

**HUBUNGAN ANTARA PAPARAN DEBU PM₁₀ DAN FAKTOR INDIVIDU
DENGAN GANGGUAN FUNGSI PERNAPASAN PADA PEKERJA AREA
PRODUKSI MINYAK KELAPA SAWIT DI CV. BUMI WARAS WAY
LUNIK BANDAR LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh

FITRI MAHARANI

2218011102



**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN DOKTER
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**HUBUNGAN ANTARA PAPARAN DEBU PM₁₀ DAN FAKTOR INDIVIDU
DENGAN GANGGUAN FUNGSI PERNAPASAN PADA PEKERJA AREA
PRODUKSI MINYAK KELAPA SAWIT DI CV. BUMI WARAS WAY
LUNIK BANDAR LAMPUNG**

Oleh
Fitri Maharani

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA KEDOKTERAN**

Pada
Jurusan Pendidikan Dokter
Fakultas Kedokteran Universitas Lampung



**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN DOKTER
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

: Hubungan antara Paparan Debu PM₁₀ dan Faktor Individu dengan Gangguan Fungsi Pernapasan pada Pekerja Area Produksi Minyak Kelapa Sawit di CV. Bumi Waras Way Lunik Bandar Lampung

Nama Mahasiswa

: Fitri Maharani

No. Pokok Mahasiswa

: 2218011102

Program Studi

: Pendidikan Dokter

Fakultas

: Kedokteran



dr. Winda Trijayanthy Utama, S.H., M.KK
NIP. 198701082014042002

dr. M. Yogie Fadli Sp.U FICS
NIP 231806930702101

2. Dekan Fakultas Kedokteran



Dr. dr. Evi Kurniawaty, S.Ked., M.Sc
NIP 19760120 200312 2 001



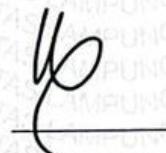
Dipindai dengan CamScanner

MENGESAHKAN

1. Tim Pengaji

Ketua

: dr. Winda Trijayanthy Utama, S.H., M.K.K



Sekretaris

: dr. M. Yogie Fadli Sp.U FICS



Pengaji

Bukan Pembimbing : Dr. Sutarto, SKM., M.Epid



2. Dekan Fakultas Kedokteran



Dr. dr. Evi Kurniawaty, S.Ked., M.Sc.

NIP-19760120-200312-2-001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 22 Desember 2025



Dipindai dengan CamScanner

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Fitri Maharani
NPM : 2218011102
Program Studi : Pendidikan Dokter
Judul Skripsi : Hubungan antara Paparan debu PM₁₀ dan Faktor Individu dengan Gangguan Fungsi Pernapasan pada Pekerja Area Produksi Minyak Kelapa Sawit di CV. Bumi Waras Way Lunik Bandar Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa karya ilmiah Skripsi ini merupakan **HASIL KARYA SAYA SENDIRI**. Apabila di kemudian hari terbukti adanya plagiarisme dan kecurangan dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia diberi sanksi.

Bandar Lampung, 22 Desember 2025

Mahasiswa,



Fitri Maharani



Dipindai dengan CamScanner

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Palembang pada tanggal 8 Agustus 2004 sebagai anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Abdul Rozak dan Yulnarita. Penulis menempuh pendidikan formal pertama di SD Negeri 87 Palembang pada tahun 2010 dan lulus pada tahun 2016. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMP Negeri 1 Palembang dan lulus pada tahun 2019. Kemudian penulis melanjutkan pendidikannya di SMA Negeri 17 Palembang dan lulus pada tahun 2022.

Pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi di Lunar Medical Research Community (Lunar-MRC) sebagai anggota divisi *Public Relation* tahun 2023-2024. Penulis juga aktif dalam kegiatan *Vice Regional Coordinator For Region 2 Center For Indonesian Medical Students Activity* pada tahun 2024-2025.

إذا الشيء من نصيبك، عمره ما يكون لغيرك

"If something is destined for you, never in a million years it will be
for someone else."

SANWACANA

Alhamdulillahirrabilalamin puji syukur senantiasa Penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi dengan judul “Hubungan antara Paparan Debu PM₁₀ dan Faktor Individu dengan Gangguan Fungsi Pernapasan pada Pekerja Area Produksi Minyak Kelapa Sawit di CV. Bumi Waras Way Lunik Bandar Lampung” disusun sebagai pemenuh syarat guna mencapai gelar sarjana di Fakultas Kedokteran di Universitas Lampung.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bimbingan, masukan, bantuan, kritik, dan saran dari berbagai pihak. Dengan ini penulis ingin menyampaikan ucapan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Dr. dr. Evi Kurniawaty, S.Ked., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Kedokteran Universitas Lampung;
3. Dr. dr. Indri Windarti, S.Ked., Sp.PA., selaku Ketua Jurusan Kedokteran Fakultas Kedokteran Universitas Lampung;
4. dr. Intanri Kurniati, S.Ked., Sp.PK., selaku Kepala Program Studi Fakultas Kedokteran Universitas Lampung;
5. dr. Winda Trijayanthi Utama, S.H., M.K.K selaku Pembimbing Pertama, sekaligus sosok orang tua kedua bagi penulis, yang telah meluangkan waktu, tenaga, serta pikiran dalam membimbing selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas segala kebaikan, bimbingan dan ilmu yang telah diberikan kepada penulis;
6. dr. M. Yogie Fadli, Sp.U FICS, selaku Pembimbing Kedua, yang bersedia meluangkan waktu dan tenaga, serta dengan sabar memberikan bimbingan,

- dukungan dan saran dalam penyelesaian skripsi ini. Terima kasih atas segala bimbingan dan ilmu yang telah diberikan kepada penulis;
7. Dr. Sutarto, SKM, M.Epid, selaku Pembahas, yang dengan penuh kesabaran, ketulusan, dan perhatian telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan masukan serta saran dalam proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas segala bimbingan dan ilmu yang telah diberikan kepada penulis;
 8. dr. Giska Tri Putri, M.Ling, selaku Pembimbing Akademik, yang dengan penuh perhatian dan ketulusan telah meluangkan waktu, pikiran, serta tenaga untuk membimbing dan memberikan arahan kepada penulis;
 9. Kepada Mami dan Ayah, Terima kasih atas kasih sayang, doa, dukungan, dan sumber dayanya yang tiada henti hingga penulis tidak pernah merasa kekurangan dalam materi maupun kasih sayang yang senantiasa mengiringi setiap langkah penulis hingga penulis mampu melalui seluruh proses penyusunan skripsi ini;
 10. Kepada Kakak, sosok yang penulis jadikan panutan dalam hidup, terima kasih selalu memberi semangat dan dukungan yang tulus;
 11. Terima kasih kepada Maharani, sahabat BW, yang dengan penuh ketulusan telah mengizinkan penulis melakukan penelitian di lokasi yang sama. Terima kasih atas kerja sama, serta dukungan dan bantuan yang diberikan selama proses penelitian;
 12. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Pak Darma selaku HRD CV. Bumi Waras Way Lunik, Pak Bambang, Pak Irfan serta seluruh responden, yang bersedia meluangkan waktunya untuk membantu penulis dalam proses penelitian skripsi ini;
 13. Kepada teman-teman Laut, Dinda, Qin, Acha, Pina, Karin, Fio, dan Faalih. Terima kasih atas sudah selalu ada dalam suka maupun suka, menjadikan suasana terasa lebih menyenangkan, banyak pengalaman berkesan dan tak terlupakan bersama kalian dalam perkuliahan;
 14. Kepada teman-teman kuliahku, Zayu, Ratu, Zei, Ocha, Alfy serta yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Terima kasih untuk kebersamaannya dalam setiap ujian. Terima kasih sudah menjadi bagian penting dalam cerita kuliah penulis;

15. Kepada Kartila9o dan 1munogen, Terima kasih untuk kebersamaan, keseruan dan pengalaman yang kita lewati selama masa awal perkuliahan;
16. Kepada Americans, Terima kasih sudah berbagi banyak pengalaman indah, canda tawa, kehangatan serta ilmu yang berguna bagi penulis kedepannya;
17. Kepada teman-teman OTW S.Ked, Dinda, Tne, dan Khansa, terima kasih atas kebersamaan dan dukungan sejak masa SMA, Inten, Koko hingga akhirnya kita mencapai tujuan kita impikan;
18. Kepada para *Dorothea*, Terimakasih sudah selalu ada menemani dan menyemangati dalam setiap langkah penulis menjalani hidup;
19. Kepada teman-teman seerbimbangan, Maharani, Dinda, Febi, Calista, Bulan, Bima, dan Rucphy terima kasih atas kebersamaan, dukungan, selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi;
20. Teman-teman sejawat angkatan 2022 (Troponin-Tropomiosin), terima kasih untuk segala memori indahnya selama 7 semester ini;
21. Terima kasih kepada segala pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah mendukung dan membantu dalam penyusunan skripsi ini. Terima kasih juga kepada diri saya sendiri tidak menyerah sesulit apapun proses penyusunan skripsi ini;

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak ketidaksempurnaan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberi kebermanfaatan bagi para pembacanya.

Bandar Lampung, 22 Desember 2025
Penulis,

Fitri Maharani

ABSTRACT

The Correlation Between PM₁₀ Dust Exposure and Individual Factors with Respiratory Function Disorders Among Palm Oil Production Workers at CV. Bumi Waras Way Lunik Bandar Lampung

By

Fitri Maharani

Background: The palm oil processing industry produces PM₁₀ dust that can exceed occupational air quality standards and trigger respiratory function disorders such as cough, shortness of breath, and excessive phlegm, with obstructive, restrictive, or mixed patterns. In addition to dust exposure, individual factors such as age, years of service, and smoking habits also influence workers' lung function.

Objective: To determine the relationship between PM₁₀ dust exposure and individual factors (age, years of service, smoking habits, lung capacity) and respiratory function disorder symptoms among production workers at CV. Bumi Waras Way Lunik, Bandar Lampung.

Methods: This analytic observational study used a cross-sectional design involving 66 production-area workers selected through total sampling. PM₁₀ concentrations were measured using an Air Quality Monitor (AQM), lung function was assessed using a spirometer (FEV₁, FVC, FEV₁/FVC), and individual factors were obtained through questionnaires. Data were analyzed using univariate and bivariate methods with the *Chi-Square* test.

Results: Most of the respondents experienced respiratory disorder symptoms (51.5%) and had abnormal lung capacity (68.2%). The results of the bivariate analysis showed a significant relationship between PM₁₀ dust exposure ($p = 0.021$), smoking habits ($p = 0.028$), and vital lung capacity ($p = 0.043$) with respiratory disorder symptoms among workers. Meanwhile, the variables of age ($p = 0.149$) and working period ($p = 0.271$) showed no statistically significant relationship with respiratory disorders.

Conclusions: PM₁₀ exposure, smoking habits, and vital lung capacity were significantly associated with respiratory symptoms among production workers. Efforts to reduce exposure, improve compliance with personal protective equipment (PPE) use, and conduct regular lung function examinations are recommended to prevent work-related respiratory disorders..

Keywords: PM₁₀, dust, individual factors, lung capacity, respiratory symptoms, palm oil wor

ABSTRAK

Hubungan antara Paparan Debu PM₁₀ dan Faktor Individu dengan Gangguan Fungsi Pernapasan pada Pekerja Area Produksi Minyak Kelapa Sawit di CV. Bumi Waras Way Lunik Bandar Lampung

Oleh

Fitri Maharani

Latar Belakang: Industri pengolahan kelapa sawit menghasilkan debu PM₁₀ yang dapat melebihi baku mutu udara kerja dan memicu gangguan fungsi pernapasan seperti batuk, sesak napas, dan dahak berlebih dengan pola obstruktif, restriktif, maupun campuran. Selain paparan debu, faktor individu seperti umur, masa kerja, dan kebiasaan merokok juga memengaruhi fungsi paru pekerja.

Tujuan: Mengetahui hubungan antara paparan debu PM₁₀ dan faktor individu (umur, masa kerja, kebiasaan merokok, kapasitas paru) dengan gejala gangguan fungsi pernapasan pada pekerja bagian produksi di CV. Bumi Waras Way Lunik Bandar Lampung.

Metode: Penelitian analitik observasional dengan desain *cross sectional* pada 66 pekerja area produksi yang dipilih secara total sampling. Kadar PM₁₀ diukur menggunakan *Air Quality Monitor* (AQM), fungsi paru diukur dengan spirometer (FEV₁, FVC, FEV₁/FVC), dan faktor individu diperoleh melalui kuesioner. Analisis dilakukan secara univariat dan bivariat dengan uji *Chi-Square*.

Hasil: sebagian besar responden mengalami gejala gangguan fungsi pernapasan (51,5%) dan memiliki kapasitas paru tidak normal (68,2%). Hasil analisis bivariat menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang bermakna antara paparan debu PM₁₀ ($p = 0,021$), kebiasaan merokok ($p = 0,028$), dan kapasitas vital paru ($p = 0,043$) dengan gejala gangguan fungsi pernapasan pada pekerja. Sementara itu, variabel umur ($p = 0,149$) dan masa kerja ($p = 0,271$) tidak menunjukkan hubungan yang signifikan secara statistik dengan gangguan fungsi pernapasan.

Kesimpulan: Paparan PM₁₀, kebiasaan merokok, dan kapasitas vital paru berhubungan dengan gejala gangguan pernapasan pada pekerja. Perlu pengendalian paparan debu, peningkatan penggunaan APD, dan pemeriksaan fungsi paru secara berkala.

Kata Kunci: PM₁₀, debu, faktor individu, kapasitas paru, gejala gangguan pernapasan, pekerja kelapa sawit

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.3.1 Tujuan Umum	5
1.3.2 Tujuan Khusus	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.4.1 Manfaat Bagi Peneliti	6
1.4.2 Manfaat Bagi Masyarakat	6
1.4.3 Manfaat Bagi Institusi.....	6
1.4.4 Manfaat Bagi Penelitian Selanjutnya.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pengolahan Kelapa Sawit	7
2.1.1 Stasiun Penerimaan Tandan Buah Segar (TBS)	7
2.1.2 Stasiun Perebusan (<i>Sterilizer</i>)	7
2.1.3 Stasiun Perontokan (<i>Thresher</i>)	7
2.1.4 Stasiun Pengadukan dan Pengepresan (<i>Digester</i> dan <i>Press</i>)	7
2.1.5 Stasiun Klarifikasi.....	8
2.1.6 Stasiun Pengolahan Kernel dan Bungkil	8
2.1.7 Stasiun Boiler dan Pengolahan Limbah.....	8
2.2 Bahaya.....	8
2.2.1 Pengertian	8
2.2.2 Jenis-Jenis Bahaya	8
2.3 <i>Particulate Matter</i> (PM)	10
2.4 Debu.....	12
2.4.1 Pengertian Debu.....	12
2.4.2 Klasifikasi Debu	12
2.5 Pengukuran Debu.....	14
2.5.1 <i>High Volume Air Sampler</i>	14
2.5.2 <i>Low Volume Air Sampler</i>	15
2.5.3 <i>Personal Dust Sampler</i>	16
2.5.4 <i>Nephelometer</i>	16

