

**IDENTIFIKASI BAKTERI AEROB DI UDARA PADA
RUANGAN BEDAH SENTRAL, ICU DAN RUANGAN
BERSALIN DI RS STELLA MARIS MAKASSAR
MENGUNAKAN *MATRIX-ASSISTED LASER DESORPTION
IONIZATION-TIME OF FLIGHT MASS SPECTROMETRY*
(MALDI-TOF MS)**

*Identification Of Aerobic Bacteria in The Air in The Central Surgical Room,
Icu, and Delivery Room at Stella Maris Hospital Makassar Using Matrix-
Assisted Laser Desorption Ionization-Time of Flight Mass Spectrometry
(MALDI-TOF MS)*



Oleh:

dr. Prajayanti Palulun

C195201002

Pembimbing 1:

dr. Yoeke Dewi Rasita M.Ked.Klin, Sp.MK

Pembimbing 2:

Prof. dr. Nasrum Massi, Ph.D, Sp.MK, Subsp.,Bakt.(K)

**PROGRAM STUDI MIKROBIOLOGI KLINIK
PROGRAM STUDI PENDIDIKAN DOKTER SPESIALIS-1
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

2023

**IDENTIFIKASI BAKTERI AEROB DI UDARA PADA
RUANGAN BEDAH SENTRAL, ICU DAN RUANGAN
BERSALIN DI RS STELLA MARIS MAKASSAR
MENGUNAKAN *MATRIX-ASSISTED LASER DESORPTION
IONIZATION-TIME OF FLIGHT MASS SPECTROMETRY*
(MALDI-TOF MS)**

Karya Akhir

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Spesialis

Program Studi Mikrobiologi Klinik

Disusun dan diajukan oleh

PRAJAYANTI PALULUN

Kepada

**PROGRAM PENDIDIKAN DOKTER SPESIALIS MIKROBIOLOGI KLINIK
FAKULTAS KEDOKTERAN UNIVERSITAS HASANUDDIN**

2023

KARYA AKHIR

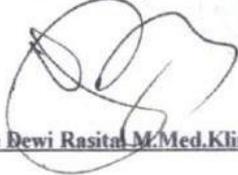
**Identifikasi Bakteri Aerob di Udara pada Ruang Bedah Sentral, ICU
dan Ruang Bersalin di Rumah Sakit Stella Maris Makassar
Menggunakan *Matrix Assited Laser Desorption Ionization-Time of
Flight Mass Spectrometry (MALDI-TOF MS)***

Disusun dan diajukan oleh :
PRAJAYANTI PALULUN
Nomor Pokok : C195201002

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
Pada Tanggal 22 Juni 2023
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasehat

Pembimbing Utama



dr. Yoeke Dewi Rasita, M.Med.Klin., Sp.MK

Pembimbing Anggota



Prof. dr. Muh. Nasrum Massi, Ph.D., Sp.MK., Subsp. Bakt.(K)

Kepala Program Studi
Mikrobiologi Khnik UNHAS



**Prof. dr. Mochammad Hatta, Plr.D., Sp.MK.,
Subsp. Bakt. (K)**
NIP. 19570416 198503 1 001

Dekan Fakultas Kedokteran UNHAS



Prof. Dr. dr. Haerani Rasyid, M.Kes., Sp.PD-KGH., Sp.GK.
NIP. 19680530 199603 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Prajayanti Palulun

Nomor Pokok : C195201002

Program Studi : Mikrobiologi Klinik

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul "Identifikasi Bakteri Aerob di Udara Pada Ruangan Bedah Sentral, ICU dan Ruangan Bersalin Di RS Stella Maris Makassar Menggunakan *Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization Time-Of-Flight Mass Spectrometry* (MALDI-TOF MS)" ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, dan bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 18 Juni 2023

Yang menyatakan,

PRAJAYANTI PALULUN



UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas kasih-Nya sehingga tesis dengan judul "Identifikasi Bakteri Aerob Di Udara Pada Ruang Bedah Sentral, ICU Dan Ruang Bersalin Di Rs Stella Maris Makassar Menggunakan *Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization-Time Of Flight Mass Spectrometry* (Maldi-Tof Ms)" dapat terselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya juga saya sampaikan kepada:

1. Orang tua saya, Oma Ria, Alm.Opa Pasang, Nenek dan Kakek Kama atas segala doa restu dan dukungan selama menempuh pendidikan.
2. dr. Yoeke D. Rasita, M.Ked.Klin, Sp.M.K. sebagai penasehat utama yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam penyusunan tesis ini.
3. Prof. dr. Muh. Nasrum Massi, Ph.D., Sp.MK., Subsp. Bakt. (K) selaku anggota penasehat yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penyusunan tesis ini.
4. dr. Sudirman Katu, Sp.PD, K-PTI, Dr. dr. Ilhamjaya Patellongi, M.Kes, dan dr. Rizalinda Sjahril, M.Sc., Ph.D, Sp.MK., Subsp. Bakt. (K) selaku tim penilai yang telah meluangkan waktu dan memberi saran perbaikan tesis ini.
5. Prof. dr. Moch. Hatta, Ph.D, Sp.MK., Subsp. Bakt. (K) selaku Ketua Program Studi Mikrobiologi Klinik yang telah mengarahkan dalam penyusunan dan penyelesaian tesis ini.
6. dr. Firdaus Hamid, Ph.D., Sp.MK., Subsp. Bakt. (K) selaku Sekretaris Program Studi Mikrobiologi Klinik yang telah mengarahkan dalam penyusunan dan penyelesaian tesis ini.
7. Para dosen dan teman-teman Prodi Mikrobiologi Klinik atas bantuan, dukungan dan dorongan semangatnya.
8. Suami saya bapak Rio Tallamma SE, Ak., M.Si., CA yang telah banyak mendukung dan memberikan kesempatan untuk menyelesaikan segala tugas pendidikan saya. Kama dan Melo untuk pengertian dan kesabarannya selama mama menempuh pendidikan dan menyelesaikan segala tugas.
9. Kepada adik-adik saya, Nano, Cindy, Ika, Relvi, Gilberth, Lili dan Asriel untuk segala dukungan yang diberikan selama selama menempuh pendidikan PPDS.
10. dr. Bertha J. Que, Sp.S, M.Kes, dr. Ingrid Hutagalung, M.Kes, Sp.PK (K), dr. Rodrigo Limon Sp.THT-KL, MARS, dan dr. Rita Taihutu, M.Kes atas segala doa restu dan dukungan yang diberikan selama saya menjalankan pendidikan ini.

Tesis ini saya persembahkan dengan tulus sebagai rasa terima kasih atas setiap dukungan doa dan bimbingannya. Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kami mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikannya.

