

# **DISERTASI**

**ANALISIS RISIKO DAN MODEL DINAMIS POLUSI  
BIOAEROSOL PADA RSUP. Dr. WAHIDIN  
SUDIROHUSODO MAKASSAR**

**QUANTITATIVE MICROBIAL RISK ASSESSMENT AND  
DYNAMIC MODEL OF BIOAEROSOL POLLUTION IN  
RSUP. Dr. WAHIDIN SUDIROHUSODO MAKASSAR**

**OWILDAN WISUDAWAN B  
K013172001**



**PROGRAM DOKTOR ILMU KESEHATAN MASYARAKAT  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2020**



**ANALISIS RISIKO DAN MODEL DINAMIS POLUSI  
BIOAEROSOL PADA RSUP. Dr. WAHIDIN  
SUDIROHUSODO MAKASSAR**

**Disertasi**

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Doktor

**Program Studi  
Kesehatan Masyarakat**

Disusun dan diajukan oleh

**OWILDAN WISUDAWAN B**

kepada

**PROGRAM DOKTOR ILMU KESEHATAN MASYARAKAT  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2020**



Optimization Software:  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

## DISERTASI

### ANALISIS RISIKO DAN MODEL DINAMIS POLUSI BIOAEROSOL PADA RSUP DR.WAHIDIN SUDIROHUSODO MAKASSAR

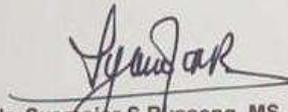
Disusun dan diajukan oleh

**OWILDAN WISUDAWAN B**  
Nomor Pokok K013172001

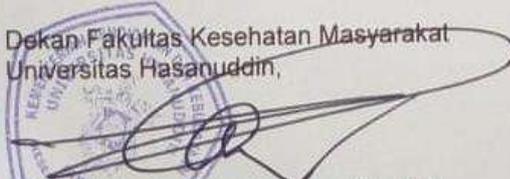
Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi  
pada tanggal 26 Agustus 2020  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui  
Komisi Penasehat,

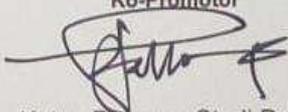
  
Prof. Anwar Mallongi, SKM, M.Sc.Ph.D  
Promotor

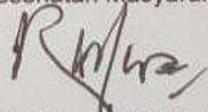
  
Dr. dr. Syamsiar S. Russeng, MS  
Ko-Promotor

Dr. Ir. Muh. Hatta, M.Si  
Ko-Promotor

  
Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat  
Universitas Hasanuddin,

  
Dr. Aminuddin Syam, SKM, M. Kes, M. Med. Ed.

  
Ketua Program Studi Doktor (S3)  
Ilmu Kesehatan Masyarakat

  
Prof. Dr. Ridwan A, SKM, M. Kes, M. Sc. PH



## PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Owildan Wisudawan B  
NIM : K013172001  
Program Studi : Kesehatan Masyarakat

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan disertasi yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dengan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika pedoman penulisan disertasi.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 22 Juli 2020

Yang menyatakan



Owildan Wisudawan B



## PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim. Alhamdulillah, Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufiq, dan hidayahnya, dan Shalawat dan Salam penulis kirimkan kepada junjungan kita Rasulullah, Nabi Muhammad SAW yang menjadi teladan kita semua. Alhamdulillah, Wasyukurillah, merupakan karunia dan nikmat yang teramat besar yang telah diberikan oleh penulis sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan disertasi ini yang berjudul “Analisis Risiko dan Model Dinamis Polusi Bioaerosol Pada RSUP. Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar”.

Penulis menyadari bahwasanya penyusunan disertasi ini tidak dapat terselesaikan tanpa adanya bantuan, pembinaan, motivasi, dan bimbingan yang tulus dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati dan rasa hormat, penulis menyampaikan terima kasih yang setinggi-tingginya terkhusus kepada yang terhormat:

1. Prof.Anwar Mallongi,SKM.,M.Sc,Ph.D, Dr.dr.Syamsiar S.Russeng,MS, Dr.Ir.Muh.Hatta,M.Si selaku Promotor dan Ko-Promotor yang telah banyak meluangkan waktu, pemikiran, dan motivasi yang tinggi dalam



memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dalam penyusunan disertasi tersebut.

2. Dr.Aminuddin Syam, SKM.,M.Kes.,M.Med.Ed selaku Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin yang telah banyak memberikan bantuannya dan kesempatan kepada penulis untuk melanjutkan studi di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.
3. Prof.Dr.Ridwan Amiruddin,S.KM.,M.Kes.,M.Sc.PH. selaku ketua program studi S3 kesehatan masyarakat Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin dan penguji dari bagian Epidemiologi Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin yang telah meluangkan waktunya untuk menguji, banyak memberikan saran, masukan-masukan, dan motivasi selama penulis menimba ilmu pengetahuan di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.
4. dr.Rizalinda Sjahril, M.Sc.,Ph.D selaku penguji dari Fakultas Kedokteran bagian Mikrobiologi yang telah meluangkan waktunya untuk menguji, banyak memberikan saran, masukan, dan meluangkan waktunya untuk berkonsultasi terkait ilmu Mikrobiologi dan kaitannya dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis.



5. Hanifa M. Denny, SKM.,MPH, Ph.D selaku penguji eksternal dari Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro yang telah meluangkan waktunya untuk menguji, memberikan saran, masukan, dan motivasi kepada penulis.
6. Dr.Fridawaty Rivai, SKM.,M.Kes selaku penguji dari bagian manajemen Rumah Sakit Fakultas Kesehatan Masyarakat yang telah meluangkan waktunya untuk menguji, banyak memberikan saran, masukan-masukan dan motivasi kepada penulis.
7. Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M.A. selaku Rektor Universitas Hasanuddin yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti Pendidikan di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.
8. Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Dekan Sekolah Pascasarjana Unhas yang telah memberikan kesempatan kepada penulis melanjutkan studi pada Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin.
9. Seluruh Dosen pengajar dan Staf pegawai Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang luas serta bantuan selama penulis menimba ilmu pengetahuan di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.



10. Dr.dr.Khalid Saleh, Sp.PD-KKV,FINASIM, M.Kes selaku Direktur Utama RSUP.Dr.Wahidin Sudirohusodo Makassar beserta jajaran direksi dan seluruh staf ruangan ICU dan NICU RSUP.Dr.Wahidin Sudirohusodo Makassar yang telah memberikan izin kepada peneliti untuk melakukan penelitian, memberikan arahan, bantuan, dan pemikiran yang kreatif selama peneliti melakukan penelitian.
11. Kepala dan seluruh staf Bagian Mikrobiologi Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar yang telah bekerjasama dalam membantu penulis melakukan pemeriksaan sampel sesuai tujuan penelitian.
12. Rekan-rekan mahasiswa S3, khususnya angkatan 2016 dan 2017 yang senantiasa memberikan bantuan, pemikiran-pemikiran yang kreatif, motivasi, dan canda serta tawa dalam mengisi hari-hari bersama di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.
13. Semua pihak yang telah membantu dan ikut serta dalam proses penyusunan disertasi ini.

Dalam penyelesaian disertasi ini penulis mendapatkan banyak bantuan dan motivasi yang tinggi, baik pada saat penulis melakukan penyusunan proposal penelitian, penyusunan hasil penelitian, dan penyusunan disertasi. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati saya yang terdalam, penulis mengucapkan terima kasih yang sangat tulus kepada kedua orang tuaku tersayang Ayahanda Drs. H. Musa Bunyamin,



SH dan Ibunda Hj. Hasbaniah, Istriku tercinta dr. Widyarizkhi Ayuditha Pratiwi dan saudara kandungku yang tercinta serta seluruh keluarga besarku yang telah memberikan do'a restu, motivasi, masukan-masukan, dan cinta yang tulus untuk keberhasilan penyelesaian penyusunan disertasi tersebut.

Penulis menyadari bahwasanya penyusunan disertasi ini masih jauh dari kesempurnaan, tetapi segala bentuk kekeliruan dan kesalahan dalam penyusunan disertasi ini baik dari segi kata-kata maupun cara penyusunannya yang masih perlu diperbaiki. Untuk itu kepada pembaca, saya selaku penulis dengan senang hati menerima saran, masukan, kritikan yang bersifat membangun. Semoga disertasi ini memberikan manfaat yang besar terhadap kelanjutan ilmu pengetahuan terkhusus dalam bidang kesehatan dan pembangunan kesehatan masyarakat yang paripurna. Wabillahitaufiq Walhidayah. Wassalam Alaikum Warahmatullahi Wabarakatu.

Makassar, 22 Juli 2020

Owildan Wisudawan B



## ABSTRAK

**OWILDAN WISUDAWAN B.** Analisis Risiko dan Model Dinamis Polusi Bioaerosol Pada RSUP. Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar (Dibimbing oleh **Anwar Mallongi, Syamsiar S Russeng, dan Muh. Hatta**)

Rumah Sakit merupakan tempat yang berpotensi menyebabkan HAIs oleh paparan bioaerosol. Penelitian ini bertujuan untuk membangun skenario model dinamis dan analisis risiko polusi bioaerosol dalam ruangan ICU dan NICU RSUP. Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar terhadap potensi kejadian HAIs.

Jenis penelitian adalah analitik observasional dengan rancangan *cross-sectional* melalui pendekatan model dinamis dan penilaian risiko QMRA. Pengolahan dan analisis data menggunakan uji regresi linear, perhitungan risiko QMRA, dan membangun model dinamis dengan STELLA Versi 9.0.2.

Hasil penelitian melaporkan bahwa model dinamis yang dibangun yaitu simulasi skenario 1 (skenario pelaksanaan pengelolaan sarana), skenario 2 (penegakan aturan kunjungan), dan skenario 3 (penggunaan HEPA Filter) dengan estimasi 120 jam dan 365 hari yang menghasilkan skenario 111 (simulasi tanpa intervensi) dan skenario 221, 331, 112, 222, dan 332 (dengan intervensi). Kepadatan rata-rata bioaerosol ruangan ICU yaitu 500 CFU/m<sup>3</sup> dan ruangan NICU yaitu 350 CFU/m<sup>3</sup>. Adanya kombinasi skenario membuat bioaerosol dalam ruangan ICU mengalami penurunan yang signifikan hingga 3 CFU/m<sup>3</sup> dan ruangan NICU hingga 1 CFU/m<sup>3</sup>. Analisis risiko bioaerosol melaporkan bahwa risiko HAIs pada ICU lebih tinggi dibandingkan NICU, dan populasi laki-laki lebih berisiko daripada perempuan, dimana ditemukan pada ICU bakteri *Staphylococcus haemolyticus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus cereus/thuringirns/mycoides*, *Spingomonas paucimobilis*, *Acinetobacter baumannii*, *Geobacillus sterothermophilus*, *Staphylococcus gallinarum*, *Cronobacter sakazaki* dan jamur *Absidia* spp. Sedangkan ruang NICU ditemukan bakteri *Staphylococcus haemolyticus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus cereus/thuringirns/mycoides*, *Spingomonas paucimobilis*, *Acinetobacter lwoffii*, *Kocuria rosea*, *Staphylococcus hominis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas stutzeri* dan *Micrococcus luteus*. Penelitian ini menyimpulkan bahwa skenario 332 sangat efektif menurunkan bioaerosol. Upaya perbaikan kualitas lingkungan diperlukan untuk mengurangi polusi bioaerosol.

**Kata Kunci:** Bioaerosol, ICU, NICU, QMRA, Skenario Model Dinamis



## ABSTRACT

**OWILDAN WISUDAWAN B.** Risk Analysis and Dynamic Models of Bioaerosol Pollution in RSUP. Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar (Supervised by **Anwar Mallongi, Syamsiar S Russeng, and Muh. Hatta**)

Hospital is a place that has the potential to cause HAIs by exposure to bioaerosol. This study aims to build a dynamic model scenario and risk analysis of bioaerosol pollution in the ICU and NICU rooms of RSUP. Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar on the potential occurrence of HAIs.

This type of research is observational analytic with cross-sectional design through dynamic model approaches and QMRA risk assessment. Data processing and analysis using linear regression tests, QMRA risk calculations, and building dynamic models with STELLA Version 9.0.2.

The results of the study report that the dynamic model built are simulation scenario 1 (implementation of facility management), scenario 2 (enforcement of visiting rules), and scenario 3 (using HEPA Filter) with an estimated 120 hours and 365 days which results in scenario 111 (simulation without intervention) and scenarios 221, 331, 112, 222, and 332 (with intervention). The average bioaerosol ICU room is 500 CFU/m<sup>3</sup> and the NICU room is 350 CFU/m<sup>3</sup>. The existence of a combination of scenarios makes bioaerosol in the ICU room have decreased significantly to 3 CFU/m<sup>3</sup> and NICU room to 1 CFU/m<sup>3</sup>. Risk analysis of bioaerosol reports that the risk of HAIs in the ICU is higher than the NICU and the male population is more at risk than women, which is found in ICU bacteria *Staphylococcus haemolyticus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus cereus/thuringirns/mycoides*, *Spingomonas paucimobilis*, *Acinetobacter baumannii*, *Geobacillus sterothermophilus*, *Staphylococcus gallinarum*, *Cronobacter sakazaki* and *Absidia* spp. While, the NICU room was found by *Staphylococcus haemolyticus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus cereus/thuringirns/mycoides*, *Spingomonas paucimobilis*, *Acinetobacter Iwoffii*, *Kocuria rosea*, *Staphylococcus hominis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas stutzeri* and *Micrococcus luteus*. This research concludes that the scenario 332 is very effective in reducing bioaerosol. Efforts to improve environmental quality are needed to reduce bioaerosol pollution.

**Keywords:** Bioaerosol, Dynamic Model Scenarios, ICU, NICU, QMRA



# DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul .....	i
Lembar Pengajuan Disertasi.....	ii
Lembar Pengesahan Disertasi .....	iii
Lembar Pernyataan Keaslian Disertasi .....	iv
Prakata .....	v
Abstrak .....	x
Abstract .....	xi
Daftar Isi .....	xii
Daftar Tabel .....	xv
Daftar Gambar .....	xviii
Daftar Lampiran .....	xxi
Daftar Istilah / Singkatan .....	xxiii
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	8
C. Tujuan Penelitian .....	10
D. Manfaat Penelitian.....	12



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....	14
A. Tinjauan Umum Pencemaran Bioaerosol Udara Dalam Ruang ..	14
B. Tinjauan Umum Mikroorganisme Dalam Ruang.....	17
C. Tinjauan Umum Rumah Sakit .....	43
D. Tinjauan Umum Penyakit Terkait Bioaerosol .....	60
E. Tinjauan Umum Hospital Acquired Infections (HAIs).....	62
F. Tinjauan Umum HEPA Filter .....	66
G. Tinjauan Umum Pencegahan Terkait Bioaerosol dan HAIs .....	72
H. Tinjauan Umum Quantitative Microbial Risk Assessment .....	76
I. Tinjauan Umum Model Dinamis .....	85
J. Kerangka Teori.....	103
K. Kerangka Konsep Penelitian .....	104
L. Sintesa Hasil Penelitian Terkait.....	105
M. Hipotesis Penelitian.....	129
N. Definisi Operasional dan Kriteria Objektif.....	130
BAB III. METODE PENELITIAN .....	135
A. Jenis Penelitian .....	135
B. Lokasi Penelitian .....	137
C. Populasi dan Sampel .....	138
D. Alat, Bahan dan Cara Kerja.....	139
E. Pengumpulan Data.....	145



F. Pengolahan dan Analisis Data .....	147
G. Alur Penelitian .....	151
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	155
A. Hasil Penelitian .....	155
B. Pembahasan .....	207
C. Keterbatasan Penelitian .....	263
D. Kekuatan dan Kelemahan Penelitian .....	264
BAB V. PENUTUP .....	268
A. Kesimpulan .....	268
B. Saran.....	270
DAFTAR PUSTAKA.....	271
LAMPIRAN.....	315
RIWAYAT HIDUP	



## DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
Tabel 2.1	Indeks Angka Kuman Menurut Fungsi Unit	48
Tabel 2.2	Standar Baku Mutu Suhu & Kelembaban Unit	48
Tabel 2.3	Standar Baku Mutu Intensitas Pencahayaan Unit	49
Tabel 2.4	Definisi yang digunakan dalam Analisis Risiko	79
Tabel 2.5	Bagian Sistem Dinamis	87
Tabel 2.6	Langkah-langkah Proses Pemodelan	94
Tabel 2.7	Sintesa Hasil Penelitian Terkait	105
Tabel 3.1	Definisi Operasional Simulasi Skenario Model Dinamis	150
Tabel 4.1	Nilai parameter yang digunakan dalam exposure assessment (penilaian paparan QMRA)	159
Tabel 4.2	Distribusi Angka Total Bioaerosol (Bakteri dan Jamur di Udara) dalam Ruangan Intensive Care Unit (ICU Dewasa) Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar	190
Tabel 4.3	Distribusi Angka Total Bioaerosol (Bakteri dan Jamur di Udara) dalam Ruangan Neonatal Intensive Care Unit (NICU Bayi) Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar	191
Tabel 4.4	Distribusi Angka Total Bioaerosol (Bakteri dan Jamur di Udara) dalam Ruangan Kosong (Ruang Surveyor PJT Lantai 7) Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar	192
Tabel 4.5	Hasil Pewarnaan Gram dan Identifikasi Jenis Bioaerosol (Bakteri dan Jamur di Udara) dalam	



	Ruangan ICU (Intensive Care Unit Dewasa) Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar	193
Tabel 4.6	Hasil Pewarnaan gram dan identifikasi jenis bioaerosol (bakteri dan jamur di udara) dalam ruangan NICU ( <i>Neonatal Intensive Care Unit</i> bayi) Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar	195
Tabel 4.7	Hasil observasi terkait faktor ekstrinsik dalam ruang ICU Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo	197
Tabel 4.8	Hasil observasi terkait faktor ekstrinsik dalam ruang NICU Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo	198
Tabel 4.9	Hasil pengukuran suhu dalam ruangan ICU dan NICU Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo	199
Tabel 4.10	Hasil pengukuran kelembaban dalam ruangan ICU dan NICU Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo	201
Tabel 4.11	Hasil pengukuran luas ruangan dalam ruang ICU dan NICU Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo	202
Tabel 4.12	Distribusi Responden Berdasarkan Jenis Kelamin Pada Pasien yang Dirawat di Ruang ICU dan NICU Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar	202
Tabel 4.13	Hasil Uji Regresi Linear “Model Summary” Suhu, kelembaban, jumlah dokter, keluarga, dan pasien	



	dalam ruangan ICU terhadap Total Bioaerosol dalam Ruang ICU Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo	203
Tabel 4.14	Hasil Uji Regresi Linear “ANNOVA <sup>a</sup> ” Suhu, kelembaban, jumlah dokter, keluarga, dan pasien dalam ruangan ICU terhadap Total Bioaerosol dalam Ruang ICU Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo	204
Tabel 4.15	Hasil Uji Regresi Linear “Coefficients <sup>a</sup> ” Suhu, kelembaban, jumlah dokter, keluarga, dan pasien dalam ruangan ICU terhadap Total Bioaerosol dalam Ruang ICU Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo	205
Tabel 4.16	Hasil Uji Regresi Linear “Model Summary” Suhu, Kelembaban_Indoor, Dokter, dan Perawat dalam ruangan NICU terhadap Total Bioaerosol dalam Ruang NICU Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo	205
Tabel 4.17	Hasil Uji Regresi Linear “ANNOVA <sup>a</sup> ” Suhu, Kelembaban_Indoor, Dokter, dan Perawat dalam ruangan NICU terhadap Total Bioaerosol dalam Ruang NICU Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo	206
Tabel 4.18	Hasil Uji Regresi Linear “Coefficients <sup>a</sup> ” Suhu, Kelembaban_Indoor, Dokter, dan Perawat dalam ruangan NICU terhadap Total Bioaerosol dalam Ruang NICU Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo	207



## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
Gambar 2.1 Dinamika antara pasien, bakteri, dan lingkungan Rumah Sakit di ruangan ICU	19
Gambar 2.2 Pengujian Sistem Filtrasi Udara HEPA Filter Terhadap Bakteri Aerosol	71
Gambar 2.3 Kerangka Penilaian Risiko dan Hubungannya	80
Gambar 2.4 Diagram kausal (hubungan kausal asli)	98
Gambar 2.5 Notasi diagram Causal Loop	100
Gambar 2.6 Model dinamis (Causal Loop diagram) polusi bioaerosol	102
Gambar 2.7 Kerangka Teori	103
Gambar 2.8 Kerangka Konsep Penelitian	104
Gambar 3.1 Tabel Positive Hole Conversion MAS 100	142
Gambar 3.2 Alur Penelitian	154
Gambar 4.1 Hasil Perhitungan QMRA ADD Inhalasi Laki-Laki Selama 1 tahun	156
Gambar 4.2 Hasil Perhitungan QMRA ADD Inhalasi Perempuan Selama 1 Tahun	156
Gambar 4.3 Hasil Perhitungan QMRA HQ Inhalasi Laki-Laki Selama 1 Tahun	157
Gambar 4.4 Hasil Perhitungan QMRA HQ Inhalasi Perempuan Selama 1 Tahun	157
Gambar 4.5 Hasil Perhitungan QMRA HI Bioaerosol ICU dan NICU Selama 1 Tahun	158



Gambar 4.6 Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Skenario 111 (120 Jam)	160
Gambar 4.7 Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Skenario 221 (120 Jam)	161
Gambar 4.8 Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Skenario 331 (120 Jam)	163
Gambar 4.9 Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Skenario 112 (120 Jam)	164
Gambar 4.10 Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Skenario 222 (120 Jam)	165
Gambar 4.11 Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Skenario 332 (120 Jam)	166
Gambar 4.12 Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Jam 12 Siang Skenario 111	167
Gambar 4.13 Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Jam 12 Siang Skenario 221	169
Gambar 4.14 Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Jam 12 Siang Skenario 331	170
Gambar 4.15 Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Jam 12 Siang Skenario 112	171
Gambar 4.16 Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Jam 12 Siang Skenario 222	173
Gambar 4.17 Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Jam 12 Siang Skenario 332	174
Gambar 4.18 Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Jam 20.00 Malam Skenario 111	175
Gambar 4.19 Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Jam 20.00 Malam Skenario 221	176



Gambar 4.20	Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Jam 20.00 Malam Skenario 331	177
Gambar 4.21	Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Jam 20.00 Malam Skenario 112	179
Gambar 4.22	Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Jam 20.00 Malam Skenario 222	180
Gambar 4.23	Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Jam 20.00 Malam Skenario 332	181
Gambar 4.24	Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Rata-Rata Harian Skenario 111	182
Gambar 4.25	Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Rata-Rata Harian Skenario 221	184
Gambar 4.26	Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Rata-Rata Harian Skenario 331	185
Gambar 4.27	Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Rata-Rata Harian Skenario 112	186
Gambar 4.28	Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Rata-Rata Harian Skenario 222	188
Gambar 4.29	Hasil Simulasi Kepadatan Bioaerosol Rata-Rata Harian Skenario 332	189



## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Lampiran</b>
Surat Izin Penelitian dari Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Pemerintah Provinsi Sulawesi Selatan.....	1
Surat Permohonan Izin Penelitian ditujukan ke Gubernur Provinsi Sulawesi Selatan c.q. Kepala UPT P2T, BKPM Provinsi Sulawesi Selatan.....	2
Surat Permohonan Izin Pengukuran Sampel yang Ditujukan ke Kepala Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar ....	3
Rekomendasi Persetujuan Etik Penelitian Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.....	4
Surat Izin Penelitian dari RSUP. Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar .....	5
Foto Proses Pengukuran Bioaerosol Terkait Total Bakteri dan Jamur di Udara dalam Ruangan ICU, NICU dan Ruang Kosong PJT .....	6
Foto Proses Observasi Ruangan ICU, NICU, dan Ruang Kosong.....	7
Foto Proses Pengukuran Suhu dan Kelembaban Dalam Ruangan dan Luar Ruangan, Mengukur Volume Ruangan, Mengkaji Rekam Medis Pasien.....	8
Foto Proses Pengukuran Total Bioaerosol dan Identifikasi Jenis Bioaerosol Terkait Total Bakteri dan Jamur di Udara yang dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi BBLK.....	9
Formula Model Dinamis .....	10



Data Suhu dan Kelembaban Ruang Kosong RSUP. Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar .....	11
Data Suhu dan Kelembaban dari BMKG “Stasiun Meteorologi Maritim Paotere” Tahun 2015-2020.....	12
Hasil Uji Statistik “Uji Regresi Linear” variabel dalam model dinamis .....	13
Hasil Perhitungan QMRA disajikan dalam bentuk tabel dalam model dinamis menggunakan STELLA 9.0.2 .....	14



## DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

Istilah/Singkatan	Kepanjangan/Pengertian
%	Persen / per seratus
°C	Derajat Celcius, satuan besaran suhu
=	Sama dengan
&	dan
>	Lebih dari
<	Kurang dari
AC	Air Conditioner/Pendingin ruangan
ACH	Air Changes Per Hour
BMKG	Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
CAUTI	Catheter Associated Urinary Tract Infection
CDC	Center of Disease Control
CDI	Clostridium difficile infection
CFU	Colony Form Unit
CLABSI	Central Line–Associated Bloodstream Infection
CVCU	Cardiac Vaskular Care Unit
EPA	Environment Protection Agency
HABP	Hospital-acquired bacterial pneumonia
HAIs	Hospital Acquired Infections
HCU	High Care Unit
HEPA	High Efficiency Particulate Air
HVAC	<i>Heating, Ventilation, dan Air-Conditioning</i>
ICU	Intensive Care Unit
IFIC	International Federation of Infection Control
IMA	Index Of Microbial Air
ISK	Infeksi Saluran Kemih
KIA	Krigler Iron Agar
MAS	Microbiological Air Sampler
MENKES	Menteri Kesehatan
MS	Memenuhi Syarat
NICU	Neonatal Intensive Care Unit
NNIS	National Nosokomial Infections Surveillance
PICU	Pediatric Intensive Care Unit
PK	Paard Kracht (Horse Power/Tenaga dari AC)
QMRA	Quantitative Microbial Risk Assessment
RSUP	Rumah Sakit Umum Pemerintah
Sp.	Species
SSI	Surgical Site Infection



<b>Istilah/Singkatan</b>	<b>Kepanjangan/Pengertian</b>
<b>TMS</b>	Tidak Memenuhi Syarat
<b>VABP</b>	Ventilator-Associated Bacterial Pneumonia
<b>VAP</b>	Ventilator-Associated Pneumonia
<b>WHO</b>	World Health Organization



# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Rumah Sakit memiliki fungsi yang utama yaitu mewujudkan kualitas lingkungan yang sehat baik fisik, kimia, biologi, maupun sosial yang memungkinkan setiap orang mencapai derajat kesehatan setinggi-tingginya yang dituntut untuk menjaga keselamatan pasien utamanya terkait dengan infeksi (Permenkes 2018) (Tungjai and Kubaha 2017) (Permenkes RI 2019). Kualitas udara dalam ruangan Rumah Sakit yang buruk dapat menyebabkan HAIs (Verde et al. 2015) karena terdapat berbagai macam populasi mikroba seperti bakteri dan jamur (Osaro, Ufuoma, and Dorcas 2008).

HAIs adalah tantangan utama bagi keselamatan pasien. Diperkirakan pada tahun 2002, total 1.7 juta HAIs diantaranya sebanyak 33.269 HAI di antara bayi baru lahir di pembibitan berisiko tinggi, 19.059 di antara bayi baru lahir di pembibitan bayi yang sehat, 417.946 di antara orang dewasa dan anak-anak di ICU, dan 1.266.851 di antara orang dewasa dan anak-anak di luar ICU (Peleg and Hooper 2010) (Klevens et al. 2007).

Banyaknya aktivitas, pasien, staf di dalam rumah sakit, berbagai tindakan atau transfer pasien dari satu unit ke unit lainnya (misalnya bayi baru lahir, pasien luka bakar, perawatan intensif care / ICU) dapat



meningkatkan peluang paparan ke flora mikroba dari pasien lain sehingga berpotensi menyebabkan HAIs terutama terkait SSI (*Surgical site infections*) (Kirkland et al. 1999) (Atata et al. 2010). Flora mikroba dapat mencemari benda, perangkat, dan bahan yang selanjutnya kontak dengan tubuh pasien yang rentan terutama pasien *immunocompromised* (Atata et al. 2010). Dinamika HAIs pada ruang ICU diperkirakan berasal dari sumber patogen flora endogen pasien sebanyak 40-60%, infeksi silang melalui tangan yang terkontaminasi sebanyak 20-40%, perubahan flora oleh antibiotik sebanyak 20-25%, kontaminasi oleh lingkungan, makanan, udara, personil dan sumber lainnya sebanyak 20% (Weinstein 1991).

Pusat Pengendalian dan Pencegahan Penyakit AS (*US Center for Disease Control and Prevention*) melaporkan bahwa hampir 1.7 juta pasien yang dirawat di Rumah Sakit setiap tahunnya mendapatkan HAIs, dimana 1 dari 17 yang meninggal karena HAIs. HAIs berdampak pada pasien yang dirawat di ICU dengan 0.5 juta episode didiagnosis setiap tahun (Haque et al. 2018). Tingkat HAIs di Nigeria berkisar antara 2.7%-3.8% (Awosika, Olajubu, and Amusa 2012) (Onipede et al. 2004).

Tinjauan literatur review dan meta analisis HAIs di Asia Tenggara yang dilakukan pada 41 studi dari catatan 14.089 yang diidentifikasi sebelumnya. Prevalensi yang dikumpulkan dari keseluruhan HAIs adalah 9.0% (interval kepercayaan 95% [CI], 7.2%-10.8%), sedangkan kepadatan

yang dikumpulkan dari HAIs di unit ICU tiap hari adalah 20 kasus  
D. Densitas insidensi dari *Ventilator Associated Pneumonia* (14.7



per 1000 ventilator/hari (95% CI, 11.7-17.7), *Central Line Associated Bloodstream Infection* 4.7 per 1000 kateter/hari (95% CI, 2.9–6.5), dan *Catheter Associated Urinary Tract Infection* 8.9 per 1000 kateter/hari (95% CI, 6.2–11.7), *Surgical Site Infection* 7.8% (95% CI, 6.3%-9.3%). Hubungan angka kematian yang dikaitkan dengan lama tinggal di Rumah Sakit terhadap pasien yang terinfeksi berkisar antara 7% untuk 5 hari dan 46% untuk 21 hari (Ling, Apisarnthanarak, and Madriaga 2015).