2.5.5 <i>Air Quality Monitor</i> (AQM)	17
2.5.6 <i>Particle Counter</i>	18
2.6 Nilai Ambang Batas Debu di Lingkungan.....	19
2.7 Sistem Pernapasan Manusia.....	19
2.7.1 Pengertian	19
2.7.2 Anatomi	20
2.7.3 Fisiologi	23
2.7.4 Mekanisme Pernapasan.....	24
2.7.5 Volume dan Kapasitas.....	24
2.8 Mekanisme Pajanan Debu ke Dalam Sistem Pernapasan	26
2.9 Pengaruh Debu terhadap Pernapasan.....	27
2.10 Gangguan Fungsi Pernapasan	27
2.10.1 Pengertian	27
2.10.2 Gejala	27
2.10.3 Jenis-Jenis	28
2.10.4 Parameter	30
2.11 Spirometri	31
2.11.1 Interpretasi Hasil.....	32
2.12 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Gangguan Pernapasan	32
2.12.1 Umur	33
2.12.2 Masa Kerja	33
2.12.3 Kebiasaan Merokok	33
2.12.4 Alat Pelindung Diri	34
2.12.5 Jenis kelamin.....	34
2.12.6 Riwayat Penyakit Pernapasan	34
2.12.7 Aktivitas Fisik.....	34
2.12.8 Status Gizi.....	35
2.13 Profil Perusahaan	35
2.14 Kerangka Teori	36
2.15 Kerangka Konsep.....	37
2.16 Hipotesis Penelitian	37
2.16.1 Debu.....	37
2.16.2 Umur	37
2.16.3 Masa Kerja	37
2.16.4 Merokok	37
2.16.5 Kapasitas Paru.....	38
BAB III METODE PENELITIAN	39
3.1 Metode Penelitian	39
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	39
3.3 Populasi dan Sampel Penelitian	39
3.3.1 Populasi Penelitian.....	39
3.3.2 Sampel Penelitian	40
3.3.3 Teknik Pengambilan Sampel	41
3.4 Identifikasi Variabel Penelitian.....	41
3.4.1 Variabel Bebas	41
3.4.2 Variabel Terikat	42
3.5 Kriteria Sampel	42
3.5.1 Kriteria Inklusi.....	42

3.5.2 Kriteria Ekslusii	42
3.6 Definisi Operasional	43
3.7 Instrumen, Bahan Penelitian	44
3.7.1 Instrumen Penelitian	44
3.8 Prosedur dan Alur Penelitian	46
3.8.1 Prosedur Penelitian	46
3.8.2 Alur Penelitian	47
3.9 Manajemen data	47
3.9.1 Sumber data	47
3.9.2 Analisis Data.....	47
3.10 Etika Penelitian	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	50
4.1 Gambaran Lokasi Penelitian	50
4.2 Hasil Penelitian	51
4.2.1 Analisis Univariat	51
4.2.2 Analisis Bivariat	53
4.3 Pembahasan.....	56
4.3.1 Analisis Univariat	56
4.3.2 Analisis Bivariat	61
4.4 Keterbatasan Penelitian.....	68
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1 Simpulan	69
5.2 Saran	69
5.2.1 Bagi Perusahaan.....	70
5.2.2 Bagi Pekerja	70
5.2.3 Bagi Peneliti Selanjutnya.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	78

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 3.1 Definisi Operasional.....	43
Tabel 4.1 Distribusi Frekuensi Gangguan Fungsi Pernapasan.....	51
Tabel 4.2 Distribusi Frekuensi Paparan Debu PM ₁₀	51
Tabel 4.3 Distribusi Frekuensi Umur	52
Tabel 4.4 Distribusi Frekuensi Masa Kerja.....	52
Tabel 4.5 Distribusi Frekuensi Kapasitas Paru.....	52
Tabel 4.6 Distribusi Frekuensi Kebiasaan Merokok	53
Tabel 4.7 Hubungan Debu PM ₁₀ dengan Gangguan Fungsi Pernapasan	54
Tabel 4.8 Hubungan Usia dengan Gangguan Fungsi Pernapasan.....	54
Tabel 4.9 Hubungan Masa Kerja dengan Gangguan Fungsi Pernapasan.....	55
Tabel 4.10 Hubungan Kapasitas Paru dengan Gangguan Fungsi Pernapasan	55
Tabel 4.11 Hubungan Kebiasaan Merokok dengan Gangguan Fungsi Pernapasan	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1. <i>High Volume Air Sampler</i>	14
Gambar 2.2. <i>Low Volume Air Sampler</i>	15
Gambar 2.3. <i>Personal Dust Sampler</i>	16
Gambar 2.4. Nephelometer.....	16
Gambar 2.5. <i>Air Quality Monitor (AQM)</i>	17
Gambar 2.6. <i>Particle Counter</i>	18
Gambar 2.7. Sistem Pernapasan Manusia	19
Gambar 2.8. Kapasitas Vital.....	26
Gambar 2.9. Spirometri	31
Gambar 2.10. Kerangka Teori	36
Gambar 2.11. Kerangka Konsep.....	37
Gambar 3.1. Alur Penelitian	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1. Lembar Penjelasan Penelitian.....	79
Lampiran 2. Lembar <i>Informed Consent</i>	80
Lampiran 3. Kuisioner Penelitian.....	81
Lampiran 4. Lembar Pemeriksaan Kondisi Paru.....	85
Lampiran 5. Surat Izin Penelitian Fakultas Kedokteran Universitas Lampung..	86
Lampiran 6. Surat Izin Penelitian CV. Bumi Waras Way Lunik	87
Lampiran 7. <i>Ethical Clearence</i> Fakultas Kedokteran	88
Lampiran 8. Hasil Pengukuran Debu	89
Lampiran 9. Hasil Pengukuran Fungsi Paru Pekerja.....	91
Lampiran 10. Output Univariat	93
Lampiran 11. Output Bivariat	94
Lampiran 12. Dokumentasi	97

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kelapa sawit merupakan komoditas pertanian unggulan sekaligus penyumbang devisa terbesar bagi Indonesia. Negara ini memiliki jutaan hektar perkebunan sawit yang tersebar di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua, menjadikannya produsen utama minyak sawit dunia (Rodolfo, *et al.*, 2025). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, pada tahun 2024, sentra utama perkebunan sawit berada di Pulau Sumatera dan Kalimantan. Provinsi Lampung sendiri memiliki luas perkebunan kelapa sawit sekitar 256.437 hektar pada tahun 2023 dan terus mengembangkan sektor ini sebagai komoditas unggulan daerah untuk mendukung perekonomian regional.

Selain menghasilkan minyak sawit, kelapa sawit juga dapat diolah menjadi minyak inti sawit atau minyak kernel (Ekawati *et al.*, 2022). Proses ini melibatkan pengepresan buah sawit untuk memperoleh kernel yang kemudian diolah lebih lanjut menjadi minyak. Tahapan pengolahannya mencakup pemisahan serat, pemecahan dan pemisahan cangkang, pengeringan, serta penyimpanan kernel (Nugroho, 2019). Produk samping dari proses ini berupa bungkil yang menjadi residu dari ekstraksi minyak kernel (Ihsan *et al.*, 2024).

Debu merupakan suatu bahan atau partikel yang melayang di udara *Suspended Particulate Matter* (SPM) sehingga penyebarannya dipengaruhi oleh udara, berukuran 1 mikron hingga 500 mikron (Primasanti dan Herawati, 2022). Debu merupakan partikel udara yang dapat memengaruhi kesehatan pekerja, terutama pada sistem pernapasan

karena partikel tersebut dapat masuk ke dalam saluran napas dan menimbulkan gangguan fungsi paru (Anselma *et al.*, 2019). Umumnya, pada beberapa area kerja pabrik kelapa sawit memiliki kondisi lingkungan yang berdebu akibat dari tahapan awal pengumpulan kernel, ampas sisa pemecahan dan pemisahan cangkang buah kelapa sawit, pengeringan serta penyimpanan. Apabila hasil produk sampingan sawit tidak dikelola dengan baik, dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan, serta memicu adanya faktor risiko gangguan kesehatan terhadap pekerja, maupun kesehatan masyarakat yang menetap di sekitar wilayah industri kelapa sawit (Rodolfo *et al.*, 2025).

Debu yang dihasilkan dari aktivitas industri, menjadi salah satu faktor risiko Penyakit Akibat Kerja (PAK), berdasarkan data *Internasional Labour Organization* (ILO) penyakit pernapasan menempati peringkat keempat kematian akibat kerja dengan prevalensi penyakit pernapasan sebesar 21% dari jumlah total kematian (Damayanti *et al.*, 2023). Data lain berdasarkan WHO menunjukkan bahwa dari 1,1 juta kematian oleh penyakit akibat kerja, 5% nya disebabkan karena pneumokoniosis yaitu penyakit paru yang disebabkan oleh paparan partikel debu (Wicaksono, *et al*, 2021).

Gangguan terhadap kapasitas paru dapat terjadi karena faktor eksternal dan internal. Faktor eksternal mencakup bahan yang terhirup seperti gas, uap, dan debu, durasi paparan, gaya hidup merokok, pemakaian alat pelindung diri, serta kelelahan akibat durasi kerja yang panjang, yang semuanya dapat memengaruhi fungsi paru secara keseluruhan. Di sisi lain, faktor internal yang perlu diperhatikan meliputi aspek-aspek terkait sistem pertahanan paru, baik dari segi anatomi ataupun fisiologi, jenis kelamin, riwayat kesehatan, indeks massa tubuh, dan kerentanannya. Paparan eksternal seperti debu, gas, atau uap yang terhirup oleh pekerja dapat menyebabkan perubahan pada kapasitas paru, yang terjadi akibat kerusakan jaringan paru-paru, yang pada akhirnya dapat memengaruhi kualitas kerja (Hambali *et al.*, 2024).

Risiko bahaya residu pengolahan kelapa sawit muncul ketika debu dari ampas kernel yang benterbangun terhirup dan memasuki sistem pernapasan. Hal ini dapat menyebabkan penyakit pada pekerja, seperti gangguan pernapasan, di mana gejala akibat disfungsi paru dapat bersifat kronis dan progresif, yaitu sesak napas. Gangguan obstruktif mengurangi kemampuan untuk mengeluarkan napas, sedangkan gangguan restriktif meminimalisir kemampuan untuk menghirup udara, yang mampu menghambat kegiatan sehari-hari (Maradjabessy *et al.*, 2021).

Partikel yang dihirup disaring oleh silia pada nasal dan concha. Reaksi awal mukosa nasal meliputi vasodilasi, peningkatan permeabilitas, rinorea, dan obstruksi nasal. Alergen mengakibatkan sternutasi, pruritus, rinore, dan obstruksi nasal. Laring yang memiliki luas penampang terkecil dalam saluran udara menciptakan penyempitan aliran udara yang menyebabkan peningkatan kecepatan udara, sehingga partikel-partikel mengendap. Konsentrasi dan ukuran partikel menentukan lokasi pengendapan partikel dalam saluran pernapasan (Gita *et al.*, 2024).

Ukuran partikel di udara bervariasi dari kurang dari 1 μm hingga lebih dari 30 μm . Partikel berdiameter 5–30 μm umumnya tertahan di saluran napas bagian atas seperti rongga hidung, faring, dan laring. Partikel berukuran 3–5 μm cenderung mengendap di trachea, bronkus, dan bronkiolus. Sementara itu, partikel berukuran 1–3 μm dapat mencapai daerah alveolar. Partikel yang lebih halus seperti PM_{2,5} (<2,5 μm) bahkan dapat menembus hingga alveolus dan mengendap di permukaannya, sehingga meningkatkan risiko iritasi, inflamasi, dan gangguan fungsi paru. Partikel dengan ukuran <1 μm memiliki kemampuan deposisi lebih dalam dan dapat menimbulkan dampak kesehatan yang lebih berat karena dapat masuk hingga ke sirkulasi saluran (Wahab, 2024).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Wicaksono *et al* (2021) di PT. Perkebunan Nusantara V Sei Galuh, diperoleh hasil bahwa 66,7% pekerja mengalami gangguan saluran pernapasan. Terdapat hubungan yang

bermakna antara paparan debu, masa kerja, lama paparan, dan penggunaan APD dengan kejadian penyakit saluran pernapasan pada pekerja.

CV. Bumi Waras Way Lunik merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pertanian, industri, perdagangan, dan jasa dengan fokus pada produksi minyak kelapa, minyak sawit, serta turunannya. Aktivitas pengolahan, khususnya pada proses minyak kernel, berpotensi menghasilkan debu tinggi yang dapat memengaruhi kesehatan pernapasan pekerja (Data Primer, 2025).

Berdasarkan survei awal yang dilakukan pada tanggal 21 Maret 2025 di area pengolahan minyak kernel sawit CV. Bumi Waras Way Lunik, diketahui bahwa proses produksi melibatkan pemisahan antara cangkang dan kernel sawit, di mana kernel yang telah dipisahkan diolah lebih lanjut untuk menghasilkan minyak, sedangkan cangkang dimanfaatkan sebagai bahan bakar, dengan produk sampingan berupa bungkil yang digunakan sebagai bahan baku pakan ternak. Selama proses pengolahan minyak kernel menjadi bungkil, terutama pada tahap pemecahan dan pengolahan kernel serta cangkang, dihasilkan debu dalam jumlah cukup banyak yang menyebabkan partikel debu bertebaran di area produksi, dan berdasarkan informasi awal dari data perusahaan serta wawancara pendahuluan dengan pihak *Human Resources Development* (HRD), keluhan pernapasan merupakan keluhan kesehatan yang paling sering disampaikan oleh pekerja di area pengolahan tersebut.

Banyaknya paparan debu di lingkungan kerja serta adanya faktor individu pekerja dapat memengaruhi fungsi pernapasan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara paparan debu dan faktor individu dengan gangguan fungsi pernapasan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran ilmiah mengenai pengaruh paparan debu PM₁₀ dan faktor individu dengan gangguan fungsi paru pada pekerja bagian produksi yaitu gudang kernel, stasiun *palm kernel oil*, dan gudang *palm kernel expeller* di CV. Bumi Waras Way Lunik Bandar Lampung.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang masalah, terdapat kekhawatiran mengenai potensi dampak kesehatan yang ditimbulkan oleh paparan debu sawit terhadap pekerja. Dengan demikian, rumusan masalah pada studi ini yaitu apakah terdapat hubungan antara paparan debu PM₁₀ serta faktor individu pekerja dengan gangguan fungsi pernapasan pekerja bagian produksi yaitu gudang kernel, stasiun *palm kernel oil*, dan gudang *palm kernel expeller* CV. Bumi Waras Way Lunik Bandar Lampung.

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Mengetahui hubungan antara paparan debu PM₁₀ dan faktor individu (umur, masa kerja, kebiasaan merokok, serta kapasitas paru) dengan kejadian gangguan fungsi pernapasan pada pekerja bagian produksi yaitu gudang kernel, stasiun *palm kernel oil*, dan gudang *palm kernel expeller* di CV. Bumi Waras Way Lunik Bandar Lampung.

1.3.2 Tujuan Khusus

- a. Mengukur kadar debu PM₁₀ di lingkungan kerja area produksi minyak kelapa sawit.
- b. Menilai kapasitas paru pekerja dengan menggunakan spirometri.
- c. Mengetahui hubungan antara paparan debu PM₁₀ dengan gangguan fungsi paru pada pekerja.
- d. Mengetahui hubungan antara umur dengan gangguan fungsi paru pada pekerja.
- e. Mengetahui hubungan antara masa kerja dengan gangguan fungsi paru pada pekerja.
- f. Mengetahui hubungan antara kebiasaan merokok dengan gangguan fungsi paru pada pekerja.

- g. Menganalisis hubungan kapasitas vital paru dengan gangguan fungsi pernapasan pada pekerja.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Bagi Peneliti

Hasil penelitian ini menambah wawasan dan pengalaman ilmiah mengenai hubungan antara paparan debu PM₁₀ serta faktor individu (umur, masa kerja, kebiasaan merokok, dan kapasitas paru) dengan gangguan fungsi pernapasan.

1.4.2 Manfaat Bagi Masyarakat

Penelitian ini memberikan edukasi tentang pentingnya penggunaan alat pelindung diri, berhenti merokok, serta melakukan pemeriksaan fungsi paru secara rutin untuk mencegah gangguan pernapasan akibat paparan debu.

