

SKRIPSI

**HUBUNGAN KONSENTRASI *PARTICULATE MATTER* (PM₁₀)
DENGAN KELUHAN PERNAPASAN PADA PEKERJA
DI PT. INDUSTRI KAPAL INDONESIA
(PERSERO) KOTA MAKASSAR**

JIHAN FADHILAH HUDY

K011181508



*Skripsi Ini Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat*

**DEPARTEMEN KESEHATAN LINGKUNGAN
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**HUBUNGAN KONSENTRASI *PARTICULATE MATTER* (PM₁₀) DENGAN
KELUHAN PERNAPASAN PADA PEKERJA DI PT. INDUSTRI KAPAL
INDONESIA (PERSERO) KOTA MAKASSAR**


Disusun dan diajukan oleh

**JIHAN FADHILAH HUDY
K011181508**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelasaan Studi Program Sarjana Program Studi Kesehatan Masyarakat
Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin
pada tanggal 31 Januari 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

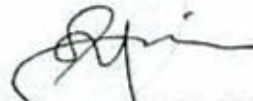
Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Anwar, SKM., M.Sc., PhD
Nip. 19740816 199903 1 002

Pembimbing Pendamping



Dr. Syamsuar, SKM., M.Kes., M.Sc.PH
Nip. 19790911 200501 1 001

Ketua Program Studi,




Dr. Hasnawati Amqam, SKM, M.Sc
Nip. 19760418 200501 2 001

PENGESAHAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah di pertahankan dihadapan Tim Penguji Ujian Skripsi Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin Makassar pada hari Selasa Tanggal 31 Januari 2023.

Ketua : Prof. Anwar, SKM., M.Sc.,PhD (.....)

Sekretaris : Dr. Syamsuar, SKM., M.Kes., M.Sc.PH (.....)

Anggota :

1. Dr. Hasnawati Amqam, SKM., M.Sc (.....)

2. A. Wahyuni, SKM.,M.Kes (.....)

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Jihan Fadhilah Hudy

Nim : K011181508

Fakultas : Kesehatan Masyarakat

No. Hp : 081244307342

Email : jihan.fdhilah28@gmail.com

Dengan ini menyatakan bahwa judul skripsi "**Hubungan Konsentrasi *Particulate Matter* (PM₁₀) Dengan Keluhan Pernapasan Pada Pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar**" benar bebas dari plagiat dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima saksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, 31 Januari 2023



Jihan Fadhilah Hudy

RINGKASAN

Universitas Hasanuddin
Fakultas Kesehatan Masyarakat
Kesehatan Lingkungan
Makassar, Januari 2023

JIHAN FADHILAH HUDY

“HUBUNGAN KONSENTRASI *PARTICULATE MATTER* (PM₁₀) DENGAN KELUHAN PERNAPASAN PADA PEKERJA DI PT. INDUSTRI KAPAL INDONESIA (PERSERO) KOTA MAKASSAR”

(xvi + 112 Halaman, 9 Tabel, 6 Gambar, 11 Lampiran)

Kematian dan kesakitan akibat polusi udara seringkali disebabkan oleh *Particulate Matter* (PM). Paparan PM₁₀ apabila mengenai seseorang dapat berisiko terjadi infeksi saluran pernafasan. Selain itu beberapa penelitian menyatakan faktor meteorologi dan karakteristik seseorang dapat mempengaruhi timbulnya infeksi pernafasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan konsentrasi PM₁₀ dengan keluhan pernafasan pada pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar.

Jenis penelitian ini adalah penelitian observasional dengan rancangan *cross sectional*. Populasi penelitian ini adalah seluruh pekerja produksi PT. IKI (Persero). Sampel manusia berjumlah 72 orang diambil dengan teknik *purposive sampling* sedangkan untuk sampel lingkungan pada 5 titik diambil dengan teknik *grab sampling*. Penelitian ini dilakukan menggunakan kuesioner serta alat ukur udara yaitu MVAS, *hygrometer* dan *anemometer*. Analisis data menggunakan uji *chi-square*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada 72 orang pekerja produksi di PT. IKI (Persero) terdapat 54,2% yang memiliki keluhan pernafasan. Selain itu tidak terdapat hubungan antara konsentrasi PM₁₀, suhu, kelembaban, kecepatan angin, umur ($p = 0,339$), lama kerja ($p = 0,129$), masa kerja ($p = 0,594$) dan penggunaan APD ($p = 0,986$) dengan keluhan pernafasan ($p > 0,05$), sedangkan pada variabel perilaku merokok ($p = 0,17$) terdapat hubungan dengan keluhan pernafasan pada pekerja di PT. IKI (Persero) ($p < 0,05$).

Ada hubungan perilaku merokok dengan keluhan pernafasan pekerja di PT. IKI (Persero). Diharapkan pekerja yang memiliki kebiasaan merokok membiasakan diri untuk tidak merokok diimbangi dengan perilaku hidup sehat. Selain itu para pekerja sebaiknya menggunakan APD sesuai standar, agar terhindar dari paparan debu mengingat angka debu PM₁₀ hampir melewati ambang batas maksimal.

Kata Kunci : PM₁₀, Keluhan Pernapasan, Pekerja

Jumlah Pustaka : 106 (2003 – 2022)

SUMMARY

*Hasanuddin University
Public Health Faculty
Environmental Health
Makassar, January 2023*

JIHAN FADHILAH HUDY

“THE RELATED BETWEEN PARTICULATE MATTER CONCENTRATION (PM10) AND RESPIRATORY SYMPTOMS IN WORKERS AT PT. INDUSTRI KAPAL INDONESIA (PERSERO) MAKASSAR CITY”

(xvi + 112 Pages, 9 Tabela, 6 Pictures, 11 Attachment)

Death and morbidity due to air pollution are often caused by Particulate Matter (PM). Exposure to PM10 if it hits someone can be at risk of respiratory tract infections. In addition, several studies state that meteorological factors and someone characteristics are also can affect incidence of respiratory infections. This study aims to determine the concentrations relationship between PM10 and respiratory symptoms among workers at PT. Indonesian Ship Industry (Persero) Makassar City.

This type of research is observational research with cross-sectional plan. The population in this study is all production workers of PT. IKI (Persero). A Human sample of 72 people was taken by purposive sampling while for environmental samples at 5 points it was taken by grab sampling technique. This study using the form of questionnaires and air measuring tools namely MVAS, hygrometers, and anemometers. The data analysis using the chi-square test.

The results showed that 72 production workers at PT. IKI (Persero) there were 54.2% who had respiratory symptoms. In addition, there was no relationship between PM10 concentration, temperature, humidity, wind speed, age ($p = 0.339$), length of work ($p = 0.129$), length of work ($p = 0.594$) and use of APD ($p = 0.986$) with respiratory complaints ($p > 0.05$), whereas the smoking behavior variable ($p = 0.17$) there is a relationship with respiratory symptoms in workers at PT. IKI (Persero) ($p < 0.05$).

There is a relationship between smoking behavior and workers respiratory symptoms at PT. IKI (Persero). It is expected that workers have smoking habits will gradually get used to not smoking and be balanced with healthy lifestyle behaviors. In addition, workers should use APD according to standards, especially risky workers such as sandblasting to avoid exposure to quite a lot of dust considering that the number of PM10 dust has almost exceeded the maximum threshold.

Keywords : PM10, Respiratory Symptoms, Worker

Number of Libraries : 106 (2003 - 2022)

KATA PENGANTAR

Bismillaahirrohmaanirrohiim,

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, Tuhan semesta alam atas rahmat dan karunia-Nya. Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabatnya. Karena limpahan rahmat-Nya sehingga penulis akhirnya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Hubungan Konsentrasi *Particulate Matter* (PM₁₀) Dengan Keluhan Pernapasan Pada Pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar**” sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.

Skripsi ini tidak terlepas dari berbagai macam hambatan dan tantangan yang penulis hadapi dari awal hingga akhir. Namun berkat ketabahan, dorongan, bimbingan, bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Penulis dengan penuh rasa sayang dan ketulusan hati menghaturkan terima kasih yang tak terhingga kepada kedua orangtua tercinta, Ayahanda **Aiptu. Hudi Yasid** dan Ibunda **Roslyah Djamir, S.Pd**, yang telah membesarkan dan mendidik penuh dengan kesabaran, pengorbanan, cinta dan kasih sayangnya, serta doa yang tidak henti-hentinya dipanjatkan untuk kesuksesan dan kebahagiaan anaknya. Serta kepada saudara penulis yaitu Kakak **Aswad** dan Adik **Danin** dan keluarga besar saya atas segala doa sehingga penulis akhirnya menyelesaikan skripsi ini.

Penghargaan yang setinggi-tingginya penulis persembahkan kepada Bapak **Prof. Anwar, SKM., M.Sc., Ph.D** selaku pembimbing I dan Bapak **Dr. Syamsuar, SKM., M.Kes., M.Sc.PH** selaku pembimbing II yang telah membimbing, memberikan arahan, serta dukungan moril dalam bimbingan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik.