Studi meta analisis mengenai HAIs di negara-negara Asia Tenggara (Brunei, Myanmar, Kamboja, Timor Leste, Indonesia, Laos, Malaysia, Filipina, Singapura, Thailand, dan Vietnam) melaporkan tingkat prevalensi keseluruhan 9.1%. Mikroorganisme yang umum adalah *Pseudomonas*, *Klebsiella*, dan *Acinetobacter* (Haque et al. 2018).

Menurut komite pencegahan dan pengendalian infeksi Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo melaporkan insiden rate bulan januari-desember tahun 2015 tercatat HAIs (permil) yaitu, *Intravenous perifer line* (Flebitis)=2.16‰, Kateter urine (ISK)=0.20‰, Ventilator/ETT (VAP)=0.29‰, Operasi bersih (IDO)=0.26%, dan Operasi bersih terkontaminasi=3.45%.

Beberapa mikroorganisme dari berbagai rentang ukuran yang ada di udara disebut partikel udara atau bioaerosol meliputi jamur, bakteri dan virus (Ghosh, Lal, and Srivastava 2015). Setiap hari orang terpapar jutaan

partikel, termasuk seluruh mikroorganisme (Prussin and Marr 2015). Mikroorganisme di udara memiliki patogenisitas yang dapat menyebabkan



infeksi pada manusia seperti HAIs (Zhai et al. 2018). Bioaerosol terbentuk karena proses alami dan aktivitas manusia (Najafpoor et al. 2014) (Sajjadi et al. 2018) (Tolabi et al. 2019).

Salah satu parameter untuk mengevaluasi kualitas lingkungan dalam ruang adalah bioaerosol (Septiari 2012). Tingkat bioaerosol dalam ruangan ditemukan setidaknya sepuluh kali lipat lebih tinggi daripada di luar ruangan (Wei et al. 2015). Media bioaerosol mikroba di udara yaitu udara ambien dan udara dalam ruang. Adapun rute paparannya dapat melalui ingesti/menelan, kontak langsung dan inhalasi/menghirup (EPA 2012). Inhalasi adalah jalur paparan utama dari polusi bioaerosol (Y. Li et al. 2013).

Paparan bioaerosol yang melebihi nilai ambang batas yang dipersyaratkan merupakan salah satu penyebab utama infeksi di Rumah Sakit dan dapat menyebabkan penyakit tidak menular, penyakit menular, termasuk infeksi nosokomial (*Hospital Acquired Infections*), efek toksik akut, kanker dan bahkan bisa berujung kecacatan hingga kematian, terkhusus untuk orang yang memiliki gangguan sistem imun (Tolabi et al. 2019) (R. Jones and Beauchant 2014) (Yoo et al. 2017) (Bolookat et al. 2018). Tingkat kerentanan pada anak-anak dua kali lebih tinggi bila dibandingkan dengan orang dewasa terkait polusi oleh bioaerosol (Madureira et al. 2015).



Microorganismes yang sering dikaitkan dengan HAIs adalah *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Proteus sp.*,

*Escherichia coli*, *Enterobacter*, *Bacillus cereus*, *Cladosporium sp.*, *Aspergillus sp.*, dan virus (Awosika, Olajubu, and Amusa 2012) (Abdel-Hady et al. 2008) (Ekhaise et al. 2010). Keanekaragaman mikroba atau komposisi dalam bioaerosol adalah aspek lingkungan yang sangat diperlukan yang menghubungkan dengan kesehatan masyarakat (Yoo et al. 2017).

Sumber dan penyebaran mikroorganisme terkait manusia di dalam Rumah Sakit ditemukan dalam pakaian pengunjung, disebarkan melalui pelepasan selama aktivitas manusia, staf medis atau pengangkutan dengan bahan-bahan pribadi dan medis, sumber lainnya seperti debu udara, tanah, dan air yang bisa terdistribusi melalui pendingin udara dalam ruang (Verde et al. 2015) (Jaffal et al. 1997), atau melalui kepadatan pengunjung (Tormo-Molina et al. 2012) (Abdullah and Hakim 2011), droplet ketika batuk dan bersin (Haas, Rose, and Gerba 2014) (WHO 2002), sistem penyaring udara dan ventilasi (Pantoja, Nascimento, and Nunes 2016) (Srikanth, Sudharsanam, and Steinberg 2008), dan terkait musim dan kondisi cuaca (Tormo-Molina et al. 2012), suhu, kelembaban relatif (Abdullah and Hakim 2011), sistem ventilasi (WHO 2002), frekuensi pintu yang terbuka dan tertutup, aktivitas respirasi yang tinggi oleh pengunjung (Srikanth, Sudharsanam, and Steinberg 2008), pekerja dan pasien dapat mempengaruhi jumlah mikroba dalam ruang et al. 2018), dan faktor kebersihan tangan (Eames et al. 2009).



Isolat mikroba meliputi enam bakteri yaitu *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Klebsiella sp.*, *Serratia merscences*, *Bacillus subtilis*, *Streptococcus pyogenes* untuk isolat bakteri. Sedangkan isolat jamur termasuk *Aspergillus flavus*, *Penicillium sp*, *Candida*, *Fusarium albicans* dan *Alternaria sp.* (Awosika, Olajubu, and Amusa 2012). Banyaknya infeksi kulit dan jaringan lunak oleh jamur *Zygomycetes* seperti spesies *Rhizopus*, *Absidia*, *Mucor*, dan *Cunninghamella* dilaporkan di seluruh dunia terutama pada pasien *immunocompromised* yang sebagian besar di rawat di perawatan *intensive care* (60%) dan infeksi ini sering dikaitkan dengan penyakit diseminata (*disseminated disease*) (Guégan et al. 2016), (Burke and Lopez 2017).

Sebuah penelitian melaporkan bahwa flora bakteri dan jamur yang ditemukan pada sebuah Rumah Sakit di Perancis terdiri dari *Micrococcus sp.*, *Bacillus sp.*, dan *Burkholderia sp.*, *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Cladosporium sp.*, dan *Alternaria sp.* dan di Rumah Sakit lainnya yaitu *Staphylococcus sp.*, *Micrococcus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Corynebacterium sp.*, *basidiomycetes*, *Cryptococcus sp.*, *Cladosporium sp.*, *Penicillium sp.*, dan *Aspergillus sp.* (Baurès et al. 2018).

Penelitian serupa yang dilakukan di Rumah Sakit Portugis melaporkan bahwa kokus gram positif yang terbawa melalui udara adalah fenotip yang paling sering (88%) terdeteksi dari populasi bakteri yang

di semua lingkungan dalam ruangan. *Staphylococcus* (51%) dan *Micrococcus* (37%) dominan di antara genera bakteri yang diidentifikasi



dalam penelitian ini. Karakterisasi jamur dalam ruangan, genera yang umum adalah *Penicillium* (41%) dan *Aspergillus* (24%) (Verde et al. 2015).

Sebuah penelitian menunjukkan bahwa dari 217 HAIs memberikan tingkat kejadian sebesar 1.8%. Bagian bedah adalah yang paling terinfeksi (31.3%) sedangkan luka bakar adalah yang paling tidak terinfeksi (4.1%). *Klebsiella pneumoniae* adalah patogen yang paling sering diisolasi (37.3%) diikuti oleh *Staphylococcus aureus* (36.4%). Spesialis bedah pria dan bangsal Neonatal memiliki infeksi terkait HAIs yang tertinggi, masing-masing mencatat 54 kasus dan unit perawatan intensif memiliki 4 kasus (Olajubu et al. 2012).

Sebuah penelitian yang dilakukan pada salah satu Rumah Sakit bertaraf Internasional di Sulawesi Selatan melaporkan bahwa pada ruangan *intensive care* (ruang perawatan khusus bagian luka bakar) mempunyai pengaruh yang paling besar terhadap potensi kejadian HAIs dimana berdasarkan hasil kultur dan hasil identifikasi jenis bakteri di udara telah ditemukannya bakteri *Staphylococcus sp.* dan *Pseudomonas sp.* dimana secara statistik menunjukkan bahwa *Staphylococcus sp.* berkorelasi dengan HAIs (Wisudawan B, Daud, and Wahyu 2018).

HAIs sangat terkait dengan keselamatan pasien dimana penentu keselamatan pasien dan kualitas perawatan didalam suatu organisasi layanan kesehatan seyogianya membuat asuhan pasien lebih aman, yang

penilaian risiko bioaerosol (QMRA) dan merancang skenario  
han HAIs akibat bioaerosol bakteri dan jamur di udara dengan



merancang dan membuat model dinamis, serta implementasi solusi untuk meminimalkan timbulnya risiko dan mencegah terjadinya penyakit infeksi di Rumah Sakit yang disebabkan oleh kesalahan akibat melaksanakan suatu tindakan atau tidak mengambil tindakan yang seharusnya diambil (Permenkes 2017) (Desmedt et al. 2012).

Berdasarkan pernyataan dan bukti-bukti terkait topik penelitian yang telah dikemukakan diatas maka, penulis termotivasi untuk melakukan penelitian mengenai kualitas udara bioaerosol terkait bakteri dan jamur di udara dalam ruang perawatan ICU dan NICU di Rumah Sakit rujukan bertaraf Internasional yang telah menyanggah predikat akreditasi internasional dari JCI (*Joint Commission International*). Selain itu, penulis bisa menggali informasi yang mendalam terkait kualitas udara bioaerosol dalam ruang yaitu pencemaran bakteri dan jamur di udara sehingga bisa menemukan dan membuat model dinamis yang kompherensif dan analisis risiko QMRA yang berguna sebagai metode analisis data dalam upaya pencegahan yang efektif dan efisien untuk mengontrol kejadian HAIs.

## B. Rumusan Masalah

Polusi bioaerosol terkait bakteri dan jamur di udara yang melebihi nilai ambang batas yang dipersyaratkan berdampak buruk kepada keselamatan pasien, pengunjung, dan staf Rumah Sakit yang berada

di ruang ICU dan NICU karena berpotensi menyebabkan HAIs pada pasien yang memiliki gangguan sistem imun. Tingginya



polusi bioaerosol dalam ruangan berkorelasi dengan faktor ekstrinsik terkait total petugas Rumah Sakit, total pasien, total pengunjung/keluarga pasien, parameter fisik terkait suhu, kelembaban, faktor intrinsik terkait pengukuran volume ruangan, kondisi AC, dan penggunaan HEPA filter. Oleh karena itu, untuk mendapatkan skenario pencegahan HAIs yang komprehensif terkait polusi bioaerosol maka dibuat suatu model dinamis (simulasi skenario) dan analisis risiko QMRA.

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana analisis risiko QMRA (estimasi 365 hari/1tahun) terkait identifikasi bahaya, penilaian paparan, dosis respon, karakterisasi risiko, manajemen risiko, dan komunikasi risiko polusi bioaerosol dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr.Wahidin Sudirohusodo Makassar ?
2. Bagaimana model dinamis (simulasi skenario estimasi 120 jam selama 5 hari berturut-turut, simulasi skenario estimasi 365 hari/1 tahun untuk jam 12.00 siang hari, simulasi skenario estimasi 365 hari/1 tahun untuk jam 20.00 malam hari, simulasi skenario estimasi 365 hari/1 tahun untuk rata-rata harian) polusi bioaerosol dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr.Wahidin Sudirohusodo Makassar terhadap manajemen pencegahan HAIs ?

Bagaimana hasil perhitungan total bioaerosol dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr.Wahidin Sudirohusodo Makassar ?



4. Bagaimana hasil Identifikasi jenis bioaerosol terkait jenis bakteri dan jamur di udara dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr.Wahidin Sudirohusodo Makassar ?
5. Bagaimana hubungan faktor ekstrinsik (total petugas Rumah Sakit (dokter dan perawat), total pasien, dan total pengunjung/keluarga pasien), parameter fisik (suhu dan kelembaban) dalam ruang terhadap polusi bioaerosol dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr.Wahidin Sudirohusodo Makassar ?
6. Bagaimana hubungan faktor intrinsik (volume ruangan, kondisi AC dan Hepa Filter) dalam ruangan terhadap polusi bioaerosol dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr.Wahidin Sudirohusodo Makassar ?
7. Bagaimana perbandingan risiko polusi bioaerosol terkait bakteri dan jamur di udara dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar ?

### **C. Tujuan Penelitian**

#### 1. Tujuan Umum

Menganalisis risiko QMRA polusi bioaerosol di udara dan membangun/merancang model dinamis (simulasi skenario) polusi bioaerosol dalam ruang ICU dan NICU terhadap potensi kejadian HAIs di ruangan ICU dan NICU RSUP.Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar.



## 2. Tujuan Khusus

- a. Untuk menganalisis risiko QMRA (estimasi 365 hari/1tahun) terkait identifikasi bahaya, penilaian paparan, dosis respon, karakterisasi risiko, manajemen risiko, dan komunikasi risiko polusi bioaerosol dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr.Wahidin Sudirohusodo Makassar.
- b. Untuk merancang, membangun, dan menganalisis model dinamis simulasi skenario estimasi 120 jam selama 5 hari berturut-turut, simulasi skenario estimasi 365 hari/1 tahun untuk jam 12.00 siang hari, simulasi skenario estimasi 365 hari/1 tahun untuk jam 20.00 malam hari, simulasi skenario estimasi 365 hari/1 tahun untuk rata-rata harian) polusi bioaerosol dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr.Wahidin Sudirohusodo Makassar terhadap manajemen pencegahan HAIs.
- c. Untuk menganalisis hasil perhitungan total bioaerosol dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr.Wahidin Sudirohusodo Makassar.
- d. Untuk menganalisa hasil identifikasi jenis bioaerosol terkait jenis bakteri dan jamur di udara dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar.
- e. Untuk menganalisa hubungan faktor ekstrinsik (total petugas Rumah Sakit (dokter dan perawat), total pasien, dan total pengunjung/keluarga pasien), parameter fisik (suhu dan



kelembaban) dalam ruangan terhadap polusi bioaerosol dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr.Wahidin Sudirohusodo Makassar.

- f. Untuk menganalisa hubungan faktor intrinsik (volume ruangan, kondisi AC dan Hepa Filter) dalam ruangan terhadap polusi bioaerosol dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr.Wahidin Sudirohusodo Makassar.
- g. Untuk menganalisa perbandingan risiko polusi bioaerosol terkait bakteri dan jamur di udara dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar.

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

##### 1. Manfaat Ilmiah

Hasil penelitian ini diharapkan menjadi salah satu bahan kajian ilmiah kualitas bioaerosol terkait bakteri dan jamur di udara yang berpotensi menyebabkan infeksi yang didapat di Rumah Sakit (HAIs). Selain itu, diharapkan dapat menjadi bahan kajian literatur bagi peneliti-peneliti selanjutnya untuk melakukan penelitian lanjut terkait kualitas bioaerosol di udara lainnya seperti virus.

##### 2. Manfaat Institusi

Memberikan rona awal kepada manajemen Rumah Sakit dan pihak-pihak yang terkait di Rumah Sakit untuk mengontrol kualitas bioaerosol

terhadap bakteri dan jamur di udara serta memutus mata rantai penyebaran bakteri dan jamur di udara yang berpotensi menimbulkan



infeksi (HAIs) yang membahayakan keselamatan dan kesehatan pasien, keluarga pasien dan staf Rumah Sakit.

### 3. Manfaat bagi Peneliti

Sebuah kesempatan yang sangat berharga untuk dapat menambah wawasan keilmuan terkait analisis risiko bioaerosol terkait bakteri dan jamur di udara dan model dinamis polusi bioaerosol terkait bakteri dan jamur udara di Rumah Sakit.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Tinjauan Umum Pencemaran Bioaerosol Udara Dalam Ruang

Paparan bakteri, jamur, virus, endotoksin, mikotoksin di udara berkaitan erat dalam sektor pekerjaan seperti perawatan kesehatan, pertanian, industri makanan, pengelolaan limbah, dll (Duquenne 2018). Bioaerosol adalah konsep yang digunakan untuk menggambarkan semua bahan biologis yang tersuspensi di udara, termasuk bakteri, jamur, virus (Srikanth, Sudharsanam, and Steinberg 2008), serbuk sari, dan turunannya seperti alergen, endotoksin, mikotoksin, dll (Yao 2018).

Bioaerosol adalah subjek penelitian multidisiplin yang menyumbang 5-34% dari polusi udara dalam ruangan (Gizaw, Gebrehiwot, and Yewew 2016), dimana melibatkan berbagai bidang seperti mikrobiologi, teknik mesin, polusi udara, ilmu kedokteran, epidemiologi, ilmu imunologi, biokimia, fisika, teknologi nano dan lain-lain (Yao 2018).

Istilah bioaerosol udara mengacu pada perpaduan mikroorganisme dengan karakteristik yang berbeda yang terkait dengan lokasi pengambilan sampel, musim, faktor meteorologi (suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan angin, dan arah angin), dan emisi antropogenik (Xie et

al. 2019). Bioaerosol biasanya didefinisikan sebagai aerosol atau partikel mikroorganisme yang terdiri dari bakteri dan jamur hidup atau mati yang dapat atau tidak patogen (Douwes et al. 2003). Bioaerosol mengandung



debu, berasal dari makhluk hidup dimana ukuran partikelnya mencapai 0.5-100  $\mu\text{m}$  (Jerez, Cheng, and Bray 2014).

Aerosol yang berasal dari biologis memainkan peran penting dalam sistem bumi, terutama dalam interaksi antara atmosfer, biosfer, iklim, dan kesehatan masyarakat (Fröhlich-Nowoisky et al. 2016). Selain itu, aerosol yang dikeluarkan pasien ketika batuk mengandung mikroorganisme patogen yang dapat ditemukan melayang di udara sekitar (Lavoie et al. 2015) dan tidak menutup kemungkinan orang yang sehat pun dapat membawa kuman dan mencemari udara sekitar (Andersen 2019).

Udara merupakan media penularan infeksi oleh mikroorganisme di udara, sebagian besar mikroorganisme terkandung dalam droplet nuklei (droplet adalah partikel besar 5 mm atau lebih besar) yang bersumber dari batuk, bersin, atau bentuk aerosolisasi, partikel debu, kulit yang membawa mikroorganisme patogen dan spora jamur yang melayang di udara (C B Beggs 2003).

Bakteri di udara, spora jamur, serbuk sari, dan biopartikel lainnya sangat penting untuk reproduksi dan penyebaran organisme di berbagai ekosistem, dan mereka dapat menyebabkan atau meningkatkan penyakit pada manusia, hewan, dan tumbuhan (Fröhlich-Nowoisky et al. 2016). Bioaerosol adalah agen yang dapat menyebabkan infeksi, alergi atau menyebabkan efek toksik lainnya dalam tubuh manusia (Eslami et al.



Beberapa sumber bioaerosol udara dalam ruangan, seperti sistem pendingin udara dengan filter yang terkontaminasi, kamar mandi yang tidak terkontrol, dapur kotor, dan aliran udara luar yang mengandung berbagai mikroorganisme luar (Heo et al. 2017). Bioaerosol terdiri dari partikel padat atau cair di udara dan terdiri dari aerosol yang menyertai mikroorganisme atau senyawa organik mikroorganisme seperti endotoksin, metabolit, toksin, dan bagian lain dari organisme tersebut (Mirzaei et al. 2014).

Bioaerosol adalah bagian dari aerosol di udara yang penting yang dapat secara signifikan mempengaruhi kesehatan masyarakat melalui jalur masuk seperti inhalasi dan ingesti (Goudarzi et al. 2016). Paparan bioaerosol dapat menyebabkan banyak efek kesehatan yang merugikan seperti penyakit menular, efek toksik akut, alergi dan kanker (Srikanth, Sudharsanam, and Steinberg 2008) (Douwes et al. 2003) dan bahkan mengakibatkan kematian jika melibatkan agen yang sangat menular (Chen and Yao 2018).

Partikel-partikel bioaerosol biasanya merupakan fraksi kecil dari semua partikel aerosol di sekitar kita. Akan tetapi, dampaknya sangat besar apabila tidak segera dikontrol, diminimalkan, dan dieliminasi karena suatu patogen mikroba tunggal bisa menyebarkan infeksi, menyebabkan reaksi alergi dan mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan (Jonsson,

, and Tjärnhage 2014).



Penyebaran bioaerosol di Rumah Sakit dapat mengakibatkan bahaya bagi kesehatan manusia utamanya bagi pasien dengan kondisi sistem imun yang menurun, sehingga berpotensi menyebabkan HAIs (Dehdashti et al. 2013). Oleh karena itu, pemantauan kualitas udara ruang minimum 2 (dua) kali setahun dilakukan pengambilan sampel dan pemeriksaan parameter kualitas udara (kuman, debu, dan gas) (Permenkes RI 2019).

Bioaerosol adalah potensi bahaya di Rumah Sakit dan sebagian besar bersumber dan terbawa oleh staf rumah sakit, pasien, dan pengunjung (Mirzaei et al. 2014). Suatu penelitian menyimpulkan konsentrasi bioaerosol dalam ruangan di rumah sakit dipengaruhi oleh jenis/ karakteristik dan jumlah pasien di ruangan (Asif et al. 2018), jumlah pengunjung dan jumlah bahan yang dibawa dari luar seperti karpet, bunga, buah-buahan (Jaffal et al. 1997).

## **B. Tinjauan Umum Mikroorganisme Dalam Ruang**

Mikrobiologi adalah studi tentang mikroorganisme yang terdiri dari kelompok besar organisme mikroskopis atau agen yang sangat kecil untuk dilihat secara kasat mata dan beragam sebagai sel tunggal atau kelompok sel (Melnick and Adelberg's 2016)(Prescott 2002). Mikrobiologi telah mengalami transformasi yang cepat selama beberapa dekade terakhir.

akan mikroorganisme tidak dapat tumbuh dengan mudah dalam



kultur murni (Fröhlich-Nowoisky et al. 2016). Akan tetapi, mikroorganisme dapat tetap berada di udara untuk waktu yang lama (Lavoie et al. 2015).

Bakteri di udara berasal dari berbagai sumber eksternal seperti tanah, vegetasi, hewan, dan badan air, sedangkan atmosfer itu sendiri bukan sebagai habitat bakteri di udara. Akan tetapi, bakteri yang dilepaskan dari berbagai sumber memasuki atmosfer dengan proses aerosolisasi. Variasi dalam faktor meteorologi secara signifikan mempengaruhi proses awal aerosolisasi dan proses penyebaran (Du et al. 2018). Sumber utama bakteri, virus, dan jamur di udara terhadap lingkungan meliputi manusia, hewan peliharaan, tanaman, sistem pipa, sistem pemanas, ventilasi, dan pendingin udara, cetakan, resuspensi debu, dan lingkungan luar (Prussin and Marr 2015).

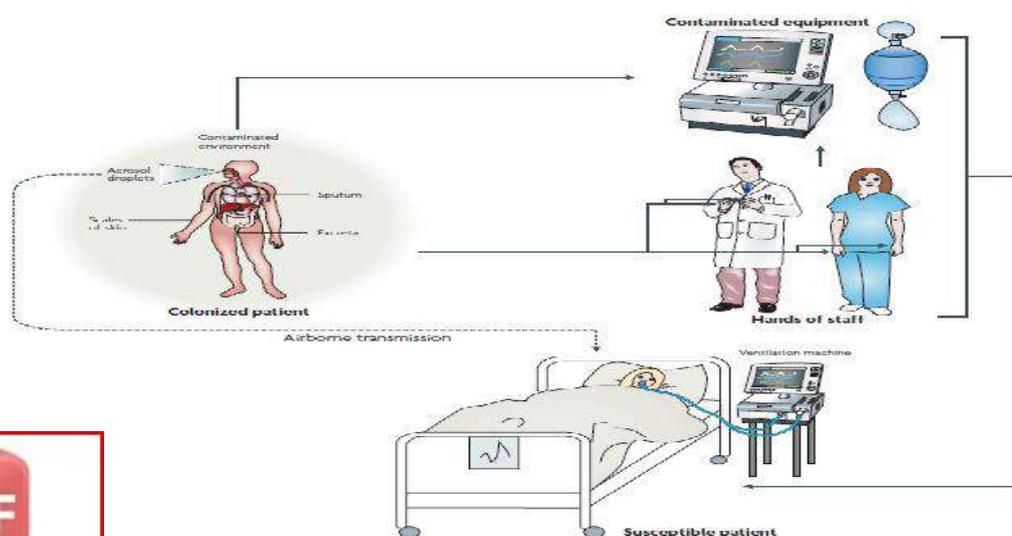
Peran lingkungan terkait media penularan mikroorganisme patogen mempunyai pengaruh yang besar. Permukaan lingkungan pada kamar pasien sering terkontaminasi mikroorganisme patogen. Mikroorganisme patogen dapat bertahan hidup dipermukaan dalam ruang, tempat tidur pasien, maupun peralatan medis untuk jangka waktu yang lama. Kontak dengan permukaan lingkungan dalam ruang perawatan atau peralatan medis yang terkontaminasi oleh petugas kesehatan atau pasien itu sendiri sering menyebabkan kontaminasi tangan atau sarung tangan dan memiliki korelasi yang signifikan (Weber, Anderson, and Rutala 2013).



aerosol yang paling dominan di telaah yaitu bakteri dan spora masing-masing memiliki diameter antara 1-30  $\mu\text{m}$  dan 0.25-8  $\mu\text{m}$

(Goudarzi et al. 2016). Kualitas udara dalam ruangan di Rumah Sakit menjadi bahan perbincangan dan topik yang sangat penting melihat sudah banyak penelitian terkait mengungkap bahwa secara statistik dan pengukuran mikroorganisme di udara berpotensi menyebabkan HAIs (Sudharsanam et al. 2012). Konsentrasi bakteri di udara yang paling dominan terdapat di lobi utama, bangsal bedah dan ruang ICU, dimana genom yang dominan dari bakteri di udara yang diidentifikasi di laboratorium Rumah Sakit umum adalah *Staphylococcus sp.* (50%) (El-Sharkawy and Noweir 2014).

Bioaerosol pada lingkungan dalam ruang memiliki persentase total bakteri yaitu 50.5%. Sedangkan untuk lingkungan luar ruang untuk parameter bakteri memiliki persentase yaitu 20.6%. Persentase total bakteri di udara dalam ruang dipengaruhi oleh faktor kepadatan penghuni. Sedangkan konsentrasi bakteri udara luar ruang sangat dipengaruhi oleh faktor suhu sekitar (Rajasekar and Balasubramanian 2011).



2.1: Tinjauan dinamika antara pasien, bakteri dan lingkungan sakit di ruangan ICU (Dijkshoorn, Nemeć, and Seifert 2007).

## 1. Bakteri

Sistem pernapasan manusia, termasuk bagian oral, laring, dan trakea, dapat menangkap sebagian bakteri bioaerosol dan partikel biasa, sehingga mengurangi konsentrasinya. Selain itu, aktivitas berbicara dapat meningkatkan kelembaban di udara sekitarnya, yang dapat menempel dan meningkatkan diameter partikel aerosol higroskopis, meningkatkan laju sedimentasi gravitasi yang tinggi (Heo et al. 2017).

Kandungan bakteri yang tinggi khusus untuk kulit, lubang hidung, dan rambut manusia yang ditemukan di udara dalam ruangan dan debu lantai menunjukkan bahwa lantai merupakan reservoir penting dari bakteri yang berhubungan dengan manusia (Hospodsky et al. 2012). Bakteri adalah penyebab tunggal terbesar HAIs (Kowalski 2012).

*Campylobacter*, *Enterococcus*, *E. coli*, dan *Staphylococcus* banyak ditemukan pada bioaerosol dan berpotensi patogen pada manusia (Just et al. 2012). *Staphylococcus* adalah bakteri gram positif yang kebanyakan ditemui di kulit manusia (King et al. 2013) dan merupakan polutan dalam infeksi silang pada rumah sakit, dan sering dilaporkan dengan resistensi terhadap antibiotik (Gao et al. 2018). *Staphylococcus* mudah berkembang pada sebagian besar medium bakteriologi dalam lingkungan aerobik atau mikroaerofilik. Organisme ini paling cepat

berkembang pada suhu 37°C tetapi suhu terbaik untuk menghasilkan koloni adalah suhu ruangan (20-25 °C). Koloni pada medium padat



berbentuk bulat, halus, meninggi, dan berkilau. Rumah Sakit merupakan tempat yang memiliki risiko tinggi untuk mendapatkan infeksi yang disebabkan jenis *Staphylococcus* terutama ruangan neonates, unit perawatan intensif care, ruang operasi, dan bangsal kemoterapi kanker (Brooks, Butel, and Morse 2008).

Bakteri patogen menyumbang 3.64% dari total bakteri yang ada di udara. Mikroorganisme patogen yang paling melimpah adalah *Staphylococcus saprophyticus*, *Corynebacterium minutissimum*, *Streptococcus pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Arcobacter butzleri*, *Aeromonas veronii*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Bacillus cereus*. *S. saprophyticus* dan *Streptococcus pyogenes* (Rajasekar and Balasubramanian 2011) (Gao et al. 2018). Konsentrasi *Staphylococcus* tertinggi ditemukan di perawatan anak-anak di Rumah Sakit (Dehdashti et al. 2013).

*Bacillus sp.* yang diamati mendominasi komunitas aerosol bakteri dalam sampel udara (Wei et al. 2015). Sebagian besar bakteri dapat menyebabkan penyakit pernapasan dan berbagai macam jenis alergi (Xu et al. 2017). *Enterococcus* dan *E. coli* banyak terdapat dalam usus hewan dan juga dapat menyebabkan penyakit diare (Gao et al. 2018).

Mikroba yang dihubungkan dengan kulit, tinja, dan rambut manusia yaitu *Staphylococcus*, *Propionibacteria*, *Corynebacteria*, *Lactobacillus*,

*Streptococcus sp.* mendominasi kelimpahan aerosol didalam ruang (Lorean et al. 2015). Sumber infeksi yang diakibatkan adanya



*Enterobacter Cloacae* sekitar 50% berasal dari paru-paru dan sumber infeksi oleh *E. Coli* sekitar 63% berasal dari kateter (Muro et al. 2012). ESBL (*Extended spectrum beta lactamase*) menggambarkan HAIs dalam perawatan ICU, yang disebabkan oleh *Enterobacter sp.* dan *Klebsiella* (Muro et al. 2012)(Pitout and Laupland 2008).

### 1.1. *Spingomonas Paucimobilis*

*Spingomonas Paucimobilis* merupakan salah satu jenis basil gram negatif yang memiliki koloni berwarna kuning, flagella polar tunggal, bulat, cembung, sedang, dan gamma hemolisa. Genus *Sphingomonas* adalah kelompok organisme yang homogen dan *aerobic heterotrophic* dalam subkelas Proteobacteria dan salah satu agen penyakit menular (White, Suttont, and Ringelberg 1996). Jenis ini menjadi masalah utama dalam lingkungan Rumah Sakit dikarenakan salah satu jenis bakteri patogen oportunistik dengan tingkat virulensi rendah dan salah satu bakteri penyebab HAIs dengan angka morbiditas tinggi (Ryan and Adley 2010), (Bolen et al. 2015), (Farr and Pedram 2013).

