

**SKRIPSI**  
**ANALISIS RISIKO POLUSI BIOAEROSOL UDARA**  
**PADA TENAGA KESEHATAN DI PUSKESMAS**  
**KASSI KASSI KOTA MAKASSAR**

NUR AFIFAH  
K011191047



*Skripsi ini Diajukan Sebagai Syarat untuk  
Memperoleh Gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat*

**DEPARTEMEN KESEHATAN LINGKUNGAN**  
**FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT**  
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**  
**MAKASSAR**  
**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**ANALISIS RISIKO POLUSI BIOAEROSOL UDARA PADA TENAGA  
KESEHATAN DI PUSKESMAS KASSI KASSI KOTA MAKASSAR**

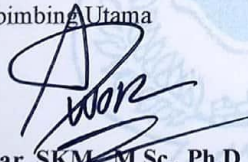
**Disusun dan diajukan oleh**

**NUR AFIFAH  
K011191047**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelasaan Studi Program Sarjana Program Studi Kesehatan Masyarakat  
Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin  
pada tanggal 21 Maret 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan


Menyetujui,

Pembimbing Utama



**Prof. Anwar, SKM., M.Sc., Ph.D**  
NIP. 197408161999031002

Pembimbing Pendamping



**Basir, SKM., M.Sc**  
NIP. 199405072021073001

Ketua Program Studi,



**Dr. Hasnawati Amqam, SKM., M.Sc**  
NIP. 197604182005012001

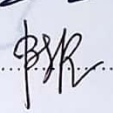
## PENGESAHAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah di pertahankan dihadapan Tim Penguji Ujian Skripsi Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin Makassar pada hari Selasa Tanggal 21 Maret 2023.

Ketua : Prof. Anwar, SKM., M.Sc., Ph.D

(..........)

Sekretaris : Basir, SKM., M.Sc

(..........)

Anggota :

1. Dr. Agus Bintara Birawida, S.Kel., M.Kes

(..........)

2. dr. M. Furqaan Naiem, M.Sc., Ph.D

(..........)

## PERNYATAAN KEASLIAN NASKAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Afifah

NIM : K11191047

Program Studi : Kesehatan Masyarakat

Departemen : Kesehatan Lingkungan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya, agar dimanfaatkan sebagaimana mestinya.

Makassar, 21 Maret 2023

Yang menyatakan,



**Nur Afifah**

## RINGKASAN

Universitas Hasanuddin  
Fakultas Kesehatan Masyarakat  
Kesehatan Lingkungan  
Makassar, 21 Maret 2023

### Nur Afifah

“Analisis Risiko Polusi Bioaerosol Udara pada Tenaga Kesehatan di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar”

(xv + 141 halaman + 18 tabel + 2 gambar + 18 lampiran)

Bioaerosol adalah bentuk suspensi koloid pada udara yang mengandung berbagai mikroorganisme. Menurut WHO setiap tahun sekitar 2,8 juta jiwa mengalami kematian akibat pencemaran udara dalam ruangan. Penyakit yang ditimbulkan berupa *Healthcare Associated Infections* (HAIs).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar risiko paparan polusi bioaerosol (bakteri) yang diterima oleh tenaga kesehatan dalam ruang poli di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian observasional dengan menggunakan desain studi *cross sectional*. Cara pengambilan data yaitu dengan wawancara dan pemeriksaan laboratorium. Populasi pada penelitian ini adalah tenaga kesehatan sebanyak 14 orang. Penelitian berlangsung dari bulan Januari – Februari 2023. Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *purposive sampling* dan menggunakan metode QMRA (*Quantitative Microbial Risk Assessment*).

Hasil pemeriksaan bioaerosol udara (bakteri) pada ruang poli lansia dan poli umum dengan Angka Lempeng Total yaitu 279 CFU/m<sup>3</sup> dan 192 CFU/m<sup>3</sup>. Jika dibandingkan dengan Permenkes RI No. 1204/Menkes/SK/X/2004 sudah memenuhi syarat untuk batas jumlah bakteri dalam ruangan yaitu 200 – 500 CFU/m<sup>3</sup>. Jenis bakteri yang ditemukan yaitu *Bacillus cereus group* dan *Staphylococcus arlettae*. Tiga responden yang memiliki besar risiko paparan bioaerosol (bakteri) udara atau nilai HQ > 1 (tidak aman/ memiliki potensi risiko kesehatan). Faktor lain yang berpengaruh terhadap jumlah bakteri udara yaitu kelembaban sementara untuk suhu, pencahayaan, dan faktor ekstrinsik tidak berpengaruh secara signifikan. Potensi besar risiko paparan bakteri udara pada seseorang berbeda sesuai dengan pertimbangan dari faktor karakteristik individu dan pola aktivitasnya. Diharapkan pihak Puskesmas melakukan pemeriksaan kualitas udara dalam ruangan secara berkala untuk mencegah adanya potensi penularan penyakit melalui bioaerosol (bakteri) udara.

**Kata Kunci: Bioaerosol, udara, bakteri, risiko**

## SUMMARY

Hasanuddin University  
Faculty of Public Health  
Environmental Health  
Makassar, 21 March 2023

**Nur Afifah**

“Risk Analysis of Air Bioaerosol Pollution in Health Workers at the Kassi Kassi Health Center in Makassar City”

**(xv + 141 pages + 18 tables + 2 pictures + 18 attachments)**

Bioaerosol is a form of colloidal suspension in air containing various microorganisms. According to WHO every million years around 2.8 people die from indoor air pollution. Diseases caused in the form of *Healthcare Associated Infections* (HAIs).

This study aims to determine the amount of exposure to bioaerosol pollution (bacteria) received by health workers in the poly room at the Kassi Kassi Health Center in Makassar City. Method: The type of research used is an observational study using a cross sectional research design. The method of collecting data is by interview and laboratory examination. The population in this study were 14 health workers. The research took place from January to February 2023. The sampling technique used was purposive sampling and used the QMRA (Quantitative Microbial Risk Assessment) method.

The results of examination of airborne bioaerosols (bacteria) in the elderly poly and general poly rooms with Total Plate Numbers were 279 CFU/m<sup>3</sup> and 192 CFU/m<sup>3</sup>. When compared with the Regulation of the Minister of Health of the Republic of Indonesia No.1204/Menkes/SK/X/2004, it meets the requirements for the limit on the number of bacteria in the room, namely 200 – 500 CFU/m<sup>3</sup>. The types of bacteria found were *Bacillus cereus* group and *Staphylococcus arlettae*. Three respondents who have a high risk of exposure to airborne bioaerosols (bacteria) or an HQ value > 1 (unsafe/potential health risk). Other factors that affect the number of airborne bacteria are humidity and while temperature, lighting, and extrinsic factors do not have a significant effect. The potential risk of bacteria exposure to a person differs according to the consideration of individual characteristics and activity patterns. It is hoped that the Puskesmas will periodically check indoor air quality to prevent potential disease transmission through airborne bioaerosols (bacteria).

**Keywords: Bioaerosol, air, bacteria, risk**

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim alhamdulillahirabbil'alamin*, segala puji dan syukur kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atala atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan proposal. Proposal ini berjudul **“Analisis Risiko Polusi Bioaerosol Udara pada Tenaga Kesehatan di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar”** sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan Pendidikan di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin. Penyusunan proposal ini bukan hasil kerja penulis semata. Penulis menyadari bahwa penyusunan proposal ini tidak dapat diselesaikan tanpa adanya bimbingan, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Penghargaan setinggi-tingginya penulis ucapkan kepada kedua orang tua, Bapak Amiruddin dan Ibu Amirah serta adik saya Ahmad Afandi atas dukungan doa, perhatian, kasih sayang, pengorbanan dari segi materi yang senantiasa mengiringi langkah penulis selama menjalani pendidikan hingga akhir.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Prof Anwar, SKM., M.Sc., Ph.D selaku pembimbing I, Bapak Basir SKM., M.Sc selaku pembimbing II dan Ibu Prof. Masni, Apt, MSPH selaku pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran dan keikhlasan serta meluangkan waktu dan memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Prof Sukri Palutturi SKM., M.Kes., M.Sc, Ph.D selaku dekan, Bapak Wahiduddin SKM., M.Kes selaku wakil dekan I, Bapak Prof. Dr. Atjo Wahyu, SKM., M.Kes selaku wakil dekan II, dan Bapak Prof Anwar, SKM., M.Sc.,

Ph.D selaku wakil dekan III beserta seluruh staf tata usaha, akademik, dan kemahasiswaan atas segala bantuannya kepada penulis selama menjalani pendidikan di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.