Keberhasilan penyusunan skripsi ini bukanlah buah dari kerja penulis sendiri. Semangat serta bantuan dari berbagai pihak telah mengantarkan penulis hingga berada di titik ini. Oleh karenanya, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan mengucapkan terima kasih dan memberikan penghargaan yang setinggi - tingginya secara tulus dan ikhlas kepada:

1. Ibu **Dr. Hasnawati Amqam, SKM., M.Sc** dan Ibu **A. Wahyuni, SKM., M.Kes** selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan masukan serta arahan dalam penyempurnaan penulisan skripsi ini.
2. Bapak **Prof. Sukri Palluturi, SKM., M.Kes., M.Sc.PH., Ph.D** sebagai Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.
3. Ibu **Dr. Erniwati Ibrahim, SKM., M.Kes** selaku Ketua Departemen Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.
4. Dosen Penasehat Akademik Ibu **Dr. dr. A. Indahwaty Sidin, MHSM** yang selalu memberikan bantuan, saran serta motivasi dalam urusan akademik.
5. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Kesehatan Masyarakat, terkhusus kepada seluruh dosen Departemen Kesehatan Lingkungan, yang telah memberikan

ilmu pengetahuan yang sangat berharga kepada penulis selama menempuh pendidikan di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.

6. Seluruh staf pegawai Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin atas segala arahan dan bantuan yang diberikan selama penulis mengikuti pendidikan, terkhusus kepada staf Departemen Kesehatan Lingkungan, **Ibu Tika** dan **Kak Lina** serta tim jurnal atas segala bantuannya.
7. Kepala PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) serta para staff, terkhusus **Bapak Ansyarif Khalid, Bapak Akbar Nur, Bapak Amrin Kalenna, Bapak Asri**, yang telah membagi ilmunya dan turut memberikan arahan serta dukungan selama penelitian berlangsung.
8. Kepala Balai Besar Industri Hasil Perkebunan (BBIHP) Makassar serta para staff, khususnya **Ibu Anti** dan **Kak Nica** yang telah membantu proses pengukuran PM₁₀ selama penelitian berlangsung.
9. Sahabat-sahabat penulis selama perkuliahan “**CBDN**” (Elsa, Calista, Billo, Ikki, Dilbas, Elita, Nana dan Culla) yang telah memberikan saya pengalaman persahabatan terbaik di hidup penulis serta memberikan motivasi tinggi untuk penulis dikala hambatan dan kendala datang selama penyelesaian skripsi ini.
10. Sahabat-sahabat penulis sedari bangku sekolah hingga sekarang yaitu **Cimoy, Dilla**, dan **Kepkep** yang selalu memberi semangat dan motivasi kepada penulis untuk cepat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
11. Teman-teman seperjuangan **Kesling 2018** terkhusus grup “**Belajar Yuk**” (Cici, Dinda, Musda, Kiyo, Fia, Ken, Astisa, Mbak Rani, Mifta, Ulfa, Yuan, Heztiya, Intan, serta Nadiya) yang selalu memberikan semangat dan dorongan dalam

menyelesaikan skripsi serta telah membuat masa-masa perkuliahan saya di Kesling ini menjadi penuh tawa dan canda.

12. Teman seperjuangan, FKM Unhas **Angkatan 2018 (VENOM)** yang memberikan warna kehidupan kampus.
13. **Keluarga besar** yang selalu menanyakan “Jihan kapan selesai?” tetapi dibantu dengan dukungan sehingga membuat penulis untuk segera mungkin menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
14. **Yusril Adytia R. Marasobu** yang senantiasa mendukung penulis dari dulu hingga sekarang, serta memberikan bantuan selama penulis menyusun skripsi.
15. Terima kasih untuk **Jihan**, diri saya sendiri yang sudah kuat dan sabar dari jatuh bangunnya penyelesaian skripsi ini. Terima kasih sudah bertahan. Ini bukanlah akhir dan tetaplah berusaha dan berdoa untuk proses-proses selanjutnya.
16. Semua pihak yang ikut terlibat dalam proses pembuatan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu di sini.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat menerima kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kepenulisan yang lebih baik agar dapat bermanfaat bagi orang lain sebagai pengemban ilmu pengetahuan.

Makassar, 31 Januari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN TIM PENGUJI	iii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	iv
RINGKASAN	v
SUMMARY	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	8
C. Tujuan Penelitian	8
D. Manfaat Penelitian	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	12
A. Tinjauan Umum tentang <i>Particulate Matter</i> (PM)	12
B. Tinjauan umum tentang Gangguan Pernapasan yang ditimbulkan <i>Particulate Matter</i>	19
C. Tinjauan umum tentang Karakteristik Individu Yang Mempengaruhi Gangguan Pernapasan	29
D. Kerangka Teori.....	33
BAB III KERANGKA KONSEP	36
A. Dasar Pemikiran Variabel yang diteliti	36
B. Kerangka Konsep	41
C. Definisi Operasional.....	42
D. Hipotesis Penelitian.....	46

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	48
A. Jenis dan Desain Penelitian	48
B. Waktu dan Lokasi Penelitian	48
C. Populasi dan Sampel penelitian	49
D. Instrumen Penelitian.....	52
E. Pengumpulan Data	54
F. Pengolahan dan Analisis data	55
G. Penyajian Data	57
H. Etika Penelitian	57
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	58
A. Gambaran Umum Lokasi Penelitian	58
B. Hasil Penelitian	64
C. Pembahasan.....	78
D. Keterbatasan Penelitian.....	99
BAB VI PENUTUP	100
A. Kesimpulan	100
B. Saran.....	101
DAFTAR PUSTAKA	103
LAMPIRAN.....	113

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Tabel Definisi Operasional dan Kriteria Objektif.....	42
Tabel 5.1	Distribusi Konsentrasi PM ₁₀ di Udara Berdasarkan Titik Lokasi Pengukuran di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar	66
Tabel 5.2	Distribusi Suhu di Lingkungan Berdasarkan Titik Lokasi Pengukuran di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar.....	67
Tabel 5.3	Distribusi Kelembaban di Lingkungan Berdasarkan Titik Lokasi Pengukuran di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar	68
Tabel 5.4	Distribusi Kecepatan Angin di Lingkungan Berdasarkan Titik Lokasi Pengukuran di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar	69
Tabel 5.5	Karakteristik dan Perilaku Responden di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar	73
Tabel 5.6	Riwayat Keluhan Pernapasan Pada Pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar	74
Tabel 5.7	Kategori Keluhan Pernapasan Pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar	75
Tabel 5.8	Analisis Hubungan Variabel Independen dengan Keluhan Pernapasan Pada Pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kerangka Teori Perjalanan PM ₁₀	35
Gambar 3.1 Kerangka Konsep	41
Gambar 5.1 Lokasi Titik Sampling Udara	65
Gambar 5.2 1 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dengan Suhu	70
Gambar 5.2 2 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dengan Kelembaban.....	71
Gambar 5.2 3 Grafik Hubungan Konsentrasi PM ₁₀ dengan Kecepatan Angin.....	72

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Kuesioner Penelitian
- Lampiran 2 Surat Persetujuan Etik
- Lampiran 3 Surat Izin Penelitian dari Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kemahasiswaan FKM Unhas kepada Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Sulawesi Selatan
- Lampiran 4 Surat Izin Penelitian dari Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Sulawesi Selatan kepada Kepala PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Makassar
- Lampiran 5 Surat Persetujuan Penelitian dari Kepala PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Makassar
- Lampiran 6 Surat Permohonan Pengambilan dan Pengujian Sampel dari Departemen Kesehatan Lingkungan kepada Balai Besar Industri Hasil Perkebunan Makassar
- Lampiran 7 Surat Penawaran Biaya Pengujian Sampel Udara dari Kepala Balai Besar Industri Hasil Perkebunan Makassar
- Lampiran 8 Hasil Laboratorium Pengujian Konsentrasi PM₁₀
- Lampiran 9 Hasil Output Analisis SPSS
- Lampiran 10 Dokumentasi Kegiatan
- Lampiran 11 Riwayat Hidup

DAFTAR SINGKATAN

APD	: Alat Pelindung Diri
ILO	: <i>International Labour Organization</i>
ISPA	: Infeksi Saluran Pernapasan Akut
MVAS	: <i>Mini Volume Air Sampler</i>
OSHA	: <i>Occupational Safety and Health Administration</i>
PAH	: <i>Polycyclic Aromatic Hydrocarbon</i>
PAK	: Penyakit Akibat Kerja
PEL	: <i>Permission Exposure Limit</i>
P2PL	: Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan
PM10	: <i>Particulate Matter 10</i>
PPOK	: Penyakit Paru Obstruktif Kronik
USEPA	: <i>United States Environmental Protection Agency</i>
WHO	: <i>World Health Organization</i>

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri adalah sektor penting yang berkontribusi dalam perkembangan sebuah negara. Kebutuhan masyarakat yang beraneka ragam membuat munculnya berbagai jenis industri untuk menciptakan produk. Banyaknya industri memungkinkan timbulnya permasalahan, salah satunya masalah kondisi lingkungan kerja yang luput dari perhatian bahkan seringkali dilupakan. Kesehatan tenaga kerja salah satunya dipengaruhi oleh lingkungan kerja, selain itu faktor bahaya di lingkungan kerja dapat menyebabkan kecelakaan atau gangguan penyakit akibat kerja. (Hidayat et al., 2019)

Berdasarkan *International Labour Organization* (ILO), tahun 2018 setiap tahun terdapat 2,78 juta pekerja meninggal karena kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja. Sekitar 2,4 juta (86,3%) dari kematian ini dikarenakan penyakit akibat kerja (PAK). ILO tahun 2013 menyatakan penyebab kematian yang berhubungan dengan pekerjaan adalah penyakit kanker dengan persentasi yaitu 34%, 25% akibat kecelakaan, 21% penyakit sistem pernapasan, 15% penyakit kardiovaskuler, dan 5% disebabkan oleh faktor yang lain.