Infeksi meliputi bakteriemia/septikemia yang disebabkan oleh larutan yang terkontaminasi, misalnya air suling, cairan hemodialisis dan larutan obat steril. Kasus-kasus pseudobacteraemia telah dicatat dalam hubungan dengan *S. paucimobilis*, seperti halnya banyak kasus infeksi yang tidak biasa baik invasif dan yang parah, misalnya radang sendi

dan osteomielitis (Ryan and Adley 2010). Selain itu, kasus meningitis dan kasus ventriculitis yang dilaporkan pertama kali dalam



inang (*host immunocompromised*) disebabkan oleh *S. Paucimobilis* (Bolen et al. 2015). *Sphingomonas* telah diisolasi dari persediaan air Rumah Sakit, respirator, persediaan air suling, darah, luka, peralatan dialisis Rumah Sakit, pasien dengan meningitis, sepsikemia, bakteremia, peritonitis dan infeksi luka, tanah, air sungai, sedimen bawah permukaan dalam, korosi pipa tembaga, air minum, dan rhizosfer dan permukaan tanaman (White, Suttont, and Ringelberg 1996)

*S. Paucimobilis* dianggap sebagai bakteri oligotrofik, yang berarti dapat bertahan di lingkungan dengan nutrisi rendah (Tada and Inoue 2000). *S. paucimobilis* telah terbukti membentuk biofilm dalam perpipaan air dan telah diidentifikasi dalam air ultrapure dalam sistem industri biofarmasi, dalam sistem air Space Shuttle, dalam sistem air ultrapure berbasis laboratorium dalam air Rumah Sakit (Oie et al. 1998), (Martino et al. 1998), (Ryan and Adley 2010).

*Sphingomonas paucimobilis* dilaporkan secara umum penyebab HAIs terkait dengan kateter, infeksi saluran kemih, infeksi jaringan lunak (Farr and Pedram 2013). Infeksi yang disebabkan *S. Paucimobilis* terdiri dari 20 kasus Bakteremia /Septikemia (38%), 5 kasus peritonitis (10%), 3 kasus infeksi saluran kemih (6%), 3 kasus infeksi paru /pneumonia (6%), 2 contoh ulkus kaki (4%), 2 contoh endophthalmitis

Serviks adenitis (2%), dan bromhidrosis (2%) (Ryan and Adley . Bolen melaporkan Infeksi dari *S. paucimobilis* diperoleh di



komunitas sebanyak 31-52,7% kasus dan dalam pengaturan ini, bakteremia primer adalah sumber infeksi pada 44.8% kasus (Bolen et al. 2015).

Strain *S. paucimobilis* yang diisolasi dari pasien kami ditemukan peka terhadap amikacin, gentamisin, meropenem, trimethoprim / sulfamethoxazole, dan tobramycin, dan tahan terhadap aztreonam, cefepime, piperasilin, dan piperasilin / tazobaktam.

### 1.2. *Bacillus Megaterium*

*Bacillus megaterium* merupakan bakteri lingkungan dan dikenal sebagai mikroorganisme dengan potensi patogen rendah (Peretz et al. 2014). *B. megaterium* adalah bakteri pembentuk spora gram positif, terutama bakteri aerobik. *Bacillus megaterium* tergolong bakteri Gram-positif dengan ukuran  $4 \times 1.5 \mu\text{m}$  (Bunk et al. 2010) dan Sel *B. Megaterium* dapat tumbuh hingga volume lebih dari  $60 \mu\text{m}^3$  ( $2.5 \times 2.5 \times 10$ ) (Vary et al. 2007). Genus *Bacillus* adalah kelompok heterogen berbentuk batang, bakteri pembentuk endospore. Dari spesies *Bacillus* diketahui dapat menyebabkan penyakit kulit primer pada manusia dan mengancam jiwa pada pasien *immocompromised* (Duncan and Smith 2011).

(Esteban-Ramos et al. 2006) melaporkan kasus seorang pria berusia 23 tahun yang mengalami onset tertunda keratitis lamelar yang

diakibatkan oleh *B. megaterium* setelah operasi mata dan Kultur bakteri mengungkapkan *Bacillus megaterium*, yang sensitif terhadap semua



antibiotik yang diuji (profilaksis antibiotik *fluoroquinolone*). Selain itu, Pada tahun 2011, Duncan dan Smith melaporkan seorang wanita berusia 25 tahun yang memiliki infeksi kulit primer terdapat lesi di pergelangan kaki kirinya yang disebabkan oleh bakteri ini (Duncan and Smith 2011). Hasil penelitian lainnya melaporkan bahwa *B. megaterium* pada wanita Cina berusia 50 tahun menyebabkan abses otak. Meskipun antibiotik diketahui efektif memberantas *B. megaterium*, akan tetapi bakteri telah membentuk spora, sehingga sulit untuk mengobatinya (Guo et al. 2015).

### 1.3. *Staphylococcus Haemolyticus*

*Staphylococcus haemolyticus* adalah bakteri patogen oportunistik yang menjajah kulit manusia dan sangat resisten terhadap antibiotik sehingga sulit untuk diberantas (Takeuchi et al. 2005). *S. haemolyticus* memainkan peran penting dalam HAIs terkait dengan perangkat medis (Mack et al. 2006). Infeksi yang terjadi di unit neonatal care karena spesies stafilokokus jarang dilaporkan terutama jenis *Staphylococcus haemolyticus* yang resisten terhadap penisilin, metisilin, gentamisin, eritromisin, kloramfenikol, dan tetrasiklin diisolasi dari serangkaian infeksi pada unit neonatal dan dapat menyebabkan infeksi kulit dan jaringan lunak (Mehta and Kumari 1997), (Ubukata et al. 1990), (Katayama, Ito, and Hiramatsu 2001), (Shittu et al. 2004). Masalah ini

membatasi pilihan terapi yang tersedia dan membuat infeksi *S. olyticus* menjadi ancaman serius. Oleh karena itu, pemahaman



yang lebih dalam tentang bagaimana *S. haemolyticus* berubah menjadi patogen di tingkat molekuler diperlukan untuk mengembangkan pendekatan baru untuk pencegahan dan terapi yang efektif (Fredheim et al. 2009).

Frekuensi peningkatan *S. haemolyticus* yang resisten terhadap methicillin sebagai agen penyebab infeksi di rumah sakit (Barros et al. 2012). Kami melaporkan kasus infeksi dengan penyakit serius dan bakteremia pada pasien leukemia dengan strain *Staphylococcus haemolyticus* yang menunjukkan penurunan kerentanan terhadap vankomisin dan teicoplanin. Beberapa staf rumah sakit ditemukan menjadi pembawa *S. Haemolyticus* (Degener et al. 1994).

*Staphylococcus haemolyticus* merupakan bakteri penyebab HAIs terutama pasien *immunocompromised* yang resistensi terhadap beberapa agen antimikroba (Cavanagh et al. 2014). Hasil penelitian melaporkan bahwa Isolat *S. haemolyticus* ditemukan dari luka (44%), urin (26%), darah (10%), dan sumber lain (20%) (Froggatt et al. 1989). Kolonisasi dengan strain *S. haemolyticus* yang rentan terhadap vankomisin dikaitkan dengan infeksi nosokomial aliran darah dengan strain yang identik dengan tingkat resistensi vankomisin (Veach et al. 1990).

#### 1.4. *Bacillus Cereus*



asil gram positif pembentuk spora adalah spesies bacillus dan es Bacillus bersifat aerob. Basil-basil tersebut ditemukan dimana-

mana, dan karena membentuk spora maka basil tersebut dapat bertahan hidup dalam lingkungan selama beberapa tahun. Genus bacillus mencakup batang gram positif, aerob besar yang berbentuk rantai. Sebagian besar genus ini adalah organisme saprofit yang lazim terdapat dalam tanah, air, udara, dan tumbuh-tumbuhan seperti jenis *bacillus cereus* dan *bacillus subtilis* (Brooks, Butel, and Morse 2008).

*Bacillus cereus* ditemukan disemua habitat dan merupakan patogen oportunistik dan penyebab umum pada kasus keracunan makanan (Helgason et al. 2000), penyebab infeksi mata, keratitis berat, endoftalmitis, panoftalmitis, infeksi lokal dan sistemik, termasuk endokarditis, meningitis, osteomielitis, pneumonia, adanya alat medis atau penggunaan obat intravena menjadi predisposisi infeksi ini (Brooks, Butel, and Morse 2008).

Sebuah penelitian (Barrie et al. 1994) melaporkan dua kasus *Bacillus cereus* meningitis pasca operasi mengungkapkan bahwa linen rumah sakit yang dicuci dengan mesin cuci kontinyu batch sangat terkontaminasi oleh spora *B. cereus*. Ditemukan bahwa linen yang dimasukkan ke dalam mesin cuci memiliki kandungan spora *B. cereus* yang tinggi dan setelah proses pencucian berlangsung masih tetap ditemukan. Spora tidak terbunuh oleh tahap disinfeksi panas pencucian atau penambahan disinfektan kimia. Selain itu, penelitian serupa yang

kan di Rumah Sakit Jichi Medical University tahun 2006  
aporkan sebelas pasien mendapatkan bakteremia oleh *B. cereus*



antara Januari dan Agustus 2006. Linen Rumah Sakit dan mesin cuci sangat terkontaminasi dengan *B. Cereus*. Sumber wabah ini adalah kontaminasi *B. cereus* pada linen Rumah Sakit, dan ditularkan dari linen ke pasien melalui infeksi kateter. Temuan ini menunjukkan bahwa kontaminasi bakteri pada linen rumah sakit dapat menyebabkan bakteremia nosokomial di Rumah Sakit (Sasahara et al. 2011).

#### 1.5. *Acinetobacter lwoffii*

Spesies *Acinetobacter* adalah bakteri aerob gram negatif yang biasanya ditemukan dilingkungan Rumah Sakit. *Acinetobacter* biasanya berbentuk kokobasil atau kokus dan sering menjadi kuman komensal, tetapi kadang-kadang menyebabkan infeksi nosokomial. *Acinetobacter* yang ditemukan pada pneumonia nosokomial sering berasal dari alat pelembab udara atau alat penguap udara. Pada pasien dengan bakteremia akibat *Acinetobacter*, kateter intravena hampir selalu menjadi sumber infeksi dan pada pasien luka bakar atau defisiensi imun *Acinetobacter* dapat menjadi patogen oportunistik dan dapat mengakibatkan sepsis. Selain itu, strain *Acinetobacter* sering resisten terhadap obat antimikroba (Brooks, Butel, and Morse 2008). Infeksi yang disebabkan oleh *Acinetobacter spp.* meliputi: pneumonia terkait ventilator; infeksi kulit dan jaringan lunak; infeksi luka; infeksi saluran kemih; meningitis sekunder; dan infeksi aliran darah (Dijkshoorn,

et al., and Seifert 2007).



*Acinetobacter lwoffii* adalah basil gram negatif aerob non-fermentasi dan merupakan flora normal orofaring dan kulit pada sekitar 25% individu sehat. *Acinetobacter lwoffii* adalah jenis bakteri patogen oportunistik potensial pada pasien dengan sistem kekebalan yang terganggu seperti yang sedang dirawat diruangan intensive care unit, dan telah diidentifikasi sebagai penyebab infeksi nosokomial seperti septikemia, pneumonia, meningitis, infeksi saluran kemih, infeksi kulit dan luka (Regalado, Martin, and Antony 2009), (Baldeo et al., 2015). Faktor-faktor seperti lama tinggal di rumah sakit, keganasan, pasien di ICU dan unit luka bakar, pasien yang telah menjalani prosedur bedah besar, neutropenia, yang mendasari kronis penyakit dan penggunaan antibiotik sebelumnya merupakan faktor predisposisi untuk infeksi *Acinetobacter* yang didapat di rumah sakit. Obat-obatan yang digunakan untuk mengobati infeksi nosokomial *A. lwoffii* termasuk amikasin, rifampisin, tetrasiklin, dan sefalosporin. (Regalado, Martin, and Antony 2009).

#### 1.6. *Kocuria Rosea*

*Kocuria spp.* Tergolong mikroorganisme aerob gram positif (Tsai et al. 2010). Spesies *Kocuria* adalah penyebab infeksi pada pasien yang mengalami gangguan kekebalan (*Immunocompromised*) (Lai et al. 2011), (Tsai et al. 2010), (Dunn, Bares, and David 2011), (Lee, Choi,

kyu 2013). *Kocuria rosea* merupakan mikroorganisme gram positif keluarga *Micrococcaceae*. *Kocuria rosea* adalah jenis patogen



nosokomial yang dapat menyebabkan infeksi oportunistik pada pasien yang mengalami gangguan kekebalan dan dilaporkan dapat menyebabkan infeksi kateter pada pasien neutropenik demam (Altuntas et al. 2004).

*Kocuria rosea* umumnya ditemukan pada kulit manusia dan secara etiologis terkait dengan kateter bakteremia (*catheter-related bacteremia*) dan kolesistitis akut (Ma et al. 2005), (Tsai et al. 2010). *Kocuria rosea* terdiri dari flora normal di orofaring, kulit, dan mukosa. *K. rosea* memiliki patogenisitas rendah dan kerentanan tinggi terhadap berbagai antibiotik (Lee, Choi, and Ryu 2013). Akan tetapi, penanganan *K. rosea* meningitis berhasil diobati dengan vankomisin diikuti oleh linezolid (Sipahi et al. 2014).

#### 1.7. *Staphylococcus Hominis*

*Staphylococcus* terdiri dari 30 spesies yang terdiri dari sel sferis gram-positif, biasanya tersusun dalam kelompok seperti anggur yang tidak teratur. *Staphylococcus* dapat berkembang dalam lingkungan aerobik atau mikroaerofilik. Organisme ini paling cepat berkembang pada suhu 37°C dan untuk menghasilkan pigmen pada suhu ruangan 20-25°C (Brooks, Butel, and Morse 2008). *Staphylococcus hominis* adalah anggota dominan dari mikrobioma kulit manusia (Calkins et al. 2016). *Staphylococcus Hominis* dapat menyebabkan infeksi nosokomial

rumah Sakit utamanya pasien yang dirawat di ruang ICU. Infeksi ini



dapat ditularkan melalui pasien yang dirawat di rumah sakit dan bisa melalui tenaga kesehatan yang terkontaminasi (Sorlozano et al. 2010).

Sampel dari 450 *Staphylococci* dikumpulkan dari spesimen klinis selama periode 2000-2001 dari lima Rumah Sakit utama di kabupaten Thessaly (Yunani Tengah) diselidiki untuk resistensi terhadap metisilin. Sebagian besar isolat dikumpulkan unit perawatan intensif dan bangsal bedah rumah sakit ditemukan *Staphylococcus hominis* sebanyak 11.1% (Petinaki et al. 2001). Rumah Sakit adalah tempat berisiko tinggi mengalami infeksi oleh *Staphylococcus hominis* utamanya diruang perawatan neonatus, unit perawatan intensive care, dan ruang operasi.

Penyebaran kontak langsung dianggap sangat penting karena sebagian besar staf atau pasien membawa *Staphylococcus* yang resisten terhadap antibiotik didalam hidung atau kulitnya. Oleh karena, upaya pencegahan misalnya dengan radiasi ultraviolet diperlukan untuk meminimalkan penyebaran mikroorganisme tersebut (Brooks, Butel, and Morse 2008).

### 1.8. *Staphylococcus Aureus*

*Staphylococcus Aureus* bersifat koagulase positif dan bersifat patogen pada manusia dengan derajat keparahan bermacam-macam. *Staphylococcus Aureus* biasanya membentuk koloni berwarna abu-abu hingga kuning tua kecoklatan. Infeksi *S. Aureus* jika menyebar luas dan

di bakteremia maka dapat mengakibatkan endokarditis,



osteomielitis hematogen akut, meningitis, atau infeksi paru (Brooks, Butel, and Morse 2008).

Peningkatan MRSA (*Methicillin Resistant Staphylococcus Aureus*) di udara telah mencemari lingkungan Rumah Sakit dan dapat berperan dalam kolonisasi MRSA di rongga hidung pada infeksi MRSA pernapasan. Upaya pencegahan sangat penting dilakukan utamanya ruangan intensive care seperti, mengontrol aliran udara masuk dan keluar, ventilasi udara, desinfeksi dan penyaringan udara. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa jumlah MRSA di lantai dan spreng berkorelasi dengan yang ada di udara di dalam ruangan dan MRSA dapat menyebar melalui aerosol yang terhirup. Menghirup partikel-partikel tersebut kemungkinan akan berperan dalam kolonisasi MRSA pada infeksi pernapasan (Shiomori et al. 2002). Hasil penelitian melaporkan bahwa sampel udara yang diambil dari ruang operasi berventilasi menemukan bakteri jenis *Staphylococcus Aureus* yang merupakan bakteri jenis patogen yang menyebabkan HAIs (Fleischer et al. 2006). Strain *Staphylococcus Aureus* (MRSA) yang resistan terhadap metisilin adalah penyebab utama HAIs di Amerika Serikat (Kos et al. 2012).

#### 1.9. *Pseudomonas Stutzeri*

Group *Pseudomonas* merupakan bakteri gram negatif yang

untuk batang, motil dan bersifat aerob (Brooks, Butel, and Morse

. *Pseudomonas stutzeri* adalah bakteri denitrifikasi nonfluorescent



yang tersebar luas di lingkungan dan tergolong bakteri patogen oportunistik yang dapat menyebabkan HAIs (Lalucat et al. 2006), (Bisharat, Gorlachev, and Keness 2012). *Pseudomonas stutzeri* adalah penyebab infeksi (Gilardi 1972), penyakit pada manusia (pasien *immunocompromised*) seperti pneumonia di Rumah Sakit (Potvliege et al. 1987) dan paling sering diisolasi dari darah, luka, saluran pernapasan, dan urin (Noble and Overman 1994), (Bisharat, Gorlachev, and Keness 2012).

Spesies ini rentan terhadap berbagai antibiotik, termasuk ampisilin, tetrasiklin, streptomisin, asam nalidiksat, neomisin, kanamisin, polimiksin, dan gentamisin (Gilardi 1972). Metode pencegahan yang efektif untuk menurunkan risiko infeksi *Pseudomonas stutzeri* yaitu dengan kepatuhan pencucian tangan, kepatuhan yang ketat pada prosedur desinfeksi (Goetz et al., 1983).

#### 1.10. *Micrococcus Luteus*

*Micrococcus luteus* merupakan *Coccus* gram positif (Souhami et al., 1979) dan tergolong jenis patogen nosokomial pada pasien *immunocompromised*. Bakteremia persisten yang tidak responsif terhadap penatalaksanaan medis harus diobati dengan pengangkatan kateter seperti pasien dengan kasus hemodialisis dengan kateter Perm-Cath (Peces et al., 1997). Selain itu, *Micrococcus luteus* adalah

penyakit oportunistik pada pasien *immunocompromised* seperti pasien dengan saraf terkait meningitis (Fosse et al. 1985), endokarditis katup



prostetik (Seifert, Kaltheuner, and Perdreau-Remington 1995), (Miltiadous and Elisaf 2011).

#### 1.11. *Acinetobacter Baumannii*

*Acinetobacter* adalah genus yang kompleks. Spesies ini umumnya menyebabkan infeksi nosokomial, terutama pneumonia aspirasi dan bakteremia terkait kateter dan dapat menyebabkan infeksi jaringan lunak serta saluran kemih. Organisme ini memiliki fenotipe resistensi obat yang ekstrem (*extreme drug resistance*) dengan frekuensi yang tinggi. Tingginya tingkat resistensi antibiotik dan hasil yang buruk (tingkat kematian hingga 70% dari infeksi yang disebabkan oleh strain XDR (*Extreme Drug Resistance*) dalam beberapa seri kasus maka, pencegahan dan terapeutik model baru sangat diperlukan (Wong et al. 2017)

*Acinetobacter baumannii* merupakan bakteri gram negatif, dapat bertahan hidup dalam lingkungan kering dalam waktu yang lama dan spesies bakteri patogen nosokomial yang paling umum menyebabkan infeksi di rumah sakit terutama yang sedang dirawat di ruangan ICU termasuk pneumonia dan infeksi aliran darah. *Acinetobacter* bakteremia merupakan masalah serius dan semakin meningkat karena tingginya angka kesakitan dan kematian. (Dijkshoorn, Nemec, and Seifert 2007), (D'Souza et al. 2019), (Baldeo et al. 2015), (Houang et al., 1998),

(Sing, Hennon, and Feldman 2018).



A. *Baumannii* adalah patogen oportunistik yang dapat menyebabkan HAIs yang serius. Potensi patogennya mencakup kemampuan untuk melekat pada permukaan, membentuk biofilm, resistensi terhadap antimikroba, dan memperoleh materi genetik dari genera yang tidak terkait sehingga sulit untuk dikendalikan dan dihilangkan (Howard et al. 2012).

Epidemiologi dan prevalensi bakteri Gram negatif *Acinetobacter baumannii* yang resisten terhadap karbapenem berada diantara negara-negara di Asia Selatan dan Tenggara yang memiliki tingkat resistensi yang tertinggi di dunia (Hsu et al. 2017). *Acinetobacter baumannii* merupakan jenis yang resistan terhadap banyak obat dan dikenal sebagai salah satu basil gram negatif tahan antimikroba yang paling sulit untuk dikendalikan dan diobati. Selain itu, spesies ini dapat bertahan untuk waktu yang lama dengan berbagai kondisi lingkungan (Eliopoulos, Maragakis, and Perl 2008)

Organisme ini menyebabkan wabah infeksi dan infeksi terkait perawatan kesehatan, termasuk bakteremia, pneumonia, meningitis, infeksi saluran kemih, dan infeksi luka. Resistensi antimikroba sangat membatasi pilihan terapi untuk pasien yang terinfeksi organisme ini, terutama jika isolat resisten terhadap agen antimikroba golongan karbapenem. Infeksi *Acinetobacter* yang resistan terhadap beberapa

memiliki angka kematian kasar yang sangat tinggi dan paling sering terjadi pada pasien yang sakit parah. Infeksi ini terkait dengan



peningkatan waktu pada ventilasi mekanis pada ruang ICU dan di Rumah Sakit (Eliopoulos, Maragakis, and Perl 2008).

*Acinetobacter baumannii* merupakan jenis patogen dan memiliki tingkat resistensi antimikroba yang tinggi. Mayoritas isolat *A. baumannii* berasal dari saluran pernapasan pada pasien rawat inap. Studi surveilans dari Amerika Serikat melaporkan bahwa antara 5 dan 10% kasus pneumonia yang didapat di ICU disebabkan oleh *A. Baumannii*. Infeksi *A. baumannii* yang didapat di rumah sakit memperpanjang masa tinggal di Rumah Sakit dan biaya perawatan kesehatan. Mayoritas strain *A. Baumannii* rentan terhadap karbapenem. Penggunaan tigecycline untuk infeksi oleh *A. baumannii*, terutama untuk bakteremia, meninggalkan colistin sebagai satu-satunya pilihan terapeutik untuk beberapa orang. Penelitian di masa mendatang harus diarahkan untuk memahami sifat farmakokinetik dan farmakodinamik polimiksin agar dokter dapat mengoptimalkan kesembuhan pasien, meminimalkan efek samping, dan mencegah munculnya resistensi sekunder (Peleg, Seifert, and Paterson 2008).

#### 1.12. *Geobacillus Stearothermophilus*

*G. stearothermophilus* merupakan mikroorganisme pembentuk spora, aerobik, basil gram positif, sangat tahan terhadap panas dan tekanan tinggi (Watanabe et al. 2003). Spora *Geobacillus*

*stearothermophilus* merupakan bioindikator yang tersedia secara komersial yang digunakan untuk menilai kemandirian fase



dekontaminasi, dimana *Vaporized hydrogen peroxide* (VHP) semakin banyak digunakan dalam dekontaminasi ruang isolasi Rumah sakit (Pottage et al., 2012).

#### 1.13. *Staphylococcus Gallinarum*

*Staphylococcus Gallinarum* merupakan jenis coccus gram positif dengan ukuran 0.5  $\mu\text{m}$ -1.8  $\mu\text{m}$  (median=1.1  $\mu\text{m}$ ) dan terjadi secara tunggal, berpasangan, atau dalam kelompok kecil atau rantai yang terdiri dari 3 hingga 10 sel (Devriese et al., 1983).

Penelitian yang dilakukan (Yu et al. 2008) melaporkan kasus infeksi aliran darah yang disebabkan oleh *Staphylococcus gallinarum* pada pasien dengan infeksi virus hepatitis B kronis. Selain itu penelitian lainnya melaporkan kasus endophthalmitis traumaticus yang disebabkan oleh *Staphylococcus gallinarum*, setelah cedera dengan paku besi. Pasien berhasil diobati dengan vitrectomy dan injeksi cefazolin dan vankomisin intravitreal (Tibra et al., 2010).

#### 1.14. *Cronobacter Sakazakii*

*Cronobacter* adalah genus dalam keluarga *Enterobacteriaceae* dan sebelumnya dikenal sebagai *Enterobacter sakazakii*. Ini terkait erat dengan genera *Enterobacter* dan *Citrobacter*. *Cronobacter* terkenal karena hubungan mereka dengan infeksi pada unit neonatal yang parah. Infeksi dengan *Cronobacter spp.* terjadi di semua kelompok

dan sebagian besar menyebabkan infeksi, terutama unit neonatal, dimana terdapat pasien yang memiliki berat badan lahir



rendah, karena organisme tersebut dapat menyebabkan meningitis, *necrotizing enterocolitis* (NEC), dan sepsis pada pasien di unit perawatan intensif neonatal dan memiliki tingkat kematian yang tinggi (Joseph and Forsythe 2011).

*Cronobacter Sakazakii* merupakan basil gram negatif, patogen oportunistik pada manusia terutama pasien *immunocompromised* dan dikaitkan dengan infeksi neonatal (Baldwin et al. 2009), (Kucerova et al. 2010). Penyakit yang paling parah disebabkan oleh neonatus dan termasuk enterokolitis nekrotikans fatal dan meningitis (Kucerova et al. 2010).

## 2. Jamur

Penyebaran propagul jamur dapat dikaitkan dengan aktivitas manusia, kondisi lingkungan, dan aspek khusus seperti ventilasi, suhu, kelembaban udara relatif, serta keberadaan debu, kotoran, dan jenis lain dari substrat organik, yang dapat meningkatkan pertumbuhan jamur (Pantoja, Nascimento, and Nunes 2016).

Konsentrasi jamur di sektor udara Rumah Sakit yang dianalisis mungkin terkait dengan ketidakseimbangan aktivitas manusia, seperti lingkungan dengan tingkat turnover orang yang tinggi dan sistem penyaring udara. Dengan demikian, mengingat keberadaan mikroorganisme dengan potensi patogen dan status kekebalan pasien,

ntauan udara sangat penting untuk mengevaluasi risiko terhadap atanan (Pantoja, Nascimento, and Nunes 2016).



Faktor-faktor yang mempengaruhi keberadaan jamur di udara yaitu: musim, kondisi cuaca, jumlah orang yang hadir di bangsal, isolasi situs dalam ruangan dan keberadaan pekerjaan konstruksi (Tormo-Molina et al. 2012). Agen biologis, seperti spora jamur di udara dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia (Mallo et al., 2017).

### 2.1. *Absidia spp*

Kelas *Zygomycetes* adalah kelompok besar jamur berfilamen yang ditemukan di mana-mana di alam. Di antara spesies itu hanya *Absidia corymbifera* yang dianggap patogen bagi manusia. *Absidia spp.* umumnya ditemukan di puing-puing tanaman, lingkungan udara dalam ruangan, tanah, dan materi yang membusuk. Kontak manusia dengan spora jamur *Absidia spp* sering terjadi (Garbino et al. 2005), (Christiaens et al. 2005).

*Zygomycetes* adalah patogen oportunistik yang mampu menyebabkan infeksi akut pada manusia. Di antara mereka, beberapa *Zygomycetes* adalah patogen oportunistik yang mampu menyebabkan infeksi akut pada manusia. Beberapa organisme dominan yang menyebabkan penyakit adalah *Rhizopus spp.*, *Mucor spp.* dan *Absidia spp* (Mosquera et al., 2001).

*Zygomycetes* adalah jamur, termasuk spesies *Rhizopus*, *Absidia*, *Mucor*, dan *Cunninghamella*, yang menghasilkan *rhinocerebral*,

*meningitis*, kulit yang terlokalisasi, atau penyakit diseminasi, terutama pada pasien dengan neutropenia yang berkepanjangan atau diabetes



yang tidak terkontrol dengan baik. Dalam ulasan baru-baru ini dari 78 kasus *zygomycosis* kulit, 60% kasus terjadi pada pasien *immunocompromised*, dengan 23% pada pasien keganasan hematologis, 13% pada pasien diabetes, dan 6% pada penerima SOT. Kulit adalah pintu masuk dalam 56% kasus, dengan sebagian besar kasus inokulasi primer terjadi pada inang imunokompeten (Burke and Lopez 2017).

### 3. Biofilm

Spesies bakteri yang mampu menjajah manusia sangat kreatif. Banyak bakteri patogen yang mampu melakukan transisi antara kehidupan di lingkungan dan di inang manusia, dan semua harus mampu beradaptasi dengan lingkungan yang tersedia, dalam ketersediaan nutrisi serta pertahanan imun inang primer dan sekunder. Salah satu contoh yang sangat penting dan relevan secara klinis dari adaptasi bakteri melalui ekspresi gen tersistematisasi adalah kemampuan untuk tumbuh sebagai bagian dari komunitas sessile, yang diselimuti eksopolimer yang disebut sebagai biofilm. (Jefferson 2004).

Biofilm pertama kali dijelaskan oleh Antonie van Leeuwenhoek. Mikroorganisme yang tumbuh dalam biofilm sangat resisten terhadap agen antimikroba. Mikroorganisme yang terkait dengan biofilm berhubungan dengan beberapa penyakit pada manusia, seperti

karditis katup asli, fibrosis kistik, osteomielitis, karies gigi, infeksi  
a tengah, infeksi yang terkait dengan perangkat medis, infeksi



implan okular, dan infeksi paru-paru kronis pada kistik (Donlan and Costerton 2002), (Jefferson 2004). Sebagian besar infeksi biofilm “tersembunyi,”. Mereka berkembang secara perlahan dan pada awalnya menghasilkan beberapa gejala, kemudian mereka melakukan pengrusakan karena mereka memicu sekuele kompleks imun dan bertindak sebagai reservoir untuk eksaserbasi akut (Donlan and Costerton 2002).