1.4.3 Manfaat Bagi Institusi

Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar dalam peningkatan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), terutama melalui pengendalian kadar debu, pemeriksaan fungsi paru berkala, dan edukasi bahaya paparan debu bagi pekerja

1.4.4 Manfaat Bagi Penelitian Selanjutnya

Penelitian ini dapat menjadi acuan untuk melakukan studi lanjutan dengan alat ukur yang lebih akurat, menambahkan faktor lingkungan dan individu lain, serta menggunakan analisis multivariat untuk melihat pengaruh berbagai faktor secara bersamaan terhadap gangguan fungsi pernapasan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengolahan Kelapa Sawit

Proses pengolahan kelapa sawit bertujuan untuk menghasilkan minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil/CPO*) dan minyak inti sawit (*Palm Kernel Oil/PKO*) dari tandan buah segar. Tahapan utama pengolahannya meliputi beberapa stasiun berikut (Nugroho, 2019):

2.1.1 Stasiun Penerimaan Tandan Buah Segar (TBS)

TBS dari kebun ditimbang dan disortir untuk memastikan mutu sesuai standar.

2.1.2 Stasiun Perebusan (*Sterilizer*)

Tandan buah direbus dengan uap panas bersuhu 130-140°C selama ±90-120 menit untuk melunakkan buah, serta memudahkan pelepasan brondolan dari tandan.

2.1.3 Stasiun Perontokan (*Thresher*)

Memisahkan brondolan dari tandan kosong. Brondolan digunakan untuk proses selanjutnya, sedangkan tandan kosong dimanfaatkan sebagai pupuk organik.

2.1.4 Stasiun Pengadukan dan Pengepresan (*Digester dan Press*)

Brondolan sawit dihancurkan dalam *digester* untuk memecah dinding sel mesokarp, lalu diperas dengan *screw press* guna memisahkan minyak kasar, serat, dan biji kernel.

2.1.5 Stasiun Klarifikasi

Minyak kemudian disaring dengan *vibrating screen* dan dimurnikan menggunakan *oil purifier* hingga diperoleh CPO dengan kadar air dan kotoran rendah.

2.1.6 Stasiun Pengolahan Kernel dan Bungkil

Biji kernel yang terpisah dari serat dikeringkan lalu dipecah untuk memisahkan cangkang dan inti. Inti kernel diolah menjadi minyak inti sawit (PKO), sedangkan ampas padatnya menghasilkan bungkil sawit (*palm kernel cake*) untuk pakan ternak.

2.1.7 Stasiun Boiler dan Pengolahan Limbah

Serat dan cangkang hasil olahan dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan uap panas proses produksi. Limbah cair (*Palm Oil Mill Effluent/POME*) diolah melalui kolam anaerob-aerob agar ramah lingkungan.

2.2 Bahaya

2.2.1 Pengertian

Potensi risiko di area kerja merupakan situasi atau elemen lingkungan kerja yang dapat menyebabkan masalah kesehatan, penyakit akibat kerja, atau kecelakaan kerja. Risiko ini muncul dari interaksi antara berbagai komponen produksi termasuk pekerja, alat-alat, bahan baku, proses, dan metode kerja yang digunakan. Sumber-sumber bahaya dapat berasal dari faktor manusia, peralatan yang digunakan, material, proses produksi, maupun dari prosedur atau sistem kerja yang diterapkan (Mahawati *et al.*, 2021).

2.2.2 Jenis-Jenis Bahaya

Bahaya di kategorikan menjadi beberapa bagian yaitu bahaya biologi, kimia, fisik, psikososial dan ergonomi. Diantaranya sebagai berikut;

2.2.2.1 Bahaya Biologi

Bahaya biologis mencakup berbagai ancaman yang berasal dari material organik yang dapat menyebabkan kematian massal, termasuk mikroorganisme yang berpotensi memicu wabah penyakit atau bahkan pandemi. Dalam konteks pekerjaan, berbagai agen biologis seperti virus, bakteri, jamur, dan parasit dapat hadir di lingkungan kerja dan berisiko menimbulkan penyakit akibat kerja (Doda, 2022).

2.2.2.2 Bahaya Kimia

Bahan zat kimia dapat menimbulkan efek berbahaya bagi tubuh. Pengaruh negatif dari bahan kimia pada kesehatan terjadi akibat kontak dan masuknya substansi tersebut ke dalam tubuh melalui beberapa jalur seperti pernapasan, pencernaan dan penyerapan. Penanganan, penyimpanan, dan penggunaan bahan kimia harus dilakukan secara tepat. Jika tidak dikelola dengan baik, zat-zat ini dapat mengakibatkan luka, gangguan kesehatan, penyakit, kebakaran, ledakan, atau kerusakan pada properti (Doda, 2022).

2.2.2.3 Bahaya Fisik

Bahaya fisik merupakan bahaya faktor lingkungan yang meliputi kebisingan, temperatur ekstrim, getaran, radiasi dan tekanan (Kementerian Kesehatan, 2016).

2.2.2.4 Bahaya Psikososial

Berupa stres, kekerasan di tempat kerja, jam kerja yang panjang, transparansi, akuntabilitas manajemen, promosi, remunerasi, kurangnya kontrol dalam mengambil keputusan tentang pekerjaan semuanya dapat berkontribusi terhadap performa kerja yang buruk (Kementerian Kesehatan, 2016).

2.2.2.5 Bahaya Ergonomi

Risiko faktor ergonomis adalah bahaya yang timbul akibat ketidakselarasan antara peralatan atau proses kerja dengan kemampuan fisiologis dan anatomic tubuh manusia. Terdapat tiga kategori risiko faktor ergonomis yaitu ergonomi fisik, kognitif dan organisasi (Doda, 2022).

- a. Ergonomi fisik meliputi cara kerja, posisi kerja, dan postur tubuh yang tidak sesuai atau yang salah saat melakukan pekerjaan. Selain yang sudah disebutkan bahaya ergonomi juga termasuk *material handling* seperti mengangkat, membawa, mendorong, menarik beban, gerakan berulang, posisi yang statis dan beban kerja fisik yang berlebihan;
- b. Ergonomi kognitif berkaitan dengan penggunaan peralatan yang sesuai dengan kapasitas kognitif penggunanya, termasuk aspek persepsi, mental dan memori manusia. Contoh ergonomi kognitif meliputi interaksi antara manusia dan komputer, beban kerja mental, proses pengambilan keputusan, keterampilan, tekanan kerja dan pelatihan mengenai penggunaan desain alat tertentu;
- c. Ergonomi organisasi adalah mengoptimalkan suatu sistem, termasuk merancang struktur organisasi, proses kerja dan peraturan-peraturan di tempat kerja. Ergonomi organisasi termasuk juga komunikasi, manajemen sumberdaya manusia, sistem kerja, mengatur waktu kerja, waktu istirahat, cuti, *teamwork* dan kerjasama.

2.3 Particulate Matter (PM)

Particulate Matter (PM) adalah partikel debu tersuspensi di udara untuk waktu yang lama atau partikel debu yang ditemukan di udara, termasuk debu, kotoran, jelaga, dan asap. *Particulate Matter* merupakan sumber emisi terbesar dan di udara ambient. Komponen-komponen terbesar PM terdiri

dari sulfat, nitrat, ammonia, sodium klorida, karbon, debu mineral dan air (Ridayanti *et al.*, 2022).

Menurut Nurhidayat (2020) partikel udara secara umum dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu:

- A. Partikel halus (*fine particle*) adalah partikel yang lebih kecil dari 2,5 μm ;
- B. Partikel kasar (*coarse particle*) adalah partikel yang berukuran lebih besar dari 2,5 μm .

2.3.1 *Particulate Matter 2,5*

PM_{2,5} adalah partikel yang lebih kecil, dengan diameter 2,5 mikrometer atau kurang, yang berasal dari emisi bahan bakar, minyak, dan kayu. Karena ukurannya yang sangat kecil, PM_{2,5} dapat masuk lebih dalam ke paru-paru, bahkan mencapai alveoli, tempat terjadinya pertukaran oksigen dan karbon dioksida, serta dapat masuk ke dalam aliran darah dan menyebar ke organ tubuh lainnya. Oleh karena itu, PM_{2,5} dikaitkan dengan berbagai masalah kesehatan yang lebih serius, seperti penyakit jantung, gangguan pernapasan, penurunan fungsi paru-paru, dan peningkatan risiko kanker paru-paru (De Oliveira dan Khatimi, 2022).

2.3.2 *Particulate Matter 10*

PM₁₀ adalah partikel udara yang terdiri dari debu, serbuk sari, dan asap dengan diameter 10 mikrometer atau lebih kecil dan berasal dari pembakaran, pertanian, konstruksi, dan kebakaran hutan. PM₁₀ dapat merusak saluran pernapasan dan memperburuk kondisi asma serta Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK). Paparan jangka panjang terhadap PM₁₀ juga dapat meningkatkan risiko kematian akibat masalah pernapasan (De Oliveira dan Khatimi, 2022).

2.4 Debu

2.4.1 Pengertian Debu

Kegiatan produksi yang menghasilkan debu dapat menurunkan kenyamanan, produktivitas, dan kualitas kerja. Partikel debu yang terhirup dapat masuk ke dalam tubuh melalui saluran pernapasan, kemudian menumpuk dan terakumulasi di paru-paru, sehingga berpotensi menimbulkan gangguan fungsi atau penurunan kapasitas paru (Nurmayanti *et al.*, 2022). Partikel debu merupakan substansi berdimensi sangat minimal yang umumnya dirujuk sebagai materi partikulat yang melayang di atmosfer dengan ukuran diameter berkisar dari 1 sampai dengan 500 μm (Sunuh dan Subagyo, 2022).

2.4.2 Klasifikasi Debu

2.4.2.1 Berdasarkan sifat fisiknya

Berdasarkan sifat fisiknya, debu memiliki beberapa karakteristik utama yang menentukan perilakunya di udara dan lingkungan kerja. Sifat-sifat sebagai berikut (Natali *et al.*, 2021).

a. Sifat Pengendapan

Debu memiliki kecenderungan untuk mengendap karena dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi.

b. Sifat Permukaan Basah

Permukaan debu umumnya bersifat lembap karena dilapisi oleh lapisan air yang sangat tipis.

c. Sifat Penggumpalan

Kelembapan pada permukaan debu menyebabkan partikel debu saling menempel dan membentuk gumpalan. Proses ini semakin mudah terjadi apabila kelembapan udara melebihi tingkat kejenuhan.

d. Sifat Listrik Statis

Debu memiliki muatan listrik statis yang mampu menarik partikel bermuatan berlawanan, sehingga mempercepat proses penggumpalan partikel di udara.

2.4.2.2 Berdasarkan komposisi kimia

Berdasarkan komposisi kimianya, debu dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama yaitu debu organik dan anorganik (*Ashuro et al., 2024*).

A. Debu Organik

Debu organik berasal dari bahan hidup, seperti serat tekstil, kayu, kulit, hasil pertanian, serta spora jamur dan bakteri yang dihasilkan dari proses industri;

B. Debu Anorganik

Debu anorganik berasal dari partikel tak hidup seperti batu, bahan kimia, dan logam yang terbentuk selama proses manufaktur dan produksi industri.

2.4.2.3 Berdasarkan Ukuran

Berdasarkan ukurannya, debu dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama yaitu debu respirabel dan inhalabel (*Nurmayanti et al., 2022*).

a. Debu Respirabel

Merupakan debu yang berukuran kurang dari 10 μm , yang mampu terinhalasi dan berpenetrasi hingga ke dalam paru-paru.

b. Debu Inhalabel

Partikel dengan ukuran lebih dari 10 μm yang cenderung terperangkap di jalur pernapasan awal seperti rongga hidung, area tenggorokan, dan bagian atas saluran respirasi.

2.4.2.4 Berdasarkan Lokasi Penyerapannya

Ukuran debu sangat berpengaruh terhadap terjadinya penyakit pada saluran pernapasan. Dari hasil penelitian ukuran tersebut dapat mencapai target organ sebagai berikut (Yanti, 2023).

- a. Ukuran 5–10 μm akan tertahan oleh mukosa di nasofaring atau saluran pernapasan bagian atas;
- b. Ukuran 3-5 μm tertahan oleh mukosa di trakeobronkial atau saluran pernapasan bagian bawah;
- c. Ukuran 1-3 μm terdeposisi pada terminal bronkiolus dan permukaan alveoli bagian dalam;
- d. Ukuran 0,1–1 μm karena sangat kecil dan ringan, tidak mudah menempel di alveoli;
- e. Ukuran $\leq 0,1 \mu\text{m}$ merupakan partikel ultra halus yang tetap melayang di udara paru-paru.

2.5 Pengukuran Debu

Alat-alat yang biasanya digunakan untuk pengukuran sampel debu antara lain sebagai berikut

2.5.1 *High Volume Air Sampler*



Gambar 2.1. *High Volume Air Sampler*
Sumber: (Palureng, Yulinawati dan Wijayanti, 2023).

Alat ini berfungsi memantau kualitas udara dengan mengukur konsentrasi *Suspended Particulate Matter* (SPM) seperti debu, aerosol, dan partikel polutan lainnya. Cara kerjanya didasarkan pada

prinsip penghisapan udara dalam volume besar melalui media filter. Partikel berukuran lebih besar dari pori filter akan tertahan di permukaan, sementara udara bersih dilepaskan melalui saluran pembuangan. Konsentrasi partikel dihitung dengan metode gravimetri, yaitu berdasarkan selisih berat filter sebelum dan sesudah pengambilan sampel dibandingkan dengan volume udara yang melewati alat, kemudian dinyatakan dalam satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$ atau mg/m^3 (Palureng, Yulinawati dan Wijayanti, 2023).

2.5.2 Low Volume Air Sampler



Gambar 2.2. Low Volume Air Sampler
Sumber: (Rohmah *et al.*, 2018).

Instrumen untuk mengambil sampel udara ambien dengan volume pengambilan udara yang lebih kecil dibandingkan HVAS. Alat ini bekerja dengan menghisap udara melalui filter menggunakan pompa berkecepatan alir rendah. Partikel debu yang tertangkap pada filter kemudian dianalisis secara gravimetri untuk menentukan konsentrasi partikulat di udara. Metode ini sering digunakan untuk pemantauan kualitas udara karena bentuk alatnya relatif kecil, mudah dibawa, dan dapat digunakan di dalam maupun di luar ruangan (Rohmah *et al.*, 2018).

2.5.3 Personal Dust Sampler



Gambar 2.3. Personal Dust Sampler

Sumber: (Susihono dan Adiatmika, 2020).

Alat ini dirancang untuk menangkap partikel debu yang berada di zona pernapasan, sehingga data yang diperoleh lebih mencerminkan paparan aktual yang masuk ke saluran napas selama aktivitas kerja. Alat ini bekerja dengan sistem pompa udara portabel dan dipasang pada pinggang pekerja, sementara selang hisap ditempatkan pada area kerah dekat hidung. Posisi ini memungkinkan alat menangkap partikel debu yang inhalasinya paling relevan dengan risiko kesehatan respirasi. Metode pengukuran menggunakan ini lebih representatif karena mampu mengikuti pergerakan pekerja dan merekam paparan debu yang diterima secara personal selama bekerja (Susihono dan Adiatmika, 2020).

2.5.4 Nephelometer



Gambar 2.4. Nephelometer

Sumber: (Susihono & Adiatmika, 2020).

Nephelometer merupakan alat untuk mengukur konsentrasi partikulat di udara dengan prinsip hamburan cahaya (*light scattering method*).

Ketika partikel aerosol melewati ruang optik, sinar laser akan dihamburkan dan intensitas cahaya hambur yang ditangkap detektor berbanding lurus dengan jumlah serta konsentrasi partikel di udara. Nilai hamburan ini digunakan untuk memperkirakan massa partikulat PM_{2.5} atau PM₁₀ secara tidak langsung. Hasil pengukuran Nephelometer memiliki hubungan linier dengan konsentrasi massa partikulat gravimetri, sehingga alat ini efektif digunakan dalam pemantauan kualitas udara dan evaluasi paparan debu di lingkungan kerja (Karali *et al.*, 2020).

2.5.5 Air Quality Monitor (AQM)



Gambar 2.5. Air Quality Monitor (AQM)
Sumber: (Shenzhen Tech Instruments, 2022).