Makassar, 20 Juni 2023

Prajayanti Palulun

ABSTRAK

PRAJAYANTI PALULUN. Identifikasi Bakteri Aerob di Udara pada Ruang Bedah Sentral, ICU, dan Ruang Bersalin di RS Stella Maris Makassar Menggunakan Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry (MALDI-TOF MS) (dibimbing oleh Yoeke Dewi Rasita dan Muh. Nasrum Massi).

Kualitas udara dalam suatu ruangan dapat memengaruhi penyebaran mikroorganisme di udara yang dapat menyebabkan terjadinya infeksi yang didapat di rumah sakit. Kualitas dan kuantitas mikroorganisme di udara bertanggung jawab atas mortalitas dan morbiditas pada *host* yang rentan mengalami infeksi. Penelitian ini bertujuan mengetahui kualitas mikroorganisme di udara; mengidentifikasi jenis bakteri aerob; dan menilai parameter fisik udara dalam ruangan bedah sentral, ICU, dan ruang bersalin RS Stella Maris Makassar. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif observasional dengan rancangan studi potong lintang. Pengambilan spesimen udara menggunakan alat "Microbiological Air Sample" (MAS-100 NT) dengan media kultur padat agar darah yang selanjutnya diinkubasi dalam suasana aerob selama 24 jam dalam suhu $37\pm 2^{\circ}\text{C}$. Pengamatan dan pengukuran kualitas mikrobiologi udara dengan menghitung jumlah mikroorganisme yang diukur dalam CFU/m^3 dan identifikasi bakteri menggunakan MALDI-TOF MS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi mikroorganisme di ruangan bedah sentral memenuhi nilai standar baku mikroorganisme di udara dibandingkan ruangan ICU dan ruang bersalin. Bakteri aerob yang paling banyak teridentifikasi di udara dalam ruangan bedah, ICU, dan ruang bersalin antara lain bakteri gram positif seperti *Bacillus spp.* ($n=18$), *Coagulase Negative Staphylococcus* (CONS) ($n=7$), *Staphylococcus aureus* (5), dan bakteri gram negatif seperti *Acinetobacter baumannii* ($n=3$), dan *Pseudomonas stutzeri* ($n=1$). Parameter fisik, sumber penghawaan, dan pengaturan udara dalam ruangan memengaruhi kualitas mikroorganisme dalam ruangan. Kualitas udara yang rendah dalam ruangan berpotensi meningkatkan konsentrasi mikroorganisme dan temuan bakteri aerob di udara dapat bersifat patogen.

Kata kunci: kualitas udara, bakteri aerob, MAS, MALDI-TOF MS



ABSTRACT

PRAJAYANTI PALULUN. *Identification of Air Aerobic Bacteria of Central Surgical Room, ICU and Maternity Rooms in Stella Maris Hospital Makassar Using Matrix-Assisted Laser Desorption ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry (MALDI-TOF MS)* (supervised by Yoake Dewi Rasita and Muh. Nasrum Massi)

Air quality in a room can affect the airborne microorganism spread that can cause the hospital-acquired infection. The quality and quantity of the airborne microorganisms are responsible for the mortality and morbidity in the host susceptible to the infection. The research aims at investigating the microorganism quality in the air, identifying the types of the aerobic bacteria and assessing the physical parameter of the air in the central surgery room, ICU and delivery room of Stella Maris Hospital Makassar. The research used the descriptive observational method with the cross-sectional study design. Air specimens were collected using the "Microbiological Air Sample" tool (MAS-100 NT) with blood agar solid culture medium which was then incubated in an aerobic atmosphere for 24 hours at $37 \pm 2^{\circ}\text{C}$. The observation and measurement of air microbiological quality by counting the number of microorganisms measured in CFU/m³ and identification of bacteria used MALDI-TOF MS. The research result indicates that microorganism concentration in the central surgery room meets the standard value of the airborne microorganisms compared with the ICU and delivery rooms. The most common aerobic bacteria identified in the air in the surgical, ICU and delivery rooms included the gram-positive bacteria such as *Bacillus* spp. (n=18), Coagulase Negative Staphylococcus (CONS) (n=7), *Staphylococcus aureus* (5), and gram-negative bacteria such as *Acinetobacter baumannii* (n=3) and *Pseudomonas stutzeri* (n=1). The physical parameter, air source and indoor air management affect the quality of the indoor microorganisms. The low indoor air quality has the potential to increase the microorganism concentration and the finding of aerobic bacteria in the air can be pathogenic.

Key words: air quality, aerobic bacteria, MAS, MALDI-TOF MS.



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	III
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	III
UCAPAN TERIMA KASIH.....	V
ABSTRAK.....	KESALAHAN! BOOKMARK TIDAK DITENTUKAN.
ABSTRACT	KESALAHAN! BOOKMARK TIDAK DITENTUKAN.
DAFTAR ISI.....	VIII
DAFTAR TABEL	X
DAFTAR GAMBAR	XI
DAFTAR ISTILAH, SINGKATAN DAN LAMBANG	XII
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Pertanyaan Penelitian.....	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.4.1. Tujuan Umum.....	3
1.4.2. Tujuan Khusus	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.5.1. Manfaat Ilmiah.....	4
1.5.2. Manfaat Institusi	4
1.5.3. Manfaat bagi Peneliti.....	4
1.6. Ruang Lingkup Penelitian	5
1.7. Kebaruan Penelitian.....	5
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Bakteri Aerob di Ruang Rumah Sakit.....	6
2.1.1. Definisi Bakteri Aerob	6
2.1.2. Sumber Bakteri Aerob di Udara.....	7
2.1.3. Epidemiologi Bakteri Aerob Udara di Ruang Rumah Sakit	8
2.1.4. Identifikasi Bakteri Aerob di Udara	9
2.2. <i>Healthcare Associated Infection (HAIs)</i>	17
2.2.1. Definisi HAIs.....	17
2.2.2. Klasifikasi HAIs	18
2.2.3. Epidemiologi HAIs.....	25
2.2.4. Faktor Risiko HAIs	26
2.2.5. Penyebab HAIs	29
2.3. Udara Ruang Operasi, ICU, dan Ruang Bersalin.....	38
2.3.1. Standar Mutu Ruang Operasi, ICU, dan Ruang Bersalin.....	38
2.3.2. Standar Baku Mutu Parameter Fisik Udara.....	39
2.3.3. Persyaratan Kesehatan Udara	39
2.4. Kerangka Teori.....	42
BAB III	43
KERANGKA KONSEP DAN DEFINISI OPERASIONAL.....	43
3.1. Kerangka Konsep.....	43
3.2. Definisi Operasional dan Kriteria Objektif.....	44
3.2.1. Konsentrasi Maksimum Mikroorganisme di Udara.....	44
3.2.2. Bakteri Aerob di Udara.....	44
3.2.3. Suhu dalam Ruang	45

