruk sebanyak 6 orang (35,3%) dan kategori baik sebanyak 1 orang (5,9%). Sementara itu, pada kelompok responden yang tidak merokok, sebagian besar juga memiliki nilai APE kategori sedang, yaitu sebanyak 29 orang (52,7%), diikuti kategori baik sebanyak 16 orang (29,1%) dan kategori buruk sebanyak 10 orang (18,2%).

4.1.2 Analisis bivariat

Analisis bivariat dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya hubungan antara tingkat paparan debu dengan paparan debu dengan nilai APE pada masyarakat di sekitar proyek konstruksi. Dalam penelitian ini, variabel tingkat paparan debu dan variabel nilai APE dikategorikan berada pada skala ordinal. Oleh karena kedua variabel bersifat kategorik, analisis hubungan dilakukan menggunakan uji Chi-Square (χ^2). Uji ini bertujuan untuk melihat perbedaan proporsi nilai APE pada kelompok dengan tingkat paparan debu yang berbeda.

Tabel 4.7 Hubungan Paparan Partikulat Halus PM2.5 dengan Arus Puncak Ekspirasi

Kategori	APE Baik	APE Sedang	APE Buruk	Total	Chi square p- value dan Cramer's V
PM 2.5					
Baik	0	0	0	0	P<0.001
Sedang	10	32	5	47	Cramer's v: 0.455
Tidak sehat	8	6	11	25	
Total	18	38	16	72	

Berdasarkan hasil analisis bivariat, diketahui bahwa dari total 72 responden, pada kelompok dengan kategori PM2.5 sedang terdapat 10 responden (21,3%) dengan nilai APE baik, 32 responden (68,1%) dengan nilai APE sedang, dan 5 responden (10,6%) dengan nilai APE buruk. Sementara itu, pada kelompok dengan kategori PM2.5 tidak sehat, terdapat 8 responden (32,0%) dengan nilai APE baik, 6 responden (24,0%) dengan nilai APE sedang, dan 11 responden (44,0%) dengan nilai APE buruk.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada kelompok dengan paparan PM2.5 sedang, sebagian besar responden memiliki nilai APE dalam kategori sedang. Sebaliknya, pada kelompok dengan paparan PM2.5 tidak sehat, proporsi terbesar terdapat pada kategori APE buruk. Hal ini mengindikasikan adanya kecenderungan penurunan fungsi paru seiring dengan meningkatnya tingkat paparan PM2.5.

Hasil uji statistik menunjukkan nilai $p < 0,001$ ($p < 0,05$), dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan secara statistik antara paparan PM2.5 dengan nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE) pada responden. Dengan demikian, semakin tinggi paparan partikulat halus di lingkungan, semakin tinggi pula risiko terjadinya penurunan fungsi paru yang ditandai dengan rendahnya nilai APE. Nilai Cramer's V sebesar 0,455 menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel memiliki kekuatan sedang.

4.2 Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara paparan partikulat halus (PM2.5) dari aktivitas konstruksi dengan nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE) pada masyarakat di sekitar Stadion Teladan Kota Medan. Hasil analisis menunjukkan adanya hubungan yang bermakna secara statistik antara paparan PM2.5 dengan nilai APE ($p < 0,001$). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi paparan PM2.5 maka semakin besar kemungkinan terjadinya penurunan fungsi paru pada responden.

Berdasarkan hasil analisis univariat pada Tabel 4.1, distribusi responden menunjukkan bahwa mayoritas berada pada kelompok usia 51–60 tahun (38,9%). Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar responden berada pada kelompok usia dewasa akhir hingga lansia awal. Secara fisiologis, peningkatan usia berhubungan dengan penurunan fungsi paru akibat berkurangnya elastisitas jaringan paru dan kekuatan otot pernapasan. Penelitian oleh Ji et al. (2021) menyatakan bahwa nilai peak expiratory flow (PEF) cenderung menurun secara signifikan pada usia lanjut karena adanya proses degeneratif pada sistem respirasi.²³ Selain itu, individu dengan usia lebih tua juga memiliki durasi paparan yang lebih lama terhadap polutan udara, termasuk PM2.5, sehingga berisiko lebih tinggi mengalami gangguan fungsi paru. Hal ini sejalan dengan studi Maradjabessy et al. (2021) yang menyatakan bahwa paparan debu jangka panjang dapat menyebabkan penurunan fungsi paru secara progresif.²

Distribusi berdasarkan jenis kelamin menunjukkan bahwa sebagian besar responden berjenis kelamin perempuan. Secara fisiologis, laki-laki memiliki

kapasitas paru yang lebih besar dibandingkan perempuan sehingga nilai APE cenderung lebih tinggi.²⁴ Secara teoritis, jenis kelamin dapat memengaruhi fungsi paru, di mana laki-laki umumnya memiliki kapasitas paru yang lebih besar dibandingkan perempuan. Namun, dalam penelitian ini, variabel jenis kelamin hanya disajikan dalam bentuk distribusi responden dan tidak dianalisis lebih lanjut dalam kaitannya dengan nilai APE. Oleh karena itu, pembahasan dalam penelitian ini lebih difokuskan pada faktor paparan lingkungan sebagai variabel utama yang diteliti.

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan *peak flow meter*, distribusi nilai APE responden menunjukkan bahwa sebagian besar responden (52,8%) berada pada kategori sedang, diikuti kategori baik (25,0%) dan kategori buruk (22,2%). Tidak ditemukannya responden yang seluruhnya memiliki APE dalam kategori baik mengindikasikan bahwa kondisi udara di sekitar area penelitian telah memberikan dampak nyata terhadap fungsi pernapasan masyarakat.

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan *peak flow meter*, distribusi nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE) responden menunjukkan bahwa sebagian besar berada pada kategori sedang (52,8%), diikuti kategori baik (25,0%) dan kategori buruk (22,2%). Tidak ditemukannya responden yang memiliki APE seluruhnya dalam kategori baik mengindikasikan bahwa kondisi udara di sekitar area penelitian telah memberikan dampak terhadap fungsi pernapasan masyarakat. Dominasi kategori sedang menunjukkan adanya penurunan fungsi paru ringan hingga sedang pada masyarakat yang tinggal di sekitar proyek konstruksi dan sering terpapar polutan. Aktivitas konstruksi menjadi sumber utama paparan debu dan partikel udara yang dapat terhirup secara terus-menerus oleh masyarakat sekitar. Arus Puncak Ekspirasi (APE) merupakan indikator penting dalam menilai fungsi paru serta mendeteksi adanya obstruksi saluran napas, di mana penurunan nilainya umumnya terjadi akibat penyempitan saluran napas yang dipicu oleh inflamasi dan iritasi kronis. Paparan polutan konstruksi dalam jangka waktu lama dapat menyebabkan gangguan kesehatan melalui inhalasi partikel berbahaya yang memengaruhi struktur membran saluran pernapasan serta menurunkan efisiensi

mekanis paru-paru, sehingga berkontribusi terhadap penurunan fungsi paru yang tercermin dari nilai APE responden.²⁵

Berdasarkan Tabel 4.6, responden yang merokok memiliki proporsi APE buruk lebih tinggi dibandingkan responden yang tidak merokok (35,3% vs 18,2%). Temuan ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa paparan asap rokok dapat mengaktivasi respons inflamasi pada saluran pernapasan melalui pelepasan berbagai mediator inflamasi yang menyebabkan penyempitan saluran napas dan kerusakan jaringan paru. Kondisi tersebut dapat mengganggu aliran udara ekspirasi sehingga menurunkan nilai APE. Oleh karena itu, merokok dapat menjadi faktor yang turut memengaruhi fungsi paru pada responden selain paparan PM2.5 dari aktivitas konstruksi.

Hasil pengukuran kadar PM2.5 menunjukkan bahwa tidak ada satu pun responden yang terpapar udara dalam kategori baik (0%), sementara 65,3% berada pada kategori sedang dan 34,7% berada pada kategori tidak sehat. Kondisi ini menggambarkan bahwa kualitas udara di sekitar area proyek konstruksi Stadion Teladan belum memenuhi standar kualitas udara ambien yang aman bagi kesehatan masyarakat.