Penyakit sistem pernapasan akibat kerja sesuai dengan hasil riset *Labour Force Survey* (LFS) selama tiga tahun terakhir (2017, 2018 dan 2019) di Inggris Raya ditemukan 18.000 kasus baru penyakit paru yang berhubungan dengan pekerjaan (*Health Safety Executive UK*, 2021). Penyakit gangguan paru akibat kerja di Indonesia diperkirakan memiliki angka cukup banyak meskipun

data yang ada masih kurang. Hasil pemeriksaan kapasitas paru yang dilakukan di Balai Hiperkes dan Keselamatan Kerja Sulawesi Selatan tahun 1999 terhadap 200 tenaga kerja di delapan perusahaan, diperoleh hasil sebesar 45% responden yang mengalami *restrictive* (penyempitan paru), 1% responden yang mengalami *obstructive* (penyumbatan paruparu), dan 1% responden mengalami *combination* (gabungan antara *restrictive* dan *obstructive*). (Darmawan, 2013)

Penyakit pernapasan merupakan salah satu jenis penyakit yang sering kali tidak disadari oleh pekerja sebagai penyakit yang diakibatkan oleh pekerjaan karena timbul setelah pekerja tidak lagi bekerja. Penyakit ini banyak ditemukan berhubungan pada lingkungan kerja yang memiliki banyak potensi bahaya. Salah satunya adalah bahaya kimiawi, yaitu potensi bahaya yang berasal dari bahan-bahan kimia yang digunakan dalam proses produksi. Potensi bahaya kimiawi dapat mempengaruhi atau memasuki tubuh tenaga kerja melalui *inhalation* (pernapasan), *ingestion* (melalui mulut ke saluran pencernaan), dan *skin contact* (melalui kulit). Faktor kimiawi yang paling sering ada dan berbahaya di tempat kerja adalah debu (*Particulate matter*) (Halajur U, 2019).

Particulate matter merupakan senyawa campuran dari partikel padat dan cair yang dapat ditemukan di udara. Komponen utama dari *particulate matter* adalah sulfat, nitrat, amonia, sodium klorida, karbon, mineral debu, air, logam, dan *polycyclic aromatic hydrocabons* (PAH) (*World Health Organization*, 2016). Partikel tersebut bervariasi dalam ukuran, komposisi, dan asalnya. Ukuran partikulat di atmosfer mulai dari beberapa nanometer hingga puluhan

mikrometer. Partikulat dengan diameter $<2,5 - 10 \mu\text{m}$ disebut partikulat kasar (PM_{10}), sedangkan partikulat dengan diameter $<2,5 \mu\text{m}$ disebut dengan partikulat halus ($\text{PM}_{2,5}$) (Cholianawati, 2019).

PM memiliki dampak paling berbahaya bagi kesehatan karena PM_{10} mampu masuk dan menembus ke dalam paru tanpa tersaring oleh rambut di dalam hidung. PM_{10} diperkirakan berada antara 50% dan 60% dari partikel melayang yang mempunyai diameter hingga $45 \mu\text{m}$ (*total suspended particulate*), sedangkan $\text{PM}_{2,5}$ tidak disaring dalam sistem pernapasan bagian atas dan menempel pada gelembung paru, sehingga dapat menurunkan pertukaran gas (Jayanti et al., 2016).

PM_{10} memiliki kandungan zat kimia yang membuat partikulat tersebut bersifat karsinogenik maupun non karsinogenik. Potensi karsinogenik dapat dilihat dari kandungan logam berbahaya di dalamnya seperti Ca, K, Mg, Na, Al, Pb, Cr, Ni, Zn, Cu, Cd, dan Fe (Mohammed et al., 2017). Sifat karsinogenik pada PM_{10} memiliki tingkat bahaya lebih tinggi karena umumnya ditimbulkan dari kandungan PAH dan logam yang menyebabkan kanker kardiopulmoner, kanker paru, hingga kematian, sedangkan efek non karsinogenik antara lain batuk, napas pendek, sesak napas, nyeri dada, Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA), asma, dan penyakit pernapasan lainnya (Wulandari et al., 2016).

Studi multikota yang dilakukan di Eropa (29 kota) dan di Amerika Serikat (20 kota) melaporkan efek mortalitas paparan singkat untuk PM_{10} 0,62% dan 0,46% per setiap kenaikan $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 jam rata-rata). Studi 24 kota di Harvard, Amerika Serikat menyebutkan efek paparan PM_{10} dengan waktu yang

lama berakibat terhadap peningkatan terjadinya penyakit saluran pernapasan pada anak-anak (Rixson et al., 2016). Publikasi WHO memberikan nilai baku mutu konsentrasi massa rata-rata tahunan untuk PM₁₀ sebesar 20 µg/m³ dan untuk periode 24 jam adalah 50 µg/m³. Menurut Peraturan Pemerintah RI Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, baku mutu udara ambien nasional 24 jam untuk PM₁₀ adalah 75 µg/m³ dan 40 µg/m³ untuk periode 1 tahun.

Data yang dilaporkan WHO Tahun 2016 kota-kota yang berada di Asia Tenggara termasuk Indonesia mengalami peningkatan PM₁₀ menjadi 27% diatas nilai rata-rata tahunan pedoman mutu udara WHO. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan bahwa pemantauan kualitas udara PM₁₀ tertinggi dalam kategori sangat tidak sehat - berbahaya sepanjang tahun 2019 berada di kota Palangkaraya, Pekanbaru, Jambi, Palembang, Pontianak dan Banjarmasin akibat kebakaran hutan. Sementara untuk kota Jakarta, Bandung, Surabaya, Makassar, Mataram, Manado masih berada diambang sangat tidak sehat - baik, peningkatan konsentrasi PM₁₀ tersebut terjadi akibat aktivitas industri hingga emisi transportasi. Peningkatan PM₁₀ yang diakibatkan oleh tingginya aktivitas industri di suatu wilayah akan memberikan dampak terhadap kesehatan para pekerjanya.

pekerja pabrik Intimkara Ternate menunjukkan bahwa konsentrasi Konsentrasi PM₁₀ selama 24 jam adalah 33µg/m³. Dari data analisis diketahui bahwa batuk berdahak terhadap nilai PM₁₀ memiliki nilai p sebesar 0.007 < 0.05, sementara nyeri dada terhadap nilai p sebesar 0.552 > 0,05 dan sesak napas

terhadap nilai PM_{10} memiliki nilai p sebesar $0.039 < 0.05$. Disimpulkan bahwa PM_{10} mempengaruhi kejadian, batuk berdahak dan sesak napas sementara PM_{10} tidak mempengaruhi nyeri dada.

Hasil penelitian yang pernah dilakukan oleh Linardita Ferial dkk tahun 2021 pada pekerja pabrik semen di PT. X Kota Cilegon Banten menunjukkan bahwa Kadar debu (PM_{10}) pada ruang pengepakan semen $1002,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan pada ruang pembuatan kantong semen adalah $142,1\mu\text{g}/\text{m}^3$. Penelitian ini menunjukkan adanya pengaruh debu PM_{10} pada ruang pengepakan dan pembuatan kantong semen terhadap gangguan sistem pernapasan pekerja. Hasil tersebut dapat diketahui dari nilai $p = 0,005$.

Tingginya konsentrasi PM_{10} disuatu wilayah dapat disebabkan oleh penambahan sumber pencemar itu sendiri sedangkan pengurangannya dapat disebabkan oleh kombinasi faktor–faktor meteorologi dan klimatologi diwilayah tersebut. Faktor tersebut seperti suhu udara, kelembaban, serta arah dan kecepatan angin berdampak pada formasi dan dispersi polutan di udara ambien sedangkan curah hujan berperan dalam pencucian polutan di udara (A. Amalia & Marshita, 2021). Penelitian yang dilakukan Baltaci et al tahun 2020 di Istanbul Turkey menunjukkan terdapat hubungan penurunan konsentrasi PM_{10} terhadap kecepatan angin dan suhu udara. Nilai pengaruh langsung suhu menunjukkan fakta bahwa ketika suhu udara meningkat sebesar 1°C , kandungan PM_{10} turun rata-rata $0,466 \text{ g}/\text{m}^3$ sedangkan kenaikan $1 \text{ m}/\text{s}$ dalam kecepatan angin diikuti dengan penurunan kandungan PM_{10} sebesar $0,257 \text{ g}/\text{m}^3$ rata-rata.

Gangguan pada sistem pernapasan tidak hanya disebabkan oleh konsentrasi PM_{10} saja, melainkan beberapa faktor dari karakteristik pekerja itu sendiri dapat mempengaruhi keadaan paru seperti umur, kebiasaan merokok, masa kerja, riwayat penyakit paru, penggunaan alat pelindung diri dan status gizi. Hasil penelitian Ersafiani et al tahun 2016 mengemukakan beberapa orang yang terpajan dengan debu dalam waktu lama dan konsentrasi yang sama akan menunjukkan akibat yang berbeda. Hal ini disebabkan karakteristik seseorang yang berbeda-beda, seperti seseorang dengan status gizi buruk dan riwayat penyakit pernapasan akan mudah terkena infeksi dikarenakan daya tahan tubuh menurun serta lebih memperburuk kejadian gangguan pernapasan. Sebaliknya pada seseorang yang memiliki status gizi lebih akan berpengaruh terhadap pengembangan paru.