3.2.4. Kelembaban dalam Ruang	45
BAB IV	47
METODE PENELITIAN.....	47
4.1. Desain Penelitian	47
4.2. Tempat dan Waktu Penelitian.....	47
4.2.1. Tempat Penelitian	47
4.2.2. Waktu Penelitian	47
4.3. Populasi dan Sampel Penelitian	47
4.3.1. Populasi.....	47
4.3.2. Sampel Penelitian	47
4.4. Alur Penelitian	48
4.5. Alat, Bahan dan Cara Kerja	49
4.6. Pengumpulan Data	56
4.6.1. Data Primer	56
4.6.2. Data Sekunder	57
4.7. Pengolahan dan Penyajian Data	57
BAB V	58
HASIL, PEMBAHASAN DAN HAMBATAN PENELITIAN	58
BAB VI.....	72
KESIMPULAN DAN SARAN.....	72
6. 1. Kesimpulan	72
6.2. Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA.....	75
LAMPIRAN.....	86

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul Tabel	Halaman
Tabel 2.1	Lokasi titik sampling terkait area <i>cleanroom</i>	10
Tabel 2.2	Standar Baku Mutu Mikrobiologi Udara	38
Tabel 2.3	Indeks Angka Kuman Menurut Fungsi Ruang atau Unit	39
Tabel 2.4	Standar Baku Mutu Suhu, Kelembaban, dan Tekanan Udara menurut Jenis Ruang	39
Tabel 5.1	Distribusi Laporan Kejadian Infeksi Akibat Pemasangan Alat Medis dan Tindakan Operasi di RS Stella Maris Makassar Periode Januari 2021-Maret 2023	58
Tabel 5.2	Distribusi Konsentrasi Mikroorganisme Udara dalam Ruang Bedah Sentral RS Stella Maris Makassar	59
Tabel 5.3	Distribusi Jenis Bakteri Aerob di Udara dalam Ruang Bedah Sentral RS Stella Maris Makassar	59
Tabel 5.4	Distribusi Hasil Pengukuran Suhu, Kelembaban dan Tekanan Udara dalam Ruang Bedah Sentral di RS Stella Maris Makassar	60
Tabel 5.5	Distribusi Sistem Penghawaan dan Pengaturan Udara dalam Ruang Bedah Sentral di RS Stella Maris Makassar	60
Tabel 5.6	Distribusi Konsentrasi Mikroorganisme Udara dalam Ruang ICU RS Stella Maris Makassar	61
Tabel 5.7	Distribusi Jenis Bakteri Aerob di Udara dalam Ruang ICU RS Stella Maris Makassar	61
Tabel 5.8	Distribusi Hasil Pengukuran Suhu, Kelembaban dan Tekanan Udara dalam Ruang ICU di RS Stella Maris Makassar	63
Tabel 5.9	Distribusi sistem penghawaan dan pengaturan udara dalam ruang ICU di RS Stella Maris Makassar	63
Tabel 5.10	Distribusi Konsentrasi Mikroorganisme Udara dalam Ruang Bersalin Stella Maris Makassar	64
Tabel 5.11	Distribusi Jenis Bakteri Aerob di Udara dalam Ruang Bersalin RS Stella Maris Makassar	64
Tabel 5.12	Distribusi Hasil Pengukuran Suhu, Kelembaban, dan Tekanan Udara dalam Ruang Bersalin di RS Stella Maris Makassar	64
Tabel 5.13	Distribusi sistem penghawaan dan pengaturan udara dalam ruang bersalin di RS Stella Maris Makassar	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul Gambar	Halaman
Gambar 2.1	Metode MALDI-TOF MS.	15
Gambar 2.2	Alur kerja identifikasi mikroorganisme MALDI-TOF MS di laboratorium klinis.	17
Gambar 2.3	Faktor Risiko IDO	24
Gambar 2.4	Kerangka Pikir	43
Gambar 3.1	Kerangka Konsep	44
Gambar 4.1	Alur Penelitian	49

DAFTAR ISTILAH, SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan / Lambang	Arti dan Penjelasan
<	kurang dari
±	kurang lebih
%	Perseratus
>	lebih dari
°C	derajat Celcius
m ²	meter persegi
m ³	meter kubik
µm	<i>micrometer</i>
AHU	<i>Air Handling</i>
APD	Alat Pelindung Diri
BAP	<i>Blood Agar Plete</i>
ET	<i>Endothraceal Tube</i>
CFU	<i>Colony Forming Unit's</i>
CAUTI	<i>Catheter Associated Urinary Tractus Infection</i>
CDI	<i>Clostridium difficile Infection</i>
CLABSI	<i>Central Line Associated Bloodstream Infection</i>
CVC	<i>Central Venous Cathether</i>
HAIs	<i>Healthcare-associated infection</i>
H ₂ O ₂	Hidrogen peroksida
H ₂ S	Hidrogen sulfida
HAIs	<i>Healthcare-Associated Infection</i>
HEPA	<i>High-Efficiency Particulate</i>
HCCA	<i>α-cyano-4-hydroxycinnamic acid</i>
ICU	<i>Intensive Care Unit</i>
IDO	Infeksi Daerah Operasi
KAN	Komite Akreditasi Nasional
MALDI-TOF MS	<i>Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry</i>
MAS	<i>Microbiological Air Sample</i>
Mbar	milibar
MRSA	Methicillin Resistant <i>Staphylococcus aureus</i>
PCR	<i>Polymerase Chain Reaction</i>
PEEMENKES RI	Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia
SSI	<i>Surgical Site Infection</i>
sp.	spesies
VAP	<i>Ventilator Associated Pneumonia</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Interaksi di lingkungan rumah sakit dapat menimbulkan masalah kesehatan lingkungan yang dapat ditandai dengan penurunan indikator kualitas kesehatan lingkungan rumah sakit (PERMENKES, 2019). Kondisi kualitas udara ruangan dan kegiatan dalam ruangan bangunan rumah sakit berpotensi menjadi penyebaran mikroorganisme di udara dan bertindak sebagai reservoir patogen yang nantinya berpindah ke individu lain misalnya pasien, tenaga medis, dokter, dan pengunjung melalui batuk, bersin, berbicara, dan aktivitas lainnya (Kumar et al., 2021; PERMENKES, 2019). Kualitas dan kuantitas mikroorganisme di udara menjadi perhatian penting oleh karena jenis mikroorganisme di udara bertanggung jawab atas mortalitas dan morbiditas pada *host* yang rentan mengalami infeksi (Kumar et al., 2021; Napoli, Marcotrigiano, et al., 2012; Makki et al., 2011).