Menurut WHO Global Air Quality Guidelines (2021), nilai ambang batas PM2.5 untuk paparan 24 jam adalah $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$,⁶ sedangkan standar tahunan ditetapkan pada $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup menetapkan baku mutu udara ambien PM2.5 sebesar $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rata-rata 24 jam. Tingginya proporsi responden yang terpapar PM2.5 pada kategori sedang hingga tidak sehat dalam penelitian ini menunjukkan bahwa aktivitas konstruksi memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan konsentrasi partikulat di udara ambien.⁷

Kirešová et al. (2022) menyatakan bahwa aktivitas konstruksi, terutama yang melibatkan penggalian tanah, pengecoran, dan transportasi material, merupakan salah satu sumber utama emisi PM2.5 di lingkungan perkotaan.³ Partikel-partikel ini dapat tersebar jauh dari titik sumber dan mencapai

permukiman penduduk dalam radius 300–500 meter, sebagaimana area penelitian ini. Senada dengan hal tersebut, Sekhavati & Yengejeh (2023) menemukan bahwa paparan PM2.5 di sekitar area konstruksi secara konsisten dikaitkan dengan berbagai dampak kesehatan pada populasi sekitarnya, termasuk gangguan fungsi pernapasan.⁵

Hasil uji Chi-Square antara kadar PM2.5 dengan nilai APE menghasilkan nilai $p < 0,001$ yang bermakna secara statistik. Analisis *crosstab* menunjukkan bahwa pada kelompok dengan paparan PM2.5 sedang, sebagian besar responden (68,1%) memiliki nilai APE sedang; sedangkan pada kelompok dengan paparan PM2.5 tidak sehat, proporsi terbesar responden (44,0%) memiliki nilai APE buruk. Temuan ini secara konsisten mendukung hipotesis bahwa terdapat hubungan bermakna antara paparan PM2.5 dengan penurunan fungsi paru yang diukur melalui nilai APE.

Hasil penelitian ini sejalan dengan berbagai studi sebelumnya yang menunjukkan adanya hubungan antara paparan polusi udara, khususnya PM2.5, dengan penurunan fungsi paru. Studi oleh Ye et al. (2025) yang menggunakan desain quasi-experimental jangka panjang di Tiongkok menemukan bahwa paparan PM2.5 jangka panjang secara bermakna menurunkan nilai peak expiratory flow (PEF) pada kelompok usia pertengahan hingga lanjut, di mana setiap peningkatan $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5 berkontribusi terhadap penurunan nilai PEF secara signifikan.⁹ Selain itu, studi tersebut juga menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi PM2.5 berbanding terbalik dengan peningkatan nilai APE, sehingga memperkuat adanya hubungan kausal antara paparan PM2.5 dan fungsi paru. Temuan ini didukung oleh penelitian Xue et al. (2021) yang menggunakan data longitudinal dan menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi partikulat udara secara konsisten diikuti dengan perbaikan fungsi paru pada populasi dewasa, yang diukur melalui nilai PEF dan FEV1. Secara keseluruhan, temuan-temuan tersebut memperkuat hasil penelitian ini bahwa kadar PM2.5 merupakan prediktor signifikan terhadap penurunan nilai APE sebagai indikator fungsi paru.¹⁰

Dari sisi mekanisme biologis, PM_{2.5} yang berdiameter kurang dari 2,5 mikrometer mampu menembus barier mukosilier saluran napas atas dan menjangkau saluran napas kecil hingga alveolus. Paparan partikulat di level alveolar memicu aktivasi makrofag alveolar dan sel epitel, yang selanjutnya melepaskan mediator inflamasi seperti interleukin-6 (IL-6), interleukin-8 (IL-8), dan tumor necrosis factor-alpha (TNF- α). Proses inflamasi ini menyebabkan edema mukosa, hipersekresi mukus, dan bronkokonstriksi yang pada akhirnya mengurangi laju aliran udara ekspirasi dan menurunkan nilai APE.⁸

Selain itu, penelitian Perdana et al. (2023) yang menganalisis konsentrasi PM_{2.5} di kawasan perkotaan Jakarta menemukan bahwa konsentrasi PM_{2.5} secara konsisten melebihi ambang batas baku mutu pada area dengan aktivitas tinggi seperti konstruksi dan lalu lintas padat. Temuan ini relevan dengan kondisi di sekitar Stadion Teladan Medan yang merupakan kawasan dengan aktivitas konstruksi aktif dan kepadatan lalu lintas yang cukup tinggi.¹³

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, desain *cross-sectional* yang digunakan hanya mampu menggambarkan hubungan antar variabel pada satu titik waktu, sehingga tidak dapat menentukan hubungan kausal secara definitif. Kedua, pengukuran konsentrasi PM_{2.5} dalam penelitian ini menggunakan *portable air quality* detector berbasis sensor optik (*laser scattering*) yang termasuk dalam kategori *low-cost sensor*. Instrumen ini memiliki keterbatasan karena hasil pengukuran dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti kelembapan dan karakteristik partikel, serta tidak menggunakan metode referensi (gravimetri), sehingga nilai yang diperoleh merupakan estimasi.²⁶ Namun demikian, sensor optik *low-cost* tetap banyak digunakan dalam penelitian kualitas udara, khususnya untuk pemantauan pola dan perbandingan konsentrasi secara real-time di lapangan.²⁷

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Gambaran paparan PM2.5 pada masyarakat di sekitar Stadion Teladan Kota Medan menunjukkan bahwa sebagian besar responden berada pada kategori sedang (65,3%) dan tidak sehat (34,7%), yang mengindikasikan bahwa kualitas udara di lingkungan penelitian tergolong kurang baik.
2. Gambaran nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE) menunjukkan bahwa sebagian besar responden berada pada kategori sedang (52,8%), diikuti kategori baik (25,0%) dan buruk (22,2%), yang menunjukkan adanya penurunan fungsi paru ringan hingga sedang pada masyarakat.
3. Terdapat hubungan yang bermakna antara paparan PM2.5 dengan nilai APE ($p < 0,001$). Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan paparan PM2.5 berkaitan dengan penurunan nilai APE pada responden.

5.2 Saran

1. Bagi masyarakat

Masyarakat yang tinggal di sekitar area konstruksi disarankan untuk lebih memperhatikan kesehatan pernapasan dengan mengurangi paparan langsung terhadap debu, seperti menggunakan masker saat beraktivitas di luar ruangan serta membatasi aktivitas pada kondisi lingkungan dengan kadar debu tinggi

2. Bagi peneliti selanjutnya

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan desain penelitian jangka Panjang untuk menggambarkan hubungan APE dengan PM2.5 terhadap fungsi paru.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kimsan M. Konstruksi Gedung & Dampak Lingkungan: A Review. *Stabilita J Ilm Tek Sipil*. 2023;11(3):184. doi:10.55679/jts.v11i3.46202
2. Maradjabessy FA, Yuniarti Y, Adji HW. Scoping review: Efek Debu terhadap Fungsi Paru Pekerja. *J Integrasi Kesehat Sains*. 2021;3(1):80-85. doi:10.29313/jiks.v3i1.7358
3. Kirešová S, Guzan M, Rusyn V. Particulate Matter PM2.5 and PM10 and Its Impact on Air Quality in Urban and Rural Areas.
4. Lee K GM. *Polusi Udara Indonesia dan Dampaknya Terhadap Usia Harapan Hidup*. Energy Policy Institute at the University of Chicago (EPIC); 2021. <https://aqli.epic.uchicago.edu>
5. Sekhavati E, Yengejeh RJ. Particulate matter exposure in construction sites is associated with health effects in workers. *Front Public Health*. 2023;11:1130620. doi:10.3389/fpubh.2023.1130620
6. Organización Mundial de la Salud (OMS). *WHO Global Air Quality Guidelines Particulate Matter (PM25 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide*. 2021:1-360.
7. Presiden Republik Indonesia. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Presiden Republik Indonesia; 2021.
8. Azhary M, Yunus F, Handayani RD, Ariawan WP. Mekanisme Pertahanan Saluran Nafas. 2022;
9. Ye Z, Li X, Wu Y, Fang Y. Long-term PM2.5 exposure and peak expiratory flow in middle-aged and older people in China: a quasi-experimental study. *Am J Epidemiol*. 2025;194(3):738-745. doi:10.1093/aje/kwae146
10. Xue T, Han Y, Fan Y, et al. Association between a Rapid Reduction in Air Particle Pollution and Improved Lung Function in Adults. *Ann Am Thorac Soc*. 2021;18(2):247-256. doi:10.1513/AnnalsATS.202003-246OC
11. Edginton S, O'Sullivan DE, King WD, Loughheed MD. The effect of acute outdoor air pollution on peak expiratory flow in individuals with asthma: A systematic review and meta-analysis. *Environ Res*. 2021;192:110296. doi:10.1016/j.envres.2020.110296
12. Aslam A, Ibrahim M, Shahid I, et al. Pollution Characteristics of Particulate Matter (PM2.5 and PM10) and Constituent Carbonaceous Aerosols in a South