2. Bapak Dr. Agus Bintara Birawida, S.Kel., M.Kes dan Bapak dr. Furqaan Naiem, M.Sc., Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, arahan dan kritik kepada penulis untuk memperbaiki penulisan proposal ini.
3. Ibu Dr. Erniwati Ibrahim, SKM., M.Kes selaku ketua Departemen Kesehatan Lingkungan beserta seluruh dosen Departemen Kesehatan Lingkungan atas segala bantuannya dalam memberikan bimbingan, ilmu dan arahnya kepada penulis selama menjalani pendidikan di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.
4. Semua dosen pengajar Fakultas Kesehatan Masyarakat yang telah memberikan ilmunya selama penulis menempuh pendidikan di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.
5. Rekan seperjuangan mahasiswa Departemen Kesehatan Lingkungan 9 orang hebat Eka Khairunnisa, Widia Meilia Yusuf, Sulindah H.Sultan, Nurul Fibriani, Nur Ismi, A. Alief Muadz, Muh. Iqran Al-Muktadir, dan A. Muh. Faudzul Adziim atas dukungan, motivasi, semangatnya, dan saling berbagi ilmu. Pengalaman luar biasa memiliki rekan seperjuangan di departemen ini.
6. Sahabat saya Salsabila Dwi Qalbi terima kasih atas semua waktunya selama ini mulai dari awal semester sampai saat ini untuk saling berbagi dengan penulis mulai dari maba sampai akhir.



Proses penyusunan proposal sebagai langkah awal untuk penyelesaian skripsi menjadi pembelajaran berharga bagi penulis. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan proposal ini, mohon arahan dan bimbingannya dari pihak terkait dalam penyempurnaan penyusunan proposal ini. Semoga penelitian ini bermanfaat untuk berbagai pihak.

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Makassar, 21 Maret 2023

Peneliti

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN NASKAH</b> .....	iv
<b>RINGKASAN</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xii
<b>DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN</b> .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	7
C. Tujuan Penelitian.....	7
D. Manfaat Penelitian.....	8
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	9
A. Tinjauan Umum tentang Kualitas Udara dalam Ruangan.....	9
B. Tinjauan Umum tentang Bioaerosol .....	14
C. Tinjauan Umum tentang <i>Quantitative Microbial Risk Assessment</i> (QMRA) .....	17
D. Tinjauan Umum tentang Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) .....	24

E. Tinjauan Umum tentang Penyakit Akibat Kontaminasi Udara dalam Ruangan.....	28
F. Kerangka Teori.....	31
<b>BAB III KERANGKA KONSEP .....</b>	<b>32</b>
A. Dasar Pemikiran Variabel Penelitian .....	32
B. Kerangka Konsep .....	33
C. Definisi Operasional.....	34
<b>BAB IV METODE PENELITIAN .....</b>	<b>37</b>
A. Jenis dan Desain Penelitian .....	37
B. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	39
C. Populasi dan Sampel .....	40
D. Instrumen Penelitian.....	41
E. Alat, Bahan dan Cara Kerja.....	41
F. Pengumpulan Data .....	45
G. Pengolahan dan Analisis Data.....	46
H. Penyajian Data.....	47
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>48</b>
A. Gambaran Umum Lokasi Penelitian .....	48
B. Hasil Penelitian .....	55
C. Pembahasan.....	68
D. Keterbatasan Penelitian .....	83
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>85</b>
A. Kesimpulan.....	85
B. Saran.....	88
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>89</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pengelompokan Mikroorganisme Berdasarkan Risiko Infeksi .....	19
Tabel 5.1	Daftar Nama Puskesmas di Kota Makassar .....	49
Tabel 5.2	Karakteristik Tenaga Kesehatan pada Ruang Poli Lansia di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar .....	56
Tabel 5.3	Karakteristik Tenaga Kesehatan pada Ruang Poli Umum di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar .....	56
Tabel 5.4	Pola Aktivitas Tenaga Kesehatan Poli Lansia di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar.....	57
Tabel 5.5	Pola Aktivitas Tenaga Kesehatan Poli Umum di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar.....	58
Tabel 5.6	Hasil Pemeriksaan Sampel Lingkungan (Bakteri udara) pada Ruang Poli Lansia di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar .....	59
Tabel 5.7	Hasil Pemeriksaan Sampel Lingkungan (Bakteri udara) pada Ruang Poli Umum di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar.....	59
Tabel 5.8	Hasil Pemeriksaan Sampel Lingkungan (Bakteri udara) pada Ruang Poli Umum di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar.....	60
Tabel 5.9	Hasil Perhitungan QMRA Berdasarkan Hasil Penelitian di Ruang Poli Lansia dan Poli Umum di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar ...	60
Tabel 5.10	Distribusi Besar Risiko Responden terhadap Bioaerosol (Bakteri) Udara di Poli Lansia Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar .....	61
Tabel 5.11	Distribusi Besar Risiko Responden terhadap Bioaerosol (Bakteri) Udara di Poli Umum Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar .....	61
Tabel 5.12	Hasil Pemeriksaan Sampel Lingkungan (Suhu) pada Ruang Poli Lansia di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar .....	62
Tabel 5.13	Hasil Pemeriksaan Sampel Lingkungan (Suhu) pada Poli Umum di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar .....	63

Tabel 5.14	Hasil Pemeriksaan Sampel Lingkungan (Kelembaban) pada Ruang Poli Lansia di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar .....	63
Tabel 5.15	Hasil Pemeriksaan Sampel Lingkungan (Kelembaban) pada Ruang Poli Umum di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar .....	64
Tabel 5.16	Hasil Pemeriksaan Sampel Lingkungan (Pencahayaannya) pada Ruang Poli Lansia di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar .....	64
Tabel 5.17	Hasil Pemeriksaan Sampel Lingkungan (Pencahayaannya) pada Ruang Poli Umum di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar.....	65
Tabel 5.18	Faktor Ekstrinsik saat Pengambilan Sampel di Ruang Poli Lansia dan Poli Umum di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar.....	65
Tabel 5.19	Faktor Ekstrinsik saat Pengambilan Sampel di Ruang Poli Lansia dan Poli Umum di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar.....	66
Tabel 5.20	Distribusi Frekuensi Responden Berdasarkan Kondisi Kesehatannya dalam 3 Bulan Terakhir di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar ..	66
Tabel 5.21	Hasil Uji <i>Pearson Correlations</i> Pengaruh Parameter Suhu, Kelembaban, Pencahayaannya dan Faktor Ekstrinsik terhadap Bioaerosol dalam Ruang Poli Lansia dan Poli Umum di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar.....	67

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Paradigma atau Proses <i>Risk Analysis</i> .....	26
Gambar 2.2	Bagan Alir Penerapan ARKL .....	27
Gambar 2.3	Teori dimodifikasi .....	31
Gambar 5.1	Titik Puskesmas di Kota Makassar.....	51
Gambar 5.2	Peta Wilayah Kerja Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar Tahun 2023 .....	52
Gambar 5.3	Lokasi Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar.....	53
Gambar 5.4	Denah Ruangan Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar .....	54
Gambar 5.5	Denah Ruangan Poli Lansia dan Poli Umum Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar .....	54

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Kuesioner Penelitian.....	97
Lampiran 2	Surat Izin Pengambilan Data Awal dari FKM Unhas ke Kepala Dinas Kesehatan Kota Makassar .....	101
Lampiran 3	Surat Izin Pengambilan Data Awal dari Dinas Kesehatan Kota Makassar ke Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar.....	102
Lampiran 4	Surat Permohonan Izin Penelitian dari FKM Unhas ke Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu (PTSP) ..	103
Lampiran 5	Surat Izin Penelitian dari PTSP ke Walikota Makassar .....	104
Lampiran 6	Surat Izin Penelitian dari Walikota Makassar ke Dinas Kesehatan Kota Makassar .....	105
Lampiran 7	Surat Izin Penelitian dari Dinas Kesehatan Kota Makassar ke Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar.....	107
Lampiran 8	Surat Izin Pemeriksaan Sampel Bakteri Udara dan Iklim Kerja ditujukan ke Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar (BBLK).....	107
Lampiran 9	Hasil Pemeriksaan Sampel Bakteri Udara dari BBLK.....	108
Lampiran 10	Hasil Pemeriksaan Iklim Kerja (Suhu, Kelembaban dan Pencahayaan) dari BBLK.....	110
Lampiran 11	Nilai <i>Average Daily Dose Inhalation</i> (ADDinh) pada Responden.....	112
Lampiran 12	Nilai <i>Probabilitas Infection</i> (Pinf) pada Responden .....	113
Lampiran 13	Nilai <i>Hazard Quotient</i> (HQ) pada Responden .....	114
Lampiran 14	Nilai Minimal, Maksimal, dan Rata-rata pada ADDinh, Pinf, dan HQ pada Responden .....	115
Lampiran 15	Hasil Uji <i>Pearson Correlations</i> pengaruh keberadaan Suhu, Kelembaban, Pencahayaan dan Faktor Ekstrinsik terhadap Jumlah Bakteri Udara dalam Ruangan.....	116
Lampiran 16	Gambaran Kondisi Kesehatan Responden .....	118

Lampiran 17	Dokumentasi Alat, Bahan, dan Proses Pengukuran dan Pengambilan Sampel Udara di Ruang Poli Lansia dan Poli Umum Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar .....	119
Lampiran 18	Dokumentasi Pemeriksaan Sampel dan Identifikasi Jenis Bakteri Udara di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar.....	121
Lampiran 19	Riwayat Hidup.....	121



## DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

AC	= <i>Air Conditioner</i>
ADDinh	= <i>Average Daily Dose Inhalation</i>
ALRI	= <i>Acute Lower Respiratory Infection</i>
APEC	= <i>Asian Pacific Economic Committee</i>
ARKL	= <i>Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan</i>
AT	= <i>Averaging Time</i>
BRI	= <i>Building Related Illness</i>
BW	= <i>Average Body Weight</i>
C	= <i>Concentration at exposure point</i>
EF	= <i>Exposure Frequency</i>
EPA	= <i>Environmental Protection Agency</i>
ET	= <i>Exposure Time</i>
GHSA	= <i>Global Health Security Agenda</i>
HAIs	= <i>Healthcare Associated Infections</i>
HC	= <i>Hazard Characterization</i>
HI	= <i>Hazard Index</i>
HQ	= <i>Hazard Quotient</i>
IAQ	= <i>Index Air Quality</i>
IOM	= <i>Institute of Occupational Medicine</i>
IR	= <i>Inhalation Rate</i>
ISPA	= <i>Infeksi Saluran Pernapasan Akut</i>

MAS	= <i>Microbiological Air Sampler</i>
NIH	= <i>National Institute of Health</i>
NIOSH	= <i>The National Institute of Occupational Safety and Health</i>
PM	= <i>Particulate Matter</i>
PPI	= Pencegahan dan Pengendalian Infeksi
PPOK	= Paru Obstruktif Kronik
QMRA	= <i>Quantitative Microbial Risk Assessment</i>
RfD	= <i>Reference dos</i>
SBS	= <i>Sick Building Syndrome</i>
WHO	= <i>World Health Organization</i>

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Udara merupakan komponen yang sangat dibutuhkan dalam kelangsungan makhluk hidup. Udara banyak mengandung zat-zat tertentu seperti karbondioksida, nitrogen, oksigen, jamur, bakteri, partikel kecil, debu dan mikroba lainnya (Waworundeng & Lengkong, 2018). Kualitas udara di dalam dan diluar ruangan dapat mempengaruhi tingkat kesehatan individu (Datau & Lalu, 2020). Manusia biasanya menghirup  $10\text{ m}^3$  udara setiap hari dan berpotensi mengandung berbagai mikroorganisme dalam bentuk koloid yang biasanya dikenal sebagai bioaerosol. Keberadaan mikroba dapat dipengaruhi oleh faktor suhu, kelembaban dan ventilasi udara (Kumar et al., 2022).

Menurut *World Health Organization* (WHO) hampir semua populasi global (99%) menghirup udara yang melebihi batas pedoman WHO dan mengandung polutan tingkat tinggi, dengan negara-negara berpenghasilan rendah dan menengah menderita paparan tertinggi (WHO, 2022). Data WHO menjelaskan bahwa terdapat kurang lebih 3 juta jiwa mengalami kematian akibat pencemaran udara. Namun hanya 0,2 juta jiwa yang disebabkan oleh pencemaran udara di luar ruangan, artinya sebanyak 2,8 juta jiwa dipengaruhi oleh dampak paparan pencemaran udara di dalam ruangan (WHO, 2020; Amri et al., 2022).

Penyakit ditimbulkan akibat dari polusi bioaerosol salah satunya yaitu Infeksi Terkait Pelayanan Kesehatan (*Healthcare Associated Infections*) disingkat HAIs merupakan suatu infeksi yang terjadi di fasilitas pelayanan kesehatan lainnya, baik dalam keadaan seseorang masuk tidak ada infeksi dan tidak dalam masa inkubasi. Hal ini tidak terbatas pada pasien saja tetapi pada tenaga kesehatan yang ada di ruangan tersebut juga termasuk (Permenkes, 2017). Pusat Kesehatan Masyarakat (Puskesmas) menyediakan fasilitas kesehatan yang menyelenggarakan upaya kesehatan masyarakat. Berdasarkan Permenkes RI Nomor 27 Tahun 2017 tentang Pencegahan dan Pengendalian Infeksi (PPI) menjelaskan bahwa PPI merupakan upaya untuk mencegah dan meminimalkan terjadinya infeksi pada pasien, petugas, pengunjung, dan masyarakat sekitar fasilitas pelayanan kesehatan.

Pusat Pengendalian dan Pencegahan Penyakit Amerika Serikat melaporkan bahwa hampir 1,7 juta pasien rawat inap setiap tahun mendapatkan HAIs dan lebih dari 98.000 pasien dengan rincian satu dari 17 orang meninggal karena HAIs. Studi analisis mengenai HAIs di Negara-negara Asia Tenggara (Myanmar, Timor Timor, Indonesia, Filipina, Kamboja, Laos, Singapura, Malaysia, Thailand, Brunei dan Vietnam) menemukan tingkat prevalensi keseluruhan 9,1% dengan mikroorganisme yang paling umum adalah *P. aeruginosa*, spesies *Klebsiella*, dan *Acinetobacter baumannii* (Haque et al., 2018).

Mikroorganisme (bakteri) di tempat pelayanan kesehatan lebih berbahaya dan resisten terhadap antibiotik dan obat. Salah satu contoh dari

potensi HAIs di pelayanan kesehatan salah satunya adalah penyakit ISPA yang terdiri lebih dari 300 jenis bakteri, virus, dan riketsia. Bakteri Penyebab ISPA yaitu *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Bordetella*, *Corynebacterium diphtheriae*, *Bordetella*, *Haemophilus influenza*, *Moraxella catarrhalis* dan *Neisseria* (Agustia Pratiwi & Bintara, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa potensi HAIs khususnya infeksi saluran napas (*airborne disease*) semakin besar terhadap tenaga kesehatan di dalam ruangan.

Pelepasan mikroorganisme ke dalam aerosol meningkatkan beban mikroba di udara dan dapat menyebabkan kontaminasi pada semua permukaan ruang (Zemouri et al., 2020). Penularan dapat terjadi melalui batuk, bersin dan saat berbicara dengan pasien yang memiliki infeksi pernapasan dan bakteri dapat berada di udara dalam waktu yang lama (Sacadura-Leite et al., 2018).

Penelitian yang dilakukan di RSUD Dr. Loekmono Hadi Kudus, Jawa Tengah Indonesia ditemukan jumlah rata-rata mikroba di udara 309,6 CFU/m<sup>3</sup>. Jenis bakteri yang paling banyak ditemukan yaitu *Staphylococcus epidermidis* dan *Bacillus subtilis*, jenis bakteri lain yang ditemukan yaitu *E. coli* dan *Klasiella* (Saptorini et al., 2019). Data hasil uji mikrobiologi yang dilakukan di RS Universitas Hasanuddin menunjukkan total bakteri udara pada ruang poli 1 yaitu 1724 CFU/m<sup>3</sup>, ruang poli 2 yaitu 1468 CFU/m<sup>3</sup> dan ruang poli 3 yaitu 880 CFU/m<sup>3</sup> dengan hasil identifikasi bakteri didapatkan *Staphylococcus aureus* dan *Acinobacter sp* (Abdullah Yazmin A, 2019). Sedangkan penelitian lain di RS Wahidin Sudirohusodo tahun 2020 tepatnya

di ruang ICU dan NICU menunjukkan total bioaerosol pada pagi hari berkisar antara 320–1885 CFU/m<sup>3</sup> dan total bioaerosol pada siang hari berkisar antara 366–1895 CFU/m<sup>3</sup> dengan jenis bakteri yang ditemukan yaitu *Staphylococcus haemolyticus* dan *Bacillus megaterium* (Wisudawan Owildan B, 2020).

Data menunjukkan bahwa Kota Makassar menempati posisi pertama dengan jumlah penduduk terbanyak di Provinsi Sulawesi Selatan. Berdasarkan Data Kesehatan Provinsi Sulawesi Selatan Tahun 2019 jumlah Puskesmas sebanyak 462 unit. Kabupaten/Kota dengan jumlah Puskesmas terbanyak yaitu Kota Makassar sebanyak 46 unit. Salah satu Puskesmas yang ada di Kota Makassar yaitu Puskesmas Kassi Kassi.

Puskesmas Kassi Kassi merupakan puskesmas yang menyanggah status model percontohan nasional dengan berbagai bentuk pelayanan kesehatan lengkap yang menjadi akses pelayanan dasar masyarakat. Salah satu Puskesmas dengan wilayah kerja terluas yaitu Puskesmas Kassi Kassi mencakup beberapa wilayah yaitu Kelurahan Tidung, Bontomakkio, Kassi-Kassi, Mapala, Banta-Bantaeng, dan Karunrung. Berdasarkan data jumlah penduduk di wilayah kerja Puskesmas Kassi Kassi yaitu tahun 2018 sebanyak 87.359 jiwa.

HAIs di pelayanan kesehatan sangat rentan terjadi pada tenaga kesehatan. Permenkes Nomor 27 Tahun 2017 tentang Pedoman Pencegahan dan Pengendalian Infeksi di Fasilitas Pelayanan Kesehatan termasuk Puskesmas wajib menerapkan seluruh program PPI secara berkala dan

dilaporkan. Pengendalian ini berhubungan langsung dengan Sistem HVAC (*Heating, Ventilation, air Conditioning*) yaitu sistem pemanas, ventilasi dan pendingin udara dalam ruangan menjadi hal yang sangat penting untuk dirancang dengan baik dengan tujuan untuk menjaga suhu dan kelembaban dalam ruangan, mengeluarkan udara yang tercemar dan memfasilitasi penanganan udara untuk melindungi petugas dan pasien dari patogen airborne, serta meminimalkan risiko transmisi patogen udara dari pasien infeksi.