Biofilm adalah masalah klinis yang utama terkait tingginya tingkat resistensi terhadap sebagian besar antibiotik (Cerca et al. 2005), (Jefferson 2004). Faktor yang paling penting dalam patogenesis infeksi Stafilokokus yang terkait dengan perangkat medis adalah pembentukan biofilm bakteri yang melekat dan berlapis. Infeksi terkait alat medis, paling sering disebabkan oleh Stafilokokus koagulase-negatif, terutama *Staphylococcus epidermidis* dan semakin penting dalam pengobatan modern. Terapi antimikroba akan mengalami kegagalan tanpa melepas perangkat implan (Fredheim et al. 2009), (Cerca et al. 2005).

Kemampuan untuk membentuk biofilm dianggap sebagai faktor virulensi yang paling penting dalam *coagulase-negative staphylococci* (CoNS) infeksi terkait bahan asing (Mack et al. 2006). Isolat CoNS telah menjadi penyebab umum infeksi nosokomial, terutama infeksi aliran darah, dan resistensi terhadap sebagian besar agen antimikroba

suk metisilin (Nunes et al. 2006). Biofilm *S. haemolyticus* menunjukkan tingkat keanekaragaman yang tinggi dalam profil biokimia



mereka. Penelitian kami menyimpulkan bahwa pembentukan biofilm adalah fenotipe yang umum pada isolat klinis *S. haemolyticus*. Latar belakang genetik untuk pembentukan biofilm jelas berbeda dari apa yang biasanya ditemukan pada *S. Epidermidis* (Fredheim et al. 2009).

Direct sampling dari sampel ICU menunjukkan biofilm polimikroba tersebar luas. Pembentukan biofilm adalah komponen penting untuk patogenesis dari *Enterococcus* dan *Acinetobacter*. Pembentukan biofilm sering membutuhkan protein yang melekat ekstraseluler termasuk LH92\_11085 dan OmpA di *A. baumannii* atau Emp pilus di *E. faecium*. Variasi telah diamati di antara kemampuan isolat klinis *A. baumannii* untuk membentuk biofilm, tetapi beberapa strain mampu tumbuh pada permukaan kateter urin (D'Souza et al. 2019). Oleh karena itu, kita harus mulai menggunakan fenotip biofilm dari setiap patogen kronis dalam pengembangan vaksin dan antibiotik baru yang ditujukan untuk target spesifik biofilm dan dalam studi tentang penyebab dan cara mengendalikan kelompok penyakit yang sedang berkembang dewasa ini (Donlan and Costerton 2002).

#### 4. Metode Pengukuran dan Standar Persyaratan Mikroba Udara

Konsentrasi biasanya dinyatakan sebagai jumlah unit pembentuk koloni (CFU) atau indeks kontaminasi udara mikroba (IMA / Index Of Microbial Air). Cawan petri 90 mm yang mengandung *Tryptic*

*heximide soy* agar dan *Sabouraud chloramphenicol dextrose* agar akan untuk sampel bakteri dan jamur, Skema 1/1/1 sebagai



metode standar digunakan untuk mengumpulkan bioaerosol. Pada akhir pengambilan sampel, cawan petri segera dipindahkan ke laboratorium dan diinkubasi pada suhu  $37 \pm 1^{\circ} \text{C}$  selama 2 hari untuk bakteri dan pada suhu  $25 \pm 1^{\circ} \text{C}$  selama 4 hari untuk jamur. (Bolookat et al. 2018) (Mosayebi et al. 2017).

Menurut *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH), untuk orang dengan defisiensi imun, nilai batas konsentrasi bakteri adalah  $100 \text{ CFU/m}^3$  (Asif et al. 2018). Sedangkan batas atas untuk tingkat jamur seperti yang disarankan oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) adalah  $500 \text{ CFU/m}^3$  (Asif et al. 2018). Menurut Permenkes RI tahun 2019 menetapkan standar baku mutu mikrobiologi udara yaitu, ruang operasi kosong =  $35 \text{ CFU/ m}^3$ , ruang operasi dengan aktifitas =  $180 \text{ CFU/ m}^3$ , dan ruang operasi *ultraclean* =  $10 \text{ CFU/ m}^3$  (Permenkes RI 2019).

### C. Tinjauan Umum Rumah Sakit

Mikroorganisme patogen dapat berperan dalam kontaminasi lingkungan kamar Rumah Sakit dan meningkatkan risiko penularan (King et al. 2013). Mikroorganisme di udara dalam lingkungan rumah sakit berpotensi menyebabkan infeksi pada pasien (Harper et al. 2013). Selain itu, ditemukan bahwa faktor jumlah manusia dalam suatu ruangan

terhadap jumlah bioaerosol bakteri di udara (C. S. Li and 03). Di dalam ruangan di mana terdapat orang yang sehat,



jumlahnya dapat mengalami peningkatan hingga 300 CFU/m<sup>3</sup> atau lebih, tergantung dari jumlah orang dalam ruangan tersebut. Akan tetapi, sangat disarankan untuk ruang operasi, tidak lebih dari 100 CFU/m<sup>3</sup> udara untuk mengurangi risiko infeksi luka pasca operasi (Andersen 2019).

Evolusi resistensi antimikroba pada mikroorganisme dan kemunculan penyakit menular yang terus-menerus telah membuat Rumah Sakit menjadi lingkungan yang semakin berbahaya. Stabilitas lingkungan dari mikroba ini memungkinkan mereka untuk tetap hidup di permukaan selama sehari-hari, di mana mereka dapat menular ke penghuni rumah sakit lainnya (Heimbuch et al. 2016). Kepadatan penghuni dalam Rumah Sakit harus dikontrol karena menjadi sumber utama HAIs yang ditularkan melalui jalur udara (El-Sharkawy and Noweir 2014). Faktor kelembaban, suhu, dan kepadatan penghuni mempengaruhi konsentrasi spora jamur dan bakteri di udara. Kelembaban mempengaruhi konsentrasi jamur udara di Rumah Sakit terkait semakin sering menggunakan pintu, aktivitas respirasi tinggi oleh banyaknya pengunjung dan pasien serta kebocoran disistem ventilasi di beberapa bagian Rumah Sakit (El-Sharkawy and Noweir 2014) (Tang 2009).

Upaya pengendalian faktor-faktor lingkungan yang mendukung pertumbuhan dan penyebaran mikroba di lingkungan *indoor* yang tinggi harus diperhatikan (Hayleeyesus and Manaye 2014). Oleh karena itu,

(Septiari 2012) persyaratan bangunan rumah sakit harus  
diantaranya:



## 1. Lingkungan bangunan

- a. Lingkungan bangunan rumah sakit harus mempunyai batas yang jelas, dilengkapi dengan pagar yang kuat, dan tidak memungkinkan orang atau binatang peliharaan keluar masuk dengan bebas.
- b. Luas lahan bangunan, dan halaman harus disesuaikan dengan luas lahan keseluruhan, sehingga tersedia tempat parkir yang memadai, dan dilengkapi dengan rambu parkir.
- c. Lingkungan bangunan harus bebas dari banjir, jika berlokasi di daerah banjir harus menyediakan fasilitas untuk mengatasinya.
- d. Lingkungan rumah sakit harus dilengkapi penerangan dengan intensitas cahaya yang cukup.
- e. Lingkungan rumah sakit harus tidak berdebu, tidak becek, dan dibuat landai menuju ke saluran terbuka atau tertutup, tersedia lubang penerima air masuk, dan disesuaikan dengan luas halaman.
- f. Saluran limbah domestik, dan limbah medis harus tertutup, dan terpisah. Masing-masing dihubungkan langsung dengan instalasi pengolahan air limbah.
- g. Lingkungan, ruang, dan bangunan rumah sakit harus selalu dalam keadaan bersih, dan tersedia fasilitas sanitasi secara kualitas, dan kuantitas yang memenuhi persyaratan kesehatan.

## 2. Konstruksi bangunan



antai

- 1) Lantai harus terbuat dari bahan yang kuat, kedap air, permukaan rata, tidak licin, warna terang, dan mudah dibersihkan.
- 2) Lantai yang selalu kontak dengan air harus mempunyai kemiringan yang cukup ke arah saluran pembuangan air limbah.
- 3) Pertemuan lantai dengan dinding harus berbentuk lengkung agar mudah dibersihkan.

b. Dinding

- 1) Permukaan dinding harus rata, kuat, berwarna terang, dan menggunakan cat yang tidak luntur serta tidak menggunakan cat yang mengandung logam berat.

c. Ventilasi

- 1) Ventilasi alamiah harus dapat menjamin aliran udara di dalam kamar atau ruangan dengan baik.
- 2) Luas ventilasi alamiah minimum 15% dari luas lantai.
- 3) Apabila ventilasi alamiah tidak dapat menjamin adanya pergantian udara dengan baik, kamar atau ruang harus dilengkapi dengan penghawaan buatan/mekanis.
- 4) Penggunaan ventilasi buatan harus disesuaikan dengan peruntukan ruangan.
- 5) Ventilasi, dan penghawaan sebaiknya menggunakan AC tersendiri yang dilengkapi filter bakteri, pemasangan AC minimal 2 m dari

lantai dan aliran udara bersih yang masuk kedalam ruang operasi berasal dari atas ke bawah. Khusus untuk ruang bedah orthopedi



atau transplantasi organ harus menggunakan pengaturan udara *ultra clean air (UCA) system*.

d. Atap

- 1) Atap harus kuat, tidak bocor, dan tidak menjadi tempat perindukan serangga, tikus, dan binatang pengganggu lainnya.
- 2) Atap yang lebih tinggi dari 10 meter harus dilengkapi penangkal petir.

e. Langit-langit

- 1) Langit-langit harus kuat, berwarna terang, dan mudah dibersihkan.
- 2) Langit-langit tingginya minimum 2.70 m dari lantai.
- 3) Kerangka langit-langit harus kuat, dan apabila terbuat dari kayu harus anti rayap.

f. Konstruksi

- 1) Balkon, beranda, dan talang harus sedemikian sehingga tidak terjadi genangan air yang dapat menjadi tempat perindukan nyamuk aedes.

g. Pintu

- 1) Pintu harus kuat, cukup tinggi, cukup lebar, dan dapat mencegah masuknya serangga, tikus, dan binatang pengganggu lainnya.

Menurut Kementerian Kesehatan tahun 2004 tentang persyaratan kesehatan lingkungan rumah sakit terkait persyaratan fisik dan mikroba di

sajikan pada tabel 2.1 dibawah ini:



Tabel 2.1: Indeks Angka Kuman Menurut Fungsi Unit

No.	Ruang atau Unit	Konsentrasi Maksimum Mikroorganisme per m <sup>3</sup> Udara (CFU/m <sup>3</sup> )
1	Operasi	10
2	Bersalin	200
3	Pemulihan / Perawatan	200-500
4	Observasi bayi	200
5	Perawatan bayi	200
6	Perawatan premature	200
7	ICU	200
8	Jenazah/Autopsi	200-500
9	Penginderaan Medis	200
10	Laboratorium	200-500
11	Radiologi	200-500
12	Sterilisasi	200
13	Dapur	200-500
14	Gawat Darurat	200
15	Administrasi, pertemuan	200-500
16	Ruang luka bakar	200

Sumber: (Kemenkes RI 2004)

Tabel 2.2 menjelaskan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2019 tentang kesehatan lingkungan Rumah Sakit terkait standar baku mutu suhu dan kelembaban yang dipersyaratkan dibawah ini:

Tabel 2.2: Standar Baku Mutu Suhu dan Kelembaban Unit

No.	Ruang/Unit	Suhu (°C)	Kelembaban (%)
1	Operasi	22-27	40-60
2	Bersalin	24-26	40-60
3	Pemulihan / Perawatan	22-23	40-60
4	Observasi bayi	27-30	40-60
5	Perawatan bayi	32-34	40-60
6	Perawatan	32-34	40-60
7	ICU	22-23	40-60
8	Jenazah/Autopsi	21-24	40-60
	Penginderaan Medis	21-24	40-60
	Laboratorium	20-22	40-60
	Radiologi	17-22	40-60
	Sterilisasi	21-30	40-60



Tabel 2.2: Standar Baku Mutu Suhu dan Kelembaban Unit

No.	Ruang/Unit	Suhu (°C)	Kelembaban (%)
13	Dapur	22-30	40-60
14	Gawat Darurat	20-24	40-60
15	Administrasi, pertemuan	20-28	40-60
16	Ruang luka bakar	24-26	40-60

Sumber: (Permenkes RI 2019)

Tabel 2.3 dibawah ini menjelaskan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2019 tentang kesehatan lingkungan Rumah Sakit terkait standar baku mutu intensitas pencahayaan yang dipersyaratkan.

Tabel 2.3: Standar Baku Mutu Intensitas Pencahayaan Unit

No.	Ruangan/Unit	Intensitas Cahaya (lux)	Keterangan
1	Ruang pasien		
	- Saat tidak tidur	250	Warna cahaya sedang
	- Saat tidur	50	Warna cahaya sedang
	Rawat jalan	200	Ruangan tindakan
2	Unit gawat darurat (UGD)	300	Ruangan tindakan
3	Operasi umum	300-500	Warna cahaya sejuk
4	Meja operasi	10.000-20.000	Warna cahaya sejuk atau sedang tanpa bayangan
5	Anestesi, pemulihan	300-500	Warna cahaya sejuk
6	Endoscopy, Lab	75-100	
7	Sinar X	Minimal 60	Warna cahaya sejuk
8	Koridor	Minimal 100	
9	Tangga	Minimal 100	Malam hari
	Administrasi/kantor	Minimal 100	Warna cahaya sejuk
	Ruang alat/gudang	Minimal 200	
	farmasi	Minimal 200	
	dapur	Minimal 200	



Tabel 2.3: Standar Baku Mutu Intensitas Pencahayaan Unit

No.	Ruangan/Unit	Intensitas Cahaya (lux)	Keterangan
14	Ruang cuci	Minimal 100	
15	Toilet	Minimal 100	
16	Ruang isolasi khusus penyakit	0,1 – 0,5	Warna cahaya biru
17	Ruang luka bakar	100-200	Warna cahaya sejuk

Sumber: (Permenkes RI 2019)

### 3. Kriteria pasien yang ditempatkan di ruangan ICU (*Intensive Care Unit*)

Ruangan ICU merupakan ruangan khusus yang diperuntukkan untuk pasien kritis dengan kategori dewasa yang memerlukan perawatan intensif dan pengawasan terus-menerus yang sedang dirawat di Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar.

#### a. Kriteria Objektif:

##### 1) Kriteria pasien masuk ICU:

##### a) Sistem Kardiovaskular

- 1) Miokard infark akut dengan komplikasi
- 2) Shock kardiogenik
- 3) Aritmia kompleks memerlukan monitor ketat dan intervensi
- 4) Congestive Heart failure akut dengan gagal napas dan atau memerlukan support hemodinamik
- 5) Hipertensi emergensi
- 6) Unstable angina, terutama dengan distritmia, instabilitas hemodinamik, atau chest pain yang persistent.

##### 7) Cardiac Arrest



- 8) Cardiac tamponade atau constriction dengan hemodinamik tak stabil.
  - 9) Dissecting aortic aneurisma
  - 10) Complete Heart Block
- b) Sistem Pulmoner
- 1) Gagal napas akut memerlukan support ventilator
  - 2) Emboli paru dengan hemodinamik tidak stabil
  - 3) Pasien di HCU yang tampak memburuk
  - 4) Membutuhkan nursing respiratory care yang tidak tersedia di ruang rawat atau HCU
  - 5) Hemoptisis Massif
  - 6) Gagal napas dengan kemungkinan membutuhkan intubasi
  - 7) Pneumonia berat
- c) Gangguan Saraf
- 1) Stroke akut dengan gangguan kesadaran
  - 2) Coma : metabolic, toxic atau anoxic
  - 3) Perdarahan intracranial dengan potensial herniasi
  - 4) Perdarahan subarachnoid akut
  - 5) Meningitis dengan gangguan kesadaran atau gangguan respirasi
  - 6) Gangguan sistem syaraf pusat atau neuromuskuler dengan perburukan neurologik dan fungsi pernafasan
  - 7) Status epileptikus



- 8) Brain dead atau potensial brain dead yang sedang dikelola secara agresif sementara menentukan kondisi sebagai donor organ
  - 9) Vasospasm
- d) Overdosis Obat-obatan
- 1) Hemodinamik tidak stabil
  - 2) Gangguan kesadaran dengan gangguan proteksi jalan nafas
  - 3) Kejang-kejang setelah makan obat
- e) Gangguan Saluran Cerna
- 1) Perdarahan gastrointestinal yang mengancam nyawa, hipotensi, angina, perdarahan terus atau dengan penyakit penyerta
  - 2) Fulminant hepatic failure
  - 3) Post-operative liver transplantation
  - 4) Pancreatittis berat
  - 5) Significant vomiting or abdominal distention requiring NPO status with IV fluid administration
- f) Endokrin
- 1) Diabetic ketoacidosis dengan komplikasi hemodinamik tak stabil, gangguan kesadaran, insufisiensi pernafasan, atau asidosis berat



- 2) Thyroid storm atau koma myxedema dengan hemodinamik tak stabil
  - 3) Kondisi hiperosmolar dengan koma dan/ atau hemodinamik tidak stabil
  - 4) Krisis adrenal dengan hemodinamik tak stabil
  - 5) Hypercalcemia berat dengan gangguan kesadaran, memerlukan monitor hemodinamik
  - 6) Hipo atau hipernatremia dengan kejang-kejang, gangguan kesadaran
  - 7) Hipo atau hipermagnesemia dengan gangguan hemodinamik atau disritmia
- g) Pembedahan
- 1) Pasien post-operasi besar yang membutuhkan monitoring hemodinamik atau ventilasi mekanik atau perawatan yang ketat
- h) Lain-lain
- 1) Septic shock dengan hemodinamik tak stabil
  - 2) Monitoring hemodinamik
  - 3) Kondisi klinik memerlukan nursing care setaraf ICU
  - 4) Cedera lingkungan (near drowning, hipo/hipertermia)
  - 5) Terapi baru/eksperimental dengan potensial timbul komplikasi komplikasi



## i) Fisiologis

## 1) Tanda vital

- a. Pulse  $< 50$  or  $> 150$  beats/minute
- b. Systolic arterial pressure  $< 80$  mm Hg or 20 mm Hg below the patient's usual pressure
- c. Mean arterial pressure  $< 60$  mm Hg
- d. Diastolic arterial pressure  $> 120$  mm Hg
- e. Respiratory rate  $> 35$  or  $< 10$  breaths/minute

## 2) Hasil Laboratorium

- a. Serum sodium  $< 120$  mEq/L or  $> 170$  mEq/L
- b. Serum potassium  $< 2.5$  mEq/L or  $> 6.0$  mEq/L
- c. PaO<sub>2</sub>  $< 50$  mm Hg
- d. pH  $< 7.1$  or  $> 7.7$
- e. Serum glucose  $> 800$  mg/dl,  $< 60$  mg/dl
- f. Serum calcium  $> 15$  mg/dl
- g. BUN  $> 30$  mg/dl or  $> 10.7$  mmol/L Creatinine  $> 1.5$  mg/dl or  $> 32.6$  umol/L
- h. Serum Mg  $< 1.6$  mEq/L or  $> 2.8$  mEq/L,  $< 0.66$  mmol/L or  $> 1.15$  mmol/L
- i. Toxic level of drug or other chemical substance in a hemodynamically or neurologically compromised patient
- j. Hgb.  $< 8$  g or  $> 21$  g



k. Hct. < 24% or > 63% WBC < 5000/cu.mm. or > 30.000/cu.mm Granulocytes (neutrophil) < 1500/cu.mm I/T, Immature to total neutrophil ratio > 0.27 I/M, Immature to mature neutrophil ratio > 0.35 Platelets < 150.000/cu.mm Fibrinogen < 150 mg/dL or > 373 mg/dL

3) Hasil Radiologi Imaging

- a. Cerebral vascular hemorrhage, contusion or subarachnoid hemorrhage with altered mental status or focal neurological signs
- b. Ruptured viscera, bladder, liver, esophageal varices or uterus with hemodynamic instability
- c. Dissecting aortic aneurysm

4) Electrocardiogram

- a. Myocardial infarction with complex arrhythmias, hemodynamic instability or congestive heart failure
- b. Sustained ventricular tachycardia or ventricular fibrillation
- c. Complete heart block with hemodynamic instability

5) Pemeriksaan Fisis

- a. Unequal pupils in an unconscious patient
- b. Burns covering > 10% BSA
- c. Anuria
- d. Airway obstruction
- e. Coma



f. Continuous seizures

g. Cyanosis

j) Kriteria Seleksi

1) Prioritas I

Penyakit /gangguan akut pada sistem organ vital yang memerlukan tindakan terapi yang intensif dan agresif yaitu :

a. Gangguan atau gagal nafas akut

b. Gangguan atau gagal sirkulasi

c. Gangguan atau gagal susunan syaraf pusat

2) Prioritas II

Pemantauan atau observasi intensif secara infasif atau non infasif atas keadaan yang dapat menimbulkan ancaman gangguan pada sistem organ vital :

a. Observasi intensif pasca bedah ekstensif

b. Observasi intensif pasca henti jantung dalam keadaan stabil

c. Observasi intensif pasien pasca bedah dengan jantung

3) Prioritas III

Pasien yang dalam keadaan sakit kritis dan tidak stabil yang mempunyai harapan kecil untuk disembuhkan /manfaat yang didapat dari tindakan-tindakan di ICU kecil pasien ini hanya memerlukan terapi intensif pada penyakit akutnya tetapi tidak dilakukan intubasi.



## 2) Kriteria pasien keluar ICU:

- a) Penyakit/keadaan pasien telah membaik dan cukup stabil sehingga tidak memerlukan terapi atau pemantauan intensif lebih lanjut
- b) Terapi atau pemantauan intensif tidak bermanfaat atau tidak memberi hasil pada pasien, sehingga pasien tidak menggunakan bantuan mekanis khusus (seperti Ventilator) misalnya :
  - 1) Pasien mengalami MBO
  - 2) Penyakit mencapai Stadium akhir (ARDS stadium akhir)
- c) Dalam hal ini pengeluaran pasien dari ICU dilakukan setelah memberitahu dan disetujui oleh keluarga terdekat pasien
- d) Pasien atau keluarga menolak untuk dirawat lebih lanjut ICU (keluar paksa)
- e) Pasien hanya memerlukan observasi intensif saja, sedangkan ada pasien yang lebih membutuhkan terapi dan observasi intensif (pasien ini hendaknya diusahakan pindah ke intermediet care)
- f) Pasien yang Tidak Memerlukan Perawatan di ICU
  - 1) Pasien mati batang otak (MBO), kecuali yang merupakan donor organ
  - 2) Pasien yang prioritas I atau II yang menolak perawatan/tindakan agresif di ICU



- 3) Pasien dengan keadaan vegetatif yang permanen
- 4) Pasien dalam keadaan stabil dengan resiko yang rendah untuk menjadi berbahaya
- 5) Pasien dalam stadium akhir (END-STAGE) penyakit-penyakit

#### 4. Kriteria pasien yang ditempatkan di ruangan NICU (*Neonatal Intensive Care Unit*)

Ruangan NICU (*Neonatal Intensive Care Unit*) merupakan ruangan khusus yang diperuntukkan untuk pasien kritis dengan kategori bayi (neonatal) yang memerlukan perawatan intensif dan pengawasan terus-menerus yang sedang dirawat di Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar.

##### a. Kriteria Objektif:

##### 1) Kriteria pasien masuk NICU:

- a) Bayi baru lahir dengan berat badan 2000 gram.
- b) Bayi premature 35 minggu
- c) Neonatus dengan Apgar Score 4 pada 5 menit setelah lahir, dan atau membutuhkan resusitasi pada saat baru lahir
- d) Bayi yang membutuhkan monitoring respirasi dan jantung menggunakan alat monitor apnoe, *pulse oximeter*, atau dengan *transcutaneousmonitors*.

- e) Bayi yang membutuhkan pengawasan tanda vital minimal setiap 4 jam.



- f) Bayi yang membutuhkan pemasangan oksigen.
- g) Bayi yang membutuhkan glukosa intravena, cairan elektrolit dan antibiotik.
- h) Bayi yang diberikan makanan per sonde.
- i) Bayi yang membutuhkan fototerapi.
- j) Bayi dengan hipotermia yang menetap  $36^{\circ}\text{C}$
- k) Bayi dengan malformasi congenital yang membutuhkan perawatan khusus
- l) Bayi 1 hari post bedah minor
- m) Bayi dengan bantuan ventilasi, *Intermittent Mandatory Ventilation* (IMV), *Constant Positive Airway Pressure* (CPAP)
- n) Bayi dengan apnoe rekuren.
- o) Bayi post bedah mayor, seperti ligasi PDA atau kondisi lain
- p) Bayi dengan asfiksia berat (Apgar Score 3) pada 5 menit setelah lahir.
- q) *Severe meconium aspiration syndrome*
- r) Bayi dengan konvulsi
- s) Bayi dengan nutrisi parenteral
- t) Bayi dengan hasil hematologi:
  - 1)  $\text{Hb} < 10 \text{ gr/dl}$  atau  $> 21 \text{ gr/dl}$
  - 2)  $\text{Hct} < 30\%$  atau  $> 65\%$
  - 3)  $\text{WBC} < 5000/\text{mm}^3$
  - 4) Rasio IT  $> 0.27$



- 5) Trombosit < 150.000 / mm<sup>3</sup>
  - 6) Fibrinogen <150 mg/dl atau > 373 mg/dl
  - 7) PT < 10.6 atau >16.2 s
- u) Bayi dengan hasil tes kimia:
- 1) Glukose < 40 mg/dl atau > 150 mg/dl
  - 2) Natrium < 130 mmol/L atau > 150 mmol/L
  - 3) Kalium < 3.7 mmol/L atau > 5.9 mmol/L
  - 4) pH < 7.30 atau > 7.50
  - 5) HCO<sub>3</sub> < 15 mmol/L atau > 35 mmol/L
  - 6) Bilirubin Indirect pada BB > 2 kg 20 mg/dL dan < 2 kg 10 mg/dL
  - 7) Serum Calsium < 7.6 mg/dl
  - 8) Ureum > 30 mg/dl dan Kreatinin > 1.5 mg/dl
  - 9) Magnesium < 0.66 mmol/L atau > 1.15 mmol/L
- 2) Kriteria pasien keluar NICU: Pasien sudah stabil yang tidak lagi membutuhkan pemantauan yang ketat.

#### D. Tinjauan Umum Penyakit Terkait Bioaerosol

Keberadaan bioaerosol yang berpotensi patogen di lingkungan dalam dan luar ruangan dapat meningkatkan insiden infeksi yang didapat di rumah sakit (*Hospital Acquired Infections*) dengan perkiraan 1 dari 10

perisiko mendapatkan infeksi selama dirawat di Rumah Sakit (Pret et al. 2004). Sebanyak 1.7 juta pasien di Amerika Serikat dengan



gangguan sistem imun mengalami infeksi oleh mikroorganisme patogen melalui inhalasi atau kontaminasi oleh bioaerosol (Knowlton et al. 2018).

Bioaerosol merupakan debu yang dapat mengandung mikroorganisme, termasuk endotoksin, jamur, dan bakteri, yang dapat memengaruhi kesehatan saat terhirup (Jerez, Cheng, and Bray 2014)(Gizaw, Gebrehiwot, and Yenew 2016). Bioaerosol dapat menyebabkan penyakit menular, alergi, asma, dan penyakit neurologis. Jamur diketahui dapat mengiritasi paru-paru dan beberapa laporan mengindikasikan adanya hubungan antara jamur dan sakit kepala (Goudarzi et al. 2016).

Sebuah penelitian mengenai pencemaran udara terkait bakteri dan jamur dalam ruangan berada dalam kategori sangat terkontaminasi menurut klasifikasi komisi Eropa dan sebagian besar isolat dianggap sebagai potensial yang terlibat dalam menimbulkan penyakit *sick building syndromes* dan sering dikaitkan dengan manifestasi klinis seperti alergi, rinitis, asma, dan konjungtivitis (Hayleeyesus and Manaye 2014).

Paparan produk jamur di udara dapat dikaitkan dengan efek kesehatan mulai dari iritasi tidak spesifik pada saluran pernapasan atau selaput lendir hingga peradangan yang dipicu oleh antigen jamur tertentu (Bartlett et al. 2004). Beberapa genus *Aspergillus* memiliki sifat *xerophilic* yang memungkinkan mereka untuk bertahan hidup di bangsal Rumah

di ruang operasi untuk waktu yang relatif lama daripada bioaerosol



jamur lainnya. Beberapa penelitian melaporkan bahwa spesies *Aspergillus* di udara Rumah Sakit menyebabkan HAIs (Bolookat et al. 2018).

Bioaerosol merupakan gabungan partikel yang kompleks yang berasal dari mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan virus yang tersuspensi di udara yang berpotensi menimbulkan masalah kesehatan pada manusia misalnya iritasi, alergi, infeksi, reaksi toksik, dan respons peradangan (Zorman and Jeršek 2008). Paparan bioaerosol dapat menyebabkan penyakit pada manusia seperti TBC, penyakit *Legionnaire*, pneumonia bakteri, *coccidioidomycosis*, influenza, campak, penyakit gastrointestinal dan beberapa penyakit saluran napas yang tidak menular, seperti alergi dan asma (Hoseinzadeh et al. 2013).

### E. Tinjauan Umum Hospital Acquired Infections (HAIs)

HAIs dikenal pertama kalinya pada tahun 1847 oleh Semmelweis, dan hingga saat ini tetap menjadi masalah yang cukup menyita perhatian. Sejak tahun 1950 HAIs mulai diteliti dengan sungguh-sungguh diberbagai Negara, terutama di Amerika Serikat, dan Eropa. Insiden HAIs berlainan antara satu Rumah Sakit dengan Rumah Sakit lainnya. Angka HAIs yang tercatat di beberapa negara berkisar antara 3.3%-9.2%, artinya sekian persen penderita yang dirawat tertular infeksi nosokomial, dan dapat terjadi secara akut atau secara kronis (Septiari 2012). HAIs di Amerika

memengaruhi 5-10% dari semua rawat inap setiap tahunnya (Ch et al. 2016).



Komplikasi kesehatan Rumah Sakit dikaitkan dengan HAIs yaitu sekitar 50% (Charney 2012). HAIs menimbulkan ancaman yang signifikan dan meningkat bagi pasien dan petugas layanan kesehatan (Heimbuch et al. 2016). HAIs dapat mengakibatkan kecacatan fungsional, tekanan emosional, mengurangi kualitas hidup pasien, salah satu penyebab utama kematian, menambah durasi rawat inap pasien sehingga menambah beban ekonomi (Charney 2012) sampai bisa kehilangan pekerjaan, meningkatnya penggunaan obat-obatan, kebutuhan untuk isolasi, dan penggunaan laboratorium tambahan dan studi diagnostik lainnya juga berkontribusi terhadap beban biaya (WHO 2002).