- Asian Future Megacity. *Appl Sci*. 2020;10(24):8864.
doi:10.3390/app10248864
13. Perdana AR, Indiani Pangastuti A, Donni Haryanto Y. Analisis Konsentrasi PM10 dan PM2.5 Pada Titik Pemantuan Bundaran HI Jakarta Pusat Periode Data Februari - Oktober 2021. *J Samudra Geogr*. 2023;6(1):1-8.
doi:10.33059/jsg.v6i1.7158
 14. Wang M, Yao G, Sun Y, Yang Y, Deng R. Exposure to construction dust and health impacts – A review. *Chemosphere*. 2023;311:136990.
doi:10.1016/j.chemosphere.2022.136990
 15. Primasanti Y, Herawati VD. I e-ISSN 2657-0076 16 Analisis Paparan Debu Pada Departemen Pemintalan Benang PT. PBTS. 2022;15.
 16. Ma'arif AZ, Nugraha PC, Pudji A. Bed For Measuring Ebv and CO With TFT Display Equipped With Data Storage (SpO2 and BPM). *Indones J Electron Electromed Eng Med Inform*. 2020;2(1):6-12. doi:10.35882/jeeemi.v2i1.2
 17. How to Use a Peak Flow Meter. *Merican Lung Assoc Rights Reserv*. Published online September 2022.
 18. Bradley W D, Jennifer Goldin; Al O. Giwa. Peak Flow Rate Measurement - StatPearls - NCBI Bookshelf. Published online January 2025.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459325/>
 19. Ji C, Xia Y, Dai H, et al. Reference Values and Related Factors for Peak Expiratory Flow in Middle-Aged and Elderly Chinese. *Front Public Health*. 2021;9:706524. doi:10.3389/fpubh.2021.706524
 20. Kim S, Lee J, Park S, et al. Association between Peak Expiratory Flow Rate and Exposure Level to Indoor PM2.5 in Asthmatic Children, Using Data from the Escort Intervention Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(20):7667. doi:10.3390/ijerph17207667
 21. Dahlan MS. *Besar Sampel Dan Cara Pengambilan Sampel Dalam Penelitian Kedokteran Dan Kesehatan*. Edisi 3. Salemba Medika; 2014.
 22. HEI Panel on the Health Effects of Traffic-Related Air Pollution. *Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects*. 2010. www.healtheffects.org
 23. Ji C, Xia Y, Dai H, et al. Reference Values and Related Factors for Peak Expiratory Flow in Middle-Aged and Elderly Chinese. *Front Public Health*. 2021;9:706524. doi:10.3389/fpubh.2021.706524
 24. Firmansyah F, Suryadi I, Rachmawati S, Fitriani N. Pengaruh Karakteristik Individu dan Perilaku Merokok dengan Gejala ISPA Pengguna Terminal

- Malangkeri Kota Makassar: The Influence of Individual Characteristics and Smoking Behavior on ARI Symptoms of Malangkeri Terminal Users, Makassar City. *Media Publ Promosi Kesehatan Indones MPPKI*. 2023;6(3):507-511. doi:10.56338/mppki.v6i3.3190
25. Khot N, Phadke S. Assessment of Peak Expiratory Flow Rate in Industrial Workers of MIDC, Lote. *Int J Health Sci Res*. 2024;14(6):46-54. doi:10.52403/ijhsr.20240608
 26. Karagulian F, Barbieri M, Kotsev A, et al. Review of the performance of low-cost sensors for air quality monitoring. *Atmosphere*. 2019;10(9):506. doi:10.3390/atmos10090506
 27. Pramanik P, Nath S, Ghosh S, et al. AQuaMoHo: Localized low-cost outdoor air quality sensing over a thermo-hygrometer. In: *Proceedings of the ACM Conference*. 2023. doi:10.1145/3580279

LAMPIRAN

Lampiran 1

Surat *Ethical Approval*

	
KOMISI ETIK PENELITIAN KESEHATAN HEALTH RESEARCH ETHICS COMMITTEE FAKULTAS KEDOKTERAN DAN ILMU KESEHATAN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA FACULTY OF MEDICINE AND HELATH SCIENCES UNIVERSITY OF MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA	
KETERANGAN LOLOS KAJI ETIK DESCRIPTION OF ETHICAL APPROVAL "ETHICAL APPROVAL" No : 88/KEPK/FKUMSU/2026	
Protokol penelitian yang diusulkan oleh : <i>The Research protocol proposed by</i>	
Peneliti Utama <i>Principal in investigator</i>	: Roby Arya
Nama Institusi <i>Name of the Institution</i>	: Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara <i>Faculty of Medicine and Health Sciences University of Muhammadiyah Sumatera Utara</i>
Dengan Judul <i>Title</i>	
"HUBUNGAN PAPARAN PARTIKULAT HALUS(PM 2.5) DARI AKTIVITAS KONSTRUKSI DENGAN ARUS PUNCAK EKSPIRASI (APE) PADA MASYARAKAT SEKITAR STADION TELADAN MEDAN" "ASSOCIATION OF FINE PARTICULATE MATTER (PM 2.5) EXPOSURE FROM CONSTRUCTION ACTIVITIES WITH PEAK EXPIRATORY FLOW (PEF) AMONG RESIDENTS LIVING NEAR TELADAN STADIUM, MEDAN"	
Dinyatakan layak etik sesuai 7 (tujuh) Standar WHO 2011, yaitu 1) Nilai Sosial, 2) Nilai Ilmiah 3) Pemerataan Beban dan Manfaat, 4) Resiko, 5) Bujukan / Eksploitasi, 6) Kerahasiaan dan Privacy, dan 7) Persetujuan Setelah Penjelasan, yang merujuk pada Pedoman CIOMS 2016. Hal ini seperti yang ditunjukkan oleh terpenuhinya indikator setiap standar.	
<i>Declared to be ethically appropriate in accordance to 7 (seven) WHO 2011 Standards; 1) Social Values, 2) Scientific Values, 3) Equitable Assessment and Benefits, 4) Risks, 5) Persuasion / Exploitation, 6) Confidentiality and Privacy, and 7) Informed Consent, referring to the 2016 CIOMS Guidelines. This is as indicated by the fulfillment of the indicator of each standard</i>	
Pernyataan Laik Etik ini berlaku selama kurun waktu tanggal 29 Januari 2026 sampai dengan tanggal 29 Januari 2027 <i>The declaration of ethics applies during the periode January 29, 2025 until January 29, 2027</i>	
 Medan, 29 Januari 2026 Ketua Assoc. Prof. Dr. dr. Nurfadly, MKT	

Lampiran 2

Surat izin penelitian



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS KEDOKTERAN DAN ILMU KESEHATAN
UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAN-PT/Ak.Pp/PT/III/2024
Jl. Gedung Arca No. 53 Medan, 20217 Telp. (061) - 7350163, 7333162, Fax. (061) - 7363488
<https://fk.umsu.ac.id> fk@umsu.ac.id [umsu.medan](#) [umsu.medan](#) [umsu.medan](#) [umsu.medan](#)

Nomor : 262/II.3.AU/UMSU-08/F/2026

Lamp. : -

Hal : **Mohon Izin Penelitian**

Medan, 14 Sya'ban 1447 H

02 Februari 2026 M

Kepada : Yth. **Lurah Teladan Barat**
di
Tempat

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan hormat, dalam rangka penyusunan Skripsi mahasiswa Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (FKIK UMSU) Medan, maka kami mohon bantuan Bapak/Ibu untuk memberikan informasi, data dan fasilitas seperlunya kepada mahasiswa kami yang akan mengadakan penelitian sebagai berikut :

N a m a : Roby Arya
NPM : 2208260024
Semester : VII (Tujuh)
Fakultas : Kedokteran
Jurusan : Pendidikan Dokter
Judul : Hubungan Paparan Partikulat Halus (Pm2.5) Dari Aktivitas Konstruksi Dengan Arus Puncak Ekspirasi (Ape) Pada Masyarakat Sekitar Stadion Teladan Medan

Demikianlah hal ini kami sampaikan, atas kerjasama yang baik kami ucapkan terima kasih. Semoga amal kebaikan kita diridhai oleh Allah SWT. Amin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb




dr. Siti Masliana Siregar, Sp.THTBKL, Subsp.Rino(K)
NIDN : 0106098201

Tembusan :

1. Wakil Rektor I UMSU
2. Ketua Skripsi FKIK UMSU
3. Peringgal



Lampiran 3

Surat izin selesai penelitian



**PEMERINTAH KOTA MEDAN
KECAMATAN MEDAN KOTA
KELURAHAN TELADAN BARAT**

Alamat Kantor : Jln. SM Raja Gg. Mesjid No. 19 Medan-20217

Email : teladan.barat19@gmail.com

Medan, 18 Mei 2026

Nomor : 400.3/ 359
Sifat : Biasa
Lampiran : –
Perihal : Telah selesai melaksanakan penelitian.