Dalam beberapa dekade terakhir, *Healthcare-associated infection* (HAIs) merupakan masalah kesehatan yang cukup serius terjadi di rumah sakit (Monegro et al., 2023). Mikroorganisme di udara dianggap memiliki patogenisitas yang dapat menyebabkan infeksi pada manusia seperti HAIs. Buruknya lingkungan dan kualitas udara dalam ruangan rumah sakit dapat mempengaruhi penyebaran mikroorganisme di udara yang dapat menyebabkan terjadinya HAIs (Cabo Verde et al., 2015a; Zhai et al., 2018; G. Duce, J., 2023).

Pusat Pengendalian dan Pencegahan Penyakit Amerika Serikat (US CDC) melaporkan terjadinya peningkatan signifikan angka kejadian *Central Line Associated Bloodstream Infection* (CLABSI), *Catheter Associated Urinary Tract Infection* (CAUTI), *Ventilator Associated Event* (VAE) dan *Methicillin Resistant Staphylococcus aureus* (MRSA) di kuartir keempat tahun 2020 dibandingkan tahun 2019. Insidens CLABSI meningkat 47% (dimana 65% kasus di ICU dan 16 % kasus di perawatan bangsal), CAUTI mengalami peningkatan sebanyak 19% dari sebelumnya (30% kasus terjadi di ruangan ICU), VAP meningkat 45 % (44% total kasus ditemukan di ICU dan 35% kasus di perawatan bangsal) dan MRSA mengalami peningkatan selama sepanjang tahun 2020 sebanyak 33.8% kasus.

Untuk insidens kasus *Surgical Site Infection* (SSI) (Bedah Kolon dan Histerektomi Abdomen) mengalami penurunan 8.3-13.1% kasus (Weiner-Lastinger et al., 2022).

Dalam sebuah studi terkait mikroorganisme yang sering dikaitkan sebagai penyebab HAIs yang teridentifikasi di lingkungan rumah sakit didominasi bakteri gram positif seperti *Staphylococcus aureus*, koagulase negatif *Staphylococci*, *Streptococcus sp.*, dan *Micrococcus sp.*, dan bakteri gram negatif seperti *Enterobacter*, *Pseudomonas sp.*, *Escherichia coli*, *Klebsiella sp.*, dan *Proteus sp.* (Asif et al., 2018; Awosika et al., 2012; Dai et al., 2017; Mirzaei et al., 2014; Sudharsanam et al., 2012; Tolabi et al., 2019).

Organisasi Kesehatan Dunia memperkirakan bahwa HAIs merupakan efek samping yang paling sering terjadi di perawatan. HAIs terutama yang disebabkan oleh patogen yang resisten terhadap antimikroba menjadi perhatian kesehatan masyarakat di seluruh dunia. Diagnosis, terapi dan pencegahan yang tepat dapat mengurangi lama tinggal perawatan di rumah sakit, biaya perawatan dan penderitaan bagi pasien (Haque et al., 2018; Stewart et al., 2021).

Berdasarkan pernyataan dan bukti-bukti yang telah dipaparkan di atas, penulis termotivasi untuk melakukan penelitian mengenai identifikasi kualitas lingkungan udara terkait bakteri aerob di udara di RS Stella Maris Makassar dengan menggunakan *Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization-Time of Flight Mass Spectrometry (Maldi ToF MS)*.

1.2. Rumusan Masalah

Buruknya kualitas udara dalam ruangan rumah sakit dapat menyebabkan terjadinya HAIs. Beberapa bakteri aerob yang teridentifikasi di udara dilaporkan memiliki hubungan dengan angka kejadian HAIs, terutama bakteri yang resisten terhadap antibiotik sehingga perlu untuk dilakukan pemantauan kualitas udara di lingkungan rumah sakit.

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimanakah kualitas udara dan karakteristik bakteri aerob di udara pada ruangan bedah sentral, ICU, dan ruang bersalin dan faktor-faktor risiko yang mempengaruhi terjadinya HAIs di RS Stella Maris Makassar?

1.3. Pertanyaan Penelitian

1. Bagaimana distribusi kejadian infeksi akibat pemasangan alat medis dan tindakan operasi di RS Stella Maris Makassar?
2. Bagaimana distribusi kualitas mikroorganisme udara di dalam ruangan bedah sentral, ICU dan ruang bersalin berdasarkan konsentrasi maksimum mikroorganisme udara di RS Stella Maris Makassar?
3. Bagaimana distribusi jenis bakteri aerob di udara yang ada di dalam ruangan bedah sentral, ICU dan ruang bersalin di RS Stella Maris Makassar?
4. Bagaimana distribusi parameter fisik (suhu, kelembaban dan tekanan udara) serta penghawaan dan pengaturan udara dalam ruangan terkait kualitas mikroorganisme di udara dalam ruangan bedah sentral, ICU dan ruang bersalin di RS Stella Maris Makassar?

1.4. Tujuan Penelitian

1.4.1. Tujuan Umum

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk menilai kualitas mikroorganisme di udara dan mengidentifikasi jenis bakteri aerob di udara dengan menggunakan metode *Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization-Time of Flight Mass Spectrometry* (MALDI-TOF-MS) dan menilai parameter fisik (suhu dan kelembaban) yang menjamin kualitas udara di ruangan bedah sentral, ICU dan ruang bersalin di RS Stella Maris Makassar.

1.4.2. Tujuan Khusus

1. Untuk mengetahui karakteristik kejadian infeksi akibat pemasangan alat medis dan tindakan operasi di RS Stella Maris Makassar.
2. Untuk mengetahui kualitas mikrobiologi udara di dalam ruangan bedah sentral di RS Stella Maris Makassar.
3. Untuk mengetahui kualitas mikrobiologi udara di dalam ruangan ICU di RS Stella Maris Makassar.
4. Untuk mengetahui kualitas mikrobiologi udara di dalam ruang bersalin di RS Stella Maris Makassar.
5. Untuk mengetahui jenis bakteri aerob di udara yang ada di dalam ruangan bedah sentral di RS Stella Maris Makassar.