Mikroorganisme patogen yang berpotensi terkait dengan HAIs yang banyak di antaranya adalah patogen oportunistik yang sering menyebabkan infeksi pernapasan terutama pada pasien dengan sistem imun yang menurun (Fletcher et al. 2004). Akan tetapi, faktor kerentanan juga perlu dipertimbangkan karena bervariasi misalnya, terkait usia, jenis kelamin, karakteristik demografi, status kekebalan, dan akses ke perawatan medis (Mallongi 2016). Reservoir utama HAIs sebagian besar bersumber dari pasien lainnya, tenaga keperawatan dan 41% infeksi aliran darah dari semua pneumonia nosokomial sehingga dapat meningkatkan angka kesakitan dan kematian dalam perawatan ICU (Georghiou et al. 1995) (Wenzel et al. 1983).



ganisme *Aspergillus* di udara dapat mengakibatkan *Aspergillosis* nial yang merupakan infeksi pada pasien yang mengalami

gangguan sistem imun atau penurunan sistem kekebalan tubuh dan dapat mengancam jiwa (Anaissie et al. 2002). Dispersi udara patogen diakui sebagai rute penularan potensial untuk HAIs (King, Noakes, and Sleigh 2015). Udara ambien Rumah Sakit mengandung beragam polutan biologis dan kimia. Konsentrasi dan frekuensi paparan polutan dalam ruangan sangat membahayakan kesehatan staf rumah sakit (Veysi et al. 2019).

Menurut (Darmadi 2008) tiga syarat yang harus dipenuhi untuk menegakkan diagnosis HAIs adalah:

1. Posisi penderita, yaitu penderita yang sedang menjalani proses asuhan keperawatan karena penyakit dasarnya (*underlying disease*).
2. Adanya invasi mikroba patogen yang terjadi di rumah sakit diikuti dengan manifestasi klinis yang muncul sekurang-kurangnya 3x24 jam, terhitung saat penderita memperoleh asuhan keperawatan. Namun ada beberapa kasus yang memberikan gambaran asimtomatik, jadi tidak ada manifestasi klinis yang signifikan.
3. Adanya dukungan hasil pemeriksaan laboratorium, khususnya laboratorium mikrobiologi. Dari pemeriksaan ini akan teridentifikasi mikroba patogen penyebab infeksi nosokomial.

HAIs paling umum meliputi *Urinary tract infection* (Infeksi saluran kemih/ISK) dimana spesies *Enterococcus* (28.7%) dan *Candida* (19.6%) adalah mikroorganisme dominan pada kasus ISK (R. Chang et al. 2011)

mikroorganisme yang paling sering diisolasi yang menyebar dari kemih ke aliran darah adalah spesies *Enterococcus* (Greene et al.



2012). Selain HAIs, faktor risiko untuk rawat inap yang lebih lama diantaranya usia, penyakit yang mendasari, tingkat keparahan suatu penyakit pada saat masuk ICU, jumlah diagnosis, dan organisme terkait HAIs (Olaechea et al. 2003).

HAIs terkait *Hospital-acquired bacterial pneumonia* (HABP) dan *ventilator-associated bacterial pneumonia* (VABP) ~80% yang disebabkan oleh *Staphylococcus aureus* sekitar 28%, *Pseudomonas aeruginosa* sekitar 21.8%, *Klebsiella sp.* sekitar [9.8%], *Escherichia coli* sekitar [6.9%], *Acinetobacter sp.* 6.8%, dan *Enterobacter sp.* sekitar 6.3% (R. N. Jones 2010).

Pasien yang dirawat di layanan unit bedah sebanyak 12.791, sebanyak 10.744 pasien (84%) tidak dirawat di ICU, 1.241 (9.7%) dirawat inap di ICU beberapa waktu, dan 819 (6.4%) dirawat tetap di ICU, sebanyak 800 pasien (6.3%) yang diidentifikasi memiliki 1 atau lebih HAIs (Geffers, Sohr, and Gastmeier 2008). Selama periode 30 bulan perawatan kesehatan 100.449 prosedur bedah, 135.716 rawat inap ruang ICU, 1.596.277 hari rawat inap non-ICU, 244.105 hari-line sentral, 393.948 kateter urin dalam hari, dan 53.352 ventilator dalam hari. Sebanyak 2.345 HAIs diidentifikasi. SSI termasuk HAIs yang menempati urutan pertama diidentifikasi (n= 882; 38%), CAUTI (n= 611; 26%), CDI (n= 514; 22%), CLABSI (n= 280; 12%), dan VAP (n= 58; 2%). Persentase rata-rata HAIs

SSI di setiap Rumah Sakit adalah 43%. HAIs yang menempati pertama adalah SSI untuk 12 Rumah Sakit (80%). Persentase rata-



rata HAI karena SSI di setiap Rumah Sakit adalah 43%. HAIs yang paling dominan adalah SSI untuk 12 Rumah Sakit (80%) (Lewis et al. 2013).

Perkiraan kematian yang terkait dengan HAI di rumah sakit AS adalah 98.987. Sebanyak 35.967 adalah untuk pneumonia, 30.665 untuk infeksi aliran darah, 13.088 untuk infeksi saluran kemih, 8.205 untuk infeksi di tempat operasi, dan 11.062 untuk infeksi di tempat lain (Klevens et al. 2007).

#### F. Tinjauan Umum HEPA Filter

HEPA Filter dirancang untuk mengontrol jumlah partikel yang memasuki area bersih melalui penyaringan. Filter ini diciptakan dan dikembangkan selama Perang Dunia II sebagai bagian dari penelitian bom atom untuk penahanan aerosol radioaktif.

HEPA Filter berfungsi melalui kombinasi tiga aspek penting. Pertama, ada satu atau lebih filter luar yang berfungsi seperti saringan untuk menghentikan partikel kotoran, debu, dan rambut yang lebih besar. Di dalam filter itu, ada sebuah concertina - tikar serat yang sangat padat - yang memerangkap partikel yang lebih kecil. Pra-filter ini dirancang untuk menghilangkan 90% partikel dari udara yang masuk.

Bagian dalam filter menggunakan tiga mekanisme berbeda untuk menangkap partikel ketika mereka melewati aliran udara yang bergerak.

cepatan udara yang tinggi, beberapa partikel terperangkap ketika



mereka menghancurkan langsung ke serat, sementara yang lain ditangkap oleh serat saat udara bergerak melewatinya.

Kecepatan udara yang lebih rendah, partikel cenderung berkeliaran secara lebih acak melalui filter (melalui gerakan Brown) dan dapat menempel pada serat saat mereka melakukannya. Ketiga mekanisme ini secara bersama-sama memungkinkan filter HEPA untuk menangkap partikel, yang keduanya lebih besar dan lebih kecil dari ukuran target tertentu. Ada beberapa nilai filter HEPA, berdasarkan 'peringkat efisiensi'.

Salah satu filter HEPA yang paling umum digunakan adalah filter H14, yang dirancang untuk menghilangkan 99.997% partikel dari udara. Sebagai contoh, jika udara mengandung sekitar  $3 \times 10^8$  partikel per  $m^3$ , dan ada satu pra-filter dan satu HEPA Filter yaitu, Pra-filter menyisakan sekitar  $3 \times 10^7$  per  $m^3$ , sebagai tantangan bagi filter HEPA dan terminal filter HEPA menyisakan sekitar  $10^3$  per  $m^3$ .

Untuk menilai efisiensi filter HEPA, filter HEPA juga mengalami uji kebocoran. Karena potensi kebocoran tidak terbatas pada media filter. Ini biasanya disebut uji DOP setelah Di-octyl phthallate, salah satu zat pertama yang digunakan sebagai tantangan aerosol untuk tes ini. Cairan alternatif dengan distribusi ukuran partikel yang serupa, seperti parafin grade-BP dan Poly-Alfa-Olefins (PAOs), sekarang umum digunakan.

Bahan kimia ini digunakan bersama dengan generator aerosol,

perangkat yang digunakan bersama dengan fotometer aerosol, menciptakan aerosol sub-mikron berpolydispersi untuk menantang



integritas filter HEPA. Standar yang diterima adalah bahwa kebocoran tantangan aerosol yang dapat ditoleransi tidak boleh lebih dari 0.01% (Sandle 2013).

Aliran laminar berfungsi untuk meminimalkan penyebaran kontaminan yang dihasilkan oleh penumpang, penghalang utama terhadap partikel pada semua pesawat modern adalah filter efisiensi tinggi partikulat udara (HEPA). Ini adalah filter standar yang digunakan di sebagian besar unit perawatan intensif rumah sakit, ruang operasi, dan kamar bersih.

Peringkat diberikan berdasarkan efisiensi berdasarkan kemampuan filter untuk menghilangkan partikel yang lebih besar dari 0.3 mikron. Untuk referensi, bakteri dan jamur berada di urutan lebih besar dari 1 mikron. Namun, virus dapat berkisar pada urutan 0.003-0.05 mikron. Lebih sedikit data yang ada pada organisme ini, tetapi diketahui bahwa penggumpalan partikel virus memudahkan pembuangannya melalui filter HEPA.

Penelitian telah dilakukan dengan mengumpulkan sampel udara dari berbagai lokasi dan menguji mikroorganisme. Lokasi termasuk bus kota, pusat perbelanjaan, trotoar, jalan-jalan pusat kota, dan lounge keberangkatan bandara. Ditemukan bahwa aerosol mikroba di kabin pesawat jauh lebih sedikit daripada di lokasi umum lainnya. Meskipun ada risiko penularan penyakit hanya berdasarkan jumlah penumpang dan

yang dekat, menariknya, aerosol mikroba kabin pesawat dilaporkan sudah selama penerbangan malam hari ketika mungkin ada lebih



sedikit aktivitas penumpang dan lebih tinggi selama penerbangan siang hari ketika penumpang lebih cenderung keluar dari kursi mereka untuk berjalan naik dan turun di lorong pesawat. Selain organisme patogen, kekhawatiran terhadap kontaminan lain juga ada, termasuk karbon dioksida, karbon monoksida, dan ozon (Jong 2016).

Sebagian besar pesawat modern dilengkapi dengan filter HEPA (efisiensi udara partikulat tinggi), yang, menurut klasifikasi efisiensi filter udara Eropa, dapat berupa elemen filter yang memiliki efisiensi penghilangan antara 85% dan 99.9995%. Sebagian besar pesawat modern memberikan perubahan total udara kabin pesawat 20 hingga 30 kali per jam, melewati filter HEPA ini, yang memerangkap partikel debu, bakteri, jamur, dan virus (Brossman 2016). Aliran Laminar dan filter efisiensi tinggi partikulat udara (HEPA) telah terbukti mengurangi SSI dan kontaminasi luka bila dibandingkan dengan sistem aliran udara konvensional (Provenzano, Hanes, and Deer 2018).

Efektivitas Filter HEPA yang efisien dan cukup murah dalam mencegah infeksi di bangsal Rumah Sakit dengan penurunan yang signifikan dalam tingkat infeksi nosokomial. HEPA filter juga secara signifikan mengurangi konsentrasi berbagai aerosol lainnya yang patogen, termasuk *Staphylococcus aureus* yang resisten methicillin, *Pseudomonas spp*, *mycobacteria*, dan beberapa virus (Abdul Salam et al., 2010).



tem penyaringan HEPA laboratorium BSL-3 memiliki dua tahap HEPA. Filter HEPA tahap pertama berada di dalam laboratorium

BSL-3 dan didistribusikan di setiap laboratorium yang terkontaminasi. Labs 1–3 adalah area yang berpotensi terkontaminasi dan lab 4 adalah laboratorium persiapan. Dalam operasi normal, tekanan negatif dari laboratorium yang terkontaminasi, laboratorium persiapan, dan area bersih masing-masing sekitar  $-50$ ,  $-25$ , dan  $-10$  Pa, dan laboratorium BSL-3 dipertahankan pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban relatif 50%.

Udara buangan melalui filter HEPA tahap pertama dikumpulkan bersama dan disaring melalui filter HEPA tahap kedua sebelum dihabiskan di luar. Sistem filter HEPA dua tahap dirancang untuk menghindari keluarnya aerosol mikroba ke lingkungan. Sistem filter HEPA tahap dua dirancang untuk menghindari keluarnya aerosol mikroba ke lingkungan. Filter HEPA diuji dengan pengujian kabut asap sebelum pemasangan dan setelah pemasangan, sistem penyaringan udara HEPA diuji menggunakan model aerosol bakteri.

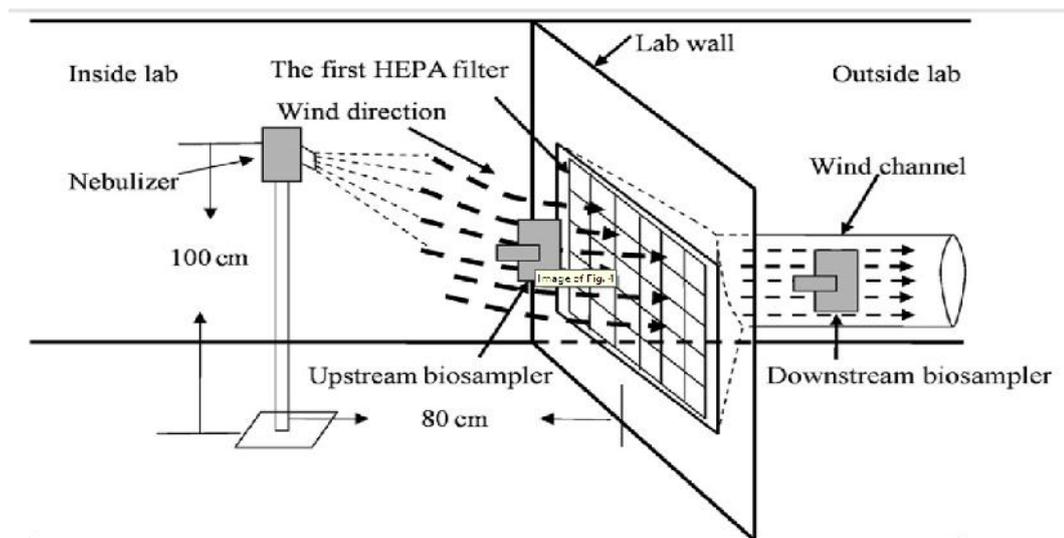
Uji bakteri aerosol dengan menerapkan udara terkompresi bersih menggunakan pompa GAST ke nebulizer pada  $10\text{ L / min}$ . Posisi nebuliser DV40 adalah  $80\text{ cm}$  sebelum filter dan tingginya  $100\text{ cm}$  dari lantai lab. Sebelum filter HEPA pertama, AGI-30 sampler digunakan pada posisi sentral  $10\text{ cm}$  sebelum filter, dengan aliran pengumpulan  $12.5\text{ L / min}$  dan waktu  $10\text{ min}$ .

Hasil uji sistem pemurnian udara HEPA filter pada laboratorium BSL-

ti efektif terhadap aerosol bakteri dengan beberapa log reduksi  
k ada kebocoran aerosol bakteri ke lingkungan, dimana tidak ada



bakteri aerosol terdeteksi dalam filter tahap pertama 1, 2, 4, 5, 7, dan 8 dan filter HEPA tahap kedua. Efisiensi filtrasi terhadap bakteri aerosol adalah >99.9999%. Filter tahap pertama nomor 3 dan 6 memiliki efisiensi filtrasi masing-masing 99.9825% dan 99.9906%. (Wen et al. 2014).



Gambar 2.2: Pengujian rig dari lab BSL-3 sistem filtrasi udara HEPA filter terhadap bakteri aerosol (Wen et al. 2014).

Sebuah penelitian melaporkan data pengambilan sampel udara menunjukkan bahwa jumlah mikroorganisme tertinggi pada ruang sayap BMT (*Bone Marrow Transplant*) memiliki jumlah mikroorganisme yang relatif rendah (<4 CFU/m<sup>3</sup>), sedangkan pada sayap non-BMT memiliki jumlah mikroorganisme yang tinggi (>100 CFU/m<sup>3</sup>). Penggunaan filter HEPA di sayap BMT menghilangkan sebagian besar mikroorganisme dari udara sekitar. Sedangkan tidak adanya filter HEPA pada sayap non-BMT

atkan jumlah mikroorganisme. Filter HEPA bersifat protektif untuk orang dengan imunokompromis tinggi seperti pada ruang *Intensive Care*



dan efektif dalam mengendalikan mikroorganisme di udara (Hahn et al. 2002).

Penggunaan HEPA filter dalam ruangan berguna mengurangi risiko penularan penyakit infeksi oleh bioaerosol. Penggunaan filter HEPA di bangsal Rumah Sakit dihipotesiskan untuk meningkatkan tingkat ventilasi yang efektif dan meningkatkan laju aliran udara efektif bangsal umum ke standar bangsal isolasi untuk penyakit infeksi. Suatu percobaan dilakukan di bangsal dengan dimensi 6.7 m × 6 m × 2.7 m dan 6 tempat tidur untuk menguji HEPA filter. Hasil menunjukkan bahwa HEPA filter secara efektif dapat menurunkan tingkat konsentrasi bioaerosol. Laju perubahan udara efektif yang dicapai oleh HEPA filter (hanya untuk penghilangan partikel) adalah 2.7 – 5.6 ACH (Qian et al. 2010).

Sistem tata udara dalam ruangan harus dirancang dan dibuat agar ruangan tersebut memiliki tekanan udara negatif dan diharapkan pergantian udara >12 *Air Change per Hour* (ACH) serta menggunakan hepafilter untuk mengurangi/menghilangkan penyebaran agen mikroba / bioaerosol (Sundari et al. 2017).

### **G. Tinjauan Umum Pencegahan Terkait Bioaerosol dan HAIs**

Langkah-langkah yang sering diambil dalam mencegah HAIs termasuk penerapan desinfeksi (C. L. Chang et al. 2013), penerapan

tanpa sentuhan seperti penggunaan sinar UV-C (*Ultraviolet Light*)

dan hidrogen peroksida (Weber, Anderson, and Rutala 2013),



penggunaan antiseptik, disinfektan, pembersihan yang memadai, sterilisasi dan isolasi pasien dengan penyakit yang sangat infeksius, penggunaan sterilisasi plasma gas (Shintani et al. 2010). Surveilans mikrobiologis reguler dari unit Rumah Sakit yang berbeda, pengawasan pasien oleh unit pengendalian infeksi Rumah Sakit, perumusan kebijakan antibiotik dan rekomendasi kepada manajemen rumah sakit untuk implementasi temuan akan sangat membantu mengurangi HAIs (Awosika, Olajubu, and Amusa 2012).

Sebuah penelitian melaporkan tembaga (Cu) dalam uji coba di Rumah Sakit Worldwide mampu mengurangi kontaminasi permukaan oleh mikroba. Hasil penelitian ini melaporkan bahwa mekanisme molekuler dimana *Staphylococcus haemolyticus* Gram-positif diinaktivasi oleh logam Cu. *Staphylococcus haemolyticus* terbunuh dalam beberapa menit pada Cu tetapi tidak pada stainless steel yang menunjukkan kemanjuran antimikroba dari logam Cu (Santo, Quaranta, and Grass 2012).

Hasil temuan bahwa bangsal transplantasi adalah lingkungan kedua yang paling terkontaminasi oleh mikrobiologi, karena ini berarti pasien yang mengalami immunosupresi mengalami kualitas udara yang buruk yang dapat menyebabkan HAIs. Maka, temuan ini harus dianalisis oleh komite HAIs (Pantoja, Nascimento, and Nunes 2016).

Prevalensi konsentrasi bakteri yang tinggi mengharuskan

aan sistem HVAC (Sistem tata kelola terintegrasi yaitu: pemanasan, ventilasi, dan penyejuk udara) fungsional dan terpelihara



dengan baik yang mampu memberikan tingkat ventilasi yang memadai serta penyaringan yang efisien (Asif et al. 2018) (Wan, Chung, and Tang 2011). Penggunaan ventilasi mekanis dapat mengurangi konsentrasi jamur (Bartlett et al. 2004). Peningkatan ventilasi mekanis dari 2.5 menjadi 5.5 ACH mengurangi konsentrasi rata-rata aerosol 30% dan mengontrol kepadatan bakteri di udara (Mousavi and Grosskopf 2014) (Wan, Chung, and Tang 2011).

Merancang sistem ventilasi dan pendingin udara yang dibangun dengan baik (Clive B. Beggs et al. 2008), menerapkan prosedur desinfeksi dan pembersihan yang lebih ketat, sering, dan komprehensif, serta mengendalikan suhu dan kelembaban dapat membantu mengurangi tingkat bioaerosol di ruangan terkhusus ruang operasi (Dehghani et al. 2018). Selain itu, Untuk mengurangi tingkat HAIs yang mengancam pasien yang dirawat di rumah sakit, staf pengendalian infeksi harus dilatih untuk meminimalkan faktor risiko tersebut dengan menggunakan tindakan yang ada seperti penggunaan bahan pembersih dan desinfeksi yang dapat rutin, dan menulis protokol ketat mengenai faktor risiko (Peretz et al. 2014).

Mikroorganisme patogen dan golongan patogen oportunistik dari Rumah Sakit dapat menyebar ke seluruh bagian dan menyebabkan risiko kesehatan lingkungan yang serius. Manusia yang terinfeksi dengan

dan patogen oportunistik yang mengandung resistensi  
/gen resistansi multi-obat berkontribusi meningkatkan kesulitan



pengobatan. Jadi, Rumah Sakit sebagai bagian terpenting dari penggunaan antibiotik, harus memperkuat kontrol penggunaan antibiotik dengan baik (Gao et al. 2018).

Identifikasi dan kuantifikasi mikroorganisme yang ada di udara yang berbeda di berbagai lingkungan dalam ruangan diperlukan untuk mengidentifikasi risiko yang terkait dan untuk menetapkan ambang batas paparan. Metode kontrol juga telah ditinjau secara singkat. Namun, beberapa tingkat upaya individu seperti operasi pembersihan berkala, kegiatan pemeliharaan, dan sistem ventilasi yang tepat juga berfungsi dengan cara terbaik untuk meningkatkan kualitas udara dalam ruangan (Ghosh, Lal, and Srivastava 2015).

Faktor-faktor yang mengakibatkan infeksi yang ditularkan melalui udara seperti penyakit yang muncul dalam sistem pernapasan yang menyebar melalui udara, struktur bangunan terkait ventilasi yang memadai serta penggunaan AC di area tersebut untuk perawatan pasien tanpa filter atau ventilasi (Tungjai and Kubaha 2017).

Konsentrasi Bioaerosol bakteri berhubungan secara positif dengan jumlah orang dan aktivitas manusia dalam ruangan. Secara garis besar temuan mengenai konsentrasi bioaerosol jamur dan bakteri serta efek dari aktivitas manusia dalam ruang akan berguna untuk mempelajari metode kontrol terhadap bioaerosol guna pencegahan secara komprehensif (Heo

2017). Perhatian yang lebih besar terhadap penggunaan sistem sirkulasi tidak berair atau tertutup, terutama di mana pasien



yang rentan menerima perawatan medis (Mosayebi et al. 2017). Kontrol dan pemantauan udara sangat penting dalam pencegahan infeksi (Fernández et al. 2014).

Strategi pengendalian infeksi oleh mikroorganisme dalam ruang bisa dilakukan dengan penggunaan desinfeksi ultraviolet kuman dan mengontrol kelembaban relatif dalam ruang agar kelangsungan hidup bakteri dapat terkontrol dengan baik (Fletcher et al. 2004). Selain itu, langkah intervensi lainnya yaitu membatasi frekuensi pertukaran udara luar pada unit pengendali udara dan melakukan pembatasan jumlah pengunjung atau staf agar pintu masuk tidak sering terbuka sehingga udara dari luar yang terkontaminasi tidak mencemari udara dalam ruang (Huslage et al. 2018).

Intervensi pengendalian infeksi harus diadopsi untuk mengurangi biaya ekonomi dan meningkatkan manfaat kesehatan karena estimasi biaya HAIs sangat besar dan hanya sebagian infeksi dapat dihindari (Graves, Halton, and Lairson 2007) (Graves, Nicholls, and Morris 2003).

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

Penilaian risiko adalah karakterisasi kualitatif atau kuantitatif dan perkiraan potensi dampak buruk kesehatan yang terkait dengan paparan individu atau populasi terhadap bahaya (bahan atau situasi, fisik, kimia, dan mikroba). Penilaian risiko tidak digunakan secara terpisah tetapi



sebagai bagian dalam konteks yang lebih luas sebagai analisis risiko (Haas, Rose, and Gerba 2014).

Penilaian risiko mikroba kuantitatif (QMRA) adalah aplikasi model matematika paparan dan dosis untuk memprediksi kemungkinan hasil buruk akibat paparan patogen (Gurian 2017). QMRA adalah pendekatan pemodelan yang mengintegrasikan data terkait paparan mikroba dan hubungan efek kesehatan manusia dengan tujuan mengkaji dampak potensial/risiko kesehatan dari paparan mikroorganisme yang berbahaya (Whelan et al. 2017). Penilaian risiko mikroba kuantitatif (QMRA) adalah alat untuk mengintegrasikan informasi tentang kejadian mikroba patogen, infektivitas, dan paparan dalam mengambil suatu kebijakan pengendalian strategis (Hamilton and Haas 2016).

QMRA telah menangani berbagai patogen, termasuk virus, bakteri, protozoa, dan prion, dan menghasilkan perkiraan kemungkinan bahaya. Dengan kata lain, QMRA umumnya tidak menunjukkan apakah hasil yang merugikan akan terjadi atau tidak, tetapi sebaliknya akan menunjukkan probabilitas bahwa itu akan terjadi. QMRA menyediakan cara untuk menilai dampak dari banyak rute paparan potensial ini untuk menginformasikan keputusan tentang risiko mana yang cukup signifikan untuk mendapatkan upaya untuk menghindari atau mitigasi. Pendekatan QMRA telah diterapkan untuk menginformasikan standar kualitas

logis dari makanan, air, udara, dan permukaan yang disentuh.

atan QMRA sangat penting karena memungkinkan kasus-kasus



hipotetis dipertimbangkan dimana skenario data tidak tersedia (Gurian 2017).

Metode penilaian risiko sangat penting bagi sebuah organisasi atau lembaga untuk mengatasi risiko sekarang maupun yang akan terjadi dikemudian hari terkait dengan kontaminasi udara, air, tanah, dan makanan oleh bakteri, jamur, protozoa, virus yang dapat digunakan para pengambil kebijakan sebagai bahan kajian (EPA 2012). Paparan dan penilaian risiko QMRA bioaerosol memiliki dua jalur paparan utama yaitu melalui inhalasi dan kontak kulit (Y. Li et al. 2013).

QMRA terdiri dari identifikasi bahaya, penilaian paparan, penilaian efek (hubungan dosis respons); dan karakterisasi risiko (EPA 2017) (Carducci et al. 2016) (Balderrama-Carmona et al. 2014). QMRA adalah kerangka kerja atau mekanisme yang memungkinkan data ilmiah kuantitatif ditafsirkan dalam konteks perkiraan hasil kesehatan untuk mendukung manajemen keselamatan (WHO 2016a).

Penilaian risiko dikelompokkan dalam dua kelompok besar yaitu retrospektif dan prospektif. Tujuan retrospektif berlaku untuk bahaya mikroba yang terjadi secara tidak merata atau jarang dan epidemi. Tujuan prospektif yaitu penilaian risiko berlaku untuk potensi bahaya mikroba di mana efek kesehatan manusia yang merugikan tidak ditetapkan (EPA 2012). Tabel 2.4 akan menjelaskan bagian analisis risiko QMRA.



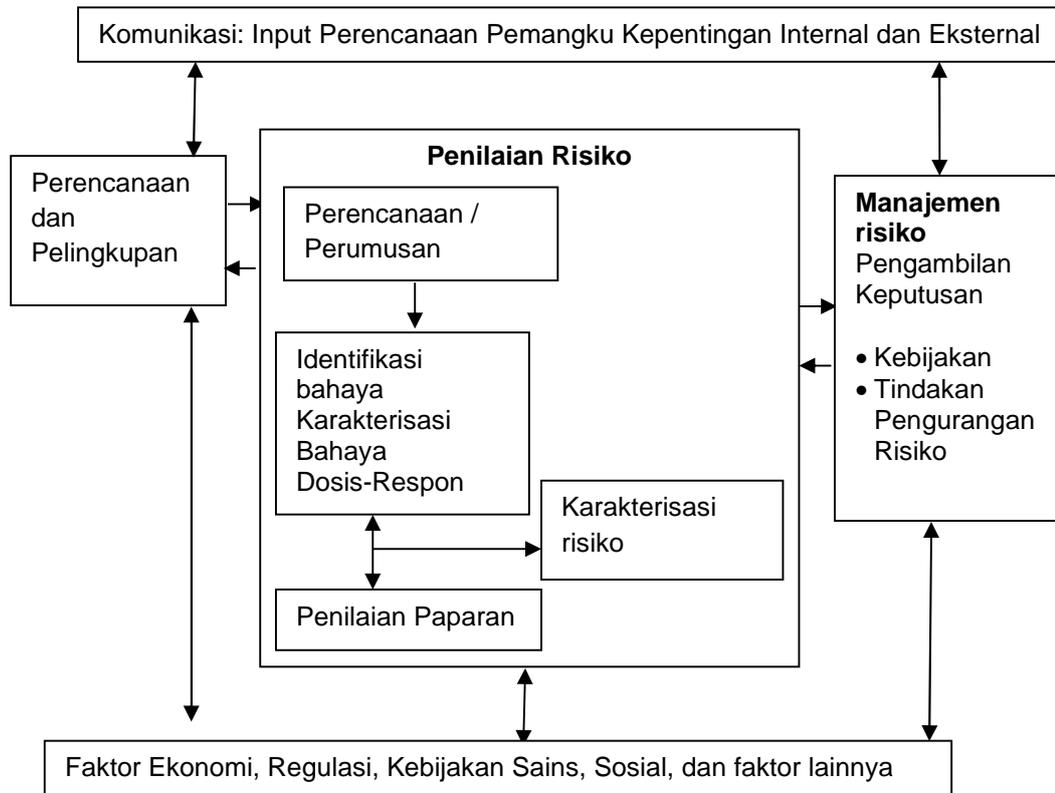
Tabel 2.4: Definisi yang Digunakan dalam Analisis Risiko QMRA

Bagian QMRA	Definisi
<i>Risk Assessment</i> / Penilaian risiko	Karakterisasi kualitatif dan kuantitatif dan perkiraan dampak kesehatan yang berpotensi buruk yang terkait dengan paparan individu atau populasi terhadap bahaya (bahan atau situasi, fisik, kimia, dan / atau agen mikroba)
<i>Risk Management</i> /	Proses untuk mengendalikan risiko, menimbang alternatif, dan memilih tindakan yang tepat, dengan mempertimbangkan penilaian risiko, nilai-nilai, rekayasa, ekonomi, dan masalah hukum dan politik
<i>Risk Communication</i> /	Komunikasi risiko kepada manajer, pemangku kepentingan, pejabat publik, dan publik, termasuk komunikasi risiko persepsi publik dan kemampuan untuk bertukar informasi ilmiah

Sumber: Haas, Charles N, Rose, Joan B & Gerba, Charles P, 2014

Adapun terkait kerangka penilaian risiko dan hubungan antara bagian lainnya dalam analisis risiko dapat dilihat dalam gambar 2.3 dibawah ini:





Gambar 2.3: Kerangka Penilaian Risiko dan Hubungannya dengan Komponen Lain dari Analisis Risiko (misalnya: Manajemen Risiko, Komunikasi Risiko) (Diadaptasi dari NRC, 2009) (EPA 2012).