Kepada Yth. :

Ibu Dekan Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
di-

Tempat.

Menindaklanjuti surat Dekan Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara nomor : 262/II.3.AU/UMSU-08/F/2026 tanggal 02 Februari 2026 perihal mohon izin penelitian, dengan ini diberitahukan bahwa :

Nama : ROBY ARYA
NPM : 2208260024
Semester : VII (Tujuh)
Fakultas/Jurusan : Kedokteran/Pendidikan Dokter
Judul Skripsi : Hubungan paparan partikulat halus (Pm2.5) dari aktivitas konstruksi dengan Arus puncak ekspirasi (Ape) pada masyarakat sekitar Stadion Teladan Medan.

telah selesai melaksanakan penelitian di Kelurahan Teladan Barat Kecamatan Medan Kota.

Demikian disampaikan, untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.



Lampiran 4

Informed consent

FORMULIR PERSETUJUAN

PERNYATAAN PERSETUJUAN MENJADI SUBJEK PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama :
 Usia : tahun
 Jenis Kelamin : L / P
 No. Telp/Hp :

1. Telah mendapat penjelasan mengenai penelitian berjudul:
"Hubungan Paparan Partikulat Halus (PM2.5) Dari Aktivitas Konstruksi Dengan Arus Puncak Ekspirasi (APE) Pada Masyarakat Sekitar Stadion Teladan Medan".
2. Telah memahami tujuan, prosedur, manfaat, dan risiko penelitian.
3. Mengetahui bahwa dapat mengundurkan diri kapan saja tanpa konsekuensi medis.
4. Mengetahui bahwa kerahasiaan data pribadi saya akan dijaga oleh peneliti.

Dengan ini menyatakan kesediaan untuk menjadi subjek penelitian yang berjudul

" Hubungan Paparan Partikulat Halus (PM 2.5) Dari Aktivitas Konstruksi Dengan Arus Puncak Ekspirasi (APE) Pada Masyarakat Sekitar Stadion Teladan Medan" agar dapat melaksanakan penelitian tersebut saya meminta partisipasi dan memohon kepada responden dalam ketersediaan menjadi responden terhadap penelitian tersebut. Semua jawaban dalam kuesioner yang diberikan akan dijaga kerahasiaannya dan hanya akan dipergunakan untuk penelitian saja. Dengan demikian saya ucapkan terimakasih banyak.

Mengetahui,
 Peneliti

Medan,

Peserta penelitian

(Roby Arya)

(.....)

Lampiran 5

LEMBAR PENJELASAN KEPADA CALON PARTISIPAN PENELITIAN

Assalamu'alaikm Wr.Wb. Dengan Hormat,

Perkenalkan, nama saya **Roby Arya**, mahasiswa Program Studi S1 Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Saat ini saya sedang melakukan penelitian yang berjudul **“Hubungan Paparan Partikulat Halus (PM2.5) dari Aktivitas Konstruksi dengan Arus Puncak Ekspirasi (APE) pada Masyarakat Sekitar Stadion Teladan Medan.”**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara tingkat paparan partikulat halus (PM2.5) yang berasal dari aktivitas konstruksi dengan nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE) sebagai salah satu indikator fungsi paru pada masyarakat yang tinggal atau beraktivitas di sekitar Stadion Teladan Medan.

Partisipan yang memenuhi kriteria inklusi dan bersedia mengikuti penelitian akan diminta menandatangani lembar persetujuan sebagai subjek penelitian (informed consent). Setelah itu, responden akan menjalani pengambilan data yang bersifat observasional tanpa pemberian terapi atau tindakan medis.

Pengumpulan data dilakukan dengan dua prosedur utama. Pertama, pengukuran paparan PM2.5 menggunakan alat Air Quality Detector portable yang diletakkan di lingkungan tempat tinggal atau lokasi aktivitas utama responden. Kedua, pengukuran **Arus Puncak Ekspirasi (APE)** menggunakan **peak flow meter**, di mana responden diminta melakukan hembusan napas maksimal sebanyak tiga kali, dan nilai tertinggi akan dicatat sebagai hasil pemeriksaan. Seluruh hasil pengukuran akan dicatat pada lembar observasi yang telah disiapkan oleh peneliti.

Risiko yang mungkin timbul selama penelitian ini bersifat minimal, seperti rasa tidak nyaman, batuk ringan, atau pusing sesaat saat melakukan hembusan napas maksimal pada pemeriksaan APE. Untuk meminimalkan risiko tersebut, responden akan diberikan instruksi yang jelas, waktu istirahat yang cukup antar

pengukuran, serta pemeriksaan akan dihentikan apabila responden merasa tidak nyaman.

Partisipasi dalam penelitian ini bersifat sukarela, tanpa paksaan, dan responden berhak mengundurkan diri kapan saja tanpa konsekuensi apa pun. Seluruh data dan identitas responden akan dijaga kerahasiaannya dan hanya digunakan untuk kepentingan penelitian. Responden tidak dikenakan biaya apa pun selama mengikuti penelitian ini.

Apabila membutuhkan penjelasan lebih lanjut mengenai penelitian ini, responden dapat menghubungi saya selaku peneliti.

Nama : Roby Arya

No HP : 085231168081

Terima kasih saya ucapkan kepada partisipan yang telah ikut berpartisipasi pada penelitian ini.

Setelah memahami berbagai hal yang menyangkut penelitian ini, diharapkan partisipan bersedia mengisi lembar persetujuan yang telah kami persiapkan.

Medan, 2026

Peneliti

Roby Arya

Lampiran 6

LEMBAR OBSERVASI PENELITIAN

Judul: Hubungan Paparan Partikulat Halus (PM2.5) dari Aktivitas Konstruksi dengan Arus Puncak Ekspirasi (APE) pada Masyarakat Sekitar Stadion Teladan Medan

Peneliti: Roby Arya

Tanggal Observasi:

A. Identitas Responden

No	Variabel	Keterangan
1	Nama Responden	
2	Usia (tahun)	
3	Jenis Kelamin	☐ Laki-laki ☐ Perempuan
4	Aktivitas utama	☐ Tinggal ☐ Berdagang ☐ Lainnya:
5	Riwayat merokok	☐ Ya ☐ Tidak

B. Observasi Paparan Partikulat Halus (PM2.5)

Alat ukur: Air Quality Detector Portable

Satuan: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Waktu pengukuran: Pagi hari

Durasi: ± 5 menit

Parameter	Hasil
Nilai PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	

Kategori Paparan	☐ baik (0-15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	☐ Sedang (16–65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Parameter	Hasil
	☐ Tidak sehat ($66\text{--}150\ \mu\text{g}/\text{m}^3$)
Lokasi Pengukuran	☐ Rumah ☐ Tempat usaha

C. Observasi Arus Puncak Ekspirasi (APE)

Alat ukur: Peak Flow Meter

Posisi responden: Berdiri/duduk tegak

Pengukuran	Nilai (L/menit)
Percobaan I	
Percobaan II	
Percobaan III	

Nilai APE Tertinggi

Kategori Nilai APE:

- ☐ Baik (80–100% nilai prediksi)
- ☐ Sedang (50–79% nilai prediksi)
- ☐ Berat (<50% nilai prediksi)