Instrumen pemantau kualitas udara yang menggabungkan sensor laser *scattering* dan sensor semikonduktor untuk mendeteksi konsentrasi partikulat seperti PM₁₀, PM_{2.5}, dan PM_{1.0} secara *real-time*. Alat ini bekerja dengan kipas internal yang menarik udara masuk ke ruang sensor sehingga partikel dapat dihitung berdasarkan hamburan cahaya laser. AQM dirancang dengan resolusi pembacaan 1 µg/m³ dan tingkat akurasi sekitar ±10 µg/m³ atau ±10%, sesuai spesifikasi pabrik. Selain partikulat, alat ini juga mampu mengukur parameter gas seperti formaldehida dan *Total Volatile Organic Compounds* (TVOC) dengan resolusi 0,001 mg/m³, serta memantau suhu dan kelembapan lingkungan.

Sebelum digunakan, AQM diaktifkan dengan menekan tombol daya dan secara otomatis melakukan *auto-calibration* apabila ditempatkan pada area berventilasi baik atau udara bersih. Pengguna juga dapat

melakukan kalibrasi manual untuk mengatur ulang nilai melalui kombinasi tombol seperti yang diinstruksikan pabrikan. Layar LCD digital menampilkan berbagai parameter secara simultan, dan pengaturan seperti alarm dapat diaktifkan atau dinonaktifkan. AQM dilengkapi fitur penyimpanan otomatis sehingga perubahan konfigurasi tidak hilang saat alat dimatikan. Kombinasi sensor, kipas internal, dan sistem kalibrasi ini memberikan gambaran cepat mengenai konsentrasi partikulat di udara pada saat pengukuran dilakukan (Shenzhen Tech Instruments, 2022).

2.5.6 Particle Counter



Gambar 2.6. Particle Counter

Sumber: (Bodor, 2021).

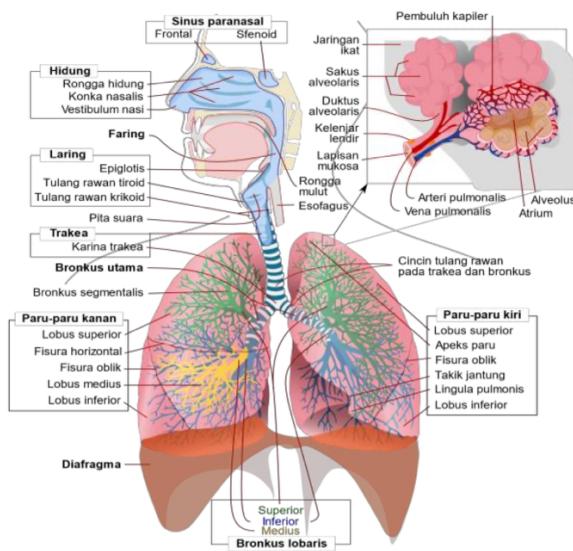
Particle counter merupakan alat penghitung partikel yang digunakan untuk mengukur jumlah serta ukuran partikel di udara, sehingga dapat menilai kebersihan dan kualitas udara di lingkungan kerja. Alat ini bekerja dengan prinsip hamburan cahaya (*light scattering*), di mana partikel yang melewati sinar laser akan menyebabkan pantulan atau hamburan cahaya yang kemudian dideteksi oleh sensor optik. Intensitas cahaya yang terhambur berbanding lurus dengan ukuran dan jumlah partikel yang lewat, sehingga alat dapat mengkategorikan partikel berdasarkan ukurannya, umumnya mulai dari 0,3 mikron hingga 10 mikron. Data hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk jumlah partikel per satuan volume udara, dan dapat disimpan secara digital untuk keperluan analisis lebih lanjut (Bodor, 2021).

2.6 Nilai Ambang Batas Debu di Lingkungan

Nilai Ambang Batas (NAB) yang dinyatakan dalam satuan parts per million (ppm) atau miligram per meter kubik (mg/m^3) merupakan parameter keselamatan dan kesehatan kerja yang mendefinisikan batas maksimum konsentrasi suatu substansi kimia berbahaya di lingkungan kerja. Parameter ini mengacu pada tingkat konsentrasi rata-rata dari paparan bahan kimia spesifik yang secara ilmiah dan medis telah terbukti dapat ditoleransi oleh sebagian besar populasi pekerja tanpa menimbulkan efek merugikan terhadap kesehatan mereka.

Berdasarkan Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, baku mutu debu partikulat PM_{10} untuk pengukuran selama 24 jam ditetapkan sebesar $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Kementerian Kesehatan, 2023).

2.7 Sistem Pernapasan Manusia



Gambar 2.7. Sistem Pernapasan Manusia
Sumber: (Utami *et al.*, 2023).

2.7.1 Pengertian

Menurut lokasinya, sistem pernapasan dibagi menjadi sistem pernapasan bagian atas dan bagian bawah. Sistem pernapasan bagian atas terdiri dari hidung, rongga hidung, sinus paranasal, dan faring.

Sistem pernapasan bagian bawah meliputi laring, trachea, bronchus, bronchiolus, dan alveoli (Kartini *et al.*, 2024).

Struktur sistem respirasi terdiri dari zona konduksi dan zona respirasi. Karena zona konduksi berfungsi menyaring, melembabkan, dan menghangatkan udara yang masuk, sehingga udara yang menjangkau paru-paru mengandung lebih sedikit debu daripada udara yang baru saja memasuki hidung, dan udara ini juga lebih hangat dan lembab. Zona konduksi mencakup hidung, faring, laring, trachea, bronchus, dan bronchiolus. Di dalam paru-paru, zona respiratori terdiri dari bronchiolus terminalis, bronchiolus respiratorius, ductus alveolaris dan saccus alveolaris, dan alveoli, tempat terjadinya pertukaran gas respirasi (Kartini *et al.*, 2024).

2.7.2 Anatomi

2.7.2.1 Hidung

Hidung merupakan organ khusus yang berperan sebagai pintu masuk utama dalam sistem pernapasan. Secara anatomis, hidung terdiri atas dua bagian, yaitu bagian luar dan bagian dalam. Bagian luar hidung tampak menonjol di wajah dan tersusun atas kerangka penyangga yang terdiri dari tulang dan tulang rawan hialin. Struktur ini dilapisi oleh otot, kulit, serta dilindungi oleh membran mukosa yang berfungsi menjaga kelembapan dan menyaring udara yang masuk (Tortora dan Derrickson, 2018).

2.7.2.2 Alat Penghindu

Mengandung epitel penciuman, yang terdiri dari tiga jenis sel: sel epitel penciuman, sel basal dan sel penyokong. Epitel berbentuk silinder bertingkat tanpa sel goblet dan memiliki pelat basal yang tidak jelas (Utami *et al.*, 2023).

2.7.2.3 Sinus Paranasal

Sinus merupakan rongga di tulang tengkorak yang terhubung ke rongga hidung. Ada empat sinus, yaitu maksila, frontalis, etmoid, dan sfenoid (Utami *et al.*, 2023).

2.7.2.4 Faring

Faring adalah persimpangan antara saluran pernapasan dan saluran makanan, merupakan saluran otot yang tegak lurus dengan pangkal tengkorak dan vertebra servikalis keenam (C6). Terbagi menjadi tiga regio yaitu nasofaring, orofaring dan laringofaring (Wulandari, 2022).

2.7.2.5 Laring

Laring berfungsi sebagai pintu masuk atau bagian awal dari saluran pernapasan, berada pada bagian depan faring. Struktur ini berlanjut ke arah inferior menuju trachea, membentuk kontinuitas saluran udara yang vital bagi proses respirasi. Organ ini dilengkapi dengan pita suara yang memungkinkan manusia untuk berbicara, bernyanyi, dan mengeluarkan berbagai variasi suara melalui getaran yang dihasilkan ketika udara melewati celah glotis (Wulandari, 2022).

2.7.2.6 Trachea

Trachea merupakan struktur tubular atau berbentuk pipa yang memiliki dimensi panjang mencapai sekitar 12 sentimeter dan diameter internal sekitar 2,5 sentimeter. Saluran pernapasan utama ini menempati posisi anatomis di bagian anterior esofagus, membentang secara vertikal dari batas inferior laring hingga mencapai tepi superior vertebra torakalis kelima (T5). Trachea mengalami percabangan menjadi dua cabang utama yang disebut bronkus primer, yaitu bronkus primer dekstra dan bronkus primer sinistra. Lapisan dinding trachea, dari dalam ke superfisial terdiri dari mukosa, submukosa,

tulang rawan hialin, dan adventisia (Tortora dan Derrickson, 2018).

2.7.2.7 Bronkus

Bronkus merupakan percabangan utama dari trachea menjadi dua bagian, yaitu bronkus kanan dan bronkus kiri. Titik percabangan ini dikenal sebagai carina. Bronkus kanan terdiri atas tiga lobus, sedangkan bronkus kiri memiliki dua lobus. Masing-masing lobus bronkus ini terbagi lagi menjadi segmen-segmen bronkial, di mana bronkus kanan memiliki 10 segmen dan bronkus kiri memiliki 9 segmen. Segmen bronkial kemudian bercabang menjadi bronkus lobaris, bronkus segmental, dan bronkiolus. Struktur saluran pernapasan ini dikelilingi oleh jaringan ikat yang mengandung pembuluh darah arteri, pembuluh limfatik, serta jaringan saraf yang mendukung fungsi respirasi (Wulandari, 2022).

2.7.2.8 Bronkiolus

Bronkiolus merupakan struktur percabangan lanjutan yang berasal dari bronkus segmental. Sistem bronkiolus terbagi menjadi dua kategori utama berdasarkan karakteristik struktural dan fungsionalnya. Kategori pertama adalah bronkiolus terminal, yang dilengkapi dengan kelenjar penghasil lendir yang berfungsi dalam pembersihan dan pelembapan udara, serta memiliki epitel bersilia yang berperan dalam pergerakan mukus dan debris menuju saluran yang lebih besar melalui sistem pembersihan alami saluran pernapasan. Kategori kedua adalah bronkiolus respiratorius, yang merupakan percabangan dari bronkiolus terminal dan memiliki karakteristik unik sebagai zona transisi. Struktur ini menjalankan fungsi ganda, yaitu saluran konduksi udara dan pertukaran gas karena dindingnya sudah mulai dilengkapi dengan alveoli (Wulandari, 2022).

2.7.2.9 Alveoli

Progesi anatomic berlanjut ketika bronkiolus respiratorius bercabang dan berkembang menjadi duktus alveolaris, kemudian bermuara ke dalam sakus alveolaris, yang merupakan ruang berbentuk kantung yang dikelilingi oleh kumpulan alveoli. Alveoli merupakan vesikel berdinding sangat tipis di bronkiolus terminal. Tempat terjadinya pertukaran oksigen dan karbondioksida antara darah dan udara yang dihirup. Terdiri dari tiga tipe sel epitel yaitu sel alveolar tipe I, tipe II dan tipe yang memiliki fungsi yang berbeda. Jaringan antara dua lapisan epitel disebut jaringan interstisial (Utami *et al.*, 2023).

2.7.2.10 Pleura

Membran serosa membungkus paru-paru. Jaringan tipis ini yang terdiri dari kolagen, elastin, dan fibroblas disebut pleura visceral, dan yang terletak di dinding dada disebut pleura parietal (Utami *et al.*, 2023).

2.7.3 Fisiologi

Paru-paru berfungsi memproses oksigen dan karbon dioksida. Hidung dan mulut berperan mengambil oksigen dari udara. Oksigen ini kemudian melewati trachea dan traktus bronkiolus hingga mencapai alveoli. Di alveoli, oksigen dapat berikatan dengan kuat pada darah yang mengalir di dalam kapiler pulmonaris yang mengalami difusi melalui membran alveolus-kapiler. Proses ini memungkinkan oksigen masuk ke dalam sel darah merah dan berikatan dengan hemoglobin, membentuk oksihemoglobin. Oksihemoglobin kemudian dialirkkan ke seluruh tubuh melalui sirkulasi sistemik untuk memenuhi kebutuhan oksigen jaringan. Selanjutnya, karbon dioksida, hasil buangan metabolisme akan melewati membran alveoler-kapiler dari kapiler darah ke alveoli. Kemudian, melalui pipa bronkial dan trachea, ia

dilepaskan dari paru-paru melalui mulut dan hidung (Kurniasih dan Daris, 2017).

2.7.4 Mekanisme Pernapasan

Proses bernapas merupakan proses mekanis yang terjadi melalui perubahan volume rongga dada. Saat inspirasi, diafragma dan otot-otot interkostal mengalami kontraksi, menyebabkan pembesaran rongga dada. Diafragma berkontraksi bersamaan dengan otot interkostal eksternal, sehingga tulang-tulang rusuk menjadi lebih rapat dan terangkat ke atas. Perubahan ini mengakibatkan pembesaran rongga dada. Dengan membesar dan menebalnya paru-paru serta meningkatnya volume, tekanan di dalam paru-paru menjadi lebih rendah. Selama tekanan dalam paru-paru berada di bawah tekanan atmosfer, udara akan mengalir masuk hingga kedua tekanan tersebut mencapai keseimbangan (Ramadhani dan Widyaningrum, 2022).

Ekspirasi umumnya terjadi secara pasif dengan memanfaatkan elastisitas jaringan paru-paru. Ketika otot-otot inspirasi relaksasi dan kembali ke posisi awal, volume paru-paru berkurang sementara tekanan di dalamnya meningkat. Karena tekanan dalam paru-paru menjadi lebih tinggi dibandingkan tekanan atmosfer luar, udara didorong keluar dari paru-paru (Ramadhani dan Widyaningrum, 2022).

2.7.5 Volume dan Kapasitas

Kapasitas paru adalah jumlah dua atau lebih volume paru. Volume paru adalah volume udara yang bisa ditampung di dalam paru. Volume dan kapasitas paru terdiri volume tidal, volume cadangan inspirasi, volume cadangan ekspirasi, volume residu, kapasitas inspirasi, kapasitas fungsional residu, dan kapasitas vital (Putra *et al.*, 2020).

2.7.5.1 Volume Tidal

Volume udara yang dapat dimasukkan dan dikeluarkan paru-paru setiap pernapasan normal. Volume udara laki-laki adalah 500 ml dan perempuan adalah 380 ml (Wasid *et al.*, 2021).

2.7.5.2 Volume Cadangan Inspirasi

Volume udara maksimal yang bisa dihembuskan dari akhir ekspirasi hingga paru tidak dapat lagi menghembuskan nafas. volume cadangan respirasi laki-laki adalah 3,3 liter dan volume cadangan wanita adalah 1,9 liter (Putra *et al.*, 2020).

2.7.5.3 Kapasitas Inspirasi

Volume udara maksimum yang dapat diinspirasi pada akhir ekspirasi tenang normal. Kapasitas ini memiliki rata-rata 3500 mL (Sherwood, 2019).

2.7.5.4 Kapasitas Residu Fungsional

Volume udara di paru-paru pada akhir ekspirasi pasif normal. Kapasitas ini memiliki nilai rata-rata 2200 mL (Sherwood, 2019).

2.7.5.5 Volume Cadangan Ekspirasi

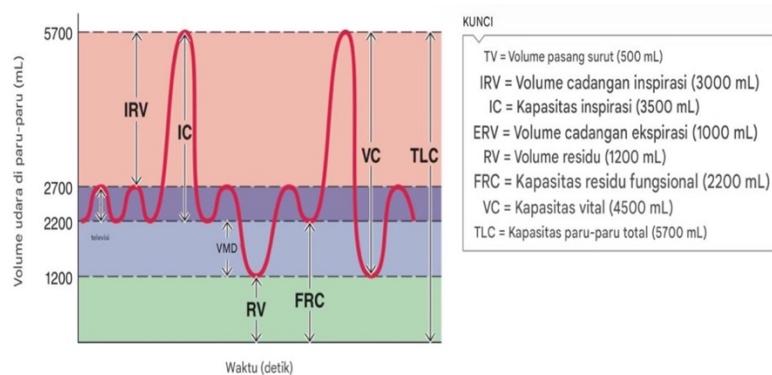
Volume udara ekstra yang dapat dikeluarkan secara aktif dengan mengontraksikan otot ekspirasi secara maksimal melebihi volume udara yang biasanya dikeluarkan secara pasif pada akhir volume tidal istirahat yang khas. Kapasitas ini memiliki nilai rata-rata adalah 1000 mL (Sherwood, 2019).