Industri konstruksi adalah industri yang memiliki dampak signifikan pada kesehatan dan keselamatan pekerjanya. Pekerja yang bekerja pada sektor industri konstruksi memiliki kemungkinan 1 : 300 untuk mengalami kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja bahkan dapat mengalami kematian dibandingkan pada industri lain (Izudi et al., 2017). Salah satu industri konstruksi yang menyumbang angka kecelakaan dan kasus penyakit akibat kerja terbanyak adalah industri galangan kapal. Industri ini memiliki resiko bahaya tinggi pada proses produksinya yang meliputi pekerjaan pada tempat ketinggian, ruang tertutup, struktur yang besar dan berat, penggunaan api dan listrik, bekerja di atas permukaan air serta lingkungan yang tidak ramah kesehatan (Sunaryo & Yulianti Priandini, 2016).

PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) merupakan salah satu galangan kapal yang berlokasi di Kota Makassar tepatnya dipantai Paotere Kecamatan Tallo. PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) sendiri bergerak dibidang usaha produksi, reparasi, dan modifikasi kapal. Berdasarkan pengamatan lapangan yang dilakukan peneliti di galangan kapal PT. IKI (Persero) Kota Makassar, terdapat unit produksi *sandblasting* yaitu suatu proses berupa penghalusan, pembentukkan dan membersihkan permukaan yang keras dengan menembakkan partikel dengan kecepatan tinggi ke permukaan.

Kegiatan *sandblasting* ini diketahui dapat menimbulkan potensi bahaya yang dapat mengancam kesehatan dan keselamatan pekerja. Bahaya yang teridentifikasi adalah bahaya paparan debu. Pasir merupakan bahan utama yang digunakan dalam proses *sandblast*. Pasir tersebut akan disemprotkan dengan tekanan yang tinggi ke arah plat sehingga karat dan kotoran-kotoran yang ada pada plat dapat menghilang. Akibat semprotan pasir itulah selama proses *sandblast* banyak terdapat paparan debu yang berasal dari pasir yang digunakan tersebut. Paparan debu ini apabila mengenai pekerja dapat berisiko terjadi iritasi mata dan infeksi saluran pernafasan. (Dekanawati et al., 2021)

Berdasarkan survei pendahuluan dan wawancara singkat yang dilakukan pada beberapa pekerja bagian produksi di PT. IKI (Persero), mereka mengeluh mengalami keluhan gejala gangguan sistem pernafasan seperti batuk pada saat bekerja, gatal pada tenggorokan, sesak pada dada, dan merasa sulit bernafas pada saat bekerja. Selain itu, beberapa pekerja teridentifikasi belum menggunakan alat pelindung diri berupa masker yang memadai untuk

melindungi diri dari paparan debu sehingga memungkinkan pekerja memiliki risiko untuk terpajan debu akibat proses *sandblasting*.

Berdasarkan masalah yang muncul di PT. IKI (Persero), penulis tertarik melakukan penelitian mengenai hubungan konsentrasi *Particulate Matter* (PM₁₀) dengan keluhan pernapasan pada pekerja di PT IKI (Persero) Kota Makassar. Hasil dari penelitian ini tidak hanya bermanfaat dalam pengendalian risiko, tetapi juga dapat digunakan sebagai kerangka ilmiah dalam pengambilan keputusan dan kebijakan dalam mengatasi masalah kesehatan dan lingkungan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan di atas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimanakah hubungan konsentrasi *Particulate Matter* (PM₁₀) dengan keluhan pernapasan pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar?

C. Tujuan Penelitian

1. Tujuan Umum Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan konsentrasi *Particulate Matter* (PM₁₀) dengan keluhan pernapasan pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar.

2. Tujuan Khusus Penelitian

Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui konsentrasi udara ambien PM₁₀ di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar.

- b. Mengetahui suhu, kelembaban dan kecepatan angin di lingkungan PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar.
- c. Mengetahui gambaran umum karakteristik responden yang berupa umur, lama dan masa kerja, pemakaian alat pelindung diri (APD), dan perilaku merokok pada pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar.
- d. Menganalisis hubungan antara konsentrasi PM_{10} dengan keluhan pernapasan pada pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar.
- e. Menganalisis hubungan antara suhu dengan keluhan pernapasan pada pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar.
- f. Menganalisis hubungan antara kelembaban dengan keluhan pernapasan pada pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar.
- g. Menganalisis hubungan antara kecepatan angin dengan keluhan pernapasan pada pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar.
- h. Menganalisis hubungan antara umur dengan terhadap keluhan pernapasan pada pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar.
- i. Menganalisis hubungan antara lama kerja dengan terhadap keluhan pernapasan pada pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar.
- j. Menganalisis hubungan antara masa kerja dengan terhadap keluhan

pernapasan pada pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar.

- k. Menganalisis hubungan Penggunaan Alat Pelindung Diri dengan keluhan pernapasan pada pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar.
- l. Menganalisis hubungan perilaku merokok dengan keluhan pernapasan pada pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar.

D. Manfaat Penelitian

Berikut adalah manfaat dari penelitian ini:

1. Bagi Instansi

Penelitian ini dapat menjadi sumber informasi atau masukan tambahan bagi pihak PT. IKI (Persero) yang bersangkutan dalam memutuskan kebijakan dan regulasi terhadap upaya pencegahan terkait penyakit yang ditimbulkan.

2. Bagi Institusi

Penelitian ini diharapkan menjadi referensi dan informasi bagi peneliti lain dalam melakukan penelitian lebih lanjut.

3. Bagi Masyarakat/pekerja

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada pekerja atau masyarakat khususnya di lingkungan PT. IKI (Persero) tentang bagaimana PM_{10} yang dihasilkan oleh aktivitas industri dapat berisiko terhadap Kesehatan.

4. Bagi peneliti

Penyusunan proposal penelitian hingga hasil penelitian merupakan suatu pengalaman penting bagi peneliti dan menjadi pembelajaran yang sangat berharga dalam menerapkan ilmu yang telah diperoleh selama menempuh studi di Program Studi Kesehatan Masyarakat Departemen Kesehatan Lingkungan Universitas Hasanuddin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum tentang *Particulate Matter* (PM)

1. Definisi dan Karakteristik PM

Particulate matter atau partikel yang berada di udara merupakan bentuk kompleks dari campuran zat kimia organik dan anorganik. (WHO, 2003). *Particulate matter* disebut sebagai polusi partikel yang tersusun dari campuran partikel heterogen padat dan cair yang tersuspensi di udara dan terus mengalami perubahan ukuran dan komposisi kimia dalam ruang dan waktu (Najihah I, 2021).

Particulate matter (PM) Memiliki karakteristik fisik dan kimia yang berbeda tergantung lokasinya. Karakteristik fisik ditentukan oleh sifat pengendapan dan sifat optisnya terhadap cahaya, Sifat pengendapan dapat menghilangkan partikel dari atmosfer sedangkan sifat optis partikulat pada cahaya dapat mengakibatkan reduksi visibilitas (Yusnabeti et al., 2010). Kandungan kimia dari PM meliputi sulfat, nitrat, amonium, ion anorganik lain seperti sebagai ion natrium, kalium, kalsium, magnesium dan klorida, organik dan unsur karbon, bahan kerak, partikel air-terikat, logam (termasuk cadmium, tembaga, nikel, vanadium dan seng) dan PAH. Selain itu, didalam PM terdapat pula komponen biologi seperti alergen dan senyawa mikroba (WHO, 2013).

2. Sumber dan klasifikasi PM

Secara historis *particulate matter* muncul bersumber dari pembakaran batu bara dan dinyatakan sebagai *black smoke*. Namun sejalan dengan berkembangnya jaman, pada abad ke-20 ternyata emisi asap hitam dari pembakaran batu bara mengalami penurunan. Justru pada saat ini *particulate matter* terus didominasi oleh partikel karbon yang berasal dari emisi kendaraan di jalan raya dan polutan sekunder, garam ammonium, serta karbon organik (Harrison R, 2020). Beberapa studi mengenai sumber *particulate matter* sejauh ini berasal dari sumber alami dan sumber antropogenik. Sumber alami dapat bersumber dari letusan gunung berapi, badai debu, kebakaran hutan, pembakaran lahan liar dan sebagainya. Sumber kegiatan antropogenik contohnya emisi transportasi, aktivitas industri, pembakaran bahan bakar dan sebagainya (Mukherjee & Agrawal, 2017).

US *Environmental Protection Agency* (EPA) mengklasifikasikan PM menjadi dua jika ditinjau dari besarnya partikel. Pertama yakni partikel inhalasi kasar yang banyak ditemukan di jalan raya dan terdapat pada industri dengan produksi debu yang tinggi, ukurannya antara 2,5 mikrometer hingga 10 mikrometer. Kedua yaitu partikel yang lebih halus dan biasanya ditemukan dalam asap atau kabut yang memiliki diameter 2,5 mikrometer atau lebih kecil dari itu (EPA, 2018). Parameter yang diukur dalam menentukan kualitas udara salah satunya adalah PM₁₀, baik dalam ruangan maupun di luar ruangan. Partikulat ukuran kurang dari 10 mikron

mempunyai beberapa nama lain, yaitu PM_{10} sebagai *inhalable particles*, *respirable particulate*, *respirable dust*, dan *inhalable dust*. PM_{10} merupakan partikulat yang dapat diinhalasikan karena ukurannya dan lebih spesifik serta prediktor kesehatan yang baik. PM_{10} memiliki probabilitas yang lebih tinggi untuk dapat masuk ke saluran pernapasan bagian bawah karena diameter partikel yang kecil secara potensial dapat melewati saluran pernapasan bagian bawah (Mallongi, 2019).