6. Untuk mengetahui jenis bakteri aerob di udara yang ada di dalam dalam ruangan ICU di RS Stella Maris Makassar.
7. Untuk mengetahui jenis bakteri aerob di udara yang ada di dalam ruang bersalin di RS Stella Maris Makassar.
8. Untuk mengetahui parameter fisik (suhu,kelembaban dan tekanan udara) serta penghawaan dan pengaturan udara dalam ruangan yang menjamin kualitas udara di dalam ruangan bedah sentral di RS Stella Maris Makassar.
9. Untuk mengetahui parameter fisik (suhu dan kelembaban dan tekanan udara) serta penghawaan dan pengaturan udara dalam ruangan yang menjamin kualitas udara di ruangan ICU di RS Stella Maris Makassar.
10. Untuk mengetahui parameter fisik (suhu dan kelembaban dan tekanan udara) serta penghawaan dan pengaturan udara dalam ruangan yang menjamin kualitas udara di ruang bersalin di RS Stella Maris Makassar.

1.5. Manfaat Penelitian

1.5.1. Manfaat Ilmiah

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu bahan kajian ilmiah terkait kualitas udara di lingkungan rumah sakit dan identifikasi bakteri aerob di udara yang berpotensi menyebabkan HAIs.

1.5.2. Manfaat Institusi

Menjadi bahan pertimbangan kepada manajemen rumah sakit dan pihak-pihak terkait di rumah sakit dalam mengambil kebijakan pengendalian kualitas udara di lingkungan rumah sakit sehingga dapat memutus mata rantai penyebaran bakteri kontaminan udara yang berpotensi menimbulkan HAIs yang membahayakan keselamatan dan kesehatan pasien, keluarga dan staf rumah sakit.

1.5.3. Manfaat bagi Peneliti

Semoga dengan adanya tulisan ini menjadi sebuah kesempatan yang sangat baik bagi penulis untuk dapat menambah ilmu dan wawasan terkait analisis bakteri kontaminan udara di lingkungan rumah sakit dan sebagai bahan pembelajaran berharga dalam pengalaman menulis dan membuat sebuah penelitian.

1.6. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini akan meneliti kualitas udara dan bakteri aerob di udara menggunakan *Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization-Time of Flight Mass Spectrometry* (MALDI-TOF-MS).

1.7. Kebaruan Penelitian

Pengukuran kualitas udara dan identifikasi bakteri aerob di lingkungan RS Stella Maris Makassar dilakukan secara rutin, diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat menjadi bahan acuan untuk mengambil kebijakan terkait kontrol kualitas udara di lingkungan rumah sakit.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bakteri Aerob di Ruang Rumah Sakit

2.1.1. Definisi Bakteri Aerob

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses pertumbuhan bakteri ialah lingkungan pertumbuhannya berupa kadar oksigen, karbondioksida, suhu, pH, cahaya, efek osmotik, tekanan mekanik dan sonik serta kelembaban dan kering (Sastry et al., 2016). Persyaratan lingkungan fisik yang optimal untuk pertumbuhan bakteri sangat bervariasi untuk jenis bakteri yang berbeda. Sebagian kelompok bakteri menampilkan variasi dalam kemampuan mereka untuk hidup dalam kondisi lingkungan yang berbeda. Salah satu perbedaan yang paling menonjol antara bakteri satu dengan yang lain adalah kebutuhan mereka untuk hidup dan respon terhadap oksigen atmosfer (O₂) (Kadner RJ et al., 2015).

Mikroorganisme dapat dicirikan oleh kebutuhan mereka akan oksigen. Kebutuhan bakteri akan oksigen mencerminkan mekanisme yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energinya. Berdasarkan kebutuhan akan oksigen, bakteri dapat diklasifikasikan menjadi: bakteri obligate aerob yang mana bakteri ini dapat tumbuh dengan adanya oksigen (misalnya *Pseudomonas*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Bacillus*, *Brucella* dan *Nocardia*); bakteri fakultatif anaerob adalah bakteri aerob yang juga dapat tumbuh dalam suasana anaerob (misalnya sebagian besar bakteri patogen, misalnya *E.coli*, *S.aureus*, dll.); bakteri fakultatif aerob adalah bakteri anaerob yang juga dapat tumbuh dalam lingkungan aerob (misalnya *Lactobacillus*); bakteri mikroaerofilik adalah bakteri yang dapat tumbuh di lingkungan tekanan oksigen rendah yaitu 5-10% oksigen (misalnya *Campylobacter* dan *Helicobacter*); bakteri obligat anaerob adalah bakteriyang dapat tumbuh di lingkungan yang tidak ada oksigen, karena oksigen dapat membunuh bakteri tersebut (misalnya *Clostridium tetani*); serta bakteri anaerob aerotolerant yang mana bakteri ini dapat mentolerir oksigen untuk beberapa waktu, tetapi tidak menggunakannya (*Clostridium histolyticum*) (Sastry et al., 2016; (Kadner RJ et al., 2015)

2.1.2. Sumber Bakteri Aerob di Udara

Peran lingkungan sebagai media penularan mikroorganisme patogen mempunyai pengaruh yang besar dalam transmisi mikroba di rumah sakit. Kondisi udara dalam ruangan menjadi cara penyebaran yang cepat dan paling efisien bagi mikroorganisme patogen (Sattar, 2016). Mikroorganisme patogen yang bertahan hidup di lingkungan rumah sakit dapat hidup di permukaan dalam ruangan dan tempat tidur pasien dalam jangka waktu yang lama (Weber et al., 2013).

Bakteri di udara berasal dari berbagai sumber eksternal seperti tanah, tumbuhan, hewan, dan air, sedangkan atmosfer itu sendiri biasanya tidak dianggap sebagai habitat bakteri di udara (DeLeon-Rodriguez et al., 2013; Du et al., 2018). Bakteri yang dilepaskan dari berbagai sumber memasuki atmosfer melalui proses aerosolisasi yang selanjutnya bakteri di udara ini dibawa melalui massa udara. Variasi faktor meteorologi secara signifikan mempengaruhi proses awal aerosolisasi dan proses penyebaran selanjutnya. Udara kering dan angin kencang berpengaruh bagi penyebaran mikroba di udara. Oleh karena itu sedikit sulit untuk menjelaskan dan memprediksi variasi karakteristik bioaerosol secara tepat (Du et al., 2018). Tinjauan literatur Amreen, dkk. menemukan bahwa suhu, kelembaban, dan sistem ventilasi udara dalam ruangan di gedung rumah sakit mempengaruhi berbagai organisme patogen potensial di udara seperti bakteri, virus, dan jamur yang berpengaruh pada pasien yang dirawat di rumah sakit (Shajahan et al., 2019).