2.7.5.6 Volume Residu

Volume udara minimum yang tersisa di paru-paru bahkan setelah ekspirasi maksimal. Nilai rata-rata 1200 mL (Sherwood, 2019).

2.7.5.7 Kapasitas Vital

Volume udara maksimum yang dapat masuk ke dan keluar dari paru-paru. Kapasitas Vital = 4600 cc (Volume Tidal + Volume Cadangan Inspirasi + Volume Cadangan Ekspirasi) (Zuriati *et al.*, 2017).



(b) Variasi normal volume paru-paru pada spirogram pada pria dewasa muda yang sehat

Gambar 2.8. Kapasitas Vital
Sumber: (Sherwood, 2019).

2.8 Mekanisme Pajanan Debu ke dalam Sistem Pernapasan

Rambut hidung dan concha berperan sebagai penyaring untuk menangkap partikel dan gas yang masuk saat bernapas. Saat alergen terdeteksi, tubuh merespons dengan gejala seperti bersin, gatal, keluarnya cairan hidung, dan penyumbatan hidung. Reaksi awal yang terjadi pada lapisan mukosa hidung meliputi vasodilatasi, peningkatan permeabilitas jaringan, produksi cairan hidung, dan penyempitan saluran napas. Gas-gas yang mudah larut akan menempel pada mukosa saluran napas bagian atas, sedangkan gas yang kurang larut akan mencapai alveoli. Partikel berdiameter 10 μm atau lebih besar tertahan di area hidung dan tenggorokan, sementara partikel berukuran sedang mengendap pada berbagai tingkat saluran pernapasan (Gita *et al.*, 2024).

2.9 Pengaruh Debu terhadap Pernapasan

Paparan debu di lingkungan kerja dapat menimbulkan berbagai manifestasi klinis yang berdampak signifikan terhadap sistem pernapasan pekerja. Gejala-gejala yang umum terjadi meliputi batuk persisten yang dapat berlangsung dalam jangka waktu lama, bersin-bersin yang berulang sebagai respons alami tubuh terhadap iritasi, serta akumulasi partikel debu yang mengendap di sepanjang saluran pernapasan mulai dari hidung hingga bronkiolus. Akumulasi debu yang terjadi secara kontinyu dalam jangka waktu yang panjang akan menyebabkan terbentuknya endapan atau timbunan debu di dalam jaringan paru-paru. Kondisi ini tidak hanya mengganggu struktur normal paru-paru, tetapi juga dapat mengakibatkan penurunan kapasitas vital paru-paru, mengurangi efisiensi pertukaran gas, dan pada akhirnya menurunkan fungsi respirasi secara keseluruhan. Dampak jangka panjang dari paparan debu ini dapat berkembang menjadi berbagai penyakit paru akibat kerja yang lebih serius, seperti pneumokoniosis, yang dapat mengurangi kualitas hidup dan produktivitas kerja pekerja (Nurmayanti *et al.*, 2022).

2.10 Gangguan Fungsi Pernapasan

2.10.1 Pengertian

Gangguan faal paru merupakan kondisi ketika paru-paru tidak mampu berfungsi secara optimal. Keadaan ini dapat berupa ketidakmampuan paru untuk mengembang secara normal akibat berkurangnya elastisitas jaringan, atau adanya gangguan pada saluran napas baik secara struktural maupun fungsional yang menyebabkan aliran udara pernapasan melambat. Kondisi tersebut pada akhirnya menurunkan efektivitas proses pernapasan dan kapasitas paru secara keseluruhan (Cahyono, 2024).

2.10.2 Gejala

Sesak napas pada saluran pernapasan atas merupakan gejala yang sering ditemui. Pada fase awal kondisi, sesak napas biasanya hanya muncul saat aktivitas fisik. Namun dengan progresivitas penyakit,

gejala ini dapat terjadi bahkan ketika beristirahat. Batuk persisten juga umum terjadi, seringkali tanpa dahak atau dengan sedikit dahak berwarna putih. Penurunan berat badan dan kelelahan kronis menjadi tantangan tersendiri, dimana penderita kesulitan mempertahankan massa tubuh ideal dan energi yang cukup. Selain dampak fisik, beberapa penderita penyakit paru juga mengalami masalah psikologis seperti kecemasan dan depresi (Sentosa *et al.*, 2022).

2.10.3 Jenis-Jenis

2.10.3.1 Restriksi

Sebuah kondisi yang dikenal sebagai gangguan paru-paru restriksi menyebabkan penyumbatan saluran nafas karena jumlah udara yang masuk ke paru-paru lebih sedikit dari yang normal. Penimbunan debu menyebabkan masalah ini, yang mengganggu kemampuan inspirasi. Restriksi menyebabkan penurunan kecepatan aliran normal dan kapasitas vital paksa (Sari *et al.*, 2020).

Gangguan pengembangan paru ini mengakibatkan udara yang masuk menjadi tidak normal sehingga gangguan ini menjadi penyebab bagi penderitanya tidak dapat menarik napas (Hidayatullah, 2023). Penyakit paru yang tergolong restriktif adalah sebagai berikut;

- a. Sarkoidosis
- b. Pasca operasi pengangkatan jaringan paru
- c. Tuberculosis (TBC)
- d. Efusi pleura
- e. Penyakit paru primer di parenkim paru
- f. Pneumonia

2.10.3.2 Obstruktif

Gangguan paru obstruksi merupakan gangguan yang berakibat pada perlambatan aliran udara ekspirasi sehingga terjadi penyempitan saluran paru. Gangguan tersebut diakibatkan oleh bahan alergen seperti spora, jamur penganggu saluran pernafasan dan perusak jaringan paru (Sari, Astuti dan Ptasetio, 2020). Kondisi ini ditandai dengan penurunan laju aliran ekspirasi maksimum dibandingkan volume paru total. Berdasarkan kriteria *Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease* (GOLD, 2023). Kelainan ventilasi obstruktif ditentukan apabila rasio $FEV_1/FVC < 0,70$ pada pemeriksaan spirometri pasca bronkodilator. Penurunan nilai FEV_1 menunjukkan derajat keparahan obstruksi yang semakin berat seiring perkembangan penyakit paru obstruktif (Moffett *et al.*, 2025). Kelainan paru ini biasanya ditandai dengan tidak dapatnya seseorang menghirup udara (Hidayatullah, 2023). Penyakit yang tergolong obstruktif yaitu:

- a. Asthma Bronchiale
- b. Emfisema
- c. Bronkiolitis
- d. Penyakit paru obstruktif kronis (PPOK)
- e. Bronkitis
- f. Kistik Fibrosis

2.10.3.3 Campuran

Gangguan fungsi paru campuran merupakan gangguan yang disebabkan karena kombinasi gangguan restriksi dan obstruksi. Gangguan tersebut terjadi karena rendahnya persentase VEP_1/KVP dan pengecilan volume paru

disebabkan karena kurangnya volume paru, kapasitas vital dan aliran udara yang melibatkan saluran nafas (Sari *et al.*, 2020).

2.10.4 Parameter

Dihubungkan dengan volume ekspirasi paksa satu detik yang menurun, kapasitas vital paksa yang menurun, dan rasio volume ekspirasi paksa satu detik terhadap kapasitas vital paksa yang menurun (Natalie dan Lontoh, 2020).

2.10.4.1 Kapasitas vital paru-paru

Volume udara maksimal yang dapat masuk dan keluar dari paru-paru selama satu siklus pernapasan, yaitu setelah inspirasi dan ekspirasi maksimal. Kapasitas ini menunjukkan kapasitas paru-paru dan dada untuk berkembang (Sentosa *et al.*, 2022).

2.10.4.2 Kapasitas vital paksa

Volume udara maksimal yang dapat dikeluarkan dari paru-paru dengan cara ekspirasi kuat, cepat, dan maksimal setelah melakukan inspirasi penuh disebut sebagai kapasitas ekspirasi paksa. Sementara itu, volume udara yang berhasil dikeluarkan dalam detik pertama selama manuver ekspirasi paksa dikenal sebagai *Forced Expiratory Volume in one second* (FEV₁) (Firdaus *et al.*, 2022).

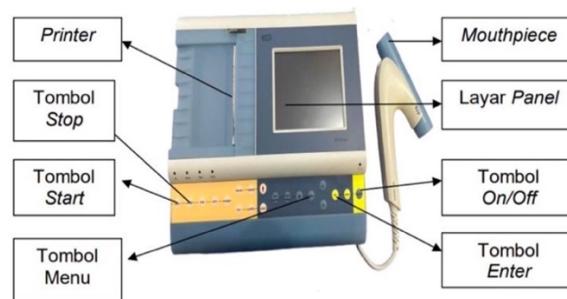
2.10.4.3 Rasio FEV1/FVC

Nilai yang menunjukkan persentase udara paru-paru dalam satu detik. Nilai ini diberikan dalam bentuk persentase, dan akan diubah untuk menunjukkan diagnosis normal, restriksi, dan obstruksi (Firdaus *et al.*, 2022).

2.11 Spirometri

Pemeriksaan fungsi paru tidak hanya digunakan untuk menegakkan diagnosis berbagai penyakit pernapasan, tetapi juga berperan dalam menilai tingkat keparahan gangguan paru, memantau perkembangan penyakit, serta mengevaluasi efektivitas terapi. Selain itu, pemeriksaan ini penting sebagai alat deteksi dini penyakit paru akibat kerja, terutama pada individu yang terpapar debu, asap, gas, atau bahan kimia di lingkungan kerja, karena paparan tersebut dapat menyebabkan penurunan fungsi paru dan memicu penyakit (Huda *et al.*, 2024).

Cara penggunaan spirometer yaitu dengan bernafas menggunakan mulut melalui mouthpiece dengan posisi hidung ditutup. Spirometer dihubungkan ke komputer melalui sambungan USB. Aktivitas spirometer dipantau melalui komputer hingga mendapatkan angka, hasil dalam satuan liter. Pengukuran kapasitas vital dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan setiap subjek atau sampel dan diambil angka yang terbesar (Putra *et al.*, 2020).



Gambar 2.9. Spirometri

Sumber: (Putri, 2024)

Adapun fungsi dari bagian-bagian spirometer yaitu:

- a. Layar panel sebagai monitor pada alat
- b. *Mouthpiece* sebagai corong tempat dikeluarkannya nafas dari paru-paru
- c. Tombol on/off untuk menginput pilihan yang telah dipilih pada menu.
- d. Printer untuk mencetak hasil pengukuran kapasitas paru
- e. Tombol stop untuk menghentikan perhitungan pada alat

- f. Tombol start sebagai tombol untuk memulai perhitungan alat
- g. Tombol menu untuk menampilkan pilihan yang harus diisi sebelum pengukuran dimulai

2.11.1 Interpretasi Hasil

Untuk menentukan gangguan fungsi paru obstruktif, restrktif, dan campuran dapat ditentukan dengan menghitung hasil tes spriometri dengan kategori berikut (Hidayatullah, 2023).

N : Tidak ada kelainan fungsi paru. Jika rasio $\frac{FEV1}{FVC} \geq 70\%$ dan rasio

$$\frac{FVC}{TLC} \geq 80\%$$

O : Terdapat penyumbatan saluran napas. Jika rasio $\frac{FEV1}{FVC} < 70\%$ dan

$$\text{rasio } \frac{FVC}{TLC} \geq 80\%$$

R : Terdapat kerusakan saluran napas. Jika rasio $\frac{FEV1}{FVC} \geq 70\%$ dan

$$\text{rasio } \frac{FVC}{TLC} < 80\%$$

M : Campuran/ Kombinasi antara obstruktif dan restriktif. Jika Rasio

$$\frac{FEV1}{FVC} < 70\% \text{ dan rasio } \frac{FVC}{TLC} < 80\%$$

Keterangan :

N : Normal

O : Obstruktif

R : Restriktif

M : *Mixed*

FEV1 : Jumlah udara yang dihembuskan dalam 1 detik

FVC : Jumlah total udara yang dihembuskan

TLC : Jumlah kapasitas total paru

2.12 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Gangguan Pernapasan

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa timbulnya penyakit atau gangguan pada saluran pernapasan akibat paparan debu dipengaruhi oleh dua kelompok besar, yaitu faktor individu dan faktor lingkungan. Faktor

lingkungan seperti karakteristik fisik dan kimia debu, seperti ukuran partikel, bentuk, konsentrasi, serta lamanya paparan, sedangkan faktor individu, termasuk usia, kebiasaan merokok, dan kepatuhan dalam menggunakan alat pelindung diri (Altruiza *et al.*, 2024). Fungsi paru-paru juga dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor tambahan seperti jenis kelamin, tingkat aktivitas fisik, dan status nutrisi seseorang (Natalie dan Lontoh, 2020), serta durasi masa kerja yang panjang, serta adanya riwayat penyakit pernapasan sebelumnya (Bintang dan Kharin, 2021).

2.12.1 Umur

Pertambahan usia memiliki hubungan langsung dengan meningkatnya kerentanan terhadap berbagai paparan. Seiring bertambahnya umur, terjadi penurunan fungsi organ, pelemahan sistem imunitas, dan pengurangan kapasitas vital paru-paru secara progresif (Annashr *et al.*, 2022).

2.12.2 Masa Kerja

Masa kerja berkorelasi dengan kondisi fungsi paru seseorang. Durasi paparan debu di lingkungan kerja yang lebih panjang meningkatkan risiko akumulasi partikel di jaringan paru. Fenomena ini merupakan konsekuensi dari inhalasi berkelanjutan selama aktivitas kerja. Jam kerja yang berkepanjangan semakin memperburuk kesehatan pekerja karena frekuensi dan intensitas paparan yang berulang (Nurmayanti *et al.*, 2022).

2.12.3 Kebiasaan Merokok

Proses merokok melibatkan pembakaran tembakau dan nikotin yang melepaskan berbagai zat berbahaya dalam bentuk padat dan gas, termasuk nikotin, tar, karbon monoksida, dan nitrogen sianida. Asap rokok merangsang produksi lendir berlebih, sementara nikotin membuat silia menjadi kaku, mengganggu mekanisme pembersihan alami saluran pernapasan. Akumulasi lendir ini menyebabkan gejala seperti batuk berdahak dan sesak napas. Bila gangguan pernapasan akibat paparan asap rokok dan nikotin

berlanjut, dapat terjadi penyumbatan saluran napas yang menghambat aliran udara normal (Medyati *et al.*, 2023).

2.12.4 Alat Pelindung Diri

Implementasi APD memberikan dampak positif terhadap kesehatan pernapasan pekerja. Pihak manajemen perusahaan sebaiknya menetapkan regulasi wajib penggunaan APD untuk meminimalisir risiko gangguan paru-paru dan masalah pernapasan pada tenaga kerja (Pujiono, 2023).

2.12.5 Jenis kelamin

Kapasitas paru-paru sangat dipengaruhi oleh ukuran tubuh, sehingga wanita umumnya memiliki kapasitas yang lebih rendah dibandingkan pria karena perbedaan fisik. Faktor ini berperan penting dimana hormon reproduksi wanita dapat menurunkan fungsi paru. Selain itu, wanita memiliki area difusi yang lebih terbatas dibandingkan pria dengan ukuran paru yang setara, yang berkontribusi pada efisiensi pernapasan dan fungsi paru yang relatif lebih rendah (Santosa dan Gayatri, 2020).

2.12.6 Riwayat Penyakit Pernapasan

Kerusakan paru yang disebabkan oleh infeksi bakteri patogen meningkatkan kerentanan terhadap penyakit pernapasan di kemudian hari. Bersamaan dengan itu, paparan terhadap partikel udara menciptakan kondisi yang memungkinkan bakteri bertahan lebih lama di sistem pernapasan, sehingga memperburuk risiko kesehatan (Nurcandra *et al.*, 2023).