3. Faktor Meteorologi yang Mempengaruhi persebaran PM

Persebaran PM di udara bergantung pada faktor meteorologi dan klimatologi seperti distribusi suhu, kelembaban, arah dan kecepatan angin, dan curah hujan sebagai berikut:

- a. Suhu udara yang meningkat menyebabkan kondisi lingkungan akan panas dan kering sehingga memudahkan partikulat akan terangkat dan melayang di udara (Cahyadi et al., 2016).
- b. Kelembaban udara menyatakan banyaknya uap air dalam udara. Kondisi udara yang lembab akan membantu proses pengendapan bahan pencemar, sebab dengan keadaan udara yang lembab maka beberapa bahan pencemar berbentuk partikel (misalnya debu) akan berikatan dengan air yang ada dalam udara dan membentuk partikel yang berukuran lebih besar sehingga mudah mengendap ke permukaan bumi oleh gaya tarik bumi (Prabowo & Muslim, 2018).
- c. Pergerakan udara mempengaruhi polutan seperti partikulat. Apabila udara dalam keadaan tenang atau kecepatan angin rendah, konsentrasi

polutan akan meningkat. Sedangkan apabila terdapat angin besar atau dalam kecepatan angin tinggi polutan akan terurai secara cepat sehingga konsentrasinya menjadi rendah (QLD, 2017).

- d. Curah hujan, air hujan melarutkan asam dan partikel polutan serta gas lainnya yang berada di udara. Terjadinya hujan di atmosfer menyebabkan bahan pencemar yang berada di udara melarut. Makin tinggi curah hujan semakin besar kemampuannya melarutkan gas dan partikel di udara. Demikian juga semakin tinggi intensitas hujan maka semakin sering terjadi proses pelarutan gas dan partikel di udara. Semakin tinggi curah hujan dan intensitas hujan di daerah industri, dapat melarutkan polutan di udara sehingga udara menjadi bersih (Prabowo & Muslim, 2018).

4. Mekanisme PM Masuk ke dalam Tubuh Manusia

Particulate matter seperti PM_{10} masuk ke tubuh manusia melalui jalur inhalasi dan masuk ke saluran pernapasan. Sistem pernapasan manusia memiliki beberapa mekanisme pertahanan yang berperan untuk mencegah partikel-partikel asing dan berbahaya masuk ke dalam paru-paru. Seperti halnya rambut-rambut hidung dan membran mukosa akan melakukan upaya proteksi terhadap partikel yang akan masuk ke dalam saluran pernapasan dengan mekanisme penyaringan (Falahdina, 2017).

Secara umum semakin kecil suatu partikel, maka akan semakin dalam ia menembus ke dalam saluran pernapasan. Pada saluran pernapasan manusia terdapat silia dalam hidung dan tenggorokan yang menahan benda-

benda asing seperti debu dengan ukuran 5 - 10 mikron, sedangkan yang berukuran 3 - 5 mikron ditahan pada bagian bronkus primer (tengah jalan pernapasan). Penumpukan dan pergerakan debu pada saluran napas dapat menyebabkan peradangan jalan napas. Untuk partikel 1 - 3 mikron dapat masuk ke alveoli paru-paru sehingga mempengaruhi pertukaran gas di dalam paru-paru, dan bahkan dapat menembus paru-paru. Akhirnya partikel-partikel ini akan lolos ke aliran kesehatan yang signifikan. Partikel dibawah 1 mikron pada umumnya berperilaku mirip dengan molekul gas dan oleh karena itu akan menembus alveoli (pengendapan oleh kekuatan difusi) dan dapat mentranslokasikan lebih jauh ke dalam jaringan sel dan atau sistem sirkulasi (Kim et al., 2015).

Mekanisme PM_{10} dalam membahayakan sistem pernapasan manusia adalah sebagai berikut (Xing et al., 2016):

- a. Luka oleh peroksida radikal bebas, radikal bebas, logam, dan komponen organik dari PM menginduksi produksi radikal bebas untuk teroksidasi di sel paru. Permukaan PM mengandung ion, tembaga, zink, mangan, dan elemen transisi lain, termasuk *polycyclic aromatic hydrocarbon* dan *lipopolysaccharide*. Komponen ini meningkatkan produksi radikal bebas di paru. Partikel menghasilkan oksigen reaktif, terutama oleh partikel yang dapat larut dalam air memproduksi *hydroxyl radical* dengan mengaktivasi logam. *Hydroxy radical* merupakan faktor utama yang menyebabkan kerusakan DNA, ketika DNA rusak maka tidak dapat menginduksi pembentukan teratogen dan sel kanker, terjadinya

mutasi gen dan bahaya irreversible lainnya. Partikel tidak hanya merusak DNA dan menekan perbaikan DNA, namun juga menginduksi replikasi dari DNA yang sudah rusak sehingga dapat memicu perkembangan sel kanker.

- b. Ketidakseimbangan kalsium intraseluler, kalsium merupakan pembawa pesan sekunder yang meregulasi fungsi fisiologis dan patologis dari sel. Konsentrasi kalsium yang tidak normal mengakibatkan reaksi inflamasi, dan kerusakan sel. PM menginduksi produksi radikal bebas secara berlebihan dan menurunkan kemampuan antioksidan dari sel. Hal tersebut mengakibatkan kematian sel dan nekrosis.
- c. Reaksi inflamasi, PM menstimulasi ekspresi berlebihan dari faktor gen transkripsi dan gen sitokin yang menyebabkan inflamasi. Interaksi antara sel inflamasi dan sitokin dapat merusak sel paru.

5. Nilai Ambang Batas Partikulat (PM₁₀)

Standar PM₁₀ dalam udara ambien berdasarkan *National Ambient Air Quality Standard* (NAAQS) US.EPA tahun 2012 ialah 150 µg/m³ (0,15 mg/m³). Sedangkan untuk *occupational* berdasarkan Occupational Safety and Health Administration (OSHA) bahwa batas paparan PM₁₀ yang diizinkan pada tempat kerja / *permissible Exposure Limit* (PEL) ialah sebesar 5000 µg/m³, ekuivalen dengan 5 mg/m³. Di Indonesia sendiri standar yang telah ditetapkan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12 tahun 2010 untuk Baku Mutu Udara Ambien Nasional sebesar 150 µg/m³ (0,15 mg/m³). Sedangkan yang terbaru menurut Peraturan

Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Baku Mutu Udara Ambien Nasional 24 jam untuk PM₁₀ adalah 75 µg/m³ dan 40 µg/m³ untuk periode 1 tahun.

6. Pengukuran Konsentrasi Partikulat (PM₁₀)

Pengukuran PM₁₀ dilakukan untuk mengetahui kadar PM₁₀ di udara, apakah berada pada kadar yang sesuai dengan standar baku mutu atau tidak. Metode pengukuran PM₁₀ secara umum dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri, yaitu melewatkan udara dengan volume tertentu melewati kertas saring atau saringan serta. Alat-alat yang digunakan untuk mengukur PM₁₀ adalah (Oktaviana, 2019):

a. *Dust track*

Dust trak merupakan monitor aerosol yang mampu menangkap debu yang memiliki ukuran 10 mikrometer, 2,5 mikrometer, dan 1 mikrometer. pengoperasian *dust trak* menggunakan baterai, teknik pengukurannya menggunakan laser photometer, berfungsi untuk mengukur dan merekam konsentrasi debu yang berada di udara. Penggunaan alat ini lebih tepat digunakan untuk mengukur kualitas udara yang berada di dalam ruangan (Oktaviana, 2019).

b. *Hazt Dust* (EPAM-5000)

Alat ini adalah *microprocessor portable* yang merupakan partikulat monitor, dapat digunakan untuk mengetahui kualitas udara ambien, selain itu juga dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁₀, dan kadar debu total di udara. Cara kerja alat ini

adalah proses pengukuran konsentrasi dilakukan dengan menggunakan cara menghamburkan cahaya serta memberikan langsung *real-time* hasil rekaman menggunakan satuan milligram kubik per meter kubik (mg/m^3) (Prinnatama, 2020).

c. *High Volume Air Sampler (HVAS)*

HVAS adalah salah satu alat untuk mengukur jumlah partikel seperti TSP, PM_{10} dan $\text{PM}_{2,5}$. Teknik pengambilan sampel menggunakan alat ini menurut standar pemerintah dilakukan menggunakan metode analisis gravimetri. Prinsip kerja alat HVAS yaitu udara dihisap melalui filter di dalam shelter menggunakan pompa vakum dengan laju alir tinggi sehingga partikel terkumpul di permukaan filter. Jumlah partikel yang terakumulasi dalam filter selama periode waktu tertentu dianalisa secara gravimetri kemudian ditimbang dengan timbangan (4 digit dibelakang koma) dalam ruangan bersuhu 15 - 27°C dan kelembaban 0 - 50% (Rohmah et al., 2018).