Observasi dan pengambilan data awal yang dilakukan di Puskesmas Kassi Kassi menunjukkan pemeriksaan bioaerosol udara (bakteri) di Puskesmas Kassi Kassi belum pernah dilakukan sebelumnya sehingga belum ada bentuk pengkajian risiko infeksi mulai dari identifikasi risiko, analisa risiko, kontrol risiko dan monitoring risiko sesuai penetapan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 27 Tahun 2017 tentang Pedoman Pencegahan dan Pengendalian Infeksi di Fasilitas Pelayanan Kesehatan.

Rancangan penelitian yang akan dilakukan peneliti yaitu menggunakan metode QMRA karena metode ini mampu untuk memperkirakan hubungan kuantitatif yang merujuk pada dampak kesehatan yang merugikan pada yang dapat diperkirakan dari paparan terhadap patogen. Penilaian paparan dengan dosis respon yang digunakan untuk menentukan hubungan antara tingkat paparan (dosis) terhadap suatu patogen dengan pengaruh buruk terhadap kesehatan (respon). Dosis respon yang digabungkan dengan karakterisasi risiko akan menggambarkan risiko akibat paparan

khusus untuk target yang ditentukan, dalam hal ini tenaga kesehatan. Peluang infeksi sangat berhubungan dengan paparan suatu bahaya seperti bioaerosol (bakteri) yang berpeluang pada gangguan kesehatan yang dapat menyebabkan sakit.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian lainnya yaitu dari segi penerapan analisis risiko menggunakan *Quantitative Microbial Risk Assessment* (QMRA), jika dibandingkan dengan beberapa penelitian sebelumnya hanya menunjukkan pada kualitas fisik udara seperti jumlah bakteri, jenisnya dan parameter fisik. Fokus penelitian terkait dengan metode QMRA masih kurang untuk mengetahui besar risiko kesehatan pada seseorang. Perbedaan lainnya yaitu pada lokasi penelitian yaitu di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar tepatnya di ruang poli umum. Berdasarkan beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa potensi penyebaran bakteri penyebab infeksi saluran napas ditemukan di ruang poli umum maka lokasi penelitian ini berada di ruang poli umum serta sampel penelitian yaitu tenaga kesehatan di ruangan tersebut.

Berdasarkan data dan hasil penelitian diatas yang menunjukkan risiko polusi bioaerosol terhadap tenaga kesehata. Maka peneliti ingin melakukan penelitian terkait kualitas udara bioaerosol (bakteri) udara dalam ruang poli umum di Puskesmas menggunakan metode *Quantitative Microbial Risk Assessment* (QMRA) dan pemeriksaan parameter fisik dalam ruang poli umum Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar.



## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian pada latar belakang tersebut, maka dalam penelitian ini memiliki rumusan masalah yaitu “Bagaimana besar risiko kesehatan pada tenaga kesehatan akibat pajanan bioaerosol (bakteri) di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar”.

## **C. Tujuan Penelitian**

### 1. Tujuan Umum

Mengetahui besarnya risiko paparan bioaerosol (bakteri) udara pada tenaga kesehatan dalam ruang poli umum dan poli lansia di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar dengan menggunakan metode *Quantitative Microbial Risk Assessment* (QMRA).

### 2. Tujuan Khusus

- a. Mengetahui konsentrasi bioaerosol (bakteri) udara dalam ruang poli umum dan poli lansia di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar
- b. Mengidentifikasi jenis bioaerosol (bakteri) dalam ruang poli umum di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar.
- c. Mengetahui parameter fisik (suhu, kelembaban, pencahayaan) dan faktor ekstrinsik dalam ruang poli lansia dan poli umum di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar.
- d. Menganalisis risiko QMRA melalui identifikasi bahaya, analisis dosis respon, analisis pemajanan, dan karakterisasi risiko akibat pajanan bioaerosol pada tenaga kesehatan dalam ruang poli umum dan poli lansia di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar.

#### **D. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi sejumlah pihak antara lain:

1. Bagi Institusi Pendidikan

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai referensi untuk penelitian Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) khususnya *Quantitative Microbial Risk Assessment* (QMRA) terkait polusi bioaerosol udara dalam ruang poli umum Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar.

2. Bagi Institusi Kesehatan

Hasil penelitian ini dapat mengukur risiko kesehatan terhadap tenaga kesehatan di Puskesmas Kassi Kassi Kota Makassar, sehingga dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan kebijakan dalam mengantisipasi adanya penyebaran penyakit akibat paparan mikroba dalam ruang.

3. Bagi Masyarakat

Menambah pengetahuan tentang risiko kesehatan khususnya paparan mikroba di dalam ruangan terutama pada tempat pelayanan kesehatan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Tinjauan Umum tentang Kualitas Udara dalam Ruangan

Udara dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu udara bebas (*outdoor air*) dan udara tidak bebas atau biasa disebut udara dalam ruangan (*indoor air*). Pencemaran udara dalam ruangan dapat dipengaruhi oleh agen biotik misalnya partikel debu dan adanya mikroorganisme termasuk bakteri, jamur dan virus. Mikroorganisme yang menyebar di dalam ruangan disebut dengan bioaerosol. Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 1204/Menkes/SK/X/2004 bahwa udara dalam ruang rawat harus bebas dari kuman patogen dengan angka total kuman atau angka mikroba udara 500 CFU/m<sup>3</sup> (Hana Gumiyarna, 2021).

Kondisi lingkungan di dalam ruangan berkontribusi besar terhadap kesejahteraan manusia, karena kebanyakan orang menghabiskan sekitar 90% dari waktu mereka di dalam ruangan, terutama di rumah atau di tempat kerja. Menurut *World Health Organization* (WHO) menjelaskan bahwa polusi udara di dalam ruangan berpengaruh pada keadaan kesehatan manusia bahkan menimbulkan sekitar 3,2 juta kematian per tahun pada tahun 2020 (WHO,2022). Pencemaran udara dalam ruangan dapat dihasilkan dari aktivitas penghuni maupun emisi dari bahan bangunan. Polutan yang berbahaya di dalam ruangan termasuk karbonmonoksida (CO), partikulat (PM), aerosol, dan polutan biologis. Paparan dari kualitas udara dalam

ruangan yang buruk akan berdampak terhadap timbulnya berbagai penyakit (Hromadka et al., 2017).

Menurut EPA *Index Air Quality* (IAQ) menunjukkan kondisi kualitas udara di dalam ruangan mengacu pada keberadaan polutan seperti bahan kimia fisik, faktor biologis dapat berdampak negatif pada tubuh manusia. Parameter utama untuk dapat mengevaluasi IAQ meliputi konsentrasi polutan, kondisi termal (suhu, aliran udara, kelembaban relative), kebisingan, dan pencahayaan.

Menurut *Environmental Protection Agency* (EPA) dari USA bahwa kualitas udara di dalam ruangan (*Indoor air quality*) adalah hasil dari suatu interaksi yang terjadi antara suhu, keadaan tempat, manusia, sistem gedung (desain konstruksi, dan interior ruangan), dan sumber polutan (peralatan gedung, kelembaban ruangan, material, aktifitas yang ada di dalam maupun diluar gedung). Berdasarkan riset yang dilakukan oleh *The National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH) terdapat lima sumber pencemaran dalam ruangan yaitu pencemaran dari alat-alat dalam ruangan, pencemaran di luar gedung, pencemaran akibat bahan bangunan, pencemaran akibat mikroba, dan gangguan ventilasi udara (Auliasari et al., 2021).

Sumber utama dari masalah kualitas udara dalam ruangan dari riset yang dilakukan oleh *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) atau biasa dikenal dengan Institut Nasional untuk Keselamatan dan Kesehatan Kerja menemukan penyebab permasalahan tersebut berasal dari ventilasi yang tidak memadai, kontaminasi dari dalam dan luar gedung,

kontaminasi mikroba, dan kontaminasi dari bahan bangunan (OSHA Technical Manual (OTM), 2022) .

Beberapa sumber pencemaran yang dapat menurunkan kualitas udara dalam ruangan diantaranya (van Tran et al., 2020a) :

1. *Particulate Matter* (PM)

*Particulate Matter* (PM) didefinisikan sebagai partikel karbon yang dengan kandungan bahan kimia organik dan logam. Komponen utama PM adalah sulfat, nitrat, endotoksin, hidrokarbon aromatik polisiklik, dan logam berat (besi, nikel, tembaga, dan seng). Sumber PM berasal dari lingkungan luar, memasak, penggunaan pemanas, kompor, cerobong asap, dan merokok. Dampak kesehatan yang dapat ditimbulkan yaitu kematian dini yang ada pada seseorang yang memiliki penyakit jantung ataupun paru-paru, asma dengan kondisi yang parah, penurunan fungsi paru-paru dan menyebabkan gejala pernapasan.