Kehadiran mikroorganisme udara pada lingkungan kerja disebut bioaerosol. Bioaerosol didefinisikan sebagai partikel biologis dalam bentuk aerosol yang berasal dari semua jenis organisme dan dapat tersebar ke udara oleh berbagai mekanisme abiotik dan biotik. Bioaerosol atau debu organik dapat terdiri dari bakteri hidup atau mati yang bersifat patogen atau non-patogen, jamur, virus, alergen, endotoksin bakteri, mikotoksin, peptidoglikan dan lain-lain yang merupakan bagian dari lingkungan udara (Susanto et al., 2019). Gabungan komponen kimia, biologis, fisik dan lingkungan mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan yang saling berhubungan satu dengan yang lain. Komponen inilah yang menjadi perhatian penting dalam mengelola dan menilai kualitas udara dalam sebuah ruangan (Sattar, 2016). Penyebaran bioaerosol di rumah sakit dapat mengakibatkan bahaya bagi kesehatan manusia terutama bagi pasien dengan

sistem imun yang rendah sehingga berpotensi menyebabkan HAIs (Dehdashti et al., 2012).

Penyebaran penyakit infeksi melalui udara diakibatkan oleh adanya droplet yang mengandung mikroorganisme patogen. Droplet yang mengandung mikroorganisme ini bertahan dalam kondisi yang menguntungkan seperti suasana kering dan sejuk tanpa paparan langsung sinar matahari (CDC, 2017). Kualitas udara dalam ruangan di rumah sakit menjadi sangat penting oleh karena banyak penelitian terkait mengungkap secara statistik dan pengukuran mikroorganisme udara dapat berpotensi menyebabkan HAIs (Sudharsanam, 2012). Salah satu HAIs yang paling sering dihubungkan dengan kualitas lingkungan udara ialah infeksi daerah operasi (IDO) yang dihubungkan dengan adanya luka terbuka yang terpapar dengan lingkungan udara di ruang operasi. Kontaminasi pada luka operasi oleh partikel di udara pada 30% kasus berasal dari paparan langsung partikel pada luka dan pada 70% kasus disebabkan akibat kontak dari instrument bedah dan tangan dari operator ahli bedah (Chauveaux, 2015; Napoli, Tafuri, et al., 2012).

2.1.3. Epidemiologi Bakteri Aerob Udara di Ruang Rumah Sakit

Bakteri kokus gram positif seperti *Staphylococcus aureus* dan *Streptococcus* grup A beta hemolitik merupakan patogen HAIs yang resisten terhadap pengeringan dan dapat bertahan di lingkungan yang kering dan permukaan benda dalam waktu lama. *Staphylococcus aureus* yang berkolonisasi di nares anterior seorang *carier* dapat disebarkan ke udara. Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Streptococcus* grup A beta hemolitik dikaitkan dengan adanya wabah IDO yang ditemukan di udara pada ruang operasi. Bakteri gram positif lainnya yang dihubungkan dengan transmisi udara adalah *Bacillus spp.* yang dilaporkan banyak menyebabkan *outbreak* di ruang ibu dan anak, perawatan intensif dan unit bronkoskopi. Berbeda dengan bakteri gram positif, bakteri gram negatif jarang dihubungkan dengan adanya transmisi di udara (CDC, 2017).

Sebuah penelitian yang dilakukan pada salah satu rumah sakit bertaraf Internasional di Sulawesi Selatan melaporkan bahwa risiko HAIs pada ICU lebih tinggi dibandingkan NICU. Identifikasi bakteri aerob di ruangan ICU dan NICU ditemukan bakteri di udara antara lain *Staphylococcus sp.*, *Bacillus sp.*, *Spingomonas sp.*, dan *Acinetobacter baumannii* (Wisudawan B, 2020).

Sebuah studi menemukan konsentrasi bakteri udara yang paling dominan terdapat di lobi utama, bangsal bedah dan ruangan ICU (El-Sharkawy et al., 2014).

Oleh karena itu, pemantauan kualitas udara dan pengambilan sampel serta pengukuran parameter kualitas udara (kuman, debu, dan gas) dalam ruangan minimum dilakukan 2 (dua) kali dalam setahun (PERMENKES, 2019).

2.1.4. Identifikasi Bakteri Aerob di Udara

1. Pengambilan, Isolasi dan Transport Spesimen Bakteri Aerob di Udara

Pengambilan sampel udara bertujuan untuk mengevaluasi kualitas dan kontaminasi mikroba di lingkungan dengan risiko infeksi yang tinggi. Standar internasional menawarkan metode teknik pengambilan sampel aktif atau pasif (Napoli, Tafuri, et al., 2012). Dalam sebuah studi, metode teknik pengambilan sampel secara aktif dan pasif dapat digunakan sebagai metode pengambilan sampel udara tetapi perlu menentukan konsistensi metode yang akan digunakan. (Napoli, Marcotrigiano, et al., 2012).

Teknik pengambilan sampel udara dengan metode aktif dilakukan dengan menarik volume udara melalui alat perangkat pengumpul partikel yang dapat berupa media kultur cair atau padat atau membran nitroselulosa dan jumlah mikroorganisme yang ada diukur dalam CFU/m³. Teknik ini dapat diterapkan ketika konsentrasi mikroorganisme tidak terlalu tinggi seperti di ruang operasi dan lingkungan yang rumah sakit lainnya yang terkontrol (Napoli, Marcotrigiano, et al., 2012). Keuntungan utama dari metode aktif adalah semua partikel yang tersuspensi di udara dapat dikumpulkan. Metode ini membutuhkan perangkat untuk pengambilan sampel udara, sehingga lebih mahal dari pada metode pasif. Namun, analisis volume udara lebih besar dalam waktu yang lebih singkat. Kelemahan lain adalah menyebabkan kebisingan selama proses pengambilan sampel sehingga mengganggu tim operasi maupun pasien di ruangan pada saat dilakukan pemeriksaan (Karigoudar et al., 2020).

Teknik pengambilan sampel dengan metode pasif menggunakan cawan petri yang berisi media kultur yang diekspos ke udara dengan metode tertentu (1m dari lantai, 1 meter dari dinding dan dilakukan selama 1 jam) untuk mengumpulkan partikel biologis dan kemudian diinkubasi. Hasilnya dinyatakan dalam CFU/*plate/time* atau dalam CFU/m³/jam (Karigoudar et al., 2020; Napoli, Marcotrigiano, et al., 2012a). Beberapa keuntungan dari metode pengambilan sampel secara pasif antara lain pembiayaan peralatan yang digunakan relatif

murah dan terjangkau, metode pengujian ini juga nyaman karena persiapan alat yang akan digunakan sangat mudah dan tidak memerlukan pengawasan atau pemantauan yang berlebihan. Akan tetapi yang menjadi kekurangan pada metode ini ialah pada pengambilan sampel aerosol dan partikulat bukanlah pilihan karena partikel tidak mengikuti prinsip difusi yang sama seperti gas dan uap sehingga disarankan menggunakan metode sampling aktif untuk sampel partikulat dan aerosol (Karigoudar et al., 2020).