B. Tinjauan umum tentang Gangguan Pernapasan yang ditimbulkan Particulate Matter

Particulate matter merupakan salah satu polutan udara yang memiliki tingkat toksisitas yang tinggi dan mempunyai peran dalam rusaknya udara ambien sehingga dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Paparan PM telah terbukti terkait dengan berbagai efek kesehatan pernapasan termasuk gejala pernapasan (batuk, dahak, dan mengi), hiperreaktivitas bronkus, reaksi fase akut, infeksi pernapasan, penurunan pertumbuhan paru-paru pada anak-anak,

kehilangan kronis fungsi paru pada orang dewasa, dan kematian dini pada pasien dengan penyakit paru kronis (Ngoc et al., 2018). WHO (2016) memperkirakan bahwa polusi PM berkontribusi terhadap sekitar 4,2 juta kematian dini setiap tahun (16% kematian akibat kanker paru-paru, 26% kematian akibat infeksi saluran pernapasan, 17% penyakit jantung iskemik dan kematian akibat stroke, dan 25% dari penyakit paru obstruktif kronik). Kematian akibat beberapa penyakit ini menempatkan PM sebagai penyebab kematian ke-14 di seluruh dunia.

Mekanisme pernapasan PM terdiri dari cedera paru dari peroksidasi radikal bebas, homeostasis kalsium intraseluler yang tidak seimbang, dan cedera peradangan. PM ketika memasuki tubuh dapat langsung mempengaruhi makrofag, di mana alveolus merespons PM yang dihirup dengan cepat sebagai respons imun bawaan awal, dan kemudian menghasilkan spesies nitrogen, spesies oksigen reaktif, dan melepaskan TNF- α dan IL-1 sehingga mengakibatkan apoptosis sel epitel dan peradangan. Selain itu, fusi mitokondria yang diinduksi dan peroksidasi lipid mitokondria dalam makrofag paru mungkin merupakan mekanisme penting yang berkontribusi terhadap penyakit pernapasan yang disebabkan oleh PM (Ngoc et al., 2018).

Beberapa gangguan kesehatan pernapasan yang disebabkan oleh PM, sebagai berikut:

1. Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA)

Infeksi saluran pernapasan akut (ISPA) merupakan penyakit saluran pernafasan pada bagian atas maupun bawah, dimulai dari hidung

(saluran atas) hingga alveoli (saluran bawah) termasuk jaringan andeksanya, seperti sinus, rongga telinga tengah, dan pleura. Penyakit ini dapat menular dan juga bisa menyebabkan spektrum penyakit dimulai dari tidak ada gejala maupun infeksi yang ringan hingga infeksi berat yang menimbulkan penyakit parah maupun kematian, bergantung pada patogen penyebab, faktor lingkungan, dan juga faktor pendukung lainnya (Yunus et al., 2020). Sebagian besar ISPA disebabkan oleh infeksi, tetapi dapat juga disebabkan oleh inhalasi bahan – bahan organik atau uap kimia dan inhalasi bahan – bahan debu yang mengandung allergen. Lingkungan seseorang yang banyak dipenuhi oleh debu, uap dan gas secara tidak langsung akan menyebabkan gangguan infeksi pernapasan (Wijayanti & Indarjo, 2018).

Klasifikasi ISPA berdasarkan gejala yang timbul menurut (Ditjen P2MPL, 2009) ialah dikelompokkan kedalam 3 kategori yakni :

- a. ISPA Ringan, yaitu meliputi salah satu atau lebih gejala seperti batuk tanpa pernapasan cepat (40 kali/menit), pilek (mengeluarkan lendir), serak, sesak yang disertai atau tanpa disertai panas atau demam ($> 37^{\circ}\text{C}$), dan keluarnya cairan dari telinga tanpa rasa sakit pada telinga.
- b. ISPA Sedang yaitu meliputi gejala ISPA ringan ditambah dengan satu atau lebih gejala seperti pernapasan lebih cepat, demam $\geq 39^{\circ}\text{C}$, mengi, tenggorokan kemerahan, telinga mengeluarkan cairan disertai rasa sakit, timbul bercak di kulit seperti campak, dan adanya suara tambahan dari pernafasan (*wheezing*).

- c. ISPA Berat yaitu meliputi gejala ISPA ringan dan sedang disertai dengan satu atau lebih gejala seperti adanya retraksi otot-otot bantu pernapasan, bunyi nafas gargling atau stridor (napas berbunyi seperti mengorok), nafsu makan menurun. Tanda lain seperti bibir atau kulit membiru, kejang, dehidrasi, kesadaran menurun, nadi cepat dan lemah.

Klasifikasi berdasarkan lokasi anatomi menurut (Depkes RI, 2012) adalah sebagai berikut :

- a. Infeksi saluran pernapasan atas akut: infeksi yang menyerang hidung hingga ke bagian faring, seperti pilek, otitis media, faringitis dan rhinitis.
- b. Infeksi saluran pernapasan bawah akut: infeksi yang menyerang mulai dari bagian epiglotis atau laring sampai ke alveoli. Infeksi tersebut dinamakan sesuai dengan organ saluran napas yang terinfeksi seperti epiglotitis, bronchitis, bronchiolitis, pneumonia.

Gejala ISPA biasanya muncul kurang lebih tiga hari setelah seseorang terkena infeksi dan kemudian mereda setelah 7-12 hari atau hingga 14 hari. Diagnosis ISPA ditegakkan dengan tahapan berikut (A Krishna, 2015):

- a. Mendengarkan keluhan yang dirasakan oleh penderita dan memeriksa badan terutama daerah hidung dan tenggorokan
- b. Pemeriksaan swab hidung atau tenggorokan
- c. Pemeriksaan sputum atau dahak dilakukan

d. Pemeriksaan rontgen biasanya dilakukan apabila ada kecurigaan infeksi di daerah sinus bila dicurigai ISPA tersebut tidak sembuh dan berlanjut menginfeksi paru.

2. Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK)

Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK) adalah istilah umum yang digunakan untuk menggambarkan penyakit paru yang memburuk seperti asma refrakter (tidak ada perubahan atau perbaikan yang sangat singkat), bronkitis menahun/kronis, dan emfisema (kondisi kantung udara di paru-paru mengalami kerusakan yang memburuk). Penyakit ini memiliki ciri kesulitan bernafas yang tidak dapat dijelaskan serta rasa lelah berlebihan (Maunaturrohmah & Yuswatiningsih, 2018). Sedangkan menurut (*Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD)*) tahun 2019, PPOK sendiri adalah penyakit yang dengan karakteristik keterbatasan saluran napas yang tidak sepenuhnya *reversible*. Keterbatasan saluran napas tersebut biasanya progresif dan berhubungan dengan respons inflamasi dikarenakan zat yang merugikan atau gas.

Limitasi aliran udara kronik yang merupakan karakter PPOK disebabkan oleh inflamasi dan remodelling jalan napas (penyakit jalan napas kecil), kerusakan alveoli, dan penurunan elastisitas paru (destruksi parenkim), yang menyebabkan kolaps jalan napas terutama selama ekspirasi. Inflamasi paru lebih lanjut dieksaserbasi oleh stres oksidatif dan kelebihan proteinase dalam paru, yang menyebabkan perubahan patologis terkait PPOK (Kristiningrum, 2019).

Manifestasi klinis yang dapat dijumpai pada pasien PPOK adalah sesak yang bersifat kronis dan progresif, dan batuk-batuk dengan produksi sputum yang berbeda-beda setiap harinya. Penegakan diagnosis pada PPOK dapat ditegakan berdasarkan anamnesis, pemeriksaan fisik dan pemeriksaan penunjang, sebagai berikut (Windradini et al., 2021):

- a. Anamnesis, pada anamnesis terdapat beberapa poin penting yang harus ditanyakan untuk mengarahkan diagnosis PPOK yaitu riwayat penyakit pasien sebelumnya apakah pernah menderita asma, riwayat penyakit PPOK atau penyakit paru lainnya di keluarga, riwayat perawatan di rumah sakit sebelumnya karena gejala yang sama, atau adanya penyakit komorbid lainnya seperti gagal jantung, osteoporosis, gangguan muskuloskeletal, dan keganasan.
- b. Pemeriksaan fisik PPOK ini umumnya tidak ada kelainan inspeksi, palpasi, perkusi, auskultasi.
- c. Pemeriksaan penunjang yang dapat dilakukan yaitu dengan pemeriksaan Spirometri, Foto Torak PA dan Lateral, Analisa Gas Darah (AGD), dan pemeriksaan sputum (kultur dahak). Spirometri merupakan tes fungsi paru yang mengukur persentase dan derajat beratnya obstruksi aliran udara.

Paparan di tempat kerja meliputi debu organik dan anorganik, bahan kimia dan asap adalah salah satu faktor risiko seseorang terkena PPOK. Analisis dari Survei Pemeriksaan Kesehatan dan Gizi Nasional III berbasis populasi AS terhadap 10.000 orang dewasa berusia 30-75 tahun

memperkirakan fraksi PPOK yang disebabkan oleh pajanan di tempat kerja salah satunya debu adalah 19,2 % secara keseluruhan. Studi analisis cross-sectional baru – baru di Cina menunjukkan hubungan antara tingkat ambien partikel (PM_{10} , $PM_{2.5}$) dengan prevalensi PPOK, ada bukti bahwa polusi udara berpengaruh terhadap perkembangan paru – paru seseorang (GOLD, 2019). Sebuah studi lainnya yang dilakukan di Korea menunjukkan bahwa penerimaan kasus PPOK meningkat oleh 2,7% dengan peningkatan konsentrasi PM_{10} sebesar 10 g/m^3 . Selain itu, korelasi positif antara peningkatan konsentrasi PM_{10} dan PPOK tentang kematian juga ditemukan, kematian PPOK meningkat sebesar 1,1% dengan peningkatan konsentrasi PM_{10} dari 10 g/m^3 . Hasil telah menunjukkan bahwa paparan konsentrasi tinggi PM menyebabkan peningkatan rawat inap dan angka kematian pada pasien yang menderita PPOK (Kyung & Jeong, 2020).