2. VOCs

Senyawa organik volatil (VOC) dikenal sebagai gas yang mengandung berbagai bahan kimia dipancarkan dari cairan atau padatan. Formaldehida, gas tidak berwarna dengan bau tajam dan yang dilepaskan dari banyak bahan bangunan, seperti papan partikel, kayu lapis, dan lem, adalah salah satunya VOC yang paling luas. Konsentrasi VOC di lingkungan dalam ruangan setidaknya 10 kali lebih tinggi dari di luar ruangan, terlepas dari lokasi bangunan. Umumnya, VOC dalam ruangan dihasilkan dari empat sumber utama yaitu:

- a. Aktivitas manusia, termasuk memasak, merokok, dan penggunaan produk pembersih dan perawatan pribadi;
- b. Reaksi kimia dalam ruangan
- c. Penetrasi udara luar melalui sistem infiltrasi dan ventilasi
- d. Senyawa dari bahan bangunan

### 3. NO<sub>x</sub>

Dua nitrogen oksida utama yaitu nitrogen oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) yang berasal dari sumber pembakaran seperti kompor dan pemanas. Nitrogen oksida dapat teroksidasi dengan cepat untuk membentuk NO<sub>2</sub> sehingga biasanya NO<sub>2</sub> dianggap sebagai polutan utama. Reaksi NO<sub>2</sub> dengan air akan menghasilkan asam nitrat, oksidan yang kuat dan polutan umum di dalam ruangan. Jarak antara bangunan dengan sumber pencemar di luar ruangan akan mempengaruhi kadar NO<sub>2</sub> dalam ruangan.

### 4. Ozon

Ozon merupakan zat pengoksidasi kuat yang dihasilkan oleh reaksi fotokimia O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan VOC di atmosfer. Ozon memiliki reaksi yang cepat dengan beberapa polutan dalam ruangan namun hasil reaksi dapat mengakibatkan iritasi. Sumber utama ozon di dalam ruangan adalah berasal dari atmosfer luar ruangan dan penggunaan listrik. Mesin yang biasanya dapat menghasilkan ozon dalam ruangan yaitu perangkat pemurnian udara, perangkat desinfektan, dan mesin fotocopy. Tingkat

ozon di dalam ruangan biasanya berfluktuasi dengan kisaran 20% sampai 80% dari tingkat ozon di luar ruangan

#### 5. SO<sub>2</sub>

Sulfur dioksida merupakan gas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil dan gabungan dari aerosol serta PM. Sumber emisi dari SO<sub>2</sub> di dalam ruangan termasuk peralatan gas berventilasi, kompor dan asap tembakau. Emisi SO<sub>2</sub> di dalam ruangan biasanya lebih kecil jika dibandingkan dengan luar ruangan karena reaktivasi yang lebih mudah diserap oleh permukaan dalam ruangan.

#### 6. Aerosol

Aerosol dalam ruangan merupakan bentuk aerosol primer yang berasal dari reaksi gas dan partikel di dalam ruangan. Partikel yang berasal dari luar ruangan cenderung menjadi sumber aerosol di dalam ruangan. Aerosol anorganik sekunder adalah *Partikulat Matter* yang terdiri dari unsur anorganik, termasuk sumber antropogenik dan ion yang larut dalam air. Aerosol biologis (bioaerosol) adalah bagian dari PM atmosfer terdiri dari unit penyebaran (spora jamur dan serbuk sari tanaman), mikroorganisme (bakteri dan archaea), atau bahan selular. Keragamannya dalam hal senyawa dan fase (gas, cair, atau padat), aerosol dapat dianggap sebagai sistem dinamis. Paparan aerosol melalui pernafasan telah dikaitkan dengan banyak efek kesehatan yang merugikan, terutama di paru-paru (pintu masuk ke tubuh manusia) dan organ target penting lainnya, seperti jantung dan otak. Mikroorganisme

seperti bakteri, virus, dan jamur dibawa oleh manusia, hewan, dan tanah serta tumbuhan ke dalam ruangan sehingga dapat menyebabkan masalah kesehatan seperti demam, masalah pencernaan, penyakit menular, penyakit kronis penyakit pernafasan.

## **B. Tinjauan Umum tentang Bioaerosol**

Bioaerosol merupakan suspensi koloid yang dibentuk oleh tetesan cairan dan partikel zat padat di udara. Partikel-partikel ini tersuspensi dalam udara dapat terdiri dari bakteri, jamur, virus, fragmen, mikotoksin, endotoksin (bagian dari membran luar dinding sel bakteri gram negatif). Bioaerosol dapat menjadi risiko serius bagi kesehatan populasi, terutama karena bakteri dan jamur di udara dapat menyebabkan penyakit menular (Bragoszewska et al., 2018).

Bioaerosol yang berada di udara diantaranya virus (*Influenza*), protozoa (*Naegleria* dan *Acanthamoeba*), jamur (*Aspergillus*, *Aflatoxins*, dan *Stachybotrys*), dan bakteri (*Legionella* dan *Aztiromycetes*). Keberadaan bioaerosol dalam jumlah yang terbatas tidak akan menimbulkan masalah kesehatan apapun namun jika dalam jumlah tertentu atau melebihi ambang batas yang sudah ditetapkan maka akan berdampak buruk terhadap kesehatan. Keberadaan mikroorganisme udara dalam ruangan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya (Ginting et al., 2022a):



## 1. Suhu

Suhu yang tinggi didalam ruangan akan menyebabkan proses penguapan air dan dapat meningkatkan partikel air sehingga terjadi perpindahan polutan seperti debu ke permukaan sedangkan bakteri bias terbawa oleh angin bersama debu.

## 2. Kelembaban

Jika kelembaban di dalam ruangan di atas 60% maka akan menyebabkan berkembangnya mikroorganisme patogen maupun mikroorganisme yang bersifat allergen. Menurut Permenkes RI 2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara Ruang Rumah dengan kualitas fisik udara kelembaban dengan ambang batas yang memenuhi syarat berada di antara 40%-60%.

Persyaratan prasarana untuk Puskesmas berdasarkan Permenkes No. 43 Tahun 2019 tentang Pusat Kesehatan Masyarakat (Puskesmas) diantaranya untuk Ventilasi minimal 12 kali pertukaran udara per jam untuk menghindari potensi *Airborne diseases* dan pencahayaan (ruang pendaftaran dan rekam medik, ruang pemeriksaan umum, ruang KIA, KB dan Imunisasi, ruang rawat pasca persalinan, ruang kesehatan gigi dan mulut) yaitu dengan standar 200 lux. Standar suhu dan kelembaban menurut fungsi ruang atau unit berdasarkan Permenkes Nomor 1204/Menkes/SK/X/2004 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit untuk ruang perawatan dengan 22-34 °C.

Menurut *Institute of Occupational Medicine* (IOM) bioaerosol merupakan campuran yang kompleks sehingga menyatakan bahwa komponen yang berbeda dari adanya campuran tersebut masing masing memiliki potensi yang berbeda dalam menyebabkan suatu penyakit terhadap individu. Komponen utama dari bioaerosol diantaranya (Susanto et al., 2019):

1. Bakteri

Bakteri dikelompokkan menjadi dua yaitu bakteri gram negatif dan gram positif. Bakteri gram negatif misalnya *Pseudomonas spp*, *Rahnella spp*, *Pantoea agglomerans*, *Alcaligenes spp*, *Bacillus spp*, *Micrococcus spp*, *Staphylococcus spp*, *Streptococcus spp*. Bakteri gram positif contohnya *Actinomyces* termofilik termasuk allergen pernapasan, memiliki ukuran spora yang kecil dan berpotensi menembus paru-paru sehingga dapat menyebabkan penyakit alergi.

2. Jamur dan mould

Udara bebas mengandung jamur yang berbentuk spora tetapi ada yang aktif dan tidak aktif. Jenis jamur yang sering ditemui adalah *Aspergillus fumigatus* yang memiliki potensi untuk menyebabkan infeksi oportunistik sehingga menyebabkan imunitas menjadi rendah. Jenis jamur ini juga dapat menyebabkan alergi. Mould (cendawan) dapat menghasilkan metabolit sekunder yang mengandung mikotoksin atau racun sehingga menyebabkan masalah kesehatan.

### 3. Endotoksin

Lapisan luar dinding sel bakteri gram negatif dan dapat dikeluarkan saat dinding sel rusak. Endotoksin mengandung senyawa lipopolisakarida dan terdapat senyawa lain yang berada di dinding sel bakteri. Akibat dari menghirup endotoksin yaitu menyebabkan penyakit akut dengan gejala flu, myalgia, malaise dan demam) dan penyakit kronik misalnya bronchitis dan penurunan fungsi paru.

### 4. Peptidoglikan dan Poliglukosa

Peptidoglikan merupakan suatu polimer yang terdiri dari gula dan asam amino yang akan membentuk lapisan luar yang homogen pada membrane plasma bakteri sehingga menyebabkan terjadinya inflamasi paru. Poliglukosa dapat ditemukan pada dinding sel yang terdapat pada beberapa jamur misalnya *Aspergillus*. Efek yang dapat ditimbulkan dari paparan tersebut adalah penurunan volume ekspirasi dan gangguan pernapasan.