D. Kesimpulan Observasi Responden

Variabel	Hasil
Tingkat Paparan PM2.5	☐ baik ☐ Sedang ☐ Tidak sehat
Nilai APE	☐ Baik ☐ Sedang ☐ Berat

E. Tanda Tangan

Nama & Tanda Tangan **Tanggal**

Peneliti : _____

Lampiran 7

Hasil analisis data spss

Jenis Kelamin

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Perempuan	46	63.9	63.9	63.9
	Laki-Laki	26	36.1	36.1	100.0
	Total	72	100.0	100.0	

Usia

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	18-30 tahun	12	16.7	16.7	16.7
	31-40 tahun	15	20.8	20.8	37.5
	41-50 tahun	17	23.6	23.6	61.1
	51- 60 tahun	28	38.9	38.9	100.0
	Total	72	100.0	100.0	

Nilai APE

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Baik	18	25.0	25.0	25.0
	Sedang	38	52.8	52.8	77.8
	Buruk	16	22.2	22.2	100.0
	Total	72	100.0	100.0	

PM 2.5

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Sedang	47	65.3	65.3	65.3
	Tidak Sehat	25	34.7	34.7	100.0
	Total	72	100.0	100.0	

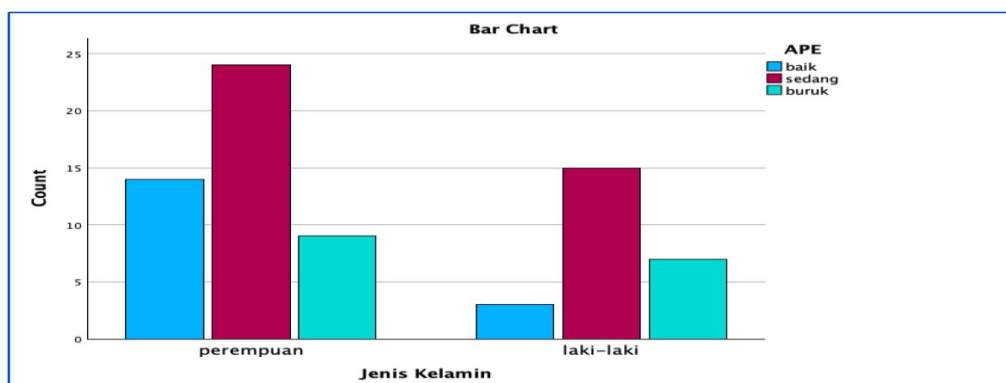
Chi-Square Tests

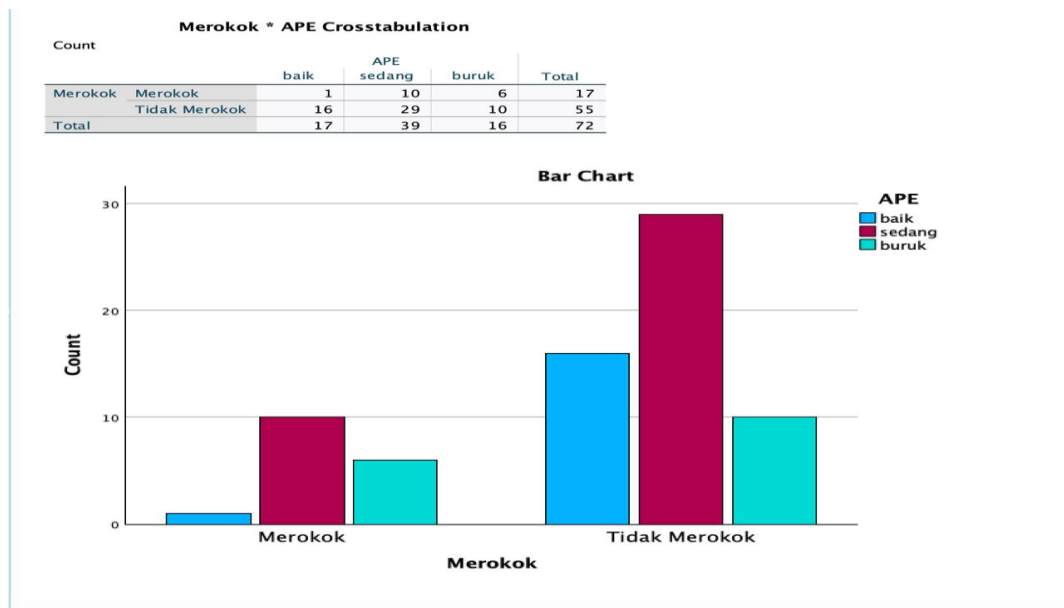
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	14.934 ^a	2	<.001
Likelihood Ratio	15.229	2	<.001
Linear-by-Linear Association	1.749	1	.186
N of Valid Cases	72		

a. 0 cells (0.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 5.56.

Jenis Kelamin * APE Crosstabulation

		APE			Total
		baik	sedang	buruk	
Jenis Kelamin	perempuan	14	24	9	47
	laki-laki	3	15	7	25
Total		17	39	16	72





➔ Crosstabs

Case Processing Summary

	Valid		Cases Missing		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
PM 2.5 * APE	72	100.0%	0	0.0%	72	100.0%

PM 2.5 * APE Crosstabulation

		APE			Total
		baik	sedang	buruk	
PM 2.5	sedang	10	32	5	47
	tidak sehat	8	6	11	25
Total		18	38	16	72

Chi-Square Tests

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	14.934 ^a	2	<.001
Likelihood Ratio	15.229	2	<.001
Linear-by-Linear Association	1.749	1	.186
N of Valid Cases	72		

a. 0 cells (0.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 5.56.

Symmetric Measures

	Value	Approximate Significance
Nominal by Nominal Phi	.455	<.001
Cramer's V	.455	<.001
N of Valid Cases	72	

Correlations

			PM 2.5	Nilai APE
Kendall's tau_b	PM 2.5	Correlation Coefficient	1.000	.144
		Sig. (2-tailed)	.	.202
		N	72	72
	Nilai APE	Correlation Coefficient	.144	1.000
		Sig. (2-tailed)	.202	.
		N	72	72
Spearman's rho	PM 2.5	Correlation Coefficient	1.000	.151
		Sig. (2-tailed)	.	.205
		N	72	72
	Nilai APE	Correlation Coefficient	.151	1.000
		Sig. (2-tailed)	.205	.
		N	72	72

Lampiran 8

Dokumentasi



Lampiran 9

Artikel

HUBUNGAN PAPARAN PARTIKULAT HALUS (PM2.5) DARI AKTIVITAS KONSTRUKSI DENGAN ARUS PUNCAK EKSPIRASI (APE) PADA MASYARAKAT SEKITAR STADION TELADAN MEDAN

Roby Arya¹, Sri Rezeki Arbaningsih², Amiruddin³, Siti Mirhalina Hasibuan⁴

Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara¹

Email: arya.robby123@gmail.com, srirezeki@umsu.ac.id

ABSTRAK

Pendahuluan: Aktivitas konstruksi merupakan salah satu sumber utama emisi partikulat halus (PM2.5) di lingkungan perkotaan, PM2.5 yang berdiameter $\leq 2,5$ mikrometer mampu menembus hingga ke alveolus paru, memicu respons inflamasi, dan berpotensi menurunkan fungsi paru yang tercermin dari nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE). **Metode:** Penelitian ini menggunakan desain observasional analitik dengan pendekatan *cross-sectional* pada 72 responden yang tinggal atau beraktivitas dalam radius 300–500 meter dari lokasi konstruksi Stadion Teladan Kota Medan, kadar PM2.5 diukur menggunakan *Air Quality Detector* portable dan nilai APE diukur menggunakan *peak flow meter*, kemudian dianalisis menggunakan uji Chi-Square. **Hasil:** Tidak ada responden yang terpapar PM2.5 kategori baik, dengan 65,3% berada pada kategori sedang dan 34,7% pada kategori tidak sehat, distribusi nilai APE menunjukkan 52,8% kategori sedang, 25,0% baik, dan 22,2% buruk; uji Chi-Square menunjukkan terdapat hubungan yang bermakna antara paparan PM2.5 dengan nilai APE ($p < 0,001$), di mana kelompok paparan tidak sehat memiliki proporsi terbesar APE buruk (44,0%). **Kesimpulan:** Terdapat hubungan yang bermakna antara paparan partikulat halus (PM2.5) dari aktivitas konstruksi dengan nilai APE pada masyarakat sekitar Stadion Teladan Kota Medan, dan peningkatan kadar PM2.5 berkaitan dengan penurunan nilai APE sebagai indikator fungsi paru.