3. *Lung Cancer* (Kanker Paru)

Kanker paru dalam arti luas adalah semua penyakit keganasan di paru, mencakup keganasan yang berasal dari paru itu sendiri (primer) maupun keganasan dari luar paru (metastasis). Dalam pengertian klinis yang dimaksud dengan kanker paru primer adalah tumor ganas yang berasal dari epitel bronkus (karsinoma bronkus) (Joseph & Rotty, 2020). Kanker paru merupakan penyebab utama keganasan di dunia mencapai 13% dari semua pasien saat terdiagnosis kanker. Hasil riset GLOBOCAN terkait *Cancer Incidence and Mortality Worldwide* pada tahun 2012 menunjukkan Asia sebagai penyumbang kanker paru terbesar. Lebih dari 51,4% kasus kanker

paru dunia terjadi di Asia. Menurut laporan profil kanker WHO, kanker paru penyumbang insiden kanker pada laki-laki tertinggi di Indonesia, serta merupakan penyumbang kasus nomor 5 pada perempuan. Dari data Kemenkes, persentase kasus baru di Indonesia mencapai 34,2% dengan tingkat kematian sebesar 30% (Febriani & Furqon, 2018).

Keluhan yang ditemukan pada pasien kanker paru dapat berupa batuk, nafas pendek, nyeri dada, batuk darah, mual, nyeri, kelelahan dan beberapa keluhan lainnya. Nyeri adalah keluhan utama yang sering dikeluhkan. Penelitian yang membandingkan antara kanker paru dan penyakit kronik paru lainnya, didapatkan data bahwa rasa nyeri lebih banyak dirasakan oleh pasien dengan kanker paru (62%) (Wysham et al., 2015). Diagnosis kanker paru ditegakkan berdasarkan anamnesis, pemeriksaan fisik, pemeriksaan patologi anatomi, pemeriksaan laboratorium, pemeriksaan pencitraan, dan pemeriksaan khusus sebagai berikut (Kementerian Kesehatan RI, 2017) :

a. Anamnesis

Batuk lama, batuk berdarah, sesak nafas, nyeri dada, suara serak, sulit/nyeri menelan yang tidak merespon dengan pengobatan atau penurunan berat badan dalam waktu singkat, nafsu makan menurun, demam hilang timbul, sakit kepala, nyeri di tulang atau parse, dan pembengkakan atau ditemukannya benjolan di leher, aksila atau dinding dada.

b. Pemeriksaan fisik

Pemeriksaan fisik mencakup tampilan umum (*performance status*) penderita yang menurun, penemuan abnormal terutama pada pemeriksaan fisik paru benjolan leher, ketiak atau dinding dada, tanda pembesaran hepar atau tanda asites, nyeri ketok di tulang.

c. Pemeriksaan patologi anatomi

Pemeriksaan patologi anatomi mencakup pemeriksaan sitologi dan histopatologi, pemeriksaan imunohistokimia untuk menentukan jenis tumor (mis. TTF-1 dan lain-lain), dan pemeriksaan petanda molekuler, seperti mutasi EFGR, yang dilakukan apabila fasilitasnya tersedia

d. Pemeriksaan laboratorium

Pemeriksaan darah rutin, seperti Hb, leukosit, trombosit, serta fungsi hati, dan fungsi ginjal.

e. Pemeriksaan pencitraan

Foto toraks AP/lateral merupakan pemeriksaan awal untuk menilai pasien dengan kecurigaan terkena kanker paru. Berdasarkan hasil pemeriksaan ini, lokasi lesi dan tindakan selanjutnya termasuk prosedur diagnosis penunjang dan penanganan dapat ditentukan

f. Pemeriksaan khusus

1) Bronkoskopi adalah prosedur utama untuk mendiagnosis kanker paru. Prosedur ini dapat membantu menentukan lokasi lesi primer, pertumbuhan tumor intraluminal dan mendapatkan spesimen untuk

pemeriksaan sitologi dan histopatologi, sehingga diagnosis dan stadium kanker paru dapat ditentukan.

- 2) Biopsi transtorakal (*transthoracal biopsy*/TTB) merupakan tindakan biopsi paru transtorakal yang dapat dilakukan tanpa tuntunan *radiologic (blinded TTB)* maupun dengan tuntunan USG (*USG-guided TTB*) atau CT scan toraks (*CT-guided TTB*) untuk mendapatkan sitologi atau histopatologi kanker paru.

Faktor risiko kanker paru salah satunya adalah polusi udara paparan PM yang memiliki kandungan bahan kimia karsinogenik. Manusia yang terpapar oleh karsinogen atau zat pemicu kanker dalam jangka waktu yang panjang dengan dosis yang rendah juga dapat meningkatkan risiko kanker paru (Khasanah et al., 2019). Paparan jangka panjang terhadap polusi udara PM memiliki efek genotoksik dan mutagenik sehingga dapat menyebabkan peningkatan risiko kanker paru melalui cedera inflamasi, produksi spesies oksigen reaktif, dan kerusakan oksidatif pada DNA. Suatu evaluasi oleh Badan Internasional untuk penelitian Kanker menunjukkan peningkatan risiko kanker paru dengan meningkatnya tingkat paparan untuk PM dan polusi udara. Menurut seorang analisis oleh *European Study of Cohorts* untuk Efek Polusi Udara (ESCAPE) untuk setiap kenaikan 5mg/m³ di tingkat PM_{10/2.5} di lingkungan, risiko kanker paru meningkat sebesar 18% (Tseng et al., 2019).

C. Tinjauan umum tentang Karakteristik Individu Yang Mempengaruhi Gangguan Pernapasan

Gangguan pernapasan terjadi secara bertahap atas akumulasi paparan seperti PM₁₀ yang masuk ke dalam saluran pernapasan. Selain dari paparan lingkungan gangguan pada pernapasan juga dipengaruhi dari karakteristik individu itu sendiri. sebagai berikut:

1. Umur

Umur mempengaruhi daya tahan tubuh terhadap bahan kimia atau paparan toksik seperti PM₁₀. Bertambahnya umur atau penuaan berkaitan dengan akumulasi paparan berdasarkan usia seseorang sering menjadi faktor risiko gangguan kesehatan. Umur yang semakin bertambah memberikan tingkat risiko gangguan kesehatan yang lebih tinggi dengan munculnya penyakit yang dapat dipengaruhi oleh paparan sumber infeksi atau polutan yang dapat menurunkan tingkat imunitas dan aktivitas fisiologis (Pangestika & Wilti, 2021). Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa umur pekerja yang semakin bertambah maka akan semakin banyak alveoli yang rusak dan daya tahan tubuh ikut menurun ditambah dengan menurunnya sistem pernapasan pada saat usia diatas 30 tahun (Sri Fuqoha et al., 2017).

2. Berat badan

Seseorang yang memiliki nilai berat badan yang makin besar dapat memiliki risiko gangguan kesehatan yang lebih kecil, karena adanya jaringan lemak yang lebih banyak sehingga dapat melarutkan zat toksik. Sebaliknya, jika nilai berat badan semakin kecil dapat berisiko lebih besar

untuk menerima paparan polutan udara melalui inhalasi yang dapat langsung berinteraksi dengan sel tubuh sehingga dapat menimbulkan gangguan. Namun juga tidak direkomendasikan untuk memiliki berat badan yang mengarah ke risiko obesitas karena dapat memicu risiko gangguan kesehatan lainnya (Pangestika & Wilti, 2021).

3. Jenis kelamin

Jenis kelamin merupakan salah satu faktor risiko seseorang terkena gangguan pernapasan. Jenis kelamin laki-laki memiliki tingkat sensitivitas tinggi untuk terkena gangguan saluran pernapasan ataupun gangguan paru. Laki-laki membutuhkan energi lebih besar daripada perempuan untuk memecah zat nutrisi menjadi energi pada proses metabolisme. Hal ini membuat laki-laki memerlukan oksigen lebih banyak dibanding perempuan. Laki-laki juga cenderung memiliki laju respirasi yang lebih besar dibanding perempuan sehingga laki-laki lebih rentan menerima asupan partikel terhirup yang berbahaya (Saputra, 2017).

4. Lama dan masa kerja

Masa kerja adalah suatu kurun waktu atau lamanya tenaga kerja itu bekerja di suatu tempat. Semakin lama seseorang dalam bekerja maka semakin banyak dia telah terpapar bahaya yang ditimbulkan oleh lingkungan kerja tersebut. Hal ini menunjukkan bahwasanya paparan debu yang ada di lingkungan kerja dan terpapar oleh pekerja dan konsentrasi yang tinggi serta masa kerja yang semakin lama maka akan dapat berdampak pada gangguan fungsi paru seseorang. Sedangkan lamanya seseorang

bekerja umumnya berkisar 6 - 8 jam dalam sehari. Apabila waktu kerja diperpanjang maka akan menimbulkan ketidakefisienan yang tinggi bahkan menimbulkan penyakit diakibatkan lamanya terpajan polutan cukup lama di lingkungan kerja (Fuadi et al., 2021).