## C. Tinjauan Umum tentang *Quantitative Microbial Risk Assessment* (QMRA)

Penilaian risiko mikroba kuantitatif atau *Quantitative Microbial Risk Assessment* (QMRA) merupakan suatu aplikasi model matematika dengan paparan dan dosis untuk memprediksi akibat dari paparan patogen. QMRA mengintegrasikan data terkait dengan paparan mikroba dan hubungan efek kesehatan manusia dengan tujuan mengkaji suatu risiko kesehatan akibat dari paparan mikroba yang berbahaya (Whelan et.al., 2017 dalam Wisudawan

O.,B, 2020). Penilaian risiko ini mencakup patogen, virus, bakteri, protozoa dan kemungkinan bahaya lainnya. Namun secara umum QMRA tidak menunjukkan hasil yang merugikan atau tidak tetapi menunjukkan probabilitas bahwa bahaya tersebut akan terjadi. Pendekatan ini menyediakan cara untuk menilai suatu keputusan tentang risiko yang signifikan sehingga ada upaya mitigasi. Penerapan QMRA ini sudah diterapkan dalam standar kualitas mikrobiologis dari air, udara, makanan, dan permukaan yang disentuh (Gurian, 2020 dalam Wisudawan O.,W., 2020)

*Quantitative Microbial Risk Assessment* terdiri dari identifikasi bahaya, penilaian paparan, penilaian efek (hubungan dosis-respon) dan karakterisasi risiko. Penilaian risiko digolongkan menjadi dua kelompok yaitu prospektif dan retrospektif. Prospektif yaitu penilaian risiko yang berlaku untuk potensi bahaya mikroba dengan efek kesehatan manusia yang dapat merugikan tidak ditetapkan. Berikut langkah-langkah Analisis Risiko Mikroba :

### **1. Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*)**

Identifikasi bahaya atau lebih dikenal dengan *Hazard identification* (HI) fokus terhadap agen mikrobiologi yang memiliki potensi untuk menginfeksi dan memiliki efek samping, maka dapat diidentifikasi melalui konteks epidemiologi, pengawasan klinis, informasi lingkungan, dan mikroba (spesifik agen). *Hazard Characterization* (HC) berfokus pada mikroorganisme tertentu dan

mengetahui mekanisme potensial dengan adanya host-patogen, patogenisitas, virulensi, dan respon dosis (Mallongi, 2021).

Prinsip dari karakteristik bahaya dari suatu agen yaitu adanya suatu kemampuan untuk dapat menginfeksi dan menyebabkan penyakit pada manusia serta tingkat keparahan yang dapat ditimbulkan dan ketersediaan suatu tindakan dalam pencegahan dan pengobatan penyakit tersebut. Menurut WHO terdapat empat kelompok mikroorganisme menurut risikonya diantaranya (Syahputra, 2017):

**Tabel 2.1**  
**Pengelompokan Mikroorganisme Berdasarkan Risiko Infeksi**

No.	Kelompok Risiko		Jenis Mikroorganisme
	<i>National Institute of Health (NIH)</i>	<i>World Health Organization (WHO)</i>	
1.	Agen yang tidak dapat menyebabkan suatu penyakit pada manusia dewasa	Rendahnya atau tidak adanya risiko agen terhadap individu dan suatu komunitas	<i>Asporogenic bacillus, Escherichia coli K12, Adenovirus-associated virus (AAV), Herpes virus saimiri Bocoloviruses, Lactobacillus sp.</i>

No.	Kelompok Risiko		Jenis Mikroorganisme
	<i>National Institute of Health (NIH)</i>	<i>World Health Organization (WHO)</i>	
2.	Agen yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia namun dampaknya jarang yang berakibat fatal	Mikroorganisme yang tidak dapat menyebabkan suatu penyakit pada manusia maupun hewan. Risiko yang ditimbulkan pada individu sedang dan terhadap komunitas rendah	<i>Leishmania sp,</i> <i>Adenovirus,</i> <i>Hepatitis A, B, C, D, dan E.</i> <i>Escherichia coli,</i> <i>Neisseria meningitides,</i> <i>Cryptococcus neoformus,</i> <i>Treponema pallidum, Ascaris sp.</i>
	Adanya tindakan pencegahan dan pengobatan dari suatu penyakit yang ditimbulkan	Suatu pencegahan yang menyebabkan penyakit pada manusia dan hewan namun bukan suatu bahaya yang dianggap serius bagi suatu komunitas dan lingkungan	
3.	Agen yang menyebabkan penyakit yang serius dan berakibat pada kematian	Risiko yang ditimbulkan pada individu tinggi sedangkan pada komunitas rendah	<i>Brucella sp.,</i> <i>Coxiella burnetii,</i> <i>Hanta virus,</i> <i>Monkey pox,</i> <i>Mycobacterium tuberculosis,</i>

No.	Kelompok Risiko		Jenis Mikroorganisme
	<i>National Institute of Health (NIH)</i>	<i>World Health Organization (WHO)</i>	
			<i>Coccidioides immitis</i>
	Tindakan pencegahan maupun pengobatan secara umum belum ada. Risiko yang ditimbulkan terhadap individu tinggi sedangkan pada komunitas rendah	Patogen dapat menyebabkan penyakit yang serius terhadap manusia dan penyakit ini tidak menular antar individu	
4.	Agen dapat menyebabkan penyakit yang serius dan berkibat pada kematian	Tindakan pencegahan maupun pengobatan telah tersedia. Risiko yang ditimbulkan tinggi baik terhadap individu maupun komunitas	<i>Ebola virus, Marburg virus, Hemorrhagic fever virus, Herpes virus simiae, Lassa virus, Machupo virus</i>
	Tindakan pencegahan maupun pengobatan tidak tersedia	Tindakan pencegahan maupun pengobatan tidak tersedia	
	Risiko yang ditimbulkan terhadap suatu individu dan komunitas tinggi	Patogen yang menyebabkan penyakit serius pada manusia dan termasuk penyakit menular	

## 2. Analisis Dosis Respon (*Dose Response Assessment*)

Analisis dosis respon merupakan tahapan yang digunakan untuk dapat menentukan suatu hubungan antara besar dosis atau paparan mikroba yang dapat berdampak pada terjadinya suatu efek yang merugikan terhadap kesehatan manusia. Perhitungan dosis inhalasi yang mempertimbangkan berbagai faktor : tingkat inhalasi, waktu paparan, dan konsentrasi bakteri udara. Tingkat inhalasi beragam diantaranya tingkat aktivitas, usia, berat badan, jenis kelamin dan kondisi fisik (Carducci et al., 2016).

Berikut rumus Beta Poisson untuk menentukan nilai dosis respon perorangan sebagai berikut:

$$P_t(d) = 1 - \left(1 + \frac{d}{\eta}\right)^{-r}$$

Keterangan :

$P_t(d)/P_{inf}$  = Probabilitas infeksi (d)

d = Dosis (CFU/orang)

$\eta$  = Model parameter (3,36)

r = Model parameter infektivitas (3.04)

## 3. Penilaian Paparan (*Exposure Assessment*)

Penilaian paparan bertujuan untuk menentukan rute, frekuensi, durasi dan besarnya jumlah paparan terhadap bahaya mikroba yang terdapat pada suatu populasi. Tingkat paparan dan penilaian risiko bakteri di udara diperkirakan berdasarkan pada model



yang direkomendasikan oleh EPA US. Tingkat dosis harian rata-rata (ADD) melalui inhalasi dievaluasi menggunakan persamaan berikut (Wang et al., 2018) (Yang et al., 2019):

$$\text{ADD}_{\text{inh}}[\text{CFU}/(\text{kg.hari})] = \frac{C \times IR \times EF \times ET}{BW \times AT}$$

Keterangan :

ADD inh	= <i>Average Daily Dose</i> / Dosis rata-rata harian inhalasi (CFU/kg/hari)
C	= <i>Concentration at exposure point</i> / Konsentrasi pada titik paparan (CFU/m <sup>3</sup> )
IR	= <i>Inhalation Rate</i> / Tingkat inhalasi (m <sup>3</sup> /hari)
EF	= <i>Exposure Frequency</i> / Frekuensi paparan (hari/tahun)
ET	= <i>Exposure Time</i> / Waktu paparan (tahun)
BW	= <i>Body Weight</i> / Berat badan (kg)
AT	= <i>Averaging Time</i> / Waktu hidup rata-rata

#### 4. Karakteristik Risiko (*Risk Characterisation*)

Karakterisasi risiko merupakan penilaian paparan dan dosis respon untuk memberikan suatu bentuk evaluasi secara keseluruhan dari kemungkinan adanya populasi yang akan menderita efek buruk dari mikroba. Karakterisasi risiko kesehatan dapat dinyatakan sebagai *Hazard Quotient* (HQ) sebagai tingkat risiko untuk efek non

karsinogenik dan dapat dihitung dengan membagi asupan nonkarsinogenik *risk agent* dengan RfD (Wang et al., 2018):

$$\text{HQ} = \frac{\text{ADD}}{\text{RfD}}$$

Keterangan :

HQ = *Hazard Quotient* / Besar risiko paparan agen non karsinogenik

ADD = Rata-rata dosis harian (CFU/kg/hari)

RfD = *Reference dose* (Referensi dosis = 5000 CFU/m<sup>3</sup>)

*Hazard Quotient* berarti rasio tingkat paparan tunggal selama periode waktu tertentu (misalnya, subkronis) dengan dosis referensi untuk zat yang berasal dari periode paparan serupa.