### 1. Hazard Identification (Identifikasi Bahaya)

*Hazard identification* adalah identifikasi agen mikroba dan spektrum penyakit manusia dan penyakit yang terkait dengan organisme tertentu (Haas, Rose, and Gerba 2014). Bahaya dianggap sebagai infeksi setelah terhirup atau terpapar bakteri diudara yang hadir dalam bioaerosol dalam ruang di suatu Rumah Sakit. Bakteri sebagian besar terdapat luas di udara, bahaya ini dapat mewakili bahaya terhadap



bakteri secara umum yang berasal dari bioaerosol (Carducci et al. 2016).

## 2. Exposure Assessment (Penilaian Paparan)

Penilaian paparan adalah upaya untuk menentukan ukuran dan sifat populasi yang terpajan, rute, konsentrasi, dan distribusi mikroorganisme serta durasi pajanan (Haas, Rose, and Gerba 2014). Tujuan dari penilaian pajanan dalam MRA adalah untuk menentukan rute, frekuensi, durasi, dan besarnya (jumlah) paparan terhadap bahaya mikroba melalui jalur dan kejadian berbahaya dalam suatu populasi (EPA 2012) (WHO 2016b).

Perhitungan dosis inhalasi harus mempertimbangkan berbagai faktor: tingkat inhalasi, waktu paparan, dan konsentrasi bakteri di udara. Tingkat inhalasi bervariasi dengan tingkat aktivitas, usia, berat badan, jenis kelamin, dan kondisi fisik (Carducci et al. 2016).

## 3. Dose Response Assessment

Dosis respons ditujukan untuk karakterisasi matematis dari hubungan antara dosis yang diberikan dan kemungkinan infeksi/penyakit/kematian pada populasi yang terpajan (Haas, Rose, and Gerba 2014).

Penilaian dosis respons dalam MRA bertujuan untuk membangun hubungan antara dosis patogen yang terpapar individu atau populasi

kemungkinan efek kesehatan yang merugikan misalnya Infeksi, penyakit dan kematian. Pemodelan dosis respons adalah proses



menggunakan hubungan matematika yang memberikan gambaran probabilitas efek kesehatan yang merugikan misalnya infeksi atau penyakit yang terjadi pada individu atau frekuensi efek kesehatan yang merugikan dalam suatu populasi ketika individu atau populasi tersebut terpapar pada dosis spesifik mikroorganisme patogen. Tingkat dosis yang dapat diukur dalam hal jumlah organisme (CFU) (EPA 2012).

#### 4. Risk Characterization (Karakterisasi Risiko)

Karakterisasi risiko adalah integrasi data pada identifikasi bahaya, dosis respons, dan paparan untuk memperkirakan besarnya masalah kesehatan masyarakat dan untuk memahami probabilitas bahwa hal itu akan terjadi serta variabilitas dan ketidakpastian hasil yang diprediksi (Haas, Rose, and Gerba 2014).

Karakterisasi risiko adalah komponen yang mengintegrasikan proses penilaian risiko yang mengkarakterisasi atau menggambarkan dan merangkum risiko kesehatan terhadap mikroba. Karakterisasi risiko membahas skenario, model, parameter, data, dan opsi analisis yang harus dipahami dan dipertimbangkan oleh manajer risiko ketika menginterpretasikan hasil penilaian risiko (EPA 2012).

#### 5. Risk Management (Manajemen Risiko)

Tujuan dari manajemen risiko adalah untuk melindungi kesehatan manusia. Manajemen risiko berjalan bersamaan dengan penilaian

Setiap keputusan yang terkait dengan kebijakan biasanya dibuat manajer risiko dan bukan penilai risiko. Sebagian besar ruang



lingkup yang dicakup oleh penilaian risiko didasarkan pada keputusan kebijakan mengenai skenario yang sedang dimodelkan (EPA 2012).

Manajer risiko harus bekerja secara iteratif dengan penilai risiko selama kegiatan perencanaan dan pelingkupan untuk berkolaborasi dalam mendefinisikan "pertanyaan risiko" yang jelas dan dapat dipertahankan secara ilmiah sebelum komponen analisis penilaian risiko dijalankan. Manajemen risiko harus mengikuti pendekatan terstruktur yang transparan, konsisten, dan didokumentasikan sepenuhnya. Manajer risiko bertanggung jawab untuk melihat gambaran besar, yang berarti komunikasi yang efektif dengan semua kelompok pemangku kepentingan yang diidentifikasi (EPA 2012).

Prinsip dan Pedoman Codex untuk Perilaku Manajemen Risiko Mikroba (MRM(*Microbial Risk Management*)) mencakup 8 prinsip sebagai berikut (EPA 2012):

- a) Prinsip 1: Perlindungan kesehatan manusia adalah tujuan utama MRM.
- b) Prinsip 2: MRM harus memperhitungkan seluruh rantai makanan.
- c) Prinsip 3: MRM harus mengikuti pendekatan terstruktur.
- d) Prinsip 4: Proses MRM harus transparan, konsisten dan sepenuhnya didokumentasikan.
- e) Prinsip 5: Manajer risiko harus memastikan konsultasi yang efektif

dengan pihak terkait yang berkepentingan.



- f) Prinsip 6: Manajer risiko harus memastikan interaksi yang efektif dengan penilai risiko.
- g) Prinsip 7: Manajer risiko harus memperhitungkan risiko akibat perbedaan regional bahaya dalam rantai makanan dan perbedaan regional dalam opsi manajemen risiko yang tersedia.
- h) Prinsip 8: Keputusan MRM harus tunduk pada pemantauan dan peninjauan dan, jika perlu, revisi.

#### 6. Risk Communication (Komunikasi Risiko)

Semua waktu dan upaya yang anda habiskan untuk melakukan penilaian risiko adalah sia-sia kecuali jika ada komunikasi yang jelas tentang hasil penilaian risiko kepada manajer risiko dan pemangku kepentingan lainnya. Komunikasi risiko yang efektif membutuhkan ketekunan dan memiliki tingkat kepentingan yang sama dengan komponen penilaian lainnya (EPA 2012).

Komunikasi risiko adalah proses berulang yang menggambarkan dan bertukar informasi tentang risiko, termasuk bentuk dan tingkat keparahannya, dan apa yang dapat dilakukan untuk mengurangi atau menghindari risiko. Ini mencakup dua tujuan yang sama pentingnya (EPA 2012) :

- a) Menginformasikan manajer risiko tentang risiko sehingga mereka dapat membuat keputusan berdasarkan informasi.

Menginformasikan kepada publik tentang risiko sehingga mereka memahami sifat risiko dan apa yang sedang dilakukan atau akan



dilakukan tentang hal itu. (Di sebagian besar lembaga pemerintah, komunikasi dengan publik dilakukan melalui kantor yang ditunjuk).

Komunikasi risiko pada akhirnya menjadi tanggung jawab manajer risiko, yang akan bekerja dengan staf urusan publik internal jika tersedia. Merupakan tanggung jawab anda sebagai penilai risiko untuk membuat manajer risiko mengetahui jenis dan besarnya bahaya yang terlibat, populasi yang kemungkinan terpapar bahaya, dan dampak spesifik terhadap kesehatan manusia atau ekologi yang diakibatkan dari hal paparan (EPA 2012).

### I. Tinjauan Umum Model Dinamis

Model adalah perumusan matematika dari proses-proses fisika/kimia/biologi suatu fenomena alam, sehingga jika dimasukkan data-data penunjang, kemudian dihitung dengan metode perhitungan tertentu, akan dapat dihasilkan gambaran proses secara keseluruhan. Modeling diartikan sebagai ilustrasi penggambaran, penyederhanaan, miniatur, visualising atau kreasi prediksi inovatif. Penggambaran proses kesehatan lingkungan beserta hubungan antar komponen/variabel pembentuknya menggunakan representasi logika dan persamaan matematika. Pemodelan dipergunakan menjelaskan fenomena fisik, kimia, dan biologi yang terjadi dalam proses tersebut (Mallongi 2012).



tem dinamis dapat diartikan sebagai bagian secara keseluruhan  
 sistem cara berpikir terkait keseluruhan sistem sebagai kesatuan

yang saling berhubungan dengan lainnya dimana setiap komponen yang satu saling mempengaruhi sejumlah komponen lainnya yang telah ditetapkan (Surjandari, Hidayatno, and Supriatna 2009). Model dinamis merupakan suatu gambaran yang nyata, pencerminan, simulasi skenario dan simplifikasi suatu sistem yang kompleks dan terintegrasi setiap variabel dan bisa merepresentasikan sistem tersebut berdasarkan asumsi-asumsi yang dikembangkan secara logis (Harmini, Asmarantaka, and Atmakusuma 2011),(Sterman 2000).

Era digital dan komputerisasi sekarang ini yang semakin memberikan kemudahan terhadap manusia dalam mengkalkulasi dan membuat model dinamis dengan sangat mudah membuat berbagai macam produsen software terkemuka berlomba-lomba menciptakan software terbaiknya diantaranya Dynamo, Powersim, Stella/iThink, dan Vensim yang dapat digunakan untuk membuat sebuah model dinamis dengan baik. Model dinamis dalam bahasa grafis meliputi: Stock (gambar kotak) menyatakan akumulasi dari suatu aliran di dalam sistem (contohnya populasi penduduk), Rate menyatakan tingkat penambahan (inflow) (contohnya jumlah kelahiran) atau pengurangan (outflow) (contohnya jumlah kematian) dari Stock setiap periode yang menunjukkan aktivitas dari sistem, Converters menyatakan input yang bisa dinyatakan dalam angka atau formula dan grafik (besarannya ditentukan oleh pembangun

Connectors (gambar tanda panah) menunjukkan aliran informasi (panah) di dalam sistem (sumber panah menunjukkan variabel yang



mempengaruhi dan di ujung tanda panah adalah variabel yang dipengaruhi), dan Cloud menyatakan batasan sistem (Harmini, Asmarantaka, and Atmakusuma 2011).

Sistem dinamik mempunyai cakupan yang dapat memudahkan kita dalam mengkomunikasikan batasan model yang akan dibuat dan dapat mewakili struktur penyebabnya/*causal structure*. Sistem dinamis terdiri dari model *boundary diagrams*/diagram batas model, *subsystem diagrams*/diagram subsistem, *causal loop diagrams*/diagram sebab-akibat, dan *stock and flow maps*/stok dan peta aliran (Sterman 2000). Adapun penjelasan mengenai bagian sistem dinamis dapat dilihat pada tabel 2.5 dibawah ini:

Tabel 2.5: Bagian Sistem Dinamis

No.	Bagian Sistem Dinamis	Penjelasan
1	<i>Model boundary chart</i>	<i>Model boundary chart</i> memberikan kesimpulan terkait ruang lingkup model dengan mendaftarkan variabel kunci yang termasuk endogen, eksogen, dan variabel yang akan dikeluarkan dari model yang akan dibuat.
2	<i>Subsystem diagram</i>	Diagram subsistem menunjukkan arsitektur keseluruhan model. Setiap subsistem utama ditampilkan bersama dengan aliran material, uang, barang,



informasi, dan sebagainya yang menyambungkan subsistem satu sama lain. Diagram subsistem memberikan informasi tentang batas dan tingkat agregasi dalam model dengan menunjukkan jumlah dan jenis organisasi atau agen yang berbeda yang diwakili dan mengkomunikasikan beberapa informasi tentang variabel endogen dan eksogen.

Tabel 2.5: Bagian Sistem Dinamis

No.	Bagian Sistem Dinamis	Penjelasan
3	<i>Causal loop diagrams</i> (CLDs)	Instrumen yang fleksibel dan sangat berguna untuk memetakan struktur umpan balik sistem dalam domain apa pun. Diagram kausal hanyalah peta yang menunjukkan hubungan sebab akibat antara variabel-variabel dengan panah dari sebab ke akibat.
4	<i>Stock and flow maps</i>	Stock dan flow menekankan struktur fisik yang mendasarinya. Stok dan flow melacak akumulasi bahan, uang, dan informasi saat mereka bergerak melalui



suatu sistem. Stok meliputi inventaris produk, populasi, dan akun keuangan seperti utang, nilai buku, dan uang tunai. Flow adalah tingkat kenaikan atau penurunan stok, seperti produksi dan pengiriman, kelahiran dan kematian, pinjaman dan pembayaran kembali, investasi dan depresiasi, dan penerimaan dan pengeluaran. Stok mencirikan keadaan sistem dan menghasilkan informasi yang menjadi dasar pengambilan keputusan. Keputusan kemudian mengubah laju flow/aliran, mengubah stok dan menutup umpan balik loop dalam sistem.

Tabel 2.5: Bagian Sistem Dinamis

No.	Bagian Sistem Dinamis	Penjelasan
5	<i>Policy structure diagrams</i>	Diagram struktur kebijakan memusatkan perhatian pada isyarat informasi yang oleh pemodel mengasumsikan para pembuat keputusan menggunakan untuk mengatur laju aliran dalam sistem.



Mereka menunjukkan struktur kausal dan keterlambatan waktu yang terlibat dalam keputusan tertentu daripada struktur umpan balik dari keseluruhan sistem.

---

Sumber: (Sterman 2000).

Pengembangan dan implementasi model sistem dinamik yang efektif harus memperhatikan beberapa prinsip dasar diantaranya (Sterman 2000):

1. Kembangkan model untuk memecahkan masalah tertentu, bukan untuk memodelkan sistem.

Model harus memiliki tujuan yang jelas dan digunakan untuk menyelesaikan masalah yang menjadi perhatian klien. Pemodel harus mengecualikan semua faktor yang tidak relevan dengan masalah dengan tujuan agar dapat meningkatkan kinerja sistem dan dapat berfokus pada hasil.

2. Pemodelan harus diintegrasikan ke dalam proyek sejak awal.

Proses pemodelan dimulai sejak awal, dalam fase definisi masalah. Proses pemodelan membantu memfokuskan diagnosis pada struktur sistem.

3. Jadilah skeptis tentang nilai pemodelan dan diwajibkan untuk

lakukan diskusi "*why do we need it*" (mengapa kita membutuhkannya) di awal proyek.



Beberapa banyak masalah yang bisa terjadi di mana dinamika sistem tidak berguna. Oleh karena itu, pertimbangkan dengan cermat apakah sistem dinamik adalah teknik yang tepat untuk masalah tersebut. Pemodel harus bersedia untuk diberikan pertanyaan yang sulit dari klien tentang bagaimana proses itu bekerja dan bagaimana hal itu dapat membantu mereka dengan masalah mereka. Jadi, Semakin dini masalah ini dibahas maka, hasilnya dapat memberikan keluaran yang maksimal.

4. Sistem dinamik tidak berdiri sendiri. Diharapkan mempergunakan instrumen dan metode lain yang kompatibel.

Sebagian besar proyek pemodelan adalah bagian dari upaya yang lebih besar yang melibatkan analisis strategis dan operasional, termasuk perbandingan/benchmark, statistik, penelitian pasar, dll. Pemodelan yang efektif berlandaskan pada basis data yang kuat dan memahami masalah. Pemodelan berfungsi paling baik sebagai pelengkap alat lain, bukan sebagai pengganti.

5. Fokus pada implementasi sejak awal proyek.

Implementasi harus dimulai pada hari pertama proyek. Gunakan model untuk menetapkan prioritas dan menentukan urutan implementasi kebijakan. Pertimbangkan dengan penuh kehati-hatian masalah dunia nyata yang terlibat dalam menarik berbagai tuas

akan. Hitung kisaran penuh biaya dan manfaat kebijakan.



6. Pemodelan bekerja paling baik sebagai proses berulang penyelidikan bersama antara klien dan konsultan.

Pemodelan adalah proses penemuan. Tujuannya adalah untuk mencapai pemahaman baru tentang bagaimana masalah muncul dan kemudian menggunakan pemahaman itu untuk merancang kebijakan leverage tinggi untuk perbaikan. Pemodelan seharusnya tidak digunakan sebagai alat untuk advokasi.

7. Hindari black box modeling.

Sebuah keharusan untuk melibatkan klien sedini dan sedalam mungkin. Tunjukkan pada mereka modelnya. Dorong mereka untuk menyarankan dan mengkritik model tersebut. Bekerja bersama-sama adalah keharusan untuk menyelesaikan permasalahan yang didapatkan demi menunjang kepuasan bersama.

8. Validasi adalah proses pengujian berkelanjutan dan membangun kepercayaan dalam model.

9. Dapatkan model awal bekerja sesegera mungkin. Tambahkan detail hanya jika diperlukan.

Kembangkan model simulasi yang berfungsi sesegera mungkin. Jangan mencoba mengembangkan model konseptual yang komprehensif sebelum pengembangan model simulasi. Model konseptual hanya hipotesis dan harus diuji. Formalisasi dan simulasi

yang mengungkap kelemahan dalam peta konseptual dan mengarahkan peningkatan pemahaman. Hasil percobaan simulasi



menginformasikan pemahaman konseptual dan membantu membangun kepercayaan pada hasil.

10. Batas model luas lebih penting daripada banyak detail.

Model harus mencapai keseimbangan antara representasi operasional yang bermanfaat dari struktur dan tuas kebijakan yang tersedia. Dinamika suatu sistem muncul dari interaksi komponen-komponen dalam sistem yang menangkap umpan balik tersebut lebih penting daripada banyak detail dalam merepresentasikan komponen itu sendiri.

11. Gunakan pemodel ahli, bukan pemula.

Sementara perangkat lunak yang tersedia untuk pemodelan mudah dikuasai oleh siswa sekolah menengah atau CEO, pemodelan bukanlah pemrograman komputer. Anda tidak dapat mengembangkan diagram kualitatif dan kemudian menyerahkannya ke programmer untuk pengkodean menjadi model simulasi. Pemodelan membutuhkan pendekatan yang disiplin dan pemahaman tentang bisnis, keterampilan yang dikembangkan melalui studi dan pengalaman. Dapatkan bantuan ahli yang Anda butuhkan. Gunakan proyek sebagai kesempatan untuk mengembangkan keterampilan orang lain di tim dan di organisasi klien.

12. Implementasi tidak berakhir dengan satu proyek.

Modeler mengembangkan keahlian yang mereka terapkan pada masalah terkait dan klien pindah ke posisi baru dan organisasi baru,



mengambil wawasan yang mereka dapatkan dan terkadang cara berpikir baru dengan mereka. Implementasi adalah proses jangka panjang dari perubahan pribadi, organisasi, dan sosial.

Proses pemodelan secara sistematis akan dijelaskan dalam tabel 2.6 dibawah ini:

Tabel 2.6: Langkah-langkah proses pemodelan

No.	Proses Pemodelan	Langkah-langkah & Penjelasan
1	Artikulasi Masalah (Batas Seleksi)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemilihan tema: Apa masalahnya? Mengapa ini menjadi masalah?</li> <li>• Variabel kunci: Apa variabel kunci dan konsep yang dimiliki untuk dipertimbangkan?</li> <li>• Cakrawala waktu: Seberapa jauh ke depan kita harus mempertimbangkan? Seberapa jauh di masa lalu terletak akar masalah?</li> <li>• Definisi masalah dinamis (mode referensi): Apa perilaku historis dari konsep dan variabel utama? Bagaimana kelakuan mereka di masa depan?</li> </ul>
	Perumusan Masalah Dinamis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generasi hipotesis awal: Apa teori terkini tentang perilaku masalah?</li> </ul>



- Fokus endogen: Merumuskan hipotesis dinamis yang menjelaskan dinamika sebagai konsekuensi endogen dari struktur umpan balik.
- Pemetaan: Mengembangkan peta struktur sebab-akibat berdasarkan hipotesis awal, variabel kunci, mode referensi, dan data lain yang tersedia, menggunakan alat-alat seperti:
  - ✓ Model boundary diagrams (Diagram batas model)
  - ✓ Subsystem diagrams (Diagram subsistem)
  - ✓ Causal loop diagrams (diagram lingkaran sebab- akibat)
  - ✓ Stock and flow maps (peta Stok dan aliran)
  - ✓ Policy structure diagrams (Diagram struktur kebijakan)
  - ✓ Alat fasilitasi lainnya.

Tabel 2.6: Langkah-langkah proses pemodelan

Proses Pemodelan	Langkah-langkah & Penjelasan
Merumuskan	Model <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spesifikasi struktur, aturan keputusan.</li> </ul>



Simulasi

- Estimasi parameter, hubungan perilaku, dan kondisi awal.
- Tes untuk konsistensi dengan tujuan dan *boundary/batas*.

Tabel 2.6: Langkah-langkah proses pemodelan

No.	Proses Pemodelan	Langkah-langkah & Penjelasan
4	Pengujian	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perbandingan dengan mode referensi: Apakah model mereproduksi perilaku masalah secara memadai untuk tujuan anda?</li> <li>• Kekokohan dalam kondisi ekstrem: Apakah model berperilaku realistis saat ditekankan oleh kondisi ekstrem?</li> <li>• Sensitivitas: Bagaimana model berperilaku mengingat ketidakpastian dalam parameter, kondisi awal, batas model, dan agregasi?</li> </ul>
5	Desain dan Evaluasi Kebijakan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spesifikasi skenario: Kondisi lingkungan apa yang mungkin timbul?</li> <li>• Desain kebijakan: Apa aturan keputusan, strategi, dan struktur baru yang mungkin dicoba di dunia nyata? Bagaimana mereka diwakili dalam</li> </ul>



model?

- "Bagaimana jika....." Analisis: Apa dampak kebijakan tersebut?
- Analisis sensitivitas: Seberapa kuat rekomendasi kebijakan di bawah skenario yang berbeda dan diberikan ketidakpastian?
- Interaksi kebijakan: Apakah kebijakan berinteraksi? Apakah ada sinergi atau respons kompensasi?

---

Sumber: (Sterman 2000).

### 1. *Causal loop diagrams* (CLDs)

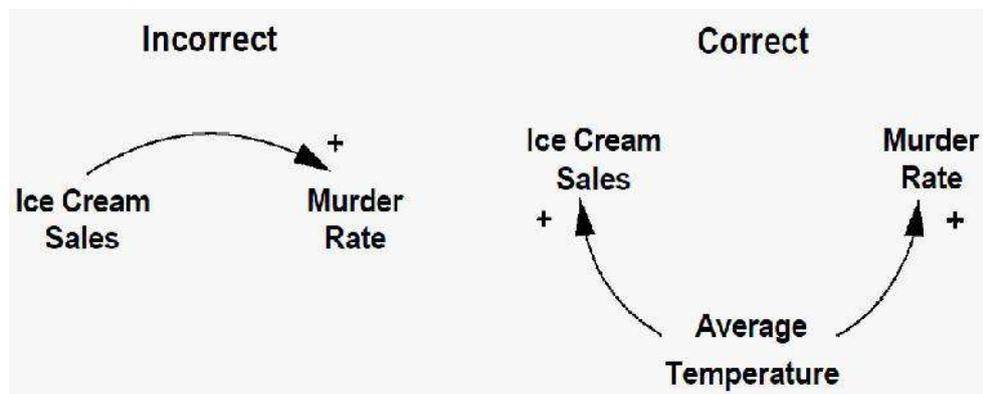
Setiap tautan dalam diagram yang akan dibuat harus mewakili hubungan sebab akibat antar variabel. Anda tidak boleh menyertakan korelasi antar variabel. Model dinamis mengandung makna simulasi berasal dari bahasa Latin dari kata mensimulasikan/simulare yang memiliki arti "meniru." Model sistem dinamis harus dapat meniru struktur sistem nyata dengan baik sehingga menghasilkan suatu model yang berperilaku sama seperti sistem sebenarnya. Makna perilaku yang dimaksudkan yaitu tidak hanya mereplikasi pengalaman historis tetapi juga dapat menanggapi keadaan dan kebijakan yang sepenuhnya baru.

asi antar variabel mencerminkan perilaku masa lalu suatu sistem. asi tidak mewakili struktur sistem. Jika keadaan berubah, jika loop



umpan balik yang sebelumnya tidak aktif menjadi dominan, jika kebijakan baru dicoba, korelasi yang sebelumnya dapat diandalkan antar variabel dapat rusak.

Model dan diagram sebab akibat Anda harus hanya mencakup hubungan yang anda yakini menangkap struktur kausal yang mendasari sistem. Korelasi antar variabel akan muncul dari perilaku model ketika anda mensimulasikannya (Sterman 2000).



Gambar 2.4: Diagram kausal (hubungan kausal asli) (Sterman 2000).

Untuk memaksimalkan kejelasan dan dampak diagram sebab akibat (*Causal Loop Diagram*) Anda, Anda harus mengikuti beberapa prinsip dasar desain grafis diantaranya (Sterman 2000):

- a. Gunakan garis lengkung untuk umpan balik informasi. Garis lengkung membantu pembaca memvisualisasikan umpan balik loop.
- b. Buat loop penting mengikuti jalur melingkar atau oval.

Struktur diagram anda untuk meminimalkan garis silang.



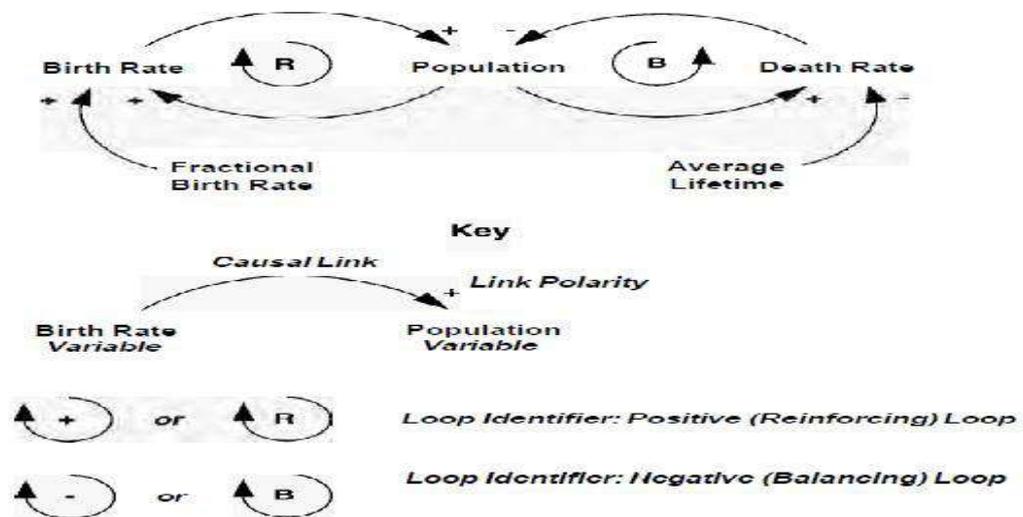
- d. Jangan meletakkan lingkaran, heksagon, atau simbol lain di sekitar variabel dalam causal diagrams/diagram sebab akibat. Simbol tanpa makna adalah "bagan sampah" dan hanya berfungsi untuk mengacaukan dan mengalihkan perhatian. Pengecualian: Anda akan sering membutuhkan untuk membuat stock dan struktur flow dari suatu aliran sistem eksplisit dalam diagram Anda. Dalam kasus-kasus ini, persegi panjang dan katup di sekitar variabel memberitahu pembaca mana yang merupakan stok dan mana yang flow.
- e. Iterate. Karena Anda sering tidak akan tahu seperti apa semua variabel dan loop saat Anda mulai, Anda harus menggambar ulang diagram Anda, sering berkali-kali, untuk menemukan tata letak terbaik.

*Causal loop diagrams* (CLDs)/Diagram sebab akibat terdiri dari beberapa variabel yang dihubungkan dengan panah yang menunjukkan pengaruh kausal di antara variabel-variabel tersebut. Loops umpan balik penting juga diidentifikasi dalam diagram. Gambar 2.4 menunjukkan contoh dan kunci notasi. Variabel dihubungkan oleh tautan sebab akibat, ditunjukkan oleh panah. Dalam contoh, tingkat kelahiran ditentukan oleh populasi dan tingkat kelahiran fraksional. Setiap hubungan sebab akibat diberi polaritas, baik positif (+) atau

negatif (-) untuk menunjukkan bagaimana variabel dependen berubah ketika variabel independen berubah. Loop penting disorot oleh



pengidentifikasi loop yang menunjukkan apakah loop adalah umpan balik positif (penguatan) atau negatif (menyeimbangkan). Perhatikan bahwa pengidentifikasi loop bersirkulasi dalam arah yang sama dengan loop yang terkait. Dalam contoh tersebut, umpan balik positif yang berkaitan dengan kelahiran dan populasi adalah searah jarum jam dan begitu juga loop identifier; loop tingkat kematian negatif berlawanan dengan identifier (Sterman 2000).



Gambar 2.5: Notasi diagram *Causal Loop* (Sterman 2000).

Tautan positif berarti bahwa jika penyebabnya meningkat, efeknya meningkat di atas apa yang seharusnya, dan jika penyebabnya berkurang, efeknya menurun di bawah apa yang seharusnya terjadi. Dalam contoh pada Gambar 2.5, peningkatan angka kelahiran fraksional berarti angka kelahiran (pada orang per tahun) akan

tingkat di atas yang seharusnya, dan penurunan angka kelahiran fraksional berarti tingkat kelahiran akan turun. Artinya, jika rata-rata umur harapan hidup meningkat, tingkat kelahiran, mengingat populasi, akan meningkat;



jika kesuburan turun, maka jumlah kelahiran akan mengalami penurunan. Ketika penyebabnya adalah tingkat flow/aliran yang terakumulasi ke dalam stok, maka benar juga bahwa penyebabnya menambah stok. Dalam contoh tersebut, kelahiran menambah populasi (Sterman 2000).