Kata Kunci: PM2.5, partikulat halus, arus puncak ekspirasi, konstruksi, fungsi paru

ABSTRACT

Introduction: Construction activities are one of the primary sources of fine particulate matter (PM2.5) emissions in urban environments; PM2.5 with a diameter of ≤ 2.5 micrometers can penetrate deep into the pulmonary alveoli, triggering inflammatory responses and potentially impairing lung function as

reflected by Peak Expiratory Flow (PEF) values. **Methods:** This study employed an analytical observational design with a cross-sectional approach involving 72 respondents who lived or conducted activities within a 300–500 meter radius of the Stadion Teladan construction site in Medan; PM_{2.5} levels were measured using a portable Air Quality Detector and PEF values were obtained using a peak flow meter, with data analyzed using the Chi-Square test. **Results:** None of the respondents had good PM_{2.5} exposure levels, with 65.3% in the moderate category and 34.7% in the unhealthy category; PEF distribution showed 52.8% moderate, 25.0% good, and 22.2% poor; the Chi-Square test demonstrated a statistically significant relationship between PM_{2.5} exposure and PEF values ($p < 0.001$), with the unhealthy exposure group having the highest proportion of poor PEF values (44.0%). **Conclusion:** There is a significant relationship between fine particulate matter (PM_{2.5}) exposure from construction activities and Peak Expiratory Flow values in the community surrounding Stadion Teladan Medan, where increased PM_{2.5} levels are associated with decreased PEF values as an indicator of lung function.

Keywords: PM_{2.5}, fine particulate matter, peak expiratory flow, construction, lung function

PENDAHULUAN

Sektor konstruksi memiliki peran penting dalam pembangunan infrastruktur dan menjadi salah satu indikator kemajuan suatu wilayah, namun di balik kontribusi tersebut, aktivitas konstruksi turut menimbulkan tantangan lingkungan, salah satunya peningkatan emisi debu dan partikulat di udara ambien.¹ Debu yang dihasilkan dari proses penggalian, pemindahan tanah, hingga pembongkaran struktur bangunan merupakan partikel berukuran kurang dari 100 mikrometer yang berpotensi mengganggu sistem pernapasan,

terutama apabila terjadi paparan berulang dalam jangka panjang.²

Paparan partikulat halus, terutama PM_{2.5} ($\leq 2,5$ mikrometer), merupakan ancaman polusi udara yang berasal dari kegiatan konstruksi karena mampu menembus saluran napas hingga ke alveolus dan sirkulasi darah, sehingga meningkatkan risiko gangguan paru, kanker, serta kematian dini.³ Air Quality Life Index (2021) melaporkan bahwa lebih dari 93% penduduk Indonesia terpapar PM_{2.5} di atas ambang batas aman World Health Organization (WHO), yang berpotensi menurunkan harapan

hidup hingga 2,5 tahun, khususnya di kota besar seperti Jakarta dan Medan.⁴ Sekhavati dan Yengejeh (2023) menemukan bahwa pekerja konstruksi memiliki tingkat paparan PM2.5 yang tinggi, terutama selama proses pengeboran, dan kondisi ini berasosiasi erat dengan peningkatan risiko gangguan kesehatan baik kanker maupun non-kanker, tidak hanya pada pekerja tetapi juga masyarakat di sekitar lokasi proyek.⁵

WHO Global Air Quality Guidelines (2021) menetapkan ambang batas PM2.5 sebesar 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rerata harian dan 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rerata tahunan,⁶ sementara regulasi nasional melalui Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 menetapkan ambang batas yang lebih longgar, yaitu 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rerata harian.⁷ Secara fisiologis, partikel PM2.5 yang lolos dari mekanisme penyaringan saluran napas atas dapat mencapai alveoli, menempel pada mukosa, dan memicu aktivasi sel imun serta respons inflamasi apabila paparan berlangsung dalam intensitas tinggi dan waktu yang lama, kondisi ini dapat menurunkan efektivitas pembersihan mukosiliar dan daya

tahan paru terhadap infeksi.⁸ Masyarakat yang terpapar secara terus-menerus berisiko mengalami penurunan fungsi paru, salah satu indikatornya adalah nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE).

Studi observasional dan intervensi menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi PM2.5 berkaitan dengan nilai PEF/APE secara akut maupun kronis pada berbagai kelompok umur, termasuk pekerja terpapar maupun populasi umum.⁹ Xue et al. (2021) menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi partikulat di udara secara signifikan meningkatkan fungsi paru populasi,¹⁰ sementara meta-analisis oleh Edginton et al. melaporkan bahwa peningkatan paparan PM2.5 akut berkaitan dengan penurunan nilai PEF, termasuk pada pekerja konstruksi dan fiber/cement workers.¹¹ Studi Ye et al. (2025) di Tiongkok turut menunjukkan bahwa setiap kenaikan 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5 berkaitan dengan penurunan PEF sebesar 2,23%.⁹ Meskipun demikian, belum ada penelitian yang secara khusus menilai hubungan antara paparan PM2.5 dari aktivitas

konstruksi dengan nilai APE pada masyarakat sekitar Stadion Teladan Medan. Mengingat APE merupakan indikator sederhana dan sensitif terhadap gangguan aliran udara akibat polusi, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara paparan PM_{2.5} dari aktivitas konstruksi dengan nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE) pada masyarakat yang tinggal dan beraktivitas di sekitar kawasan tersebut, guna memberikan bukti ilmiah lokal yang dapat mendukung upaya mitigasi polusi konstruksi dan perlindungan kesehatan masyarakat perkotaan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian observasional analitik dengan pendekatan cross-sectional yang bertujuan untuk mengetahui hubungan antara paparan partikulat halus (PM_{2.5}) dari aktivitas konstruksi dengan nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE) pada masyarakat di sekitar area proyek konstruksi Stadion Teladan, Kota Medan. Pengumpulan data terhadap seluruh variabel dilakukan secara bersamaan

dalam satu waktu, yaitu pada bulan Februari 2026, pada area dengan radius 300–500 meter dari lokasi konstruksi, mencakup rumah tempat tinggal maupun tempat usaha responden. Penelitian telah memperoleh persetujuan etik dari Komisi Etik Penelitian Kesehatan (KEPK) Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Populasi penelitian adalah seluruh masyarakat yang tinggal atau beraktivitas di sekitar proyek konstruksi Stadion Teladan Kota Medan. Pengambilan sampel dilakukan dengan teknik purposive sampling berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Besar sampel dihitung menggunakan rumus uji korelasi antara variabel ordinal-ordinal dengan koefisien korelasi minimal yang dianggap bermakna $r = 0,3$, tingkat kesalahan tipe I (α) 5% untuk hipotesis satu arah ($Z\alpha = 1,64$), dan kesalahan tipe II (β) 20% ($Z\beta = 0,84$),¹² sehingga diperoleh jumlah minimal 68 responden, penelitian ini melibatkan 72 responden untuk menjamin ketepatan hasil dan kekuatan uji

statistik. Kriteria inklusi meliputi usia 18–60 tahun, berdomisili atau beraktivitas dalam radius maksimal 300–500 meter dari lokasi konstruksi,¹³ serta bersedia menandatangani lembar persetujuan (informed consent). Kriteria eksklusi meliputi responden dengan riwayat penyakit paru kronis (asma, PPOK, atau tuberkulosis aktif), infeksi saluran pernapasan berat, penyakit sistemik berat, paparan debu non-konstruksi yang tinggi (misalnya pekerja bangunan atau tukang becak), penggunaan masker secara konsisten dalam setiap kondisi, serta yang tidak bersedia mengikuti seluruh tahapan penelitian.