Prosedur waktu pengambilan sampel berdasarkan KEPMENKES No 1335/MENKES/SK/X/2002 tentang Standar Operasi dan Pengambilan dan Pengukuran Sampel Kualitas Udara Ruang Rumah Sakit menjelaskan bahwa waktu pengambilan sampel untuk ruang operasi dilakukan menjelang operasi (ruang siap digunakan) dan untuk ruang perawatan dan isolasi dilakukan setelah pembersihan ruangan. Terkait pengukuran lingkungan fisik berupa pengukuran suhu dapat dilakukan pada siang hari, khusus untuk ruang operasi dan ICU pengukuran suhu diperiksa pada saat sebelum digunakan dengan menggunakan termometer yang diletakan pada dinding ruangan atau menggunakan tipod. Pengukuran kelembaban udara dapat menggunakan alat hygrometer dan dilakukan pada siang hari (KMK, 2002).

Spesimen yang telah diperoleh baik menggunakan teknik aktif maupun pasif dapat dilanjutkan dengan inkubasi pada media kultur padat selektif yang digunakan pada suhu 35-37°C dalam inkubator O₂ atau CO₂ selama 24-48 jam. Beberapa media kultur standar yang sering digunakan antara lain *Nutrient agar*, *Blood agar* dan *Sabouraud's dextrose agar* (Karigoudar et al., 2020; Li et al., 2019; Napoli, Marcotrigiano, et al., 2012; Mahon Conie R et al., 2015)

Penentuan jumlah titik sampling dalam ruangan sejauh ini berdasarkan pedoman Standar Internasional ISO 14644-1 edisi kedua terkait "*Cleanroom and Associated Controlled Enviroments*" Bagian 1 tahun 2015 (ISO, 2015).

Tabel 2.1 Lokasi titik sampling terkait area *cleanroom*.

Luas Area <i>Cleanroom</i> (m ²)	Minimum jumlah lokasi titik sampling (N _L)
2	1
4	2
6	3
8	4
10	5
24	6
28	7
32	8
36	9

Luas Area <i>Cleanroom</i> (m ²)	Minimum jumlah lokasi titik sampling (N_L)
52	10
56	11
64	12
68	13
72	14
76	15
104	16
108	17
116	18
148	19
156	20
192	21
232	22
276	23
352	24
436	25
636	26
1000	27
>1000	Formula A.1
Catatan: Perhatikan area yang dipertimbangkan berada di antara dua nilai dalam tabel, pilih nilai yang lebih besar dari keduanya. Formula A.1: Jika luas ruangan lebih > 1000 m ² . Lakukan penentuan titik sampling dengan rumus $N_L = 27 \times \frac{A}{100}$ N_L : minimum lokasi titik sampling yang akan dinilai. A : luas area <i>cleanroom</i> dalam m ²	

Sumber: ISO 14644-1, 2015

2. Identifikasi Bakteri Aerob

Identifikasi mikroorganisme secara umum memerlukan pemeriksaan mikroskopis dan uji kultur atau mungkin memerlukan tes serologis. Spesimen dan sampel untuk pemeriksaan mikrobiologi dapat mengandung campuran berbagai mikroorganisme. Dalam mengidentifikasi bakteri dari spesimen apa pun dapat digunakan media nonselektif. Tidak ada satu media atau hanya suhu tertentu dapat mendukung pertumbuhan organisme, maka cara terbaik adalah menggunakan beberapa media berbeda yang mana masing-masing media akan saling mendukung pertumbuhan organisme satu dengan yang lain. Sebagai contoh misalnya dalam identifikasi bakteri dapat menggunakan media berupa *nutrient agar*, *glucose tryptone agar* dan *blood agar* dan untuk mold ataupun yeast dapat menggunakan *malt and sabouraud dextrose agar* (Collins CH, 2004).

Hasil kultur yang murni dan pemilihan dan penggunaan media kultur yang tepat sangat penting dalam memperoleh isolat organisme yang murni (Collins CH, 2004). Beberapa rangkaian prosedur yang dapat dilakukan antara lain: memilih

isolat murni yang tumbuh ada media kultur, menilai morfologi koloni bakteri, morfologi dan reaksi pewarnaan, uji biokimia, pemeriksaan mikroskopik, dan identifikasi molekuler (Rajesh B & Rattan LI, 2008).

a) Metode Konvensional

Interpretasi awal dalam mengidentifikasi pertumbuhan bakteri pada media kultur biasanya dilakukan dalam 24-48 jam pertama setelah inkubasi. Hal ini penting untuk menilai langkah tes dan prosedur pemeriksaan untuk identifikasi selanjutnya hingga identifikasi akhir. Meskipun pemeriksaan MALDI-TOF MS saat ini digunakan secara cepat dalam identifikasi bakteri aerob dan anaerob, identifikasi dengan metode ini masih memerlukan pemeriksaan konvensional berupa penilaian morfologi, gambaran pewarnaan gram dan beberapa tes fenotipe cepat untuk mengkorelasikan hasil kultur yang didapatkan (Mahon Conie R et al., 2015).

Pemeriksaan konvensional yang dapat dilakukan diawal berupa pemeriksaan mikroskopik dan uji konvensional berupa tes-tes biokimia. Hasil kultur yang pertama-tama teridentifikasi harus diperiksa secara mikroskopik dengan pewarnaan gram, pewarnaan *Ziehl Neelsen*, pewarnaan Kapsul dan pewarnaan lainnya (Collins CH, 2004). Dalam menilai morfologi bakteri perlu memperhatikan beberapa hal terkait ukuran, tepi, permukaan, warna dan transparansi koloni serta perubahan pada media seperti sifat hemolisisnya. Morfologi dan reaksi pewarnaan yang tampak pada pewarnaan gram misalnya dapat menilai jenis bakteri gram positif atau gram negatif (Rajesh B & Rattan LI, 2008).

Dalam identifikasi awal setelah sampel udara dikumpulkan baik dengan metode aktif maupun pasif, cawan petri media kultur diinkubasi pada suhu 37°C selama 24-48 jam untuk pertumbuhan bakteri. Koloni dihitung dan diidentifikasi berdasarkan nilai standar kualitas mikrobiologi udara. Peraturan Menteri Kesehatan tahun 2019 secara jelas mengatur standar baku kualitas udara di lingkungan rumah sakit (Karigoudar et al., 2020; PERMENKES, 2019).

b) Metode Molekular

Teknik molekuler terbaru yang telah digunakan untuk identifikasi bakteri meliputi: DNA probe, *Polymerase Chain Reaction* (PCR), hibridisasi asam nukleat dan flowcytometry. Alat ini menyediakan cara diagnosis yang cepat dan sensitif (Rajesh B & Rattan LI, 2008).

c) Metode Vitek 2

Dalam perkembangan teknologi identifikasi di laboratorium mikrobiologi, diperlukan metode identifikasi tepat dan cepat yang dapat mempersingkat waktu penerimaan spesimen dan hasil identifikasi. Hal inilah menyebabkan terjadinya perkembangan instrumen alat identifikasi yang bersifat otomatisasi yang memberi keuntungan tambahan dalam identifikasi spesimen pemeriksaan. Identifikasi otomatisasi menggunakan VITEK pertama kali diperkenalkan pada tahun 1976 oleh BioMerieux (Prancis) (Collins CH, 2004).