2.12.7 Aktivitas Fisik

Individu yang rutin melakukan aktivitas fisik memiliki kapasitas paru yang lebih baik dibandingkan dengan individu yang jarang berolahraga. Latihan fisik secara teratur dapat memperkuat otot-otot pernapasan dan meningkatkan efisiensi ventilasi paru, sehingga

tubuh mampu menghirup lebih banyak udara serta mengeluarkan sisa metabolisme secara optimal (Sukadiono *et al.*, 2022).

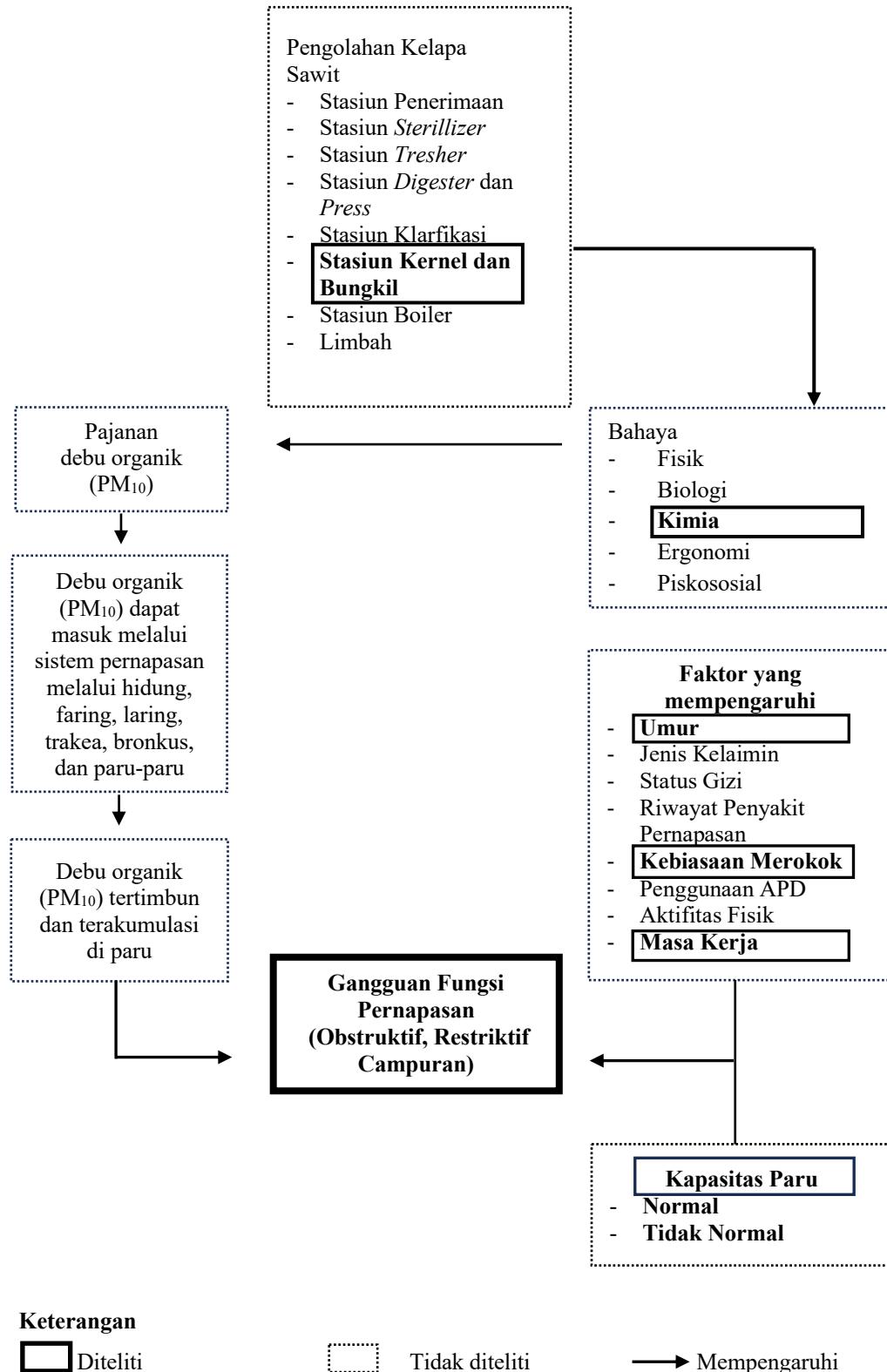
2.12.8 Status Gizi

Status gizi merupakan cerminan kondisi tubuh yang dipengaruhi oleh pola konsumsi dan kecukupan zat gizi yang masuk ke dalam tubuh. Kekurangan gizi dapat menurunkan daya tahan tubuh dan efisiensi sistem pernapasan, sehingga individu menjadi lebih rentan terhadap infeksi seperti batuk dan pilek. Selain itu, status gizi juga memengaruhi kekuatan otot pernapasan dan kapasitas ventilasi paru, di mana individu dengan status gizi kurang cenderung memiliki kapasitas paru yang lebih rendah (Harjono *et al.*, 2025).

2.13 Profil Perusahaan

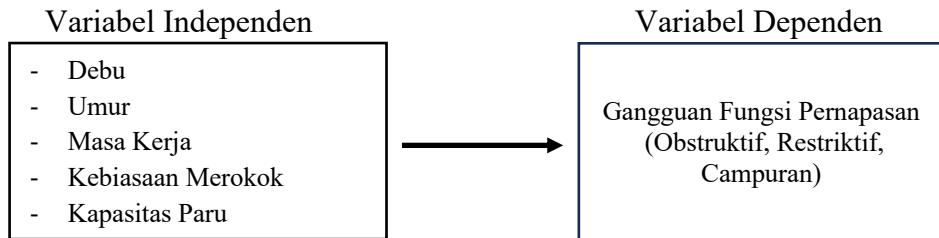
CV. Bumi Waras tergabung dalam Grup Sungai Budi, sebuah kelompok usaha nasional di bidang agribisnis yang telah berdiri sejak tahun 1947. CV. Bumi Waras awalnya beroperasi sebagai pabrik minyak kelapa berbahan baku kopra. Namun seiring waktu, perusahaan mengalami transformasi signifikan dengan beralih ke pengolahan produk berbasis kelapa sawit, seperti minyak goreng sawit dan kelapa, margarin, mentega, lemak nabati, sabun, dan produk turunan lainnya. Produk-produk tersebut dipasarkan dengan berbagai merek dagang yang sudah dikenal luas oleh masyarakat. Selain pengolahan, perusahaan ini juga memiliki dan mengelola perkebunan kelapa sawit serta komoditas lainnya seperti nanas, tebu dan kelapa hibrida.

2.14 Kerangka Teori



Gambar 2.10. Kerangka Teori
Sumber: (Putri, 2024; Nugroho, 2019; L. P. Sari, 2019; Sinulingga, 2022)

2.15 Kerangka Konsep



Gambar 2.11. Kerangka Konsep

2.16 Hipotesis Penelitian

Hipotesis pada penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

2.16.1 Debu

H0: Terdapat hubungan antara debu dengan gangguan fungsi pernapasan;

H1: Tidak terdapat hubungan antara debu dengan gangguan fungsi pernapasan.

2.16.2 Umur

H0: Terdapat hubungan antara umur dengan gangguan fungsi pernapasan;

H1: Tidak terdapat hubungan antara umur dengan gangguan fungsi pernapasan.

2.16.3 Masa Kerja

H0: Terdapat hubungan antara masa kerja dengan gangguan fungsi pernapasan;

H1: Tidak terdapat hubungan antara masa kerja dengan gangguan fungsi pernapasan.

2.16.4 Merokok

H0: Terdapat hubungan antara kebiasaan merokok dengan gangguan fungsi pernapasan;

H1: Tidak terdapat hubungan antara kebiasaan merokok dengan gangguan fungsi pernapasan.

2.16.5 Kapasitas Paru

- H0: Terdapat Hubungan antara kapasitas paru dengan gangguan fungsi pernapasan;
- H1: Tidak terdapat hubungan antara kapasitas paru dengan gangguan fungsi pernapasan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan secara kuantitatif dengan menggunakan pendekatan *cross sectional*, yaitu suatu desain penelitian untuk mempelajari dinamika korelasi antara faktor-faktor resiko dengan efek, dengan cara pendekatan, observasi atau pengumpulan data sekaligus pada secara bersamaan atau satu waktu. Setiap subjek penelitian hanya diobservasi sekali saja dan pengukuran dilakukan terhadap status karakter atau variabel subjek pada saat pemeriksaan (Abduh *et al.*, 2022). Pada penelitian ini peneliti ingin menilai hubungan paparan antara debu, faktor individu dengan gangguan fungsi pernapasan pada pekerja bagian produksi yaitu gudang kernel, stasiun *palm kernel oil*, dan gudang palm *kernel expeller* di CV. Bumi Waras Way Lunik Bandar Lampung.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di CV. Bumi Waras Way Lunik Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada bulan September 2025 hingga Desember 2025.

3.3 Populasi dan Sampel Penelitian

3.3.1 Populasi Penelitian

Populasi penelitian ini adalah seluruh pekerja bagian produksi yaitu gudang kernel, stasiun PKO, gudang PKE di CV. Bumi Waras Way Lunik Bandar Lampung yaitu sebanyak 70 pekerja.

3.3.2 Sampel Penelitian

Pada penelitian ini, penentuan jumlah sampel dilakukan dengan menggunakan pendekatan Krejcie dan Morgan. Tujuan utama dari pendekatan ini adalah untuk membantu peneliti menentukan ukuran sampel yang representatif secara statistik berdasarkan jumlah populasi yang diketahui. Pendekatan ini sangat bermanfaat dalam menjamin keandalan dan validitas data yang diperoleh dari hasil penelitian, karena dengan ukuran sampel yang tepat, kemungkinan bias dapat diminimalkan dan hasil yang diperoleh dapat digeneralisasikan ke seluruh populasi dengan lebih akurat (Sathyaranayana *et al.*, 2024)

Berikut ini disajikan rumus dasar yang digunakan dalam pendekatan Krejcie dan Morgan.

$$S = \frac{x^2 \cdot N \cdot P \cdot (1-P)}{d^2(N-1) + x^2 \cdot P \cdot (1-P)}$$

$$S = \frac{3,841 \times 70 \times 0,5 \times (1-0,5)}{0,05^2 \times (70-1) + 3,841^2 \times 0,5 \times (1-0,5)}$$

$$S = \frac{67,2175}{1,13275}$$

$$S = 59,34$$

Keterangan:

S : Ukuran sampel

N : Jumlah populasi (70)

X² : Nilai *chi-square* untuk df = 1 pada $\alpha = 0,05$ (3,841)

P : Perkiraan proporsi kasus yang diteliti (digunakan untuk hasil maksimum)

d : *Margin of error* (0,05)

Ukuran sampel dalam penelitian ini ditentukan menggunakan rumus Krejcie dan Morgan. Berdasarkan perkiraan populasi pekerja bagian produksi yaitu gudang kernel, stasiun PKO dan gudang PKE di CV. Bumi Waras Way Lunik, ukuran sampel minimum yang dihitung adalah 59,34.

Untuk menghindari *drop out* sampel penelitian maka pada penelitian kali ini akan ditambahakan kriteria berikut:

$$n' = \frac{n}{1-f}$$

Keterangan:

n' : Jumlah sampel setelah dikoreksi

n : Jumlah sampel berdasarkan estimasi sebelumnya

f : Perkiraan proporsi *drop out* sebesar 10% (0,1)

$$n' = \frac{59,34}{1-0,1}$$

$$n' = \frac{59,34}{0,9}$$

$$n' = 65,93$$

$$n' = 66$$

Oleh karena itu, jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 66 orang. Jumlah ini diharapkan dapat memberikan data yang *representative* dan meningkatkan validitas serta reliabilitas hasil penelitian.

3.3.3 Teknik Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel dalam penelitian ini yaitu menggunakan teknik *total sampling*, menurut Sugiyono pada tahun 2020 dalam bukunya menyatakan bahwa teknik ini merupakan teknik pengambilan sampel yang mengambil dari semua anggota populasi yang artinya seluruh populasi menjadi sampel. Dalam penelitian ini, dari populasi berjumlah 70 pekerja, sebanyak 66 orang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi sehingga dijadikan sampel. Seluruh responden memiliki paparan faktor risiko yang sama, yaitu paparan debu organik dari proses pengolahan bungkil dan kernel.

3.4 Identifikasi Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang mempengaruhi atau yang menjadikan terjadinya sebab perubahan variabel bebas (Ningsih *et al.*, 2021).

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah debu, usia, aktivitas merokok, masa kerja, dan kapasitas paru.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas (Susanti dan Srifariyati, 2024). Pada penelitian ini adalah gangguan fungsi pernapasan pada pekerja.

3.5 Kriteria Sampel

3.5.1 Kriteria Inklusi

Pada penelitian ini memiliki kriteria inklusi sebagai berikut :

- a. Bersedia menjadi responden dalam penelitian;
- b. Merupakan pekerja bagian produksi yaitu gudang kernel, stasiun, PKO dan gudang PKE di CV. Bumi Waras Way Lunik Bandar Lampung.

3.5.2 Kriteria Ekslusii

Pada penelitian ini memiliki kriteria ekslusii sebagai berikut

- a. Memiliki riwayat penyakit paru bersifat obstruktif seperti penyakit paru obstruktif menahun/kronis (PPOM/PPOK), asma, enfisema (kehancuran kantung udara paru), bronchitis (peradangan cabang bronkus) dan kistik fibrosis (penumpukan lendir dalam paru);
- b. Memiliki riwayat penyakit paru bersifat restriktif seperti pneumonia, tuberculosis (TBC), sarcoidosis (radang sel jaringan paru), penyakit paru primer di parenkim paru, dan efusi pleura (penumpukan cairan dalam paru);
- c. Pekerja yang pernah melakukan operasi pengangkatan jaringan paru;
- d. Pekerja yang memiliki riwayat kecelakaan/cidera berat yang terjadi di area rongga dada.