Tautan negatif dapat dijelaskan bahwa jika penyebabnya mengalami peningkatan maka efeknya akan mengalami penurunan di bawah yang seharusnya. Apabila penyebabnya mengalami penurunan maka efeknya akan mengalami peningkatan di atas apa yang seharusnya terjadi. Merujuk pada contoh, maka dapat dijelaskan bahwasanya peningkatan rata-rata masa hidup suatu populasi berarti tingkat kematian (pada orang per tahun) akan turun di bawah yang seharusnya, dan apabila penurunan rata-rata masa hidup suatu populasi terjadi maka, tingkat kematian akan mengalami peningkatan. Kesimpulannya bahwa apabila angka harapan hidup mengalami peningkatan maka dapat disimpulkan bahwa angka kematian akan mengalami penurunan. Sebaliknya, apabila angka harapan hidup mengalami penurunan maka, angka kematian akan mengalami kenaikan (Sterman 2000).

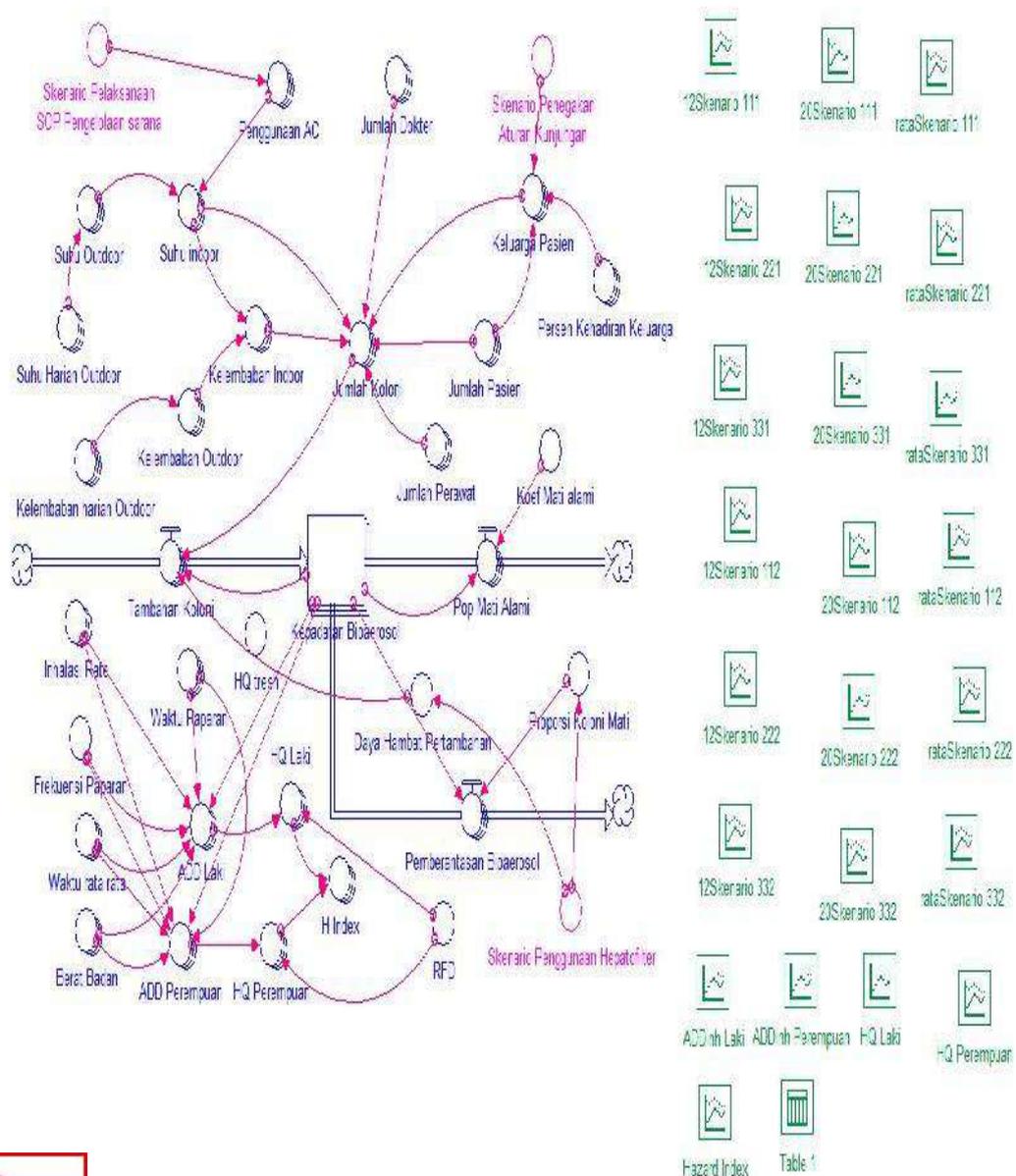
## 2. Stocks, Flows, And Accumulation

Stok dan flow bersama dengan umpan balik, adalah dua konsep

dari teori sistem dinamis. Stok merupakan akumulasi mencirikan sistem dan menghasilkan informasi yang menjadi dasar



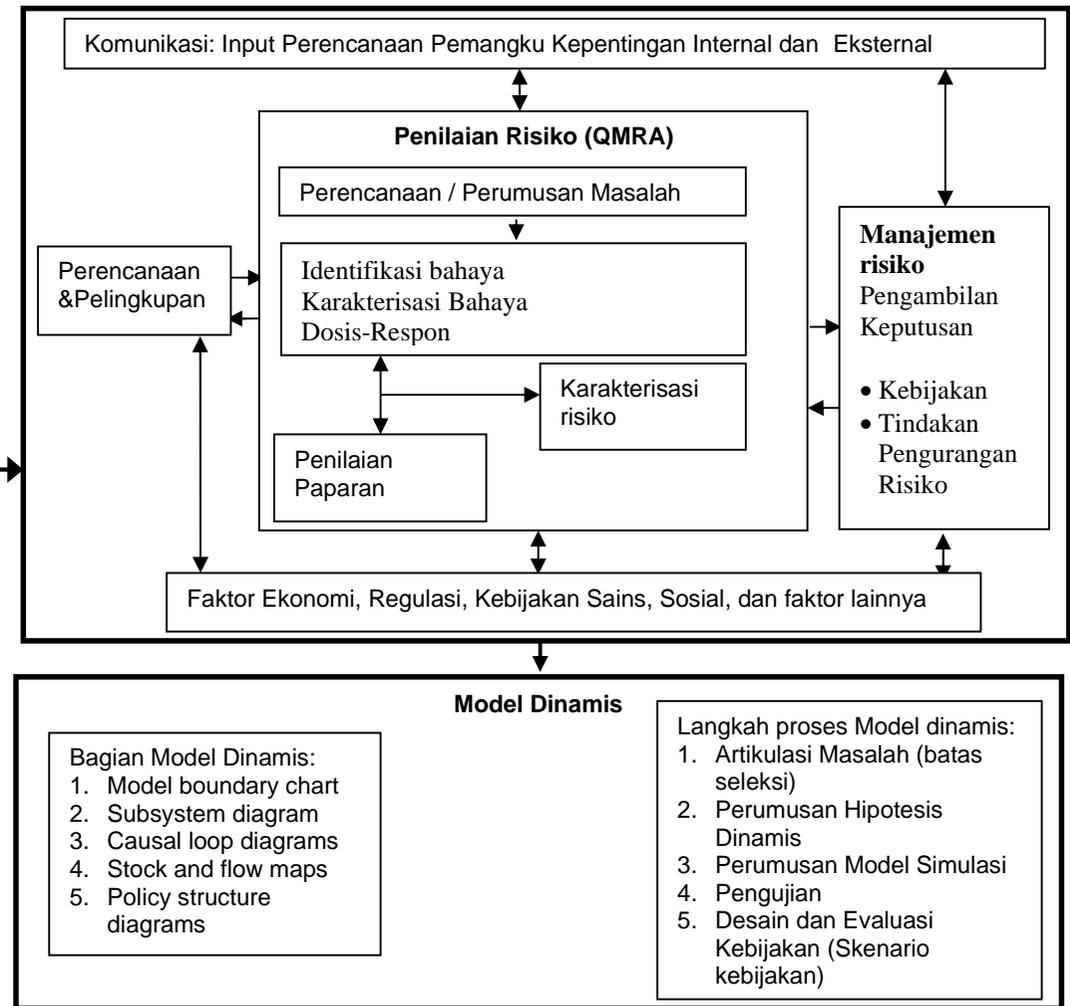
pengambilan keputusan dan tindakan. Dengan memisahkan laju flow/aliran, stok adalah sumber dinamika disequilibrium dalam sistem (Sterman 2000). Gambar 2.6 akan menjelaskan contoh *Causal Loop* diagram dari model dinamis rencana penelitian.



2.6: Model dinamis (*Causal Loop* diagram) polusi bioaerosol



### J. Kerangka Teori



Gambar 1. Kerangka Teori diadaptasi dari (Darmadi, 2008 hal. 21 & 123-130), (Septiari, 2012 hal.4-23), (EPA, 2012 hal.119 & 103), Sterman, 2000 (hal.11)



## K. Kerangka Konsep Penelitian

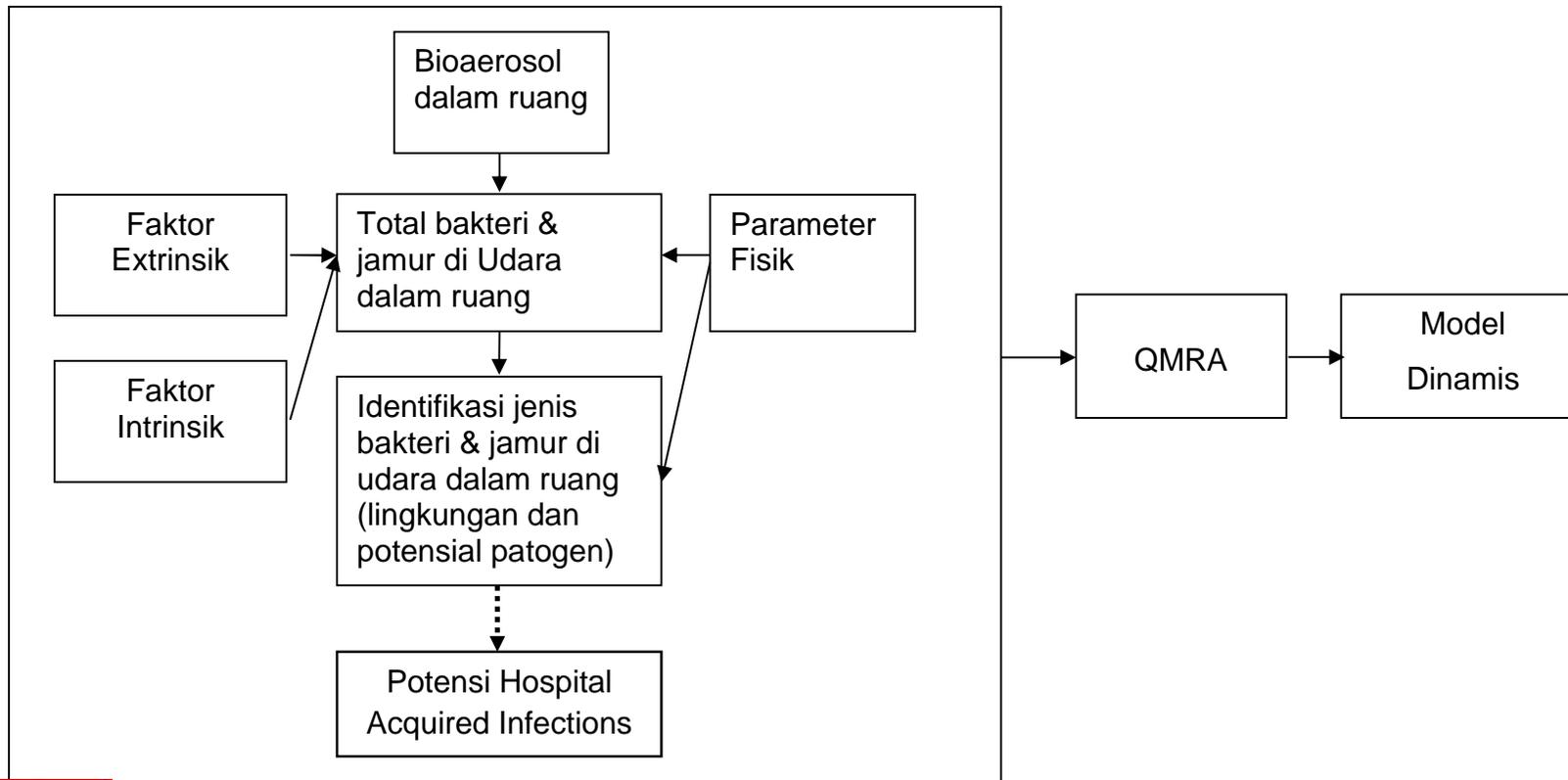


Fig. 2.8: Kerangka Konsep Penelitian



## L. Sintesa Hasil Penelitian Terkait

No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
<b>Polusi Bioaersol (bakteri &amp; jamur di Udara) dalam ruang di Rumah Sakit</b>						
1	(Jaffal et al. 1997) Environment International Journal.	1997	Ruang Indoor perawatan Rumah sakit mencakup perawatan rawat inap dan beberapa fasilitas rawat jalan.	Experiment /Laboratorium. Pengambilan Sampel Bakteri di Udara ( <i>Air Sampling</i> ) & Media kultur dan teknik identifikasi mikroba.	ICU memiliki rata-rata 687 CFU / m <sup>3</sup> per kamar dan dalam kamar operasi, rata-rata 473 CFU / m <sup>3</sup> per kamar. Kebanyakan yang ditemukan adalah spesies <i>Micrococcus</i> . Ruang ICU dan kamar operasi secara signifikan lebih terkait dengan manusia daripada mikroorganisme lingkungan di udara dan permukaan ( $p < 0.005$ ).	Sepuluh kelompok mikroorganisme yang diisolasi adalah bakteri dan jamur pada manusia atau lingkungan. sejumlah kecil bakteri dan jamur patogen yang potensial.
2	(Verde et al. 2015). Research in Microbiology.	2015	Sebuah studi prospektif tentang mikroba di udara dilakukan di rumah sakit. Analisis dilakukan di tiga lokasi rumah sakit yang dipilih, masing-masing di ruang operasi: risiko tinggi; layanan darurat: risiko sedang dan bangsal bedah: risiko rendah (tanpa sistem pendinginan).	Experiment /Laboratorium. Jumlah unit pembentuk koloni (CFU) per cawan petri (MAS-100). Tingkat signifikansi: $P < 0.05$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Layanan Darurat memiliki konsentrasi mikroba udara tertinggi, mulai dari 240 hingga 736 CFU / m<sup>3</sup> untuk jumlah total bakteri aerob.</li> <li>Konsentrasi bakteri di Bangsal Bedah berkisar antara 99 dan 495 CFU/m<sup>3</sup>, dengan nilai maksimum untuk kamar dengan hunian lebih tinggi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kontaminasi bakteri udara harus dari lingkungan dalam ruangan, karena tingkat di luar ruangan secara signifikan lebih rendah.</li> <li>Inefisiensi sistem ventilasi/ filtrasi rumah sakit untuk mengurangi jumlah mikroba udara.</li> </ul>



No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
3	(Goudarzi et al. 2016). Atmospheric Environment	2016	Pengukuran dilakukan di Rumah Sakit Golestan yang terletak di kampus Universitas Ilmu Kedokteran Ahvaz Jundishapur. Dua area fokus di rumah sakit termasuk Unit Perawatan Intensif (ICU) dan bangsal internal yang dipilih, dengan detail untuk masing-masing (mis., Luas lantai; jumlah kamar, pasien, tempat tidur, staf/kru).	Experiment /Laboratorium. Pengambilan sampel udara dilakukan antara September 2010 dan Maret 2011. <i>Trypticase Soy Agar</i> (TSA) dan <i>Potato Dextrose Agar</i> (PDA) masing-masing digunakan untuk membudidayakan bakteri dan jamur. Konsentrasi bakteri dan jamur di udara dinyatakan dalam CFU/m <sup>3</sup> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pada hari normal (musim dingin), konsentrasi rata-rata (luar/dalam) bakteri dan jamur adalah 423/329 CFU/m<sup>3</sup> dan 596/386 CFU/m<sup>3</sup> dan meningkat pada hari berdebu (musim gugur) menjadi 1257/406 CFU/m<sup>3</sup> dan 1116/550 CFU/m<sup>3</sup>.</li> <li>• <i>Bacillus spp.</i>, <i>Micrococcus spp.</i>, <i>Streptomyces spp.</i>, Dan <i>Staphylococcus spp.</i> adalah bakteri dominan baik di dalam maupun di luar ruangan pada hari-hari normal dan debu (musim gugur).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bakteri gram positif menunjukkan konsentrasi yang lebih tinggi daripada bakteri gram negatif pada sampel udara luar dan dalam ruangan serta selama hari-hari normal dan debu (musim gugur).</li> <li>• Bakteri Gram positif lebih tahan terhadap kondisi luar yang tidak diinginkan (mis., Radiasi matahari yang tinggi) dibandingkan dengan yang negatif.</li> </ul>



No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
4	(Sudharsanam et al. 2012). African Health Sciences	2012	Penelitian ini dilakukan di fasilitas perawatan kesehatan tersier yang terletak di Chennai Barat, India, untuk periode satu tahun dari Februari 2008 hingga Januari 2009. Sampel dipilih secara acak	Experiment /Laboratorium. studi prospektif dilakukan untuk menentukan apakah ada variasi temporal dalam mikroflora udara di bangsal rumah sakit.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beban mikroba bervariasi dengan metode pengambilan sampel. Konsentrasi bakteri lebih tinggi (pelat terbuka/ <i>Exposed-plate</i>: 45–150 CFU / plat; tumbukan/ <i>impingement</i>: <math>1.12E + 03</math>–<math>1.6856E + 05</math> CFU / m<sup>3</sup>; filtrasi: <math>3.788E + 03</math>–<math>1.91111E + 05</math> CFU/m<sup>3</sup>).</li> <li>• Koagulase-negatif <i>Staphylococci</i> dan <i>Micrococci</i> adalah cocci gram-positif dominan dalam sampel aktif dan pasif. Sedangkan <i>Enterobacter</i> dan <i>Pseudomonas</i> adalah basil gram-negatif yang dominan.</li> </ul>	Metode pengambilan sampel pelat terbuka/ <i>Exposed-plate</i> secara efisien digunakan untuk menangkap mikroorganisme terkhusus jenis patogen, dimana sangat berguna di Rumah sakit untuk penilaian awal kualitas udara dalam ruang.
5	(Osaro, Ufuoma, and Dorcas 2008). Journal of Medical	2008	Penelitian dilakukan di dua rumah sakit terpilih, yaitu Rumah Sakit Pusat dan Pusat Medis Faith di Kota Benin, Negara Bagian Edo, rumah sakit milik pemerintah dan swasta. Sampel untuk penelitian ini dikumpulkan dari lima unit di rumah sakit, ini termasuk bangsal	Experiment /Laboratorium. Pengambilan Sampel Udara dan Pemeriksaan Mikrobiologis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Populasi bakteri tertinggi pada malam hari antara jam 5 sore dan 6 sore, mulai dari 15 CFU/m<sup>3</sup> - 47 CFU/m<sup>3</sup> di Rumah Sakit Medis Faith dan 17 CFU/m<sup>3</sup> - 52 CFU/m<sup>3</sup> di Rumah Sakit Pusat, bangsal anak-anak memiliki jumlah bakteri tertinggi masing-masing 47</li> </ul>	Tingkat frekuensi distribusi mikroba tertinggi ditemukan pada laboratorium bakteriologis dan bangsal wanita dan frekuensi terendah ditemukan pada ruang operasi.



No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
			pria, bangsal wanita, teater bangsal anak-anak dan laboratorium bakteriologis.		CFU/m <sup>3</sup> dan 52 CFU/m <sup>3</sup> di Faith Medical Center dan Central Hospital. <ul style="list-style-type: none"> <li>Identifikasi bakteri: <i>Staphylococcus aureus</i>, <i>Staphylococcus epidermidis</i>, <i>Escherichia coli</i>, <i>Pseudomonas aeruginosa</i>, <i>Proteus mirabilis</i> dan <i>Klebsiella aerogenes</i>.</li> </ul>	
6	(Mirzaei et al. 2014). Jundishapur Journal of Microbiology	2014	Dalam studi ini, 72 sampel dikumpulkan dari tiga kamar operasi dan tiga kamar di gawat darurat rumah sakit pendidikan di Zahedan, Tenggara Iran selama 2012.	Experiment /Laboratorium.	<ul style="list-style-type: none"> <li>17 jenis bakteri yang terdeteksi termasuk <i>Staphylococcus aureus</i>, <i>Micrococcus Viridians</i>, <i>Pneumococcus</i>, <i>Escherichia coli</i>, <i>Streptococcus</i>, <i>Bacillus cereus</i>, <i>B. subtilis</i>, <i>Klebsiella</i>, <i>Pseudomonas</i>, <i>Diphtheroid</i>, <i>Citrobacter</i> dan <i>Enterobacter</i>.</li> <li>Kepadatan rata-rata untuk semua bakteri adalah 103.88 ± 33.84 CFU/m<sup>3</sup> di ruang gawat darurat dan 63.32 ± 32.94 CFU/m<sup>3</sup> di ruang operasi (P = 0.003).</li> <li>Bakteri yang paling terdeteksi adalah</li> </ul>	Hasil kuantitatif dan kualitatif dari penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat kontaminasi dan variasi bakteri di ruang operasi dan gawat darurat tinggi dan langkah-langkah efektif harus diambil untuk mengendalikan kemungkinan risiko kesehatan.



No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
<b>Metode Pengambilan Sampel dalam Ruang di Rumah Sakit</b>						
7	(Awosika, Olajubu, and Amusa 2012). Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine.	2012	Sembilan bangsal digunakan untuk pengumpulan sampel (bangsal medis pria, bangsal medis wanita, bangsal anak-anak, unit neonatal, spesialisasi bedah pria, bedah umum pria, bangsal bedah wanita, kamar operasi dan unit kecelakaan & darurat.	Experiment /Laboratorium.Teknik sedimentasi menggunakan cawan Petri terbuka yang berisi media kultur. pengambilan sampel dilakukan dua kali sehari, pagi dan malam hari. Pagi hari sebelum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan secara statistik (<math>2=6.0167</math>) pada populasi bakteri dari waktu pengambilan sampel yang berbeda.</li> <li>• Bangsal medis pria dan bedah umum pria mencatat pertumbuhan bakteri tertinggi sementara ruang operasi hampir bebas dari beban mikroba.</li> <li>• Isolat bakteri adalah <i>Staphylococcus aureus</i>, <i>Klebsiella sp.</i>, <i>Bacillus cereus</i>, <i>Bacillus</i></li> </ul>	Sebagian besar isolat mikroba adalah patogen potensial dan oportunistik. Langkah seperti desinfeksi yang tepat dan pembersihan rutin, pembatasan pergerakan kerabat pasien masuk dan keluar dari bangsal / unit perlu ditegakkan untuk meningkatkan kualitas udara dalam ruangan bangsal Rumah Sakit.



No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
<b>Faktor Extrinsik (Jumlah Petugas, Jumlah Pasien, Jumlah pengunjung / keluarga, dan frekuensi pembersihan)</b>						
8	(Ekhaise et al. 2010). World Journal of Agricultural Sciences.	2010	Pengambilan sampel udara dilakukan di bangsal kecelakaan dan gawat darurat (A dan E), bangsal wanita, bangsal pria, bangsal anak-anak dan bangsal bersalin, kamar operasi, unit perawatan intensif dan laboratorium bakteriologis.	Experiment /Laboratorium. Pengambilan Sampel Udara dan Pemeriksaan Mikrobiologis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Populasi bakteri berkisar dari 3 CFU/ m<sup>3</sup> - 76 CFU/m<sup>3</sup>, dengan populasi bakteri tertinggi tercatat di ruang gawat darurat.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rumah sakit memainkan peran penting dalam HAIs yang besarnya tergantung pada tingkat kondisi higienis dari lingkungan rumah sakit.</li> <li>• Lingkungan dalam ruangan berpotensi menempatkan penghuni manusia pada risiko yang lebih tinggi daripada ruang luar, karena ruang tertutup membantu aerosol terkurung</li> </ul>



No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
9	(Asif et al. 2018). Building and Environment.	2018	Enam lokasi dalam Rumah Sakit dipilih yaitu: ruang operasi darurat (RO1), ruang operasi bedah umum (RO2), bangsal bedah, bangsal pengobatan umum, layanan darurat dan bagian rawat jalan.	Experiment/Laboratorium. Sampel mikroba di udara dikumpulkan dua kali seminggu dari setiap lokasi pengambilan sampel menggunakan personal air sampler (Gilian 5000) yang beroperasi pada laju aliran 5 l/mnt selama 10 mnt. Koloni yang diperoleh kemudian dihitung dan dinyatakan sebagai	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Level bakteri tertinggi ditemukan di bagian rawat jalan (rata-rata: 1649.7 CFU/m<sup>3</sup>) sementara terendah di dua bagian ruang operasi (rata-rata: 221 CFU / m<sup>3</sup> untuk ruang operasi 1 dan 236 CFU/m<sup>3</sup> untuk ruang operasi 2).</li> <li>• Identifikasi bakteri menunjukkan dominasi gram positif cocci (89.8%) diikuti oleh batang gram positif (7.2%) dan batang gram negatif (3%).</li> <li>• Strain bakteri yang teridentifikasi berasal dari genera <i>staphylococcus</i>, <i>micrococcus</i>, <i>kocuria</i>, <i>aerococcus</i>, <i>kytocooccus</i>, <i>bacillus</i> dan <i>pseudomonas</i>.</li> </ul>	<p>yang memungkinkan mereka menumpuk yang berpotensi menular.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tingkat hunian menunjukkan secara signifikan mempengaruhi tingkat bakteri</li> <li>• Frekuensi pembersihan yang lebih tinggi dengan pemberian sterilisasi cahaya UV menunjukkan dampak yang signifikan, tingkat konsentrasi bakteri pada ruang operasi yang diamati memiliki beban mikroba yang lebih rendah.</li> <li>• Gram positif cocci ditemukan menjadi kelompok bakteri yang paling dominan di semua lokasi</li> </ul>



No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
10	(Pantoja, Nascimento, and Nunes 2016). Atmospheric Pollution Research	2016	Sampel dikumpulkan dari salah satu rumah sakit umum terbesar di negara bagian Ceara, yang terletak di ibu kota, Fortaleza. Sampel dikumpulkan selama dua musim yang mendominasi di negara bagian Ceara, musim kemarau (September, Oktober dan November 2014) dan musim hujan (April, Mei dan Juni 2015).	Penelitian ini adalah eksplanatori, dari tipe eksperimental, kuantitatif dan kualitatif, serta eksploratif.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penerimaan Darurat (1308 CFU/m<sup>3</sup>), Bangsal Transplantasi (rata-rata 1086 CFU/m<sup>3</sup>), Penerimaan elektif (rata-rata 877.5 CFU/m<sup>3</sup>) dan Unit Perawatan Intensif (rata-rata 833.5 CFU/m<sup>3</sup>).</li> </ul>	Perbedaan konsentrasi udara rumah sakit yang dianalisis terkait dengan ketidakseimbangan aktivitas manusia, seperti lingkungan dengan tingkat turnover orang yang tinggi. Dengan demikian, mengingat keberadaan mikroorganisme dengan potensi patogen dan status kekebalan pasien, pemantauan udara sangat penting untuk mengevaluasi risiko terhadap kesehatan.
11	(Tormo-Molina	2012	Pengambilan sampel dilakukan di rumah sakit Infanta Cristina, di ibu kota Badajoz (Spanyol). Empat lokasi indoor dan satu outdoor dipilih	Experiment/Laboratoriu m. Pengukuran di udara dalam Rumah	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sebanyak 2.456 CFU dihitung. Konsentrasi rata-rata luar ruangan adalah 107 CFU/m<sup>3</sup>, dan di dalam ruangan adalah 24 CFU/m<sup>3</sup>. Nilai</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mikroba dalam ruangan di rumah sakit berkorelasi dengan musim dan jumlah orang di bangsal</li> </ul>



	Iberoamericana de Micologia		dalam penelitian ini. Periode pengambilan sampel dimulai pada bulan April 2007 dan berakhir pada Maret 2009.	sakit (CFU/m <sup>3</sup> )	tengah tertinggi adalah untuk kantor lantai tiga (31 CFU / m <sup>3</sup> ) dan terendah untuk kantor lantai dasar (14 CFU / m <sup>3</sup> ). Nilai rata-rata untuk dua bangsal terbuka sangat mirip masing-masing (25 dan 27 CFU / m <sup>3</sup> untuk lantai dasar dan lantai ketiga).	lantai tiga.
No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
12	(Tolabi et al. 2019). MethodsX	2019	Rumah Sakit Shariati di Karajcity, Iran antara Mei 2016 dan Februari 2017. Pengambilan sampel dilakukan di udara dalam ruangan ruang bedah rumah sakit Shariati. Sebanyak 4 kamar operasi (bedah ortopedi, mata, sesar dan internal) dari rumah sakit ini digunakan sebagai lokasi pengambilan sampel.	Experiment /Laboratorium.  Penelitian deskriptif-analitik cross-sectional ini dilakukan untuk menyelidiki konsentrasi dan jenis bioaerosol bakteri dan jamur di ruang operasi. Media kultur Sabouraud dextrose agar (SDA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untuk bakteri yaitu: <i>Staphylococcus</i>, <i>Enterococcus</i>, <i>Bacillus</i>.</li> <li>• Untuk jamur yaitu: <i>Cladosporium</i>, <i>Aspergillus</i>, dan <i>Penicillium</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konsentrasi bioaerosol bakteri dan jamur intraoperatif di ruang operasi ortopedi, internal dan sesar secara signifikan lebih tinggi.</li> <li>• Hasil penelitian menunjukkan bahwa bakteri gram positif dan jamur <i>Penicillium</i> dan <i>Aspergillus</i> adalah spesies yang paling sering. Spesies ini memiliki lebih banyak resistensi dalam kondisi</li> </ul>



No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
13	(Bolookat et al. 2018). MethodsX	2018	Penelitian ini dilakukan di bangsal yang berbeda dari rumah sakit khusus dan sub-spesialisasi KhatamAl-Anbia, yang terletak di Teheran dari Agustus 2015 hingga Februari 2016. Semua lokasi pengambilan sampel pertama kali dikategorikan ke dalam 2 kelompok, yang merupakan bangsal rumah sakit termasuk CCU (unit perawatan jantung) , GICU (unit perawatan intensif umum), ICU (unit perawatan intensif), dan NICU (unit perawatan intensif neonatal) dan ruang operasi termasuk MS (operasi pria), NS (operasi neonatal), dan WS (operasi wanita). Kemudian pengukuran konsentrasi bioaerosol bakteri dan jamur dilakukan di semua lokasi	Experiment /Laboratorium. Studi cross-sectional	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bioaerosol bakteri yang paling terisolasi: <i>Micrococcus luteus</i> (43.4%), <i>Staphylococcus epidermidis</i> (15.5%), <i>Streptococcus spp.</i> (12.5%), <i>Diphtheroid spp.</i> (11.3%), <i>Micrococcus roseus</i> (10.8%), <i>Bacillus subtilis</i> (6.4%) pada semua sampel. Semua bioaerosol bakteri adalah gram positif.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jumlah tempat tidur memiliki efek positif dan signifikan terhadap konsentrasi mikroba di udara.</li> <li>Studi komprehensif diperlukan untuk menentukan peran faktor-faktor lain termasuk jumlah pekerja kesehatan dan pengunjung, batuk, bersin, dll.</li> <li>Menetapkan standar kualitas udara dalam ruangan untuk bangsal rumah sakit dan ruang operasi, terutama dalam hal jumlah tempat tidur maksimum yang diijinkan.</li> </ul>



No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
14	(He et al. 2017). Environment International	2017	Penelitian ini dilakukan di Royal Children's Hospital PICU di Brisbane, Australia, 82 sampel bioaerosol untuk menguji keberadaan bakteri patogen. 4 hingga 16 Agustus 2014, selama musim puncak influenza di Brisbane, dan ketika penerimaan Rumah Sakit mengalami peningkatan.	Experiment /Laboratorium.	Ditemukan bakteri <i>Staphylococcus</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Corynebacteria</i> di udara dalam ruang PICU.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konsentrasi partikel dalam ruangan di PICU terutama dipengaruhi oleh sumber partikel dalam ruangan.</li> <li>• Sumber partikel dalam ruangan yang paling besar adalah terapi nebulisasi, hisap trakea, dan aktivitas pembersihan.</li> <li>• Genera bakteri yang paling umum diisolasi dari kultur primer dan kaldu adalah komensal kulit.</li> <li>• Rekomendasi praktis untuk desain PICU, serta bagi staf medis dan kebersihan untuk mengurangi generasi aerosol dan</li> </ul>



No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
15	(Hoseinzadeh et al. 2013). Jundishapur Journal of Microbiology	2013	Lima rumah sakit pendidikan di bawah pengawasan Universitas Ilmu Kedokteran Hamedan di Hamedan, selama 2012. Lebih dari 180 sampel udara dikumpulkan dari rumah sakit. Sampel dipindahkan ke agar darah dan media Sabouraud. Konsentrasi bioaerosol dihitung dalam CFU / m <sup>3</sup> .	Experiment /Laboratorium. Studi <i>cross-sectional</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rata-rata total konsentrasi bioaerosol untuk semua rumah sakit yang disurvei adalah bakteri =160.6 CFU/m<sup>3</sup>.</li> <li>• Persentase tertinggi bakteri yang diisolasi adalah stafilokokus koagulase-negatif (32.49%), Bacillus spp. (14.74%), Micrococcus spp. (13.68%), dan Staphylococcus aureus (11.34%).</li> </ul>	Konsentrasi bioaerosol kuantitatif di udara beberapa rumah sakit lebih dari standar yaitu, 30 CFU/m <sup>3</sup> . Kepadatan bioaerosol dari semua rumah sakit yang disurvei dapat berhubungan dengan kehadiran pasien di bangsal dan pengunjung mereka, ventilasi yang salah, dan desinfeksi yang tidak efisien. Sebagian besar rumah sakit yang disurvei tidak memiliki sistem pengolahan udara, sistem ventilasi standar yang memenuhi syarat.