5. Riwayat penyakit

Faktor riwayat penyakit menunjukkan bahwa seseorang yang mempunyai riwayat penyakit pernapasan atau paru akan lebih mudah dan lebih sering mengalami keluhan pernapasan dibandingkan dengan seseorang yang sebelumnya tidak mempunyai riwayat penyakit paru. Karena anggota tubuh yang sebelumnya sudah terserang penyakit ketahanan terhadap penyakit pun akan menurun, berbeda dengan anggota tubuh yang belum pernah terserang penyakit (Dwicahyo, 2017).

6. Status merokok

Gangguan kesehatan yang dialami oleh individu dapat dipengaruhi oleh kebiasaan merokok. Dalam kondisi masyarakat saat ini, merokok merupakan sesuatu hal yang wajar. Rokok yang dikonsumsi setiap harinya mengandung beberapa senyawa yang dapat membahayakan kondisi paru individu. Senyawa tersebut dapat mengendap dalam paru dan dapat menimbulkan perubahan fisiologi paru. Senyawa tersebut diantaranya adalah nikotin, tar dan karbon monoksida. Semakin lama waktu kebiasaan merokok menjadikan semakin banyak endapan yang ada dalam paru, sehingga jalur udara untuk keluar dan masuk menjadi lebih sempit (M. Sholihah & Rohim Tualeka, 2015). Menurut *American Thoracic Society*

kebiasaan merokok dapat menyebabkan gangguan faal paru tipe obstruktif, khususnya pada PPOK oleh karena pajanan yang terus menerus dan berlangsung lama dengan asap rokok dapat menyebabkan gangguan dan perubahan mukosa jalan napas (Putri et al., 2018).

7. Alat Pelindung Diri (APD)

Alat pelindung diri merupakan seperangkat alat yang digunakan tenaga kerja untuk melindungi sebagian atau seluruh tubuhnya dari adanya potensi bahaya atau kecelakaan. Alat ini digunakan seseorang dalam melakukan pekerjaannya, yang dimaksud untuk melindungi dirinya dari sumber bahaya tertentu baik yang berasal dari pekerjaan maupun dari lingkungan kerja. APD yang tepat bagi tenaga kerja yang berada pada lingkungan kerja dengan paparan debu berkonsentrasi tinggi adalah (Budiono, 2005):

a. Masker

Masker berguna untuk melindungi debu atau partikel-partikel yang lebih besar yang masuk dalam pernapasan, dapat terbuat dari kain dengan ukuran pori-pori tertentu. Macam-macam masker dibedakan atas masker penyaring debu, masker berhidung, masker bertabung, masker kertas, masker plastik.

b. Respirator

Respirator memiliki kegunaan melindungi pernapasan dari debu, kabut, uap, logam, asap, dan gas. Alat ini dibedakan atas respirator pemurni udara yang berfungsi untuk membersihkan udara dengan cara

menyaring atau menyerap kontaminan dengan toksinitas rendah sebelum memasuki sistem pernapasan, kedua adalah respirator penyalur udara yang berfungsi membersihkan aliran udara yang tidak terkontaminasi secara terus menerus. Udara dapat dipompakan dari sumber yang jauh (dihubungkan dengan selang tahan tekanan) atau dari persediaan yang portabel (seperti tabung yang berisi udara bersih atau oksigen). Jenis ini biasa dikenal dengan *Self Contained Breathing Apparatus* (SCBA) atau alat pernapasan mandiri, digunakan di tempat kerja yang terdapat gas beracun atau kekurangan oksigen.

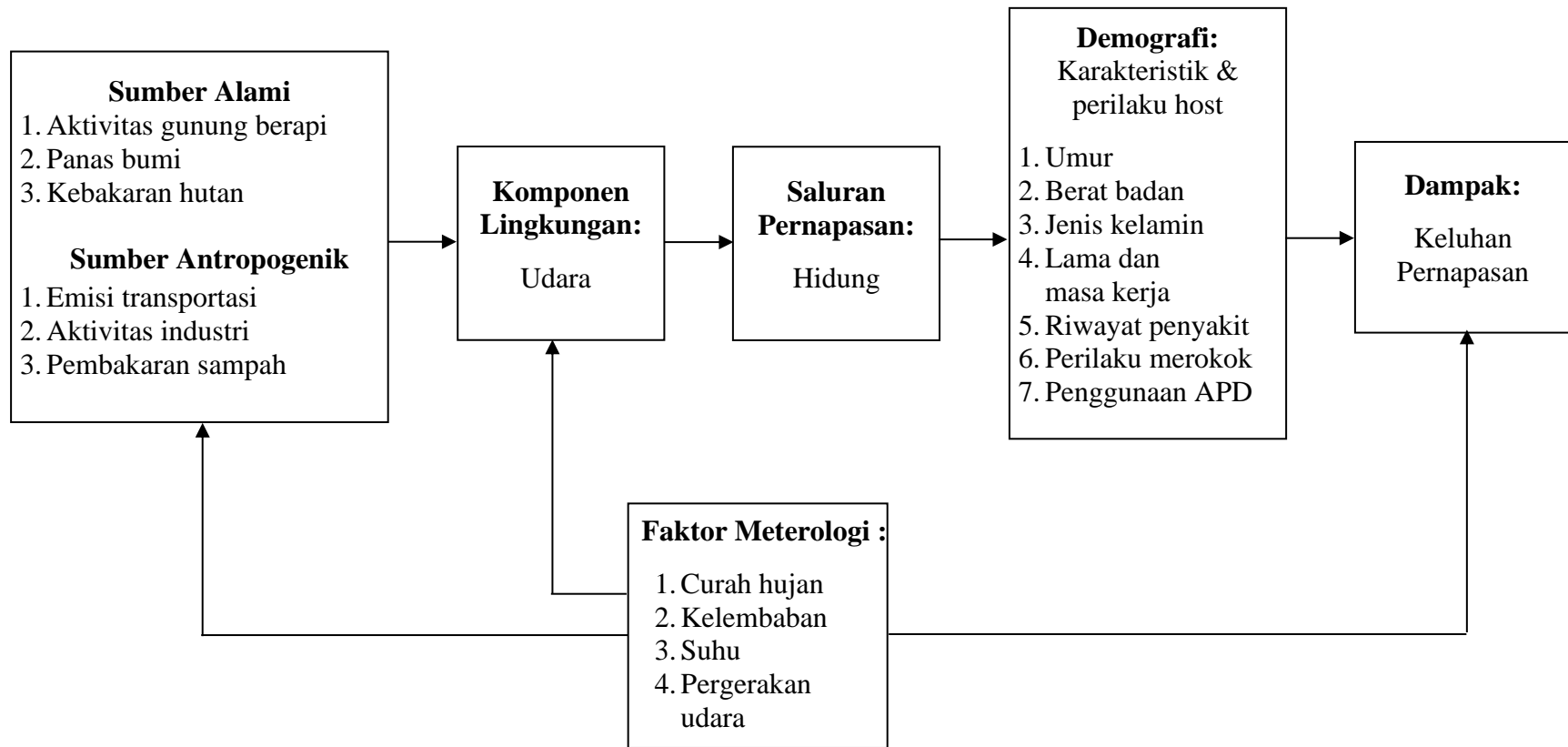
D. Kerangka Teori

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dipaparkan sebelumnya, maka peneliti membuat kerangka teori berdasarkan teori simpul dalam menggambarkan hubungan antara konsentrasi debu PM_{10} dengan keluhan pernapasan pada populasi pekerja di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) Kota Makassar. Teori simpul merupakan hubungan interaktif antara berbagai komponen lingkungan dengan dinamika perilaku penduduk, model hubungan berbagai variabel penduduk dengan *outcome* penyakit ini menjadi analisis terhadap kejadian sakit dalam suatu lingkungan (Mahawati et al., 2021). Hubungan antara variabel independen (konsentrasi PM_{10}) dengan variabel dependen (keluhan pernapasan) diuraikan ke dalam 4 simpul.

Simpul pertama menggambarkan sumber partikulat PM_{10} . PM_{10} di udara dihasilkan dari dua sumber yaitu berasal dari sumber partikulat alami dan sumber partikulat antropogenik. Simpul kedua menggambarkan komponen

lingkungan. Komponen lingkungan yang berperan media transmisi gangguan pernapasan adalah debu PM_{10} di udara.

Simpul ketiga menggambarkan variabel demografi. Variabel demografi yang berperan dalam penelitian ini adalah karakteristik dan perilaku host (umur jenis kelamin, masa kerja, lama kerja, riwayat penyakit, merokok dan penggunaan APD), sedangkan pada simpul keempat menggambarkan dampak kesehatan yang diterima. Dampak kesehatan pada penelitian ini adalah keluhan pernapasan. Variabel berpengaruh adalah variabel yang dapat mempengaruhi keempat simpul, dalam penelitian ini adalah faktor meteorologi. Secara lebih lengkap digambarkan pada kerangka teori berikut ini:



Gambar 2.1 Kerangka Teori Perjalanan PM₁₀

(Modifikasi (Achmadi, 2009), (Mukherjee & Agrawal, 2017),

(Saputra, 2017) dan (A. Amalia & Marshita, 2021))