Paparan PM_{2.5} diukur satu kali pada pagi hari menggunakan Air Quality Detector portable (model ZN-MT07) yang diletakkan pada ketinggian ± 1 –1,5 meter dari permukaan tanah, menjauh dari sumber asap langsung, selama ± 5 menit. Nilai Arus Puncak Ekspirasi diukur menggunakan peak flow meter (merk Phillips) sebanyak tiga kali percobaan pada posisi berdiri atau duduk tegak, dengan nilai tertinggi dari ketiga percobaan

dicatat sebagai hasil pengukuran, mengikuti prosedur standar penggunaan peak flow meter.^{14,15}

Data dianalisis secara univariat untuk mendeskripsikan distribusi frekuensi dan persentase variabel paparan PM_{2.5} dan nilai APE, serta secara bivariat menggunakan uji Chi-Square (χ^2) untuk menilai hubungan antara kedua variabel menggunakan perangkat lunak SPSS. Hubungan dinyatakan bermakna secara statistik apabila nilai $p < 0,05$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penelitian ini melibatkan 72 responden yang tinggal atau beraktivitas dalam radius 300–500 meter dari lokasi konstruksi Stadion Teladan Kota Medan. Karakteristik dan distribusi variabel penelitian disajikan pada Tabel 1 hingga Tabel 6.

Tabel 1. Distribusi Responden Berdasarkan Usia

Usia	Frekuensi
18-30 tahun	12 (16.7%)
31 – 40 tahun	15 (20.8%)
41- 50 tahun	17 (23.6%)
51 – 60 tahun	28 (38.9%)
Total	72 (100%)

Tabel 2. Distribusi Responden Berdasarkan Jenis Kelamin

Jenis Kelamin	Frekuensi
Laki-Laki	26 (36.1%)
Perempuan	46 (63.9%)
Total	72 (100%)

Tabel 3. Distribusi Responden Berdasarkan Nilai APE

Hasil Ukur	Frekuensi
Baik	18 (25.0%)
Sedang	38 (52.8%)
Buruk	16 (22.2%)
Total	72 (100%)

Tabel 4. Distribusi Responden Berdasarkan Kadar PM2.5

Hasil Ukur	Frekuensi
Baik	0 (0%)
Sedang	47 (65.3%)
Tidak sehat	25 (34.7%)

Total	72 (100%)
-------	-----------

Tabel 5. Distribusi Data APE Berdasarkan Jenis Kelamin

	APE Baik	APE Sedang	APE Buruk	Total
Jenis Kelamin				
Perempuan	14 (29,8%)	24 (51,1%)	9 (19,1%)	47 (100%)
Laki-Laki	3 (12,0%)	15 (60,0%)	7 (28,0%)	25 (100%)
Total	17 (23,6%)	39 (54,2%)	16 (22,2%)	72 (100%)

Tabel 6. Distribusi Data APE Berdasarkan Status Merokok

Status	APE Baik	APE Sedang	APE Buruk	Total
Merokok				
Merokok	1 (5,9%)	10 (58,8%)	6 (35,3%)	17 (100%)
Tidak Merokok	16 (29,1%)	29 (52,7%)	10 (18,2%)	55 (100%)
Total	17 (23,6%)	39 (54,2%)	16 (22,2%)	72 (100%)

Mayoritas responden berada pada kelompok usia 51–60 tahun (38,9%) dan berjenis kelamin perempuan (63,9%). Tidak satu pun responden memiliki kadar PM2.5 pada kategori baik (0%), dengan 65,3% berada pada kategori sedang dan 34,7% tidak sehat. Distribusi nilai APE menunjukkan sebagian besar (52,8%) berada pada kategori sedang, diikuti baik (25,0%) dan buruk (22,2%).

Berdasarkan Tabel 6, responden laki-laki memiliki proporsi APE buruk yang lebih tinggi dibandingkan perempuan (28,0% vs 19,1%). Berdasarkan Tabel 7, responden yang merokok memiliki proporsi APE buruk lebih tinggi dibandingkan yang tidak merokok (35,3% vs 18,2%).

Tabel 7. Hubungan Paparan PM2.5 dengan Nilai APE

Kategori PM 2.5	APE Baik	APE Sedang	APE Buruk	Total	P-Value dan Cramer's V
Baik	0	0	0	0	P<0.001
Sedang	10	32	5	47	Cramer's v: 0.455
Tidak sehat	8	6	11	25	
Total	18	38	16	72	

Hasil uji Chi-Square menunjukkan nilai $p < 0,001$, yang berarti terdapat hubungan yang bermakna secara statistik antara paparan PM2.5 dengan nilai APE pada responden. Pada kelompok dengan paparan PM2.5 kategori sedang, proporsi terbesar responden (68,1%) memiliki nilai APE sedang, sedangkan pada kelompok dengan paparan PM2.5 kategori tidak sehat, proporsi terbesar (44,0%) memiliki nilai APE buruk. Pola ini menunjukkan kecenderungan penurunan fungsi paru seiring dengan meningkatnya tingkat paparan PM2.5.

Pembahasan

Mayoritas responden berada pada kelompok usia 51–60 tahun (38,9%),

mencerminkan kelompok dewasa akhir hingga lansia awal. Secara fisiologis, peningkatan usia berkaitan dengan penurunan fungsi paru akibat berkurangnya elastisitas jaringan paru dan kekuatan otot pernapasan. Ji et al. (2021) melaporkan bahwa nilai peak expiratory flow (PEF) cenderung menurun secara signifikan pada usia lanjut akibat proses degeneratif sistem respirasi.¹⁶ Selain itu, individu dengan usia lebih tua umumnya memiliki durasi paparan yang lebih panjang terhadap polutan udara termasuk PM2.5, sehingga berisiko lebih tinggi mengalami penurunan fungsi paru secara progresif.²

Mayoritas responden berjenis kelamin perempuan (63,9%). Secara fisiologis, laki-laki umumnya memiliki kapasitas paru yang lebih besar dibandingkan perempuan sehingga nilai APE cenderung lebih tinggi.¹⁷ Pada penelitian ini, distribusi APE berdasarkan jenis kelamin menunjukkan bahwa laki-laki memiliki proporsi APE buruk yang lebih tinggi (28,0%) dibandingkan perempuan (19,1%), meskipun analisis bivariat antara jenis kelamin dan APE tidak dilakukan lebih lanjut. Pembahasan utama difokuskan pada faktor paparan lingkungan sebagai variabel independen utama dalam penelitian.

Distribusi nilai APE menunjukkan mayoritas responden (52,8%) berada pada kategori sedang, dengan 22,2% pada kategori buruk. Tidak ditemukannya responden yang seluruhnya memiliki APE dalam kategori baik mengindikasikan bahwa kondisi udara di sekitar area penelitian telah memberikan dampak nyata terhadap fungsi pernapasan masyarakat. Aktivitas konstruksi menjadi sumber utama paparan partikel udara yang terhirup secara

terus-menerus, dan penurunan nilai APE mencerminkan gangguan aliran udara ekspirasi akibat penyempitan saluran napas yang dipicu oleh inflamasi dan iritasi kronis.¹⁸

Distribusi status merokok menunjukkan bahwa responden yang merokok memiliki proporsi APE buruk lebih tinggi dibandingkan yang tidak merokok (35,3% vs 18,2%). Temuan ini sesuai dengan teori bahwa paparan asap rokok dapat mengaktivasi respons inflamasi pada saluran pernapasan melalui pelepasan mediator inflamasi yang menyebabkan penyempitan saluran napas dan kerusakan jaringan paru, sehingga mengganggu aliran udara ekspirasi dan menurunkan nilai APE.¹⁷ Oleh karena itu, merokok dapat menjadi faktor yang turut memengaruhi fungsi paru pada responden selain paparan PM2.5 dari aktivitas konstruksi.