3.6 Definisi Operasional

Tabel 3.1 Definisi Operasional

No	Variabel	Definisi	Alat ukur	Cara ukur	Hasil ukur	Skala
1	Gangguan Fungsi Pernapasan	Keluhan gangguan pernapasan yang dialami seseorang seperti batuk, berdahak, batuk berdahak, sesak napas, mengi (Adjani dan Siregar, 2023).	Kuesioner	Pengisian langsung oleh responden	0 = Ada 1 = Tidak ada (Sentosa <i>et al.</i> , 2022).	Nominal
2	Kadar Debu Lingkungan kerja	Salah satu indikator pencemaran bagi lingkungan maupun terhadap Kesehatan dan keselamatan kerja (Sunuh dan Subagyo, 2022).	Air Quality Monitor	Pengukuran dengan Alat	0 = < 75 µg/m³, (tidak sesuai standar) 1 = ≥ 75 µg/m³ (sesuai standar) (Kementerian Kesehatan, 2023).	Nominal
3	Umur	Lama waktu yang dihitung terhadap pekerja dari mulai sejak lahir hingga dilakukan penelitian (Sari, 2019)	Kuesioner	Pengisian langsung oleh responden	0 = < 40 1 = ≥ 40 (Sinulingga, 2022)	Ordinal
4	Masa Kerja	Masa kerja menunjukkan seberapa lama seseorang bekerja (Santosa dan Gayatri, 2020)	Kuesioner	Pengisian langsung oleh responden	0 = < 5 tahun 1 = ≥ 5 tahun (Sari, 2019)	Ordinal
5	Kebiasaan Merokok	Perilaku menghisap tembakau secara berulang dalam kehidupan sehari-hari (Pradana, Diyono dan Amarseto, 2024)	Indeks Brikman	Pengisian langsung oleh responden	0 = Tidak Pernah Perokok 1 = Pernah merokok : Ringan, Sedang, Berat, Bekas Perokok (Hidayatullah, 2023)	Ordinal
6	Kapasitas Paru	Udara maksimum yang bisa dihembuskan setelah paru mencapai pengembangan maksimal (Hambali <i>et al.</i> , 2024).	Spirometri	Pengukuran dengan alat	0 = Normal FEV1 dan FVC ≥ 80% 1 = Tidak Normal Obstruksi : FEV1 < 80% Restriksi : FVC < 80% Campuran : FEV1 dan FVC < 80% (Hermanto <i>et al.</i> , 2025).	Nominal

3.7 Instrumen, Bahan Penelitian

3.7.1 Instrumen Penelitian

a. Lembar Penjelasan Sebelum Persetujuan

Lembar ini berisi pernyataan bahwa responden telah mendapatkan penjelasan dari peneliti sebelum berpartisipasi

b. Lembar *Informed Consent*

Lembar ini berisi pernyataan kesediaan responden untuk berpartisipasi dalam penelitian

c. Kuesioner

Instrumen penelitian yang digunakan untuk mengumpulkan data melalui serangkaian pertanyaan terstruktur yang dirancang guna mengukur variabel penelitian. Instrumen ini diadaptasi dari penelitian terdahulu yang relevan, salah satunya oleh Lara Purnama Sari pada tahun 2018 yang telah terbukti valid dan reliabel. Hasil uji validitas pada penelitian ini menunjukkan seluruh item pertanyaan memiliki nilai *Corrected Item-Total Correlation* $\geq r$ tabel, sehingga dinyatakan valid. Uji reliabilitas dengan metode *Cronbach's Alpha* juga menunjukkan nilai $> 0,60$, yang menegaskan bahwa kuesioner layak digunakan sebagai instrumen penelitian. Pengisian kuesioner dilaksanakan dengan pendampingan enumerator untuk memastikan akurasi data. Lembar kuesioner mengenai faktor individu terdiri dari nama/inisial responden, jenis kelamin, umur, masa kerja, kebiasaan merokok dan riwayat penyakit ditulis langsung dengan jawaban berupa isian singkat

d. *Air Quality Monitor*

Observasi dilakukan dengan pengukuran langsung untuk memperoleh data konsentrasi partikulat (PM_{10}) di area produksi. Pengukuran dilakukan menggunakan alat yang telah dikalibrasi sebelumnya untuk memastikan keakuratan hasil. Proses

pengukuran dilaksanakan dengan bantuan petugas dari UPTD Balai Hiperkes dan Keselamatan Kerja, serta melibatkan pekerja bagian produksi yaitu gudang kernel, stasiun PKO, dan gudang PKE sebagai pendamping. Sebelum digunakan, alat dinyalakan dengan menekan dan menahan tombol daya hingga layar aktif. Selanjutnya, dilakukan kalibrasi otomatis maupun manual sesuai petunjuk pabrikan untuk menyesuaikan sensor dengan kondisi udara lingkungan. Pengukuran dilakukan pada beberapa titik lokasi produksi menggunakan metode grab sampling, yaitu pengambilan data udara dalam waktu singkat pada saat tertentu. Alat ditempatkan pada ketinggian ±1,2-1,5 meter dari lantai yang mewakili zona napas pekerja, dan dibiarkan melakukan pembacaan hingga hasil pada layar stabil. Nilai konsentrasi PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) terbaca secara *real-time* pada layar alat bersamaan dengan parameter pendukung lain seperti suhu, kelembapan, dan kadar gas formaldehida. Setelah pembacaan stabil (sekitar 3-5 menit), hasil pengukuran dicatat secara manual dan juga tersimpan otomatis di dalam sistem alat. Prosedur ini diulang pada seluruh titik pengambilan sampel untuk mendapatkan nilai rata-rata paparan partikulat di lingkungan kerja.

e. Spirometri

Observasi juga dilakukan dengan pengukuran kapasitas paru pekerja menggunakan spirometri yang telah dikalibrasi, dan dibantu oleh dibantu oleh pekerja UPTD Balai Hiperkes dan Keselamatan Kerja. Peneliti akan menjelaskan prosedur yang akan dilakukan. Selanjutnya, alat dihidupkan dan sampel diminta untuk menjaga posisi tubuh tetap tegap dengan hidung tertutup. Setelah itu, mouthpiece dimasukkan ke mulut sampel tanpa ada celah yang keluar. Peneliti kembali membimbing sampel untuk menarik dan menghembuskan napas sebanyak tiga kali dengan ketentuan, pada dua kali pertama, sampel hanya melakukan tarikan dan hembusan napas biasa, sedangkan pada tarikan ketiga,

sampel diminta menarik napas dalam dan menghembuskan napas maksimal. Setelah prosedur selesai, hasil pengukuran dapat dilihat. Pengukuran akan dilakukan selama beberapa menit pada setiap pekerja.

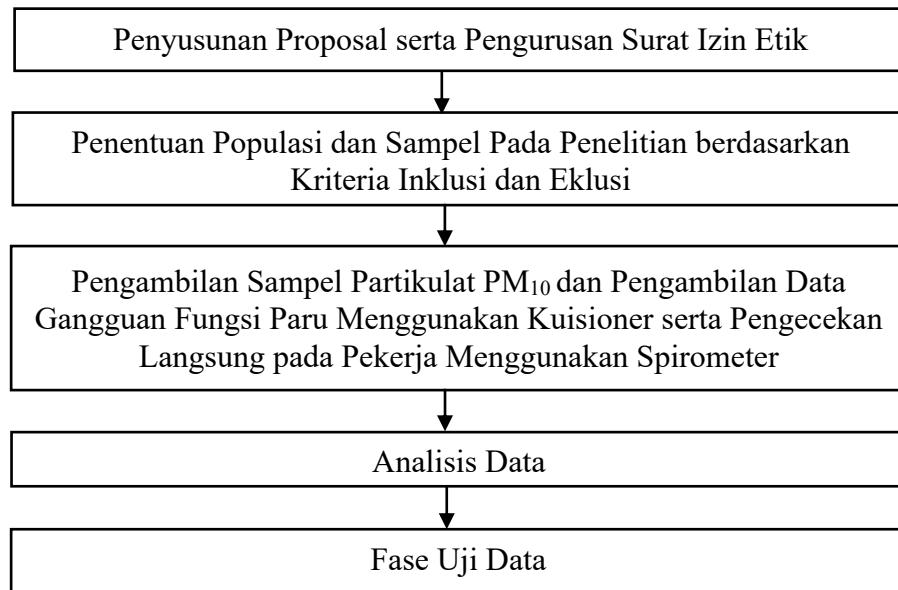
3.8 Prosedur dan Alur Penelitian

3.8.1 Prosedur Penelitian

Dibawah ini merupakan langkah-langkah yang diimplementasikan pada penelitian ini:

- a. Melakukan persiapan proposal penelitian di Fakultas Kedokteran Universitas Lampung;
- b. Mengajukan permohonan kelayakan etik kepada Komisi etik Penelitian Kesehatan di Fakultas Kedokteran Univeristas Lampung;
- c. Mengurus perizinan untuk pengambilan data pada CV. Bumi Waras Way Lunik Bandar Lampung;
- d. Mengurus perizinan untuk peminjaman alat spirometer dan *Air Quality Monitor* (AQM) pada UPTD Balai Hiperkes dan Kesalamatan Kerja;
- e. Pelaksanaan pengambilan data dengan menggunakan kuesioner dan pengukuran langsung pada pekerja serta lingkungan kerja bersama UPTD Balai Hiperkes dan Kesalamatan Kerja;
- f. Data yang telah didapatkan kemudian dianalisis secara univariat dan bivariat;
 - I. Analisis univariat dilakukan untuk memperoleh deskripsi masing-masing variabel bebas maupun variabel terikat;
 - II. Analisis bivariat dilakukan untuk mengetahui adanya hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat;
- g. Menarik kesimpulan dan pelaporan terhadap penelitian yang sudah dilakukan.

3.8.2 Alur Penelitian



Gambar 3.12. Alur Penelitian

3.9 Manajemen data

3.9.1 Sumber data

Data dalam penelitian ini dikumpulkan secara langsung dengan menggunakan metode pengambilan data primer. Data tersebut didapat oleh peneliti berdasarkan tiga cara yaitu tanggapan kuisioner gejala gangguan fungsi paru, pengukuran langsung menggunakan spirometri serta pengukuran langsung partikulat PM₁₀ menggunakan alat AQM melalui observasi yang dilakukan peneliti, serta pengukuran langsung menggunakan spirometri pada pekerja.

3.9.2 Analisis Data

Data pada penelitian yang telah dikumpulkan, diolah, dan dianalisis dengan sistem komputerisasi program SPSS. Langkah-langkah dalam proses pengolahan data menggunakan program *statistic* berupa:

a. *Editing*

Dilakukan untuk memeriksa kelengkapan dan kebenaran data seperti kelengkapan pengisian dan kesalahan pengisian

b. *Coding*

Pemberian kode pada setiap variabel yang telah dikumpulkan kedalam program *software computer*

c. *Entry*

Memasukkan data pada program *software computer* berdasarkan klasifikasi

d. *Tabulating*

Menempatkan data sedemikian rupa agar dapat dengan mudah dijumlahkan, disusun dan ditata untuk disajikan dan dianalisis

Setelah itu data yang telah terkumpul dan tesusun berdasarkan masing-masing kategori akan dilakukan analisis univariat dan bivariat untuk melihat korelasi antar variable

a. Analisis Univariat

Analisis data yang memfokuskan pada satu variabel secara terpisah dilaksanakan guna memperoleh gambaran karakteristik variabel seperti kadar debu lingkungan (partikulat PM₁₀, serta faktor individu berupa umur, masa kerja, kebiasaan merokok dan kapasitas paru pada pekerja). Hasil analisis ini akan menunjukkan distribusi dan persentase pekerja bagian produksi yaitu gudang kernel, stasiun PKO, dan gudang PKE di CV. Bumi Waras Way Lunik Bandar Lampung. Selain itu, analisis univariat berfungsi untuk menggambarkan variabel bebas dan variabel terikat berupa gangguan fungsi pernafasan pekerja.

b. Analisis Bivariat

Tahapan ini bertujuan untuk mengidentifikasi ada tidaknya hubungan atau asosiasi antara masing-masing variabel bebas yang meliputi konsentrasi debu di tempat kerja, usia responden, durasi masa kerja, kebiasaan merokok serta kapasitas paru dengan variabel terikat yaitu terjadinya gangguan fungsi pernafasan pada subjek

penelitian. Metode analisis statistik yang digunakan untuk menguji hubungan tersebut adalah uji *Chi Square*, yang merupakan teknik analisis non-parametrik. Kriteria signifikansi statistik yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada tingkat kepercayaan 95% dengan nilai alpha (α) sebesar 0,05 sebagai batas kemaknaan untuk pengujian hipotesis. Hubungan yang bermakna secara statistik antara variabel bebas dan terikat dependen dapat dinyatakan ada apabila nilai p -value yang dihasilkan menunjukkan angka kurang dari 0,05 ($p<0,05$). Untuk mengantisipasi kondisi dimana data tidak memenuhi persyaratan uji *Chi Square*, maka akan diterapkan uji alternatif berupa uji *Fisher's Exact Test*.

3.10 Etika Penelitian

Penelitian ini telah mendapatkan persetujuan etik dari Komite Etik Penelitian Fakultas Kedokteran Universitas Lampung dengan nomor: 4935/UN26.18/PP.05.02.00/2025

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa:

- a. Sebagian besar area kerja di CV. Bumi Waras memiliki konsentrasi debu PM₁₀ melebihi baku mutu, yaitu sebesar 69,7% dengan kadar $\geq 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- b. Sebanyak 68,2% pekerja memiliki kapasitas paru tidak normal berdasarkan hasil spirometri;
- c. Terdapat hubungan bermakna antara kadar debu PM₁₀ dengan gangguan fungsi pernapasan ($p = 0,021$);
- d. Tidak terdapat hubungan bermakna antara umur dengan gangguan fungsi pernapasan ($p = 0,197$);
- e. Tidak terdapat hubungan bermakna antara masa kerja dengan gangguan fungsi pernapasan ($p = 0,271$);
- f. Terdapat hubungan bermakna antara kebiasaan merokok dengan gangguan fungsi pernapasan ($p = 0,011$);
- g. Kapasitas vital paru berhubungan sangat signifikan dengan gangguan fungsi pernapasan ($p = 0,004$).

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan dari hasil penelitian ini maka saran yang dapat diberikan peneliti adalah sebagai berikut:

5.2.1 Bagi Perusahaan

- a. Perusahaan diharapkan melakukan pengendalian teknis terhadap kadar debu di area produksi melalui pembersihan rutin pada area berdebu dan pemeliharaan sistem ventilasi;
- b. Perusahaan disarankan menyelenggarakan pemeriksaan fungsi paru (spirometri) secara periodik, minimal setiap 6-12 bulan sekali, untuk mendeteksi dini gangguan fungsi pernapasan akibat kerja.

5.2.2 Bagi Pekerja

- a. Disarankan untuk menghentikan kebiasaan merokok, karena asap rokok dapat memperberat kerusakan saluran napas dan mempercepat penurunan kapasitas paru;
- b. Pekerja perlu meningkatkan kesadaran kesehatan diri dengan melakukan pemeriksaan kesehatan paru secara rutin serta menjaga kebugaran fisik melalui olahraga ringan.

5.2.3 Bagi Peneliti Selanjutnya

- a. Peneliti selanjutnya disarankan menggunakan *personal dust sampler* untuk mendapatkan data paparan debu yang lebih akurat dan representatif;
- b. Disarankan menambahkan pengukuran faktor lingkungan seperti kadar PM_{2.5} serta gas SO₂, CO, dan NO₂ untuk memperluas analisis;
- c. Perlu dikaji juga faktor individu lain seperti jenis kelamin, aktivitas fisik, status gizi, dan riwayat penyakit pernapasan;
- d. Gunakan analisis multivariat agar dapat mengetahui kontribusi setiap faktor terhadap gangguan fungsi pernapasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, M., Alawiyah, T., Apriansyah, G., Sirodj, R. A., Afgani, M. W. 2022. Survey Design: Cross Sectional dalam Penelitian Kualitatif. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*, 31–38.
- Adjani, A. P., Siregar, P. A. 2023. Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Keluhan Gangguan Pernapasan pada Pekerja Mebel di Kecamatan Medan Satria Kota Bekasi. *Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 22(1), 54–59.
- Altruisa, R. O., Sujoso, A. D. P., Ismara, K. I. (2024). Paparan Debu Kayu Sebagai Faktor Risiko Utama Gangguan Faal Paru di Industri Kayu Lapis. *Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes*, 15(6), 647–651.
- Annashr, N. N., Maharani, R., Heriana, C. 2022. Faktor Yang Berhubungan Dengan Gangguan Pernafasan Pada Pekerja PT. X Kabupaten Sumedang. *Prepotif: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6(1), 554–563.
- Anselma, Trisnawati, E., Saleh, I. 2019. Hubungan Kadar Debu PM10 dengan Gangguan Fungsi Paru pada Pekerja Pabrik CPO (*Crude Palm Oil*) di PT.X Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Khatulistiwa*, 52–60.
- Arini, P. 2020. Relation of Worker Characteristics and Personal Dust Level to the Vital Lung Capacity of Workers in the Furniture Industry. *The Indonesian Journal of Public Health*, 15 (April), 49–59.
- Ashuro, Z., Debela, B. G., Daba, C., Heraru, H. E., Abaya, et al., 2024. The effect of occupational exposure to organic dust on lung function parameters among African industrial workers: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Public Health*, 12, 1424315.
- Bintang, R., dan Kharin, H. C. 2021. Faktor Risiko Gangguan Paru Pada Pekerja: Tinjauan Literatur. *Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 03(02), 2181.
- Bodor, M. 2021. A study on indoor particulate matter variation in time based on count and sizes and in relation to meteorological conditions. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 15).