#### **D. Tinjauan Umum tentang Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)**

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan merupakan suatu pendekatan yang digunakan untuk melakukan suatu penilaian risiko kesehatan khususnya terkait dengan lingkungan dengan memperoleh output berupa karakterisasi risiko (dinyatakan sebagai tingkat risiko) yang dapat menjelaskan agen risiko atau parameter lingkungan berisiko terhadap kesehatan masyarakat atau tidak. Menurut *Risk Assessment and Management Handbook* tahun 1996, analisis risiko memiliki dua istilah yaitu *risk analysis* dan *risk assessment*. *Risk analysis* mencakup 3 komponen diantaranya (Ditjen PP dan PL Kemenkes, 2012) :

### 1. Penelitian

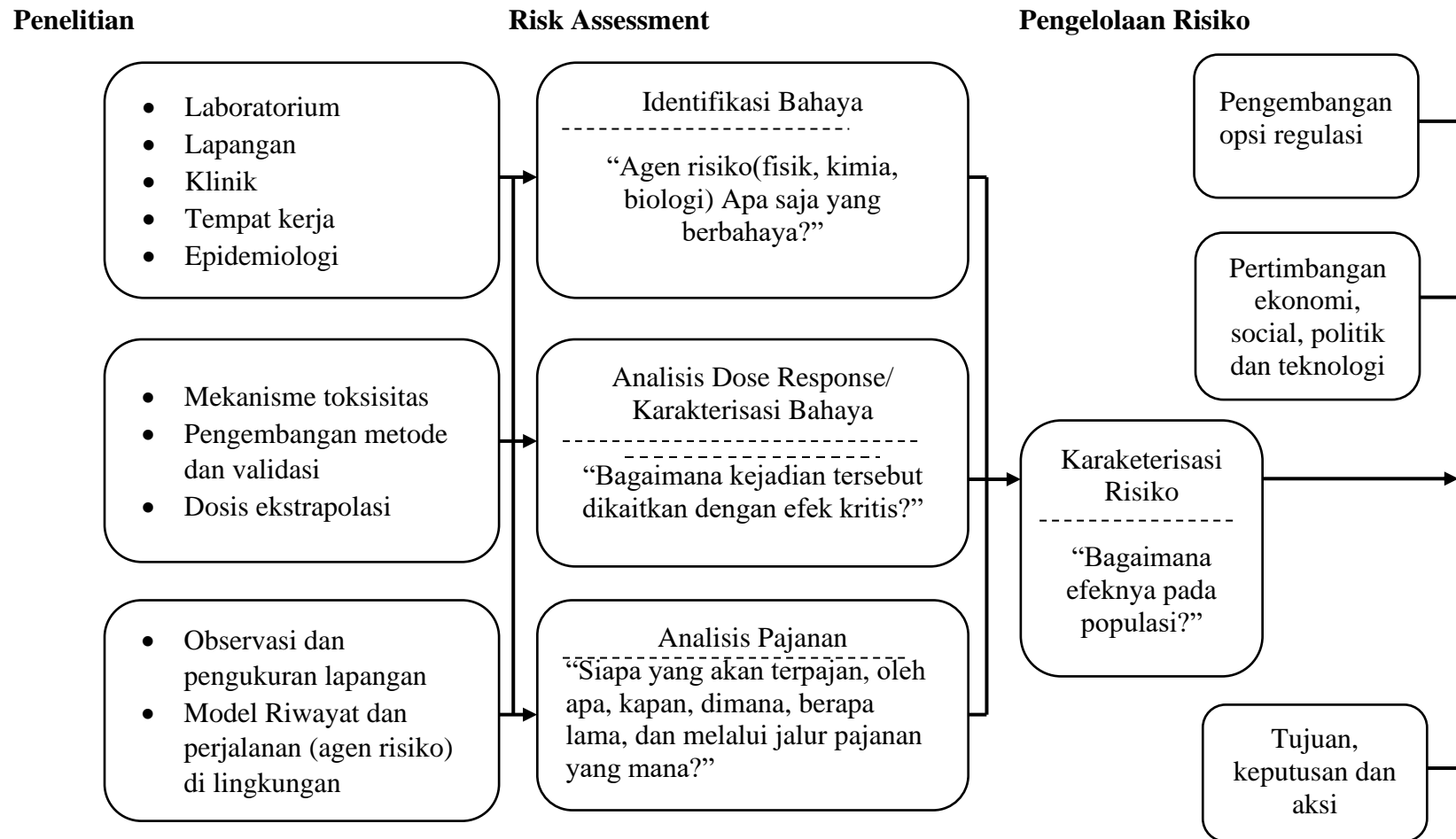
Penelitian dalam hal ini untuk membangun suatu hipotesis, mengamati, mengukur dan merumuskan dampak dari suatu bahaya terhadap tubuh manusia. Penelitian dapat dilakukan di laboratorium maupun di lapangan dengan tujuan untuk mengetahui efek, respon dan perubahan yang akan terjadi pada tubuh manusia terhadap dosis dan nilai ambang batas yang aman bagi tubuh dari agen risiko tersebut.

### 2. *Risk Assessment* atau Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan yang dilakukan untuk mengidentifikasi suatu bahaya yang dapat membahayakan, memahami hubungan antara dosis dari agen risiko dan respon dari tubuh yang dapat diketahui melalui berbagai penelitian, mengukur seberapa besar pajanan dari agen risiko dan menetapkan tingkat risiko dan efek yang dapat ditimbulkan pada populasi.

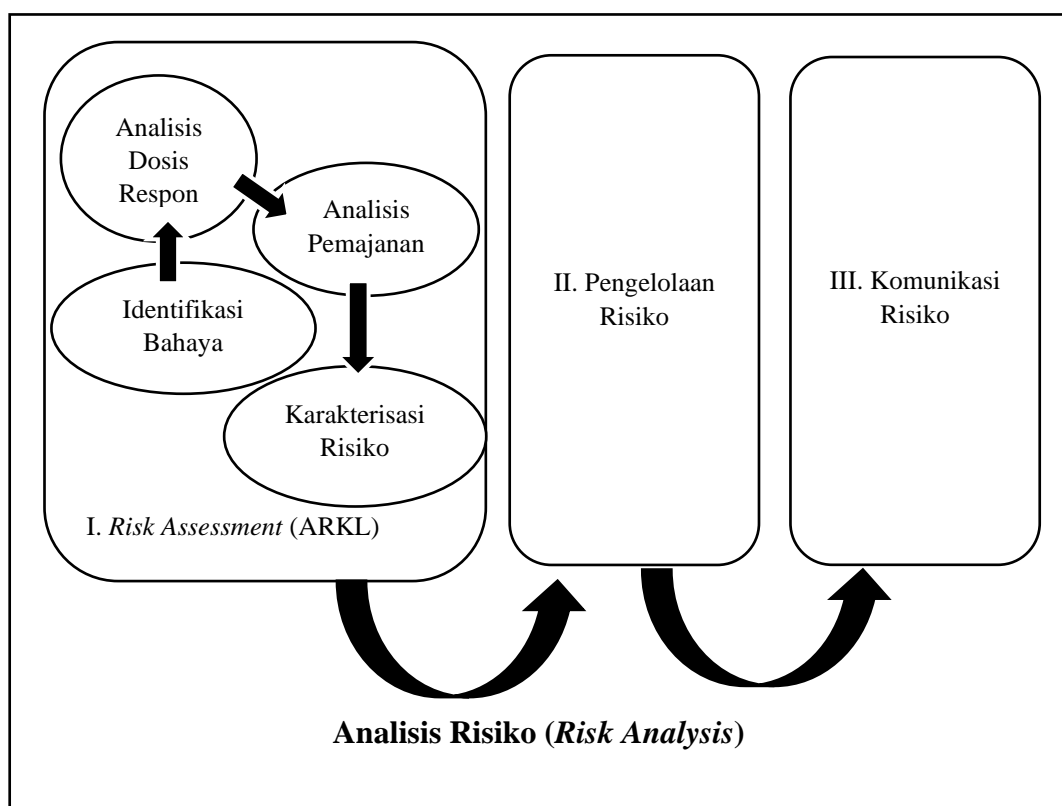
### 3. Pengelolaan Risiko

Pengelolaan risiko dapat dilakukan ketika *Risk Assessment* menetapkan tingkat risiko suatu agen risiko tidak aman atau dapat dikatakan tidak bisa diterima pada suatu populasi tertentu melalui suatu langkah pengembangan melalui rekomendasi kebijakan dan regulasi.