Tidak ditemukannya responden dengan kategori paparan PM2.5 baik mengindikasikan bahwa kualitas udara di sekitar lokasi penelitian belum memenuhi standar aman bagi kesehatan masyarakat. Berdasarkan

WHO Global Air Quality Guidelines (2021), ambang batas PM_{2.5} untuk paparan 24 jam adalah 15 µg/m³,⁶ sedangkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 menetapkan baku mutu udara ambien PM_{2.5} sebesar 55 µg/m³ untuk rerata 24 jam.⁷ Tingginya proporsi responden pada kategori sedang hingga tidak sehat menunjukkan bahwa aktivitas konstruksi memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan konsentrasi partikulat di udara ambien sekitar lokasi proyek. Kirešová et al. (2022) menegaskan bahwa aktivitas konstruksi, terutama yang melibatkan penggalian tanah, pengecoran, dan transportasi material, merupakan salah satu sumber utama emisi PM_{2.5} di lingkungan perkotaan;³ partikel-partikel ini dapat tersebar jauh dari titik sumber dan mencapai permukiman penduduk dalam radius 300–500 meter, sebagaimana area penelitian ini. Temuan ini juga sejalan dengan Sekhavati dan Yengejeh (2023) yang melaporkan dampak kesehatan serupa pada populasi di sekitar area konstruksi.⁵

Hasil penelitian ini sejalan dengan studi Ye et al. (2025) yang menggunakan desain quasi-experimental jangka panjang di Tiongkok dan menemukan bahwa setiap peningkatan 10 µg/m³ PM_{2.5} berkontribusi secara bermakna terhadap penurunan nilai PEF, khususnya pada kelompok usia pertengahan hingga lanjut.⁹ Temuan ini diperkuat oleh studi Xue et al. (2021) yang menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi partikulat udara secara konsisten diikuti perbaikan fungsi paru pada populasi dewasa yang diukur melalui nilai PEF dan FEV₁.¹⁰ Secara biologis, PM_{2.5} yang berdiameter kurang dari 2,5 mikrometer mampu menembus barier mukosiliar saluran napas atas dan mencapai alveolus, memicu aktivasi makrofag alveolar dan sel epitel yang melepaskan mediator inflamasi seperti interleukin-6 (IL-6), interleukin-8 (IL-8), dan tumor necrosis factor-alpha (TNF-α). Proses inflamasi ini menyebabkan edema mukosa, hipersekresi mukus, dan bronkokonstriksi yang pada akhirnya menurunkan laju aliran udara ekspirasi dan nilai APE.⁸

Temuan konsentrasi PM2.5 yang tinggi di sekitar konstruksi pada penelitian ini juga relevan dengan studi Perdana et al. (2023) yang menemukan bahwa konsentrasi PM2.5 di kawasan perkotaan Jakarta secara konsisten melebihi ambang batas baku mutu pada area dengan aktivitas konstruksi dan lalu lintas padat.¹⁹

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, desain cross-sectional hanya mampu menggambarkan hubungan antar variabel pada satu titik waktu sehingga tidak dapat menentukan hubungan kausal secara definitif. Kedua, pengukuran PM2.5 menggunakan portable air quality detector berbasis sensor optik (laser scattering) yang tergolong low-cost sensor, instrumen ini dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti kelembapan dan karakteristik partikel, serta tidak menggunakan metode referensi gravimetri, sehingga nilai yang diperoleh bersifat estimasi.²⁰ Meskipun demikian, sensor optik low-cost tetap banyak digunakan dalam penelitian kualitas udara untuk pemantauan pola dan

perbandingan konsentrasi secara real-time di lapangan.²¹

KESIMPULAN

Paparan PM2.5 pada masyarakat di sekitar Stadion Teladan Kota Medan sebagian besar berada pada kategori sedang (65,3%) dan tidak sehat (34,7%), tanpa satu pun responden pada kategori baik, yang mengindikasikan kualitas udara di lingkungan penelitian tergolong kurang baik. Nilai Arus Puncak Ekspirasi (APE) sebagian besar responden berada pada kategori sedang (52,8%), diikuti kategori baik (25,0%) dan buruk (22,2%), menunjukkan adanya penurunan fungsi paru ringan hingga sedang pada masyarakat. Uji Chi-Square menunjukkan terdapat hubungan yang bermakna antara paparan PM2.5 dengan nilai APE ($p < 0,001$), di mana peningkatan paparan PM2.5 berkaitan dengan penurunan nilai APE. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan desain jangka panjang untuk memperkuat bukti hubungan kausal antara paparan PM2.5 dan fungsi paru.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kimsan M. Konstruksi Gedung & Dampak Lingkungan: A Review. *Stabilita J Ilm tek.*2023;11(3):184.
doi:10.55679/jts.v11i3.46202
2. Maradjabessy FA, Yuniarti Y, Adji HW. Scoping Review: Efek Debu terhadap Fungsi Paru Pekerja. *J Integrasi Kesehat Sains.*2021;3(1):80-85.
doi:10.29313/jiks.v3i1.7358
3. Kirešová S, Guzan M, Rusyn V. Particulate Matter PM2.5 and PM10 and Its Impact on Air Quality in Urban and Rural Areas. *CEUR Workshop Proc.* 2022;3309:329-337.
4. Lee K, Greenstone M. Polusi Udara Indonesia dan Dampaknya terhadap Usia Harapan Hidup. Chicago: Energy Policy Institute at the University of Chicago (EPIC);2021.<https://aqli.epic.uchicago.edu>
5. Sekhavati E, Yengejeh RJ. Particulate matter exposure in construction sites is associated with health effects in workers. *Front Public Health.* 2023;11:1130620.
doi:10.3389/fpubh.2023.1130620
6. World Health Organization. WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. Geneva: WHO; 2021.
7. Presiden Republik Indonesia. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta: Presiden Republik Indonesia; 2021.
8. Azhary M, Yunus F, Handayani RD, Ariawan WP. Mekanisme Pertahanan Saluran Nafas. *J Respirologi Indones.* 2022;5(1).
9. Ye Z, Li X, Wu Y, Fang Y. Long-term PM2.5 exposure and peak expiratory flow in middle-aged and older people in China: a quasi-experimental study. *Am J Epidemiol.* 2025;194(3):738-745.
doi:10.1093/aje/kwae146

10. Xue T, Han Y, Fan Y, et al. Association between a rapid reduction in air particle pollution and improved lung function in adults. *Ann Am Thorac Soc*. 2021;18(2):247-256. doi:10.1513/AnnalsATS.202003-246OC
11. Edginton S, O'Sullivan DE, King WD, Loughheed MD. The effect of acute outdoor air pollution on peak expiratory flow in individuals with asthma: a systematic review and meta-analysis. *Environ Res*. 2021;192:110296. doi:10.1016/j.envres.2020.110296
12. Dahlan MS. Besar Sampel dan Cara Pengambilan Sampel dalam Penelitian Kedokteran dan Kesehatan. Ed 3. Jakarta: Salemba Medika; 2014.
13. HEI Panel on the Health Effects of Traffic-Related Air Pollution. Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects. Boston: Health Effects Institute; 2010.
14. How to Use a Peak Flow Meter. American Lung Association. Published online September 2022.
15. Bradley WD, Goldin J, Giwa AO. Peak Flow Rate Measurement. In: StatPearls. Treasure Island: StatPearls Publishing; 2025. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459325/>
16. Ji C, Xia Y, Dai H, et al. Reference values and related factors for peak expiratory flow in middle-aged and elderly Chinese. *Front Public Health*. 2021;9:706524. doi:10.3389/fpubh.2021.706524
17. Firmansyah F, Suryadi I, Rachmawati S, Fitriani N. Pengaruh Karakteristik Individu dan Perilaku Merokok dengan Gejala ISPA Pengguna Terminal Malangkeri Kota Makassar. *Media Publ Promosi Kesehat Indones MPPKI*. 2023;6(3):507-511. doi:10.56338/mparki.v6i3.3190
18. Wang M, Yao G, Sun Y, Yang Y, Deng R. Exposure to

- construction dust and health impacts – a review. *Chemosphere*. 2023;311:136990.doi:10.1016/j.chemosphere.2022.136990
19. Khot N, Phadke S. Assessment of peak expiratory flow rate in industrial workers of MIDC, Lote. *Int J Health Sci Res*. 2024;14(6):46-54. doi:10.52403/ijhsr.20240608
 20. Aslam A, Ibrahim M, Shahid I, et al. Pollution characteristics of particulate matter (PM2.5 and PM10) and constituent carbonaceous aerosols in a South Asian future megacity. *Appl Sci*. 2020;10(24):8864. doi:10.3390/app10248864
 21. Perdana AR, Indiani Pangastuti A, Donni Haryanto Y. Analisis Konsentrasi PM10 dan PM2.5 pada Titik Pemantauan Bundaran HI Jakarta Pusat Periode Data Februari–Oktober 2021. *J Samudra Geogr*. 2023;6(1):1-8. doi:10.33059/jsg.v6i1.7158
 22. Karagulian F, Barbieri M, Kotsev A, et al. Review of the performance of low-cost sensors for air quality monitoring. *Atmosphere*. 2019;10(9):506. doi:10.3390/atmos10090506
 23. Pramanik P, Nath S, Ghosh S, et al. AQuaMoHo: localized low-cost outdoor air quality sensing over a thermo-hygrometer. In: *Proceedings of the ACM Conference*. 2023. doi:10.1145/3580279