- Cahyono, R. T., Sunarsih, E. 2024. Environmental Health Risk Analysis of Sulfur Dioxide (SO_2) Exposure in Ambient Air on Lung Function of Officers and Communities Around Public Fuel Filling Stations (SPBU). *Indonesian Journal of Global Health Research*, 6(S6), 293–300.
- Choi, Y. J., Han, H., Lee, J. H., Lee, J., Kim, C. Y., Byun, M. K *et al.*, 2023. Particulate matter₁₀-induced airway inflammation and fibrosis can be regulated by chitinase-1 suppression. *Respiratory Research*, 24(1), 1–11.
- Chun, H. J., Coutavas, E., Pine, A. B., Lee, A. I., Yu, V. L., Shelly *et al.*, 2021. Immunofibrotic drivers of impaired lung function in postacute sequelae of SARSCoV-2 infection. *JCI Insight*, 6(14).
- Damayanti, R. S., Yuliati, Septiyanti. 2023. Faktor Yang Berhubungan Dengan Gangguan Pernapasan Pada Pekerja Yang Terpapar Debu di PT. Antam Tbk. UBPN Kolaka. *Window of Public Health Journal*, 4(5), 755–765.
- De Oliveira, E. M. G., Khatimi, H. 2022. Analisis Dampak Kualitas Udara dan Debu (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) terhadap Pengeboran Minyak di Blok A, Suai, Covalima, Timor Leste. *Buletin Profesi Insinyur*, 5(1), 22–26.
- Doda, D. V. D. 2022. *Dasar kesehatan dan keselamatan kerja: Hazard/Bahaya di tempat kerja*. CV. Patra Media Grafindo Bandung.
- Ekawati, R., Fattah, D. A., Paramitha, A., Abdillah, I., Fauziyah, M., Wijayanti, P. 2022. Karakteristik kimia milkswit dan krimbrownswit: “inovasi produk olahan berbahan baku palm kernel oil.” *Agrointek : Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 16(1), 113–122.
- Firdaus, M. R., Kaidah, S., Marisa, D., Asnawati, Haryati. 2022. *Gambaran Uji Fungsi Paru Pada Mahasiswa PSKPS FK ULM Angkatan 2022*. 7, 219–226.
- Gita, A., Kania, N. P., Az Zahra, T. 2024. Gangguan dan Penurunan Fungsi Paru pada Pekerja Jalanan. *Jurnal Anestesi*, 2(3), 118–131.
- Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. 2023. *Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease: Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*.
- Hambali, A. N., Jusuf, H., Abudi, R. 2024. *Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Kapasitas Vital Paru Pada Pekerja Pengangkut Sampah Di Kabupaten Gorontalo*. 7(12), 5029–5037.
- Harjono, A. E., Qadrijati, I., Wardani, T. L., Fauzi, Rachmawati P., Wiyayanti, R., *et al.*, 2025. Hubungan Status Gizi dan Masa Kerja dengan Gangguan. *Preportif Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 9, 6327–6333.

- Hermanto, A., Masroni, Melana, L. I. T., dan Yufenanda, M. M. 2025. Association between smoking habits and lung function among adult smokers : A cross-sectional study in public health. *The Journal of Palembang Nursing Studies*, 4, 135–142.
- Hidayatullah, M. A. 2023. *Pengaruh Paparan Debu Terhadap Gangguan Fungsi Paru Pada Pekerja Pemotong Kayu Di Desa Kenten Laut Kecamatan Talang Kelapa Kabupaten Banyuasin*. Sriwijaya.
- Hsan, S., Lakhdar, N., Harrabi, I., Zaouali, M., Burney, P., Denguezli, M. 2022. Reduced forced vital capacity is independently associated with, aging, height and a poor socioeconomic status: a report from the Tunisian population-based BOLD study. *BMC Pulmonary Medicine*, 22(1), 1–9.
- Huda, L. N., Zahrah, Najla R., Fatkhiyah, K., Fauziah, S., Nuraya *et al.* 2024. Program Pemeriksaan Fungsi Paru Dengan Peak Flow Meter Pada Komunitas Olahraga Pernapasan Abhinaya Di Kelurahan Antapani Kidul, Bandung. *Jurnal Kreativitas Pengabdian Kepada Masyarakat (PKM)*, 7(12), 5594–5618.
- Ihsan, F., Azzahro, H. U., Anna, A., Alhaviz. 2024. *Ekstraksi Polisakarida Manan dari Bungkil Inti Sawit*. 13(2), 94–103.
- Karali, D., Loupa, G., Rapsomanikis, S. 2020. *Nephelometer Sensitivities for the Determination of PM_{2.5} Mass Concentration in Ambient and Indoor Air*. December, 2–10.
- Kartini, Febriyanto, T., Sius, U., Suryadi, D., Khudri, G., Novelyn *et al.*, 2024. Dasar-Dasar Ilmu Biomedik Struktur dan Fungsi. In L. Rosyanti & Z. M. Aini (Eds.), *Eureka Media Aksara*. Eureka Media Aksara.
- Kementerian Kesehatan. 2023. Permenkes No. 2 Tahun 2023. *Kemenkes Republik Indonesia*, 55, 1–175.
- Kurniasih, E., dan Daris, H. 2017. *Gangguan Sistem Pernafasan* A. Cahyanti (ed.)). Samudra Biru.
- Mahawati, E., Fitriyatnur, Q., Yanti, C. A., Rahayu, P. P., Aprilliani, C., Chaerul, *et al.*, 2021. Keselamatan Kerja dan Kesehatan Lingkungan Industri. In R. Watrianthos & J. SImarmata (Eds.), *Yayasan Kita Menulis*. Yayasan Kita Menulis.
- Maradjabessy, F. A., Yuniarti, Y., Adji, H. W. 2021. Scoping Review: Efek Debu terhadap Fungsi Paru Pekerja. *Jurnal Integrasi Kesehatan & Sains*, 3(1), 80–85.
- Medyati, N., Irjayanti, A., Isnaini, L. 2023. *Faktor yang Berhubungan dengan Gejala Subjektif Gangguan Pernapasan pada Pekerja Industri Mebel di Distrik Abepura*. 22(2), 152–159.

- Moffett, A. T., Halpern, S. D., Weissman, G. E. 2025. The effect of a post - bronchodilator - FVC < 0 . 7 on COPD diagnosis and treatment : a regression discontinuity design. *Respiratory Research*, 26(1), 112.
- Natali, S. M. A., Prabowati, D., Winda, Sudaryanto. 2021. *Analisis Dampak Sifat Fisik-Kimia Debu terhadap Keselamatan dan Kesehatan Pekerja pada Proses Pengangkutan Penambangan Nikel PT. Jaya Bersama Sahabat, Konawe Utara, Sulawesi Tenggara*. 147–156.
- Natalie, V., Lontoh, S. O. 2020. Perbandingan fungsi paru antara mahasiswa perokok dan bukan perokok di Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara. *Tarumanagara Medical Journal*, 2(1), 167–172.
- Ningsih, W., Kamaludin, M., Alfian, R. 2021. Hubungan Media Pembelajaran dengan Peningkatan Motivasi Belajar Siswa Pada Mata Pelajaran PAI di SMP Iptek Sengkol Tangerang Selatan. *Tarbawai: Jurnal Pendidikan Agama Islam*, 6(01), 77–92.
- Nugroho, A. 2019. *Teknologi Agroindustri Kelapa Sawit*. Lambung Mangkurat University Press.
- Nurcandra, F., Pristya, T. Y. R., Fitri, A. M. 2023. Identifikasi Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Penurunan Fungsi Paru Masyarakat di Sekitar Pembangkit Listrik Tenaga Uap. *Jurnal Biostatistik, Kependudukan, Dan Informatika Kesehatan*, 4(1), 44.
- Nurhidayat, S. A. 2020. *Analisis Dampak Paparan Particulate Matter(Pm10) Dikota Yogyakarta*.
- Nurmayanti, D., Mufaizah, D., Suryono, H., Winarko, Widodo, S. 2022. *Pengaruh Kadar Debu Terhadap Keluhan Pernapasan pada Karyawan Bagian Produksi Pakan Ternak*. 13(6), 957–962.
- Palureng, C. M., Yulinawati, H., Wijayanti, A. 2023. Analisis partikulat di udara ambien Kawasan Kota Tua Jakarta. *Jurnal Serambi Engineering*, VIII(1), 4483–4491.
- Pradana, S. D., Diyono, D., Amarseno, B. 2024. Hubungan derajat merokok terhadap kapasitas vital paru (KVP) pada lansia. *JITU (Journal Physical Therapy UNISA)*, 4(2), 51–64.
- Pratiwi, A. P., T.A, T. D. 2024. Hubungan Masa Kerja Dan Penggunaan Apd dengan Keluhan Gangguan Pernapasan pada Pekerja Mebel. *Jurnal Keolahragaan Juara*, 11(1), 034–039.
- Primasanti, Y., Herawati, V. D. 2022. Analisis Paparan Debu Pada Departemen Pemintalan Benang PT. PBTS. *JIKI*, 15(1), 16–23.

- Pujiono, P. 2023. Hubungan Penggunaan Apd, Kebiasaan Merokok, Kebiasaan Olahraga, Dan Kadar Debu Yang Terhirup Terhadap Terjadinya Gangguan Fungsi Paru Pada Pekerja. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*, 15(1), 22–29.
- Putra, K. P., Pratama, R. P., Nugroho, K. P. A. 2020. Kapasitas Vital Paru Berkorelasi Positif dengan Kemampuan Tahan Nafas pada Laki-Laki Usia 19–25 Tahun. *JOSSAE : Journal of Sport Science and Education*, 5(1), 25–32.
- Putri, A. N., Budisetyawan, F. E., Noerwahjono, A. 2018. Analisis Lingkungan Kerja dan Karakteristik Pekerja Terhadap Faal Paru Pekerja Industri Papan Semen Rata (Studi Kasus di PT “X” Malang). *Herb-Medicine Jurnal*, 1(2), 75–85.
- Putri, I. H. 2024. *Pengaruh Paparan Debu Dan Karakteristik Individu Terhadap Kapasitas Paru Pada Tenaga Kerja Di Unit Produksi Di Pt. Industri Kapal Indonesia (Persero) Makassar Tahun 2024*. Univeristas Hasanuddin.
- Ramadhani, K., Widyaningrum, R. 2022. Buku Ajar Dasar-Dasar Anatomi Dan Fisiologi Tubuh Manusia. In B. A. Afwan & N. I. Amanah (Eds.), *Uad Press*.
- RI, K. K. 2016. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 48 Tahun 2016*.
- Ridayanti, D. D. P., Khambali, Suryono, H. 2022. Risiko Paparan Debu/Particulate Matter (PM_{2,5}) Terhadap Kesehatan Masyarakat (Studi Kasus: Tempat Pembuatan Batu Bata di Desa Kaloran, Kecamatan Ngronggott, Nganjuk). *Penelitian Kesehatan Suara Forikes*, 13(April), 1–7.
- Rohmah, I., Rita, Salim, C., Hindratmo, B., Lestari, R. P., Nelson, R. 2018. Perbandingan Metode Sampling Kualitas Udara: High Volume Air Sampler (HVAS) dan Low Volume Air Sampler (LVAS). *Ecolab*, 12(2), 53–70.
- S, S., Mohanasundaram, T., V, P. B., Hema, H. 2024. Selecting the Right Sample Size : Methods and Considerations for Social Science Researchers. *International Journal of Business and Management Invention*, 13(7), 152–167.
- Santosa, W. R. B., Gayatri, P. R. 2020. Pengaruh Jenis Kelamin dan Masa Kerja Terhadap Tingkat Ventilasi. *Judika (Jurnal Nusantara Medika)*, 4(2), 126–131.
- Sari, D. R., Yulianti. 2020. *Deskripsi Industri Pengolahan Kelapa Sawit Di PT. Tri Bakti Sarimas PKS 2 Ibul, Riau Tahun 2020*.
- Sari, J. A., Astuti, R., Ptasetio, D. B. 2020. Kapasitas Vital Paru pada Pekerja Tambal Ban Pinggir Jalan Juni. *Higeia Journal Of Public Health Research Adn Development*, 4 (22), 223–232.

- Sari, L. P. 2019. *Analisis Keluhan Subjektif Gangguan Pernapasan Pekerja Pabrik Di Pt. Golden Blossom Sumatra (GBS) Kabupaten Pali Tahun 2018.* Universitas Sriwijaya.
- Sentosa, E. A., Riwanto, M., Seno, B. A. 2022. Analisis Risiko Gangguan Fungsi Paru Akibat Paparan Debu PM10 Pada Pekerja Mebel Kayu. *Jurnal Sanitasi Lingkungan*, 2(1), 30–37.
- Sherwood, L. 2019. Human Physiology From cells to Systems. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1).
- Sinulingga, G. E. P. 2022. *Analisis Gangguan Pernapasan Pada Pekerja Akibat Paparan Debu Pengolahan Kelapa Sawit Di Stasiun Boiler Dan Kernel PTP Nusantara VI Jambi - Sumbar.* Universitas Sriwijaya.
- Sukadiono, Zahrah, S. F., Nasrullah, D., Supatmi, Fitriyani, V. R. 2022. The effect of physical exercise on vital lung capacity in Tapak Suci athletes. *Jurnal Keolahragaan*, 10(2), 166–174.
- Sunuh, H., Subagyo, I. 2022. Gambaran Kadar Debu Respirabel pada Pekerja Bagian Produksi di PT. Bintang Manunggal Persada Kelurahan Buluri Kota Palu. *Banua: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 2(1), 1–6.
- Sugiyono. 2020. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif. Bandung: Alfabeta.
- Surya, Indi Esha, Faisal Yubus, Adrianison, Azizman Saad, Ridha Restilla. 2021. Faktor Risiko yang Mempengaruhi Keluhan Respirasi dan Gangguan Fungsi Paru Pekerja Pabrik Kelapa Sawit PT. X di Kecamatan Kandis. *Jurnal Respirlogi Indo*, 41(3)(1), 180–186.
- Susianti, O. M., Srifariyati. 2024. Perumusan Variabel Dan Indikator Dalam Penelitian Kuantitatif Kependidikan. *Jurnal Pendidikan Rokania*, 9, 18.
- Susihono, W., Adiatmika, I. P. A. 2020. Assessment of inhaled dust by workers and suspended dust for pollution control change and ergonomic intervention in metal casting industry: A cross-sectional study. *Heliyon*, 6(5), e04067.
- Tortora, GJ, Derrickson, B. 2018. Tortora, GJ & Derrickson, B. In *Principles of Anatomy & Physiology* (Issue July).
- Utami, R. T., Ismail, I. U., Dinata, A. S., Delfira, A., Rinarto, N. D., Safitri, M., et al., 2023. *Anatomi & Fisiologi Manusia* (Sepriano & Efitra (eds.)). PT. Sonpedia Publishing Indonesia Redaksi.
- Wahab, W., Saleh, M., Amansyah, M., Susilawaty, A., Basri, S. 2024. Paparan PM10 dan PM2,5 pada pekerja industri Phinisi di Kecamatan Bonto Bahari Kabupaten Bulukumba. *Jurnal Higiene*, 10(1), 41-48.

- Wasid, A. W., Soleh Ridwan, N. M. 2021. Pengukuran Volume Paru-Paru Berbasis Mikrokontroler Arduino Dengan Memanfaatkan Sensor Mpx5700Dp. *Jurnal Informatika Dan Komputasi*, 15(01), 16–24.
- Wicaksono, M. G., Septiani, W., Makomulamin. 2021. Media Kesmas (Public Health Media). *Media Kesmas (Public Health Media)*, 1(2), 225–240.
- Wulandari, M. 2022. Buku Ajar Anatomi Fisiologi. *Yogyakarta: Zahir Publishing*, 5(3), 111–127.
- Yanti, M. 2023. Hubungan Kadar Debu (PM_{10}) dengan Kejadian ISPA pada Industri mebel Kayu di Kelurahan Sungai Sapih Kecamatan Kurangi Kota Padang. *Media Ilmu*, 1, 126–131.
- Zuriati, S., Suriya, S., Ananda, Y. 2017. Buku Ajar Asuhan keperawatan medikal bedah Gangguan Pada Sistem Respirasi. In *Penerbit Sinar Ultima Indah*.