Gambar 2.1 Paradigma atau Proses *Risk Analysis*  
(National Risk Council, 1986 dalam Dirjen PP dan PL Kemenkes, 2012 )

Pada gambar diatas menunjukkan bahwa proses analisis dimulai dari penelitian agen risiko, dosis respon dan dampak terhadap kesehatan manusia dilakukan oleh peneliti. Implementasi dari *Risk Assessment* dan pengelolaan oleh praktisi kesehatan lingkungan. Namun secara operasional, pelaksanaan dari ARKL tidak terbatas pada analisis risiko saja tetapi menyusun scenario pengelolaannya.



Gambar 2.2 Bagan Alir Penerapan ARKL  
(Mallongi, 2021)

Pada gambar diatas menunjukkan bahwa ARKL menunjukkan pendekatan untuk penilaian risiko kesehatan dilingkungan dengan output karakterisasi risiko dan pengukuran besar risiko kesehatan.

## **E. Tinjauan Umum tentang Penyakit Akibat Kontaminasi Udara dalam Ruang**

Bioaerosol sebagai penyebab berbagai penyakit manusia seperti infeksi/pernapasan. Bioaerosol juga ditemukan di sebagian besar lingkungan tertutup. Konsentrasi bioaerosol yang lebih tinggi dapat diamati di dalam ruangan dibandingkan dengan di luar ruangan karena berbagai sumber internal yang umumnya berhubungan dengan aktivitas manusia. Tingkat ventilasi mekanis atau alami minimal 15% dari luas lantai, kegiatan pembersihan dan pemeliharaan dapat memainkan peran penting dalam meningkatkan kualitas udara dalam ruangan. Namun, bahkan di bawah kondisi ideal untuk pemeliharaan preventif, kemungkinan paparan bioaerosol bertahan (Kim et al., 2018). Beberapa dampak bioaerosol di dalam ruangan diantaranya (van Tran et al., 2020b) :

### 1. *Building-Associated Illness*

Paparan dalam ruangan terhadap kontaminan anorganik, organik, fisik, dan biologis terjadi dan berkelanjutan. Oleh karena itu, efek berbahaya akibat *Indoor Air Pollution* (IAP) terhadap kesehatan manusia selalu menarik perhatian dan perhatian yang besar. Menurut WHO, penyakit yang berhubungan dengan bangunan mengacu pada penyakit apa pun yang disebabkan oleh faktor lingkungan dalam ruangan, yang umumnya dibagi menjadi dua kategori yaitu *Sick Building Syndrome* (SBS) dan penyakit yang berhubungan dengan kondisi bangunan atau *Building Related Illness* (BRI).

SBS merupakan sindrom penyakit yang diakibatkan dari kondisi faktor lingkungan dalam ruangan. Berdasarkan Permekes Nomor 27 Tahun 2017 tentang PPI, faktor yang dapat mempengaruhi penularan infeksi di dalam ruangan yaitu jumlah petugas kesehatan, pasien, luas ruangan, ventilasi dan kualitas udara. SBS merupakan kumpulan gejala dari suatu penyakit. Gejala SBS antara lain sakit kepala, tenggorokan kering, kehilangan konsentrasi, iritasi mata dan kulit.

## 2. Infeksi Saluran Pernafasan Akut

Sistem pernapasan seringkali menjadi sasaran utama efek IAP karena seringnya polutan masuk ke dalam tubuh manusia melalui inhalasi. Tergantung pada area saluran pernapasan yang terkena, infeksi saluran pernapasan akut dapat diklasifikasikan menjadi infeksi saluran pernapasan akut bagian bawah atau *Acute Lower Respiratory Infection* (ALRI) dan infeksi pernapasan bagian atas atau *Upper Respiratory Infection* (URI). URI adalah penyakit yang melibatkan pernapasan bagian atas dengan umum gejala, seperti batuk, sinusitis, dan otitis media, dan seringkali bersifat ringan dan disebabkan oleh polutan biologis (virus, bakteri, jamur, spora jamur, dan tungau). Sementara itu ALRI infeksi akut pada paru-paru, disebabkan oleh virus atau bakteri, mengakibatkan radang paru-paru.

Penyakit menular timbul dari paparan agen biologis (misalnya, bakteri, virus, jamur, dan parasit) melalui transmisi agen infeksius secara langsung (yaitu, menjilat, menyentuh, menggigit) dan/atau kontak tidak

langsung (yaitu, batuk atau bersin), transmisi melalui udara, dan penularan melalui vector. Kebanyakan orang terinfeksi melalui penghirupan dan/atau terkena petting unggas yang terinfeksi, aerosol yang terinfeksi *C. psittaci*, dan penanganan yang terinfeksi jaringan unggas

### 3. Penyakit Paru

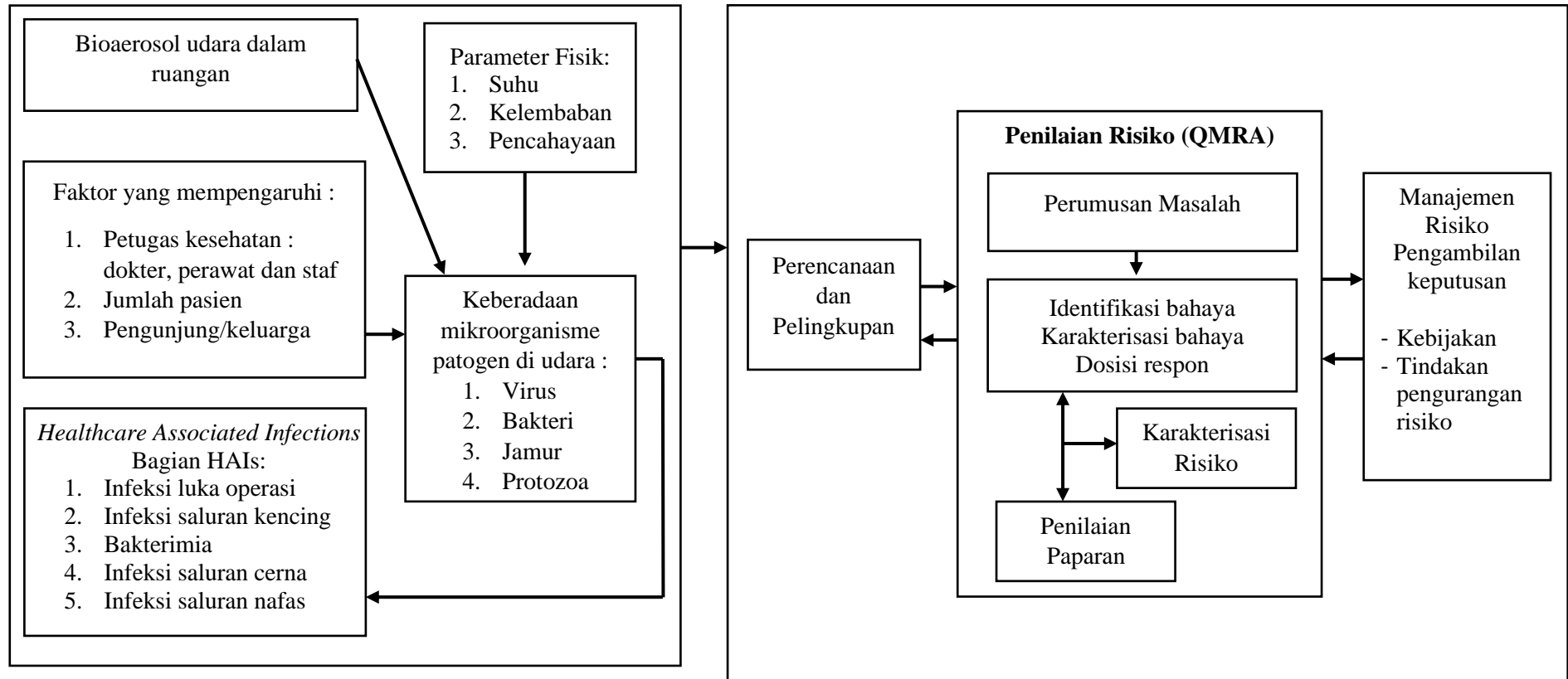
Polutan udara yang dihirup berhubungan dengan penyakit alergi dan penyakit paru-paru, seperti asma, dermatitis atopik, dan rinitis alergi. Apalagi, aktivitas merokok dianggap sebagai salah satu faktor terpenting dalam perkembangan penyakit paru inflamasi kronis, termasuk Penyakit Paru Obstruktif Kronik (PPOK), asma, dan kanker paru-paru. Selain itu, faktor biologis, seperti alergen, virus, dan zat bakteri, cenderung menginduksi reaksi inflamasi yang parah dan menyebabkan disfungsi kekebalan dan peradangan kronis, yang mengarah terhadap penyakit PPOK.

### 4. Penyakit Kardiovaskular (CVD)

Penggunaan bahan bakar padat di rumah tangga dapat mengeluarkan berbagai polutan yang terkait dengan CVD. Paparan PM<sub>2.5</sub> meningkatkan kejadian CVD akut tertentu, seperti stroke iskemik, infark miokard, gagal jantung, dan fibrilasi atrium.



## F. Kerangka Teori



Gambar 2.3 Teori dimodifikasi dari (EPA, 2012), (Wisudawan Owildan B, 2020), (Mallongi, 2021)