No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
16	(Pastuszka, Marchwi ska-Wyrwał, and Wlazło 2005). Polish Journal of Environmental Studies	2005	Rumah sakit di Upper Silesia, Polandia. Ruang kantor, ruang rawat "sosnowiec", ruang pasien di Zabrze, ruang operasi jantung katowice-ochojec setelah operasi selama pembersihan ruangan, dan ruang operasi jantung katowice-ochojec setelah operasi II.	Experiment /Laboratorium.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruang kantor ditemukan bakteri gram-positif <i>cocci</i> berjumlah 112 CFU/m<sup>3</sup> dimana terdapat jenis <i>staphylococcus</i>, <i>micrococcus</i>. Sedangkan jenis batang gram positif <i>rods</i> berjumlah 50 CFU/m<sup>3</sup> dimana ditemukan jenis <i>arthrobacter</i>, <i>brevibacterium</i>, <i>corynebacterium</i>, dan <i>bacillus</i> serta jenis gram positif <i>rods</i>, famili <i>bacillaceae</i> berjumlah 4.</li> <li>• Ruang rawat "sosnowiec" ditemukan bakteri gram positif <i>cocci</i> berjumlah 110 CFU/m<sup>3</sup> dimana ditemukan <i>staphylococcus</i>, <i>micrococcus</i>. Batang gram positif <i>rods</i> berjumlah 77 CFU/m<sup>3</sup> ditemukan <i>brevibacterium</i>, <i>aureobacterium</i>. Gram positif <i>rods</i> ditemukan <i>bacillaceae</i> dan <i>bacillus</i>.</li> <li>• Ruang pasien Zabrze ditemukan gram positif <i>cocci</i> berjumlah 552 CFU/m<sup>3</sup> dimana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konsentrasi rata-rata jumlah bakteri tergantung pada jumlah penghuni dan kualitas fisik Rumah Sakit.</li> </ul>



					<p>ditemukan jenis <i>staphylococcus</i>, <i>micrococcus</i>, <i>kocuria</i>. Batang gram positif <i>rods</i> berjumlah 140 CFU/m<sup>3</sup> dimana ditemukan jenis <i>corynebacterium</i>, <i>microbacterium</i>, <i>actinomycetes</i>, dan <i>rhodococcus</i>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruang operasi jantung 1 selama pembersihan ditemukan gram positif cocci berjumlah 143 CFU/m<sup>3</sup> dimana ditemukan jenis <i>staphylococcus</i> dan <i>micrococcus</i>. Batang gram positif rods berjumlah 54 CFU/m<sup>3</sup> ditemukan jenis <i>corynebacterium</i>, <i>brevibacterium</i>.</li> <li>• Ruang operasi jantung II ditemukan gram positif cocci 110 CFU/m<sup>3</sup> ditemukan jenis <i>staphylococcus</i>, <i>micrococcus</i>, dan <i>kocuria rosea</i>. Batang gram positif rods berjumlah 25 CFU/m<sup>3</sup> ditemukan jenis <i>corynebacterium</i>.</li> </ul>	
17	( 2		Studi ini dilakukan di salah- satu rumah sakit pendidikan di Universitas Ilmu Kedokteran	Experiment /Laboratorium. Studi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 37 sampel udara diambil untuk menentukan kontaminasi bioaerosol bakteri dan jamur di</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berdasarkan uji korelasi Spearman, tidak ada hubungan</li> </ul>

Electronic physician	Ghazvin selama Mei dan Juni 2015. Sampel udara dikumpulkan di ruang operasi mata, unit perawatan intensif internal, dan ruang isolasi pernapasan menggunakan metode pengambilan sampel pasif.	<i>cross-sectional.</i>	<p>ruang operasi mata: jumlah koloni bakteri = 22 CFU/plate/h dan jumlah jamur = 2, unit perawatan intensif internal: jumlah koloni bakteri = 9 dan jumlah jamur = 4, dan ruang isolasi pernapasan: jumlah koloni bakteri = 20 dan jamur = 2 CFU/plate/h.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bakteri yang paling umum diidentifikasi adalah <i>Staphylococcus epidermidis</i> (75%) di udara ruang operasi mata dan <i>Staphylococcus saprophyticus</i> (52%) di unit perawatan intensif internal dan ruang isolasi. Sedangkan jamur yang diidentifikasi paling lazim di udara bangsal terpilih terkait dengan <i>Alternaria alternata</i> (43%), <i>Aspergillus flavus</i> (24%), <i>Penicillium</i> (36%) dan <i>Curvularia</i> (21%).</li> </ul>	<p>signifikan yang diamati antara faktor suhu dan jumlah koloni jamur dan bakteri (<math>r = 0.201</math>, <math>p = 0.42</math>; <math>r = -0.197</math>, <math>p = 0.41</math>). Selain itu, hubungan yang bermakna diamati hanya antara jumlah individu dan koloni bakteri yang ada di udara (<math>r = 0.749</math>, <math>p = 0.0001</math>)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kinerja sistem pendingin udara dalam mengurangi jumlah bioaerosol di bangsal yang diteliti memuaskan.</li> <li>Kontaminasi bakteri dan jamur yang ada dapat menyebabkan infeksi serius pada pasien. Oleh karena itu, penting bahwa interval pembersihan dan titik waktu penggantian filter tersebut</li> </ul>
----------------------	---	-------------------------	---	---



						diprogramkan berdasarkan jumlah orang yang ada di bangsal dan jam operasi aktif mereka.
No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
<b>Faktor Intrinsik (Kondisi Ventilasi dan AC)</b>						
18	(Baurès et al. 2018). Science of the Total Environment.	2018	Sampel udara dikumpulkan dari tujuh lokasi di Rumah Sakit yaitu Aula Penerimaan, Ruang Pasien (Kamar), Ruang Perawatan, Laboratorium Parasitologi dan Mikologi, Unit Perawatan Post Anestesi, Ruang Cor Plester (Plaster) dan Unit Disinfeksi Endoskopi Fleksibel.	Experiment/Laboratoriu m. Penelitian dilakukan pada Juni 2014 pada musim panas dan pada Februari 2015 untuk musim dingin.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Staphylococcus</i> dan <i>Micrococcus</i> dominan di antara genera bakteri yang diidentifikasi.</li> <li>• Mengenai polusi mikrobiologis, tingkat bakteri (&lt;1000 CFU/m<sup>3</sup>) terdeteksi di musim panas.</li> </ul>	Studi kami menunjukkan polusi mikroba terkait dengan ventilasi dan AC sentral. Lingkungan yang dilengkapi dengan sistem pendingin udara sentral dapat secara efektif menghilangkan polutan aerosol dan mengurangi aerosol dalam ruangan daripada pendingin udara non-sentral. Sistem ventilasi memungkinkan tingkat perubahan udara yang memenuhi persyaratan kesehatan serta memurnikan sirkulasi udara yang bersih.



**Parameter Fisik (Suhu, kelembaban) terhadap polusi bioaerosol (bakteri dan jamur di udara)**

No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
19	(Wan, Chung, and Tang 2011). American Journal of Infection Control	2011	Rumah Sakit Chang Gung Memorial di Taiwan utara Kualitas IAQ (Indoor air quality) diukur dan diobservasi pada ruang ORs (operating rooms) diantaranya ruang transplantasi hati, ruang bedah saraf, ruang bedah trauma, ruang bedah kardiovaskular, ruang bedah kolon/dubur, dan ruang bedah ortopedi).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experiment /Laboratorium (Pengukuran kualitas IAQ &amp; identifikasi mikroba udara)</li> <li>• Indeks kualitas udara dibandingkan di seluruh ORs menggunakan analisis varian one-way dan uji Kruskal-Wallis nonparametrik.</li> <li>• Analisis korelasi Spearman digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suhu udara berkisar 14.4-23.2°C</li> <li>• Kelembaban Relatif berkisar antara 52.1% hingga 80.9%.</li> <li>• Konsentrasi bakteri berkisar antara 0 dan 756 CFU/m<sup>3</sup>.</li> <li>• Genus yang ditemukan yaitu bakteri gram positif seperti <i>Bacillus sp.</i>, <i>Micrococcus sp.</i>, <i>Staphylococcus sp.</i> dan bakteri gram negatif seperti <i>Acinetobacter sp.</i>, <i>Moraxella sp.</i>, dan <i>Pseudomonas spp.</i> <i>Bacillus sp.</i>, <i>Micrococcus sp.</i>, dan <i>Staphylococcus sp.</i> sering ditemukan dalam ruang operasi.</li> </ul>	Jumlah orang dalam ruang operasi (operating rooms) mempengaruhi variabel lingkungan dalam ruang seperti suhu dan konsentrasi bakteri di udara, serta tingkat PM dikaitkan dengan konsentrasi bakteri.



No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
20	(Gao et al. 2018). Journal of Hazardous Materials	2018	Sampel dikumpulkan antara Juni 2015 dan Februari 2016 dari lima rumah sakit perkotaan di Cina timur dan selatan.	<p>variabel kualitas udara.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regresi linier berganda dilakukan untuk mengevaluasi signifikansi faktor risiko dalam menentukan konsentrasi bakteri di udara.</li> </ul> <p>Experiment /Laboratorium. Pengambilan sampel bioaerosol dilakukan dengan menggunakan sampel total suspended partikel (TSP) volume</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikroorganisme dominan pada tingkat genus adalah <i>Massilia</i>, <i>Sphingomonas</i>, <i>Methylobacterium</i>, <i>Methylophilus</i>, <i>Micrococcineae</i>, dan <i>Corynebacterineae</i>.</li> <li>• Mikroorganisme patogen yang banyak ditemukan adalah <i>Staphylococcus</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hasil penelitian ini mungkin bermanfaat untuk pengendalian kualitas udara di Rumah Sakit.</li> <li>• Faktor yang paling berpengaruh pada komunitas mikroba adalah suhu dan kelembaban.</li> <li>• Mementingkan pencegahan dan</li> </ul>



			tinggi (LS2031, Qingdao, Cina). Bioaerosol dikumpulkan ke dalam filter serat gelas 20.32 x 25.4 cm <sup>2</sup> (PALL, NY, U.S.) pada tingkat rata-rata 1.05 m <sup>3</sup> / mnt selama 20 jam menghasilkan ~1200 m <sup>3</sup>	<i>saprophyticus</i> , <i>Corynebacterium minutissimum</i> , <i>Streptococcus pneumoniae</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Arcobacter butzleri</i> , <i>Aeromonas veronii</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , dan <i>Bacillus cereus</i> .	pengendalian penyebaran <i>S. aureus</i> di lingkungan udara. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rumah sakit, sebagai bagian penting dari penggunaan antibiotik, harus memperkuat kontrol penggunaan antibiotik.</li> <li>• Rumah sakit, sebagai tempat perkembangbiakan bakteri yang resistan terhadap beberapa obat dan gen yang resistan terhadap beberapa jenis obat dalam bioaerosol nosokomial harus mengurangi emisi udara dari operasi rumah sakit untuk melindungi kesehatan masyarakat.</li> </ul>	
No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1			4	5	6	7
21			Sampel udara didalam ruang Danish homes.	Experiment/	Jamur indoor memuncak di musim panas	• Konsentrasi jamur lebih banyak di



No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
	2012)			Laboratorium. Pengukuran meliputi jamur dan bakteri yang dapat dikultur.	(median, 235 CFU/m <sup>3</sup> ) dan terendah di musim dingin (median, 26 CFU/m <sup>3</sup> ). Bakteri dalam ruangan memuncak di musim semi (median, 2.165 CFU/m <sup>3</sup> ) dan terendah di musim panas (median, 240 CFU/m <sup>3</sup> ).	luar ruangan daripada di dalam ruangan, sedangkan konsentrasi bakteri yang terhirup tertinggi di dalam ruangan.  • Musim secara signifikan mempengaruhi eksposur mikroba dalam ruangan, yang dipengaruhi oleh suhu, kelembaban relatif, dan pertukaran udara.
22	(Gizaw, Gebrehiwot, and Yenew 2016). Multidisciplinary Respiratory Medicine	2016	Sampel udara diambil dari 14 bangsal rumah sakit pendidikan Universitas Gondar yang dipilih secara acak, yaitu pembedahan, darurat, ortopedi, bangsal umum, radiologi, obstetri, bangsal medis, psikiatri, optometri, bangsal TB, bangsal C, bangsal D, fisioterapi, dan bangsal kalaazar.	Experiment /Laboratorium. Studi cross-sectional	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bakteri tertinggi yaitu 1468 CFU/m<sup>3</sup> telah dicatat pada pukul 14:00 di bangsal C. Sedangkan terendah di bangsal fisioterapi sejumlah 480 CFU/m<sup>3</sup>.</li> <li>• <i>Staphylococcus aureus</i> diidentifikasi pada 10 bangsal dan <i>Streptococcus pyogenes</i> pada 8 bangsal rumah sakit.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faktor yang mempengaruhi konsentrasi bakteri yaitu suhu, kelembaban, terdapatnya toilet yang tidak higienis, sistem pengolahan limbah yang buruk, dan sistem ventilasi yang buruk.</li> <li>• Perhatian harus diberikan untuk mengendalikan faktor-faktor</li> </ul>



						lingkungan yang mendukung pertumbuhan dan pengandaan mikroba di lingkungan dalam ruangan.
No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
<b>Hospital Acquired nfections (HAIs)</b>						
23	(Olaechea et al. 2003). Infection Control & Hospital Epidemiology	2003	Semua pasien yang dirawat >24 jam. ICU medis-bedah diseluruh Spanyol yang berbeda (49 Rumah Sakit yang berbeda). 7.151 pasien >24 jam dirawat di ICU /bagian bedah yang berpartisipasi antara 15 januari dan 15 April 1996 (Data kohort). Pasien diamati sampai keluar ICU maksimal tinggal 60 hari.	Studi multicenter kohort prospektif	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pasien yang tidak terinfeksi (N = 5.868) memiliki rata-rata tinggal di ICU selama 3 hari, sedangkan median untuk pasien yang terinfeksi (N = 725) adalah 17 hari (P &lt;0.001).</li> <li>• Median untuk pasien yang terinfeksi dengan satu episode infeksi nosokomial adalah 13 hari.</li> <li>• Lama tinggal terbesar (40 hari) adalah di antara pasien yang dirawat di ICU karena penyakit medis, dengan infeksi yang diperoleh sebelum masuk ke ICU.</li> <li>• Dalam masa rawat inap yang lama, infeksi</li> </ul>	Kehadiran infeksi nosokomial dan jumlah episode infeksi adalah variabel dengan hubungan terkuat dengan lama tinggal di rumah sakit di antara pasien ICU.



No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7
24	(Eveillard et al. 2001). Infection Control & Hospital Epidemiology	2001	Rumah sakit umum 400 tempat tidur di daerah Paris. Semua pasien yang dirawat di Rumah sakit pada hari survei dimasukkan dalam penelitian. Analisis epidemiologis data yang dikumpulkan dalam empat survei prevalensi infeksi nosokomial tahunan yang dilakukan antara 1993 dan 1996.	Analisis retrospektif dan analisis Epidemiologi.	<p>nosokomial secara bermakna dikaitkan dengan lama rawat inap (hari ke 21; odds ratio, 22.38; interval kepercayaan 95%, 16.6 hingga 30.4).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dari 1.326 pasien yang termasuk dalam empat survei, 70 (5.3%) telah dipindahkan dari rumah sakit lain dan 199 (15%) dari bangsal lain di Rumah Sakit ini.</li> <li>• Pasien yang dipindahkan lebih sering memiliki faktor risiko infeksi nosokomial: usia &gt;65 tahun (<math>P &lt; 10^{-5}</math>), lama tinggal di rumah sakit &gt;7 hari pada hari survei (<math>P &lt; 10^{-6}</math>).</li> <li>• Tingkat prevalensi pasien yang terinfeksi adalah 6.7% (interval kepercayaan 95%, 5.3-8.1).</li> <li>• Risiko terinfeksi pada hari tertentu lebih dari 4 kali lebih tinggi pada pasien yang ditransfer (</li> </ul>	Transfer pasien merupakan penanda risiko (terkait dengan beberapa faktor risiko yang diketahui) dan terkait secara independen dengan infeksi nosokomial. Asal usul pasien yang dipindahkan sudah diketahui saat masuk. Akan bermanfaat untuk mengadopsi langkah-langkah spesifik untuk pasien tersebut, terutama jika mereka memiliki faktor risiko infeksi nosokomial lainnya, baik untuk melindungi mereka dan



					<p><math>P &lt; 10^{-6}</math>).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Risikonya serupa antara pasien yang dipindahkan dari rumah sakit lain (20%) dan pasien yang dipindahkan di rumah sakit (17.1%).</li> </ul>	<p>untuk mencegah penularan infeksi ke pasien rawat inap lainnya.</p>
No	Penulis	Tahun	Populasi/Sampel	Desain Studi	Hasil	Temuan/Kesimpulan
1	2	3	4	5	6	7

#### Variabel yang berhubungan dengan penelitian

25	(Osman et al. 2017). Indoor and Built Environment	2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pengambilan sampel dilakukan di rumah sakit pemerintah (rumah sakit Bolak Eldakroor) dan swasta (rumah sakit Al-Farouk).</li> <li>• Sampel udara indoor dan outdoor dikumpulkan di kedua rumah sakit.</li> <li>• Sampel dalam ruangan dikumpulkan di unit perawatan intensif (ICU), ruang operasi (OT), dan departemen penerimaan (AD).</li> <li>• Sampel udara diambil dua kali per bulan, selama 12 bulan, antara Januari dan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experiment /Laboratorium (Pengukuran kualitas mikroba udara &amp; identifikasi mikroba udara)</li> <li>• Uji Mann Whitney digunakan untuk memastikan signifikansi perbedaan antara</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konsentrasi bakteri lingkungan berkisar antara 47 dan 2638.4 CFU/m<sup>3</sup> di dalam ruangan dan 155 dan 32436.9 CFU/m<sup>3</sup> di luar ruangan, dan bakteri mesofilik berkisar antara 0-1654 CFU/m<sup>3</sup> di dalam ruangan dan 11.77–808 CFU/m<sup>3</sup> di luar ruangan. Konsentrasi bakteri dan jamur terbesar ditemukan di dalam AD (<i>Admission department</i>).</li> <li>• Konsentrasi jamur berkisar antara 11-566 CFU/m<sup>3</sup> di dalam ruangan dan 35-664.3CFU/m<sup>3</sup> di luar ruangan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kualitas udara mikroba berfluktuasi dalam ruangan, mengenai variasi dalam perilaku manusia, tindakan pencegahan higienis, jenis ventilasi, dan lingkungan eksternal.</li> <li>• <i>Bacillus</i> dan <i>Aspergillus</i> adalah jenis bakteri dan jamur yang dominan yang dapat menimbulkan ancaman bagi pasien.</li> </ul>
----	---	------	---	--	---	--



		<p>Desember 2013.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sampel diambil dari setiap lokasi pengambilan sampel selama jam kerja dan aktivitas manusia, antara pukul 09.00 dan 14.00.</li> <li>• Sampel udara ini dikumpulkan dari posisi tetap ~1,5 m di atas lantai, di tengah ruangan, dan pada ~10-20 m di luar pintu utama depan rumah sakit.</li> </ul>	<p>mikroorganisme di udara di lokasi rumah sakit yang berbeda.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spearman's rank correlation test digunakan untuk menentukan hubungan antara konsentrasi mikroba di udara dengan kondisi iklim mikro.</li> <li>• P 0.05 nilai signifikansi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jenis bakteri yang ditemukan yaitu: <i>Bacillus sp.</i> dan <i>Staphylococcus sp.</i></li> <li>• Jenis jamur yang ditemukan yaitu: <i>Aspergillus</i>, <i>Penicillium</i>, <i>Alternaria</i>, dan <i>Cladosporium</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mikroorganisme udara di rumah sakit berpotensi menempatkan penghuni dan pengunjung dalam risiko, bahkan dengan konsentrasi mikroba yang rendah.</li> <li>• Koefisien korelasi Spearman antara mikroorganisme di udara dengan suhu, kelembaban relatif, dan PM. Mikroorganisme menunjukkan korelasi yang berbeda dengan faktor lingkungan. Kelembaban relatif memiliki korelasi negatif yang signifikan dengan bakteri di ICU (<math>r = -0.64</math>).</li> </ul>
--	--	---	---	--	--



### M. Hipotesis Penelitian

1. Terdapat analisis risiko QMRA (estimasi 365 hari/1tahun) terkait identifikasi bahaya, penilaian paparan, dosis respon, karakterisasi risiko, manajemen risiko, dan komunikasi risiko polusi bioaerosol dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr.Wahidin Sudirohusodo Makassar.
2. Terdapat rancangan dan analisis model dinamis (simulasi skenario estimasi 120 jam selama 5 hari berturut-turut, simulasi skenario estimasi 365 hari/1 tahun untuk jam 12.00 siang hari, simulasi skenario estimasi 365 hari/1 tahun untuk jam 20.00 malam hari, dan simulasi skenario estimasi 365 hari/1 tahun untuk rata-rata harian) polusi bioaerosol dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr.Wahidin Sudirohusodo Makassar terhadap manajemen pencegahan HAIs.
3. Terdapat hasil perhitungan total bioaerosol dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr.Wahidin Sudirohusodo Makassar.
4. Terdapat hasil identifikasi jenis bakteri dan jamur di udara dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar.
5. Terdapat hubungan faktor ekstrinsik (total petugas Rumah Sakit (dokter dan perawat), total pasien, dan total pengunjung/keluarga pasien), parameter fisik (suhu dan kelembaban) dalam ruang terhadap polusi bioaerosol dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr.Wahidin

rohusodo Makassar.



6. Terdapat hubungan faktor intrinsik (volume ruangan, kondisi AC, Hepa Filter) terhadap polusi bioaerosol di udara dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr.Wahidin Sudirohusodo Makassar.
7. Terdapat gambaran perbandingan risiko polusi bioaerosol terkait bakteri dan jamur di udara dalam ruang ICU dan NICU RSUP.Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar.

## N. Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

1. Total bioaerosol udara dalam ruang
  - a. Definisi Operasional: Banyaknya bakteri dan jamur yang ditemukan di udara dalam ruang *Intensive Care Unit* (ICU) dan *Neonatal Intensive Care Unit* (NICU) setiap pengukuran yang dilakukan secara berulang tiap 2 jam dengan menggunakan MAS-100 NT “*Microbiological Air Sampler*” yang dinyatakan dalam satuan CFU/m<sup>3</sup>.
  - b. Kriteria Objektif:
    - 1) Memenuhi persyaratan : 0-200 CFU/m<sup>3</sup>
    - 2) Tidak memenuhi persyaratan : > 200 CFU/m<sup>3</sup>

(Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1204/MENKES/SK/X/2004 Tentang “Persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit” untuk ruangan *intensive care unit*).



## 2. Suhu dalam ruang

a. Definisi Operasional: Suhu dalam ruang ICU dan NICU setiap pengukuran yang dilakukan secara berulang tiap 2 jam dengan menggunakan “*Thermohygrometer digital*” yang dinyatakan dalam satuan  $^{\circ}\text{C}$ .

b. Kriteria Objektif:

1) Memenuhi persyaratan :  $22^{\circ}\text{C}$ - $23^{\circ}\text{C}$

2) Tidak memenuhi persyaratan :  $< 22^{\circ}\text{C}$  atau  $> 23^{\circ}\text{C}$

(Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2019 Tentang Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit untuk ruangan *Intensive Care Unit*).

## 3. Kelembaban dalam ruang

a. Definisi Operasional: Kelembaban dalam ruangan ICU dan NICU setiap pengukuran yang dilakukan secara berulang tiap 2 jam dengan menggunakan “*Thermohygrometer digital*” yang dinyatakan dalam satuan %.

b. Kriteria Objektif:

1) Memenuhi persyaratan : 40%-60%

2) Tidak memenuhi persyaratan :  $< 40\%$  atau  $> 60\%$

(Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2019 Tentang Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit untuk ruangan *Intensive Care Unit*).



#### 4. Luas ruangan dalam ruang

Definisi Operasional: Volume dalam ruang ICU dan NICU yang diteliti dan diukur dengan “meter”.

#### 5. HEPA Filter dan penghawaan/AC (sistem pendingin udara yang dilengkapi dengan HEPA Filter)

a. Definisi Operasional: Hasil observasi sistem aliran udara dan filtrasi udara terkait penggunaan HEPA filter di dalam ruangan ICU dan NICU Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar.

b. Kriteria Objektif:

1) Memenuhi persyaratan : Terdapat HEPA filter

2) Tidak memenuhi persyaratan : Tidak ada HEPA filter

(Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2019 Tentang Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit untuk ruangan *Intensive Care Unit*).

#### 6. Jumlah petugas

a. Definisi Operasional: Total dokter dan perawat yang bekerja di Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar yang terdapat dalam ruang ICU dan NICU Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar tiap 2 jam pada saat pengukuran.

#### 7. Jumlah pasien

Definisi Operasional: Total pasien yang sedang dalam proses perawatan kesehatan yang terdapat dalam ruang ICU dan NICU



Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar tiap 2 jam pada saat pengukuran.

8. Jumlah pengunjung

- a. Definisi Operasional: Total pengunjung dan keluarga pasien yang terdapat dalam ruang ICU dan NICU Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar tiap 2 jam pada saat pengukuran.

9. Analisis risiko mikroba (Quantitative Microbial Risk Assessment)

- a. Definisi Operasional: Analisis kualitatif dan kuantitatif perkiraan potensi HAIs di ruangan ICU dan NICU Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar terhadap polusi bioaerosol terkait bakteri dan jamur di udara yang terdiri dari identifikasi bahaya, penilaian paparan, penilaian efek (hubungan dosis respons), karakterisasi risiko, manajemen risiko, dan komunikasi risiko.

10. Model Dinamis Bioaerosol

- a. Definisi Operasional: Perumusan matematika secara kuantitatif dan kualitatif dari hasil pengukuran bioaerosol terkait bakteri dan jamur di udara, hasil pengukuran parameter fisik, faktor intrinsik, dan faktor ekstrinsik pada ruangan ICU dan NICU Rumah Sakit Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar yang diolah dan dianalisis melalui software "STELLA Versi 9.0.2" dan menghasilkan simulasi skenario 1 yaitu skenario pengelolaan sarana, skenario 2 yaitu skenario penegakan aturan kunjungan dan skenario 3



yaitu skenario penggunaan HEPA filter untuk estimasi 120 jam selama 5 hari berturut-turut, estimasi selama 1 tahun/365 hari untuk jam 12.00 siang hari, estimasi selama 1 tahun/365 hari untuk jam 20.00 malam hari, estimasi rata-rata harian selama 1 tahun/365 hari (masing-masing terdiri dari skenario 111, 221 (skenario pesimis/lemah), 331, 112 (skenario moderat/tengah), 222, 332 (skenario optimis/kuat)) untuk mengendalikan potensi HAls akibat polusi bioaerosol yang tergambar dalam bentuk grafik.