Sistem VITEK yang kemudian dikembangkan menjadi sistem VITEK 2 dalam praktek di laboratorium digunakan dalam mengidentifikasi dan menguji sensitifitas antimikroba dalam satu perangkat dengan menggunakan analisis signal kinetik fluoresens, turbiditas dan kolorimetrik yang mana hasil identifikasi dapat diketahui dalam 5-8 jam dan uji sensitifitas dapat diketahui dalam 18 jam (Nimer et al., 2016). Suspensi bakteri sebanyak (McFarland) berdasarkan hasil identifikasi mikroskopik dipersiapkan dan diinokulasi dalam kaset yang sesuai kemudian dimasukkan kedalam perangkat dan dengan proses otomatisasi akan membarikan hasil identifikasi yang diharapkan.

d) Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization-Time Of Flight Mass Spectrometry (MALDI TOF-MS)

1) Definisi MALDI TOF-MS

Saat ini, identifikasi mikroorganisme paling baik menggunakan sekuensing gen 16S rDNA dan 18S rRNA. Informasi genomik didalam sel mikroba diterjemahkan kurang lebih 2000 protein, yang mana sejumlah besar dapat dipelajari menggunakan proteomik (Singhal et al., 2015).

Laboratorium mikrobiologi klinik memiliki peranan penting dalam identifikasi mikroba penyebab infeksi dan resistensi antibiotik di klinis. Metode diagnostik yang tepat dan cepat diharapkan memberikan hasil yang baik sehingga mengurangi mortalitas pada pasien sepsis yang membutuhkan pemberian antibiotik yang tepat (Seng et al., 2010). Tentunya menjadi tantangan bahwa pemeriksaan konvensional memiliki kelemahan terkait lama waktu pemeriksaan yang mana identifikasi patogen dan spesimen klinis umumnya berdasarkan morfologi dan karakteristik fenotipe dengan menggabungkan antara gambaran mikroskopik dan morfologi koloni, uji biokimia, bersamaan dengan evaluasi pertumbuhan pada *differential media*. Tidak semua mikroorganisme mudah diidentifikasi dengan metode ini sehingga diperlukan metode identifikasi molekuler seperti sekuensing

gen 16S rRNA. Metode ini relatif lebih cepat dan dapat digunakan untuk mengidentifikasi mikroorganisme bersifat fastidious yang lebih sulit untuk tumbuh (Dingle & Butler-Wu, 2013).

Salah satu metode tercepat dan terbaru yang saat ini banyak digunakan di laboratorium mikrobiologi klinis di seluruh dunia adalah MALDI-TOF MS. Metode ini lama digunakan di laboratorium kimia klinik, dan dilaporkan pertama kali mengidentifikasi bakteri oleh Anhalt dan Fenselau di tahun 1975. MALDI-TOF MS kemudian dikembangkan secara terus menerus dalam identifikasi spesifik mikroorganisme (Dingle & Butler-Wu, 2013).

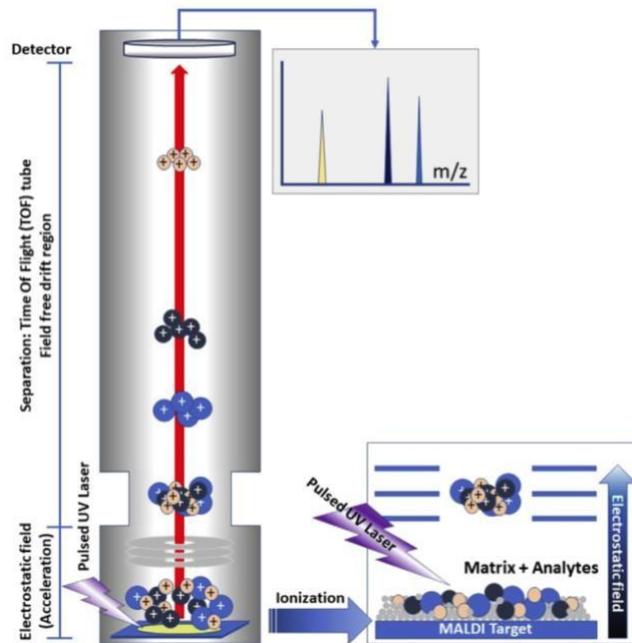
Mass Spectrometry (MS) mengidentifikasi dan mengukur molekul dengan menganalisa rasio massa terhadap muatan ion molekul (m/z). Massa spektrum dalam *mass spectrometry* dapat diinterpretasikan untuk menentukan identitas molekul yang berbeda di dalam sampel. *Mass spectrometry* secara langsung menganalisis setiap molekul biologis yang terionisasi. Keberhasilan MS didukung oleh penemuan penting termasuk *Electrospray Ionization* (ESI) yang ditemukan oleh Jhon Feen dan MALDI yang ditemukan oleh Koichi Tanaka (Hou et al., 2019).

MALDI memiliki keuntungan karena membutuhkan waktu yang lebih singkat dalam pre-analitiknya, karena sampel hanya dicampur dengan matriks kimia tertentu dan terbentuknya ikatan ion. MALDI-TOF menggabungkan dua teknologi dari MALDI dan massa TOF (*time of flight*). Salah satu keuntungan utama menggunakan MALDI-TOF MS adalah hemat waktu, karena identifikasi bakteri dapat dilakukan dalam waktu kurang dari satu jam dibandingkan alat identifikasi lain yang memerlukan waktu 24-48 jam (Hou et al., 2019).

2) Prosedur Pemeriksaan dengan MALDI TOF-MS

- ***Prinsip Kerja***

Prinsip dasar dari MALDI-TOF MS secara singkat dijelaskan dalam gambar 2.1. Secara singkat, sampel mikroba yang disimpan dalam plat target dilapisi dengan larutan matriks yang mengkristalkan sampel dan melisiskan organisme vegetatif. Namun beberapa mikroba sulit dilisiskan seperti bakteri gram positif tertentu, mikrobakteria, yeast dan jamur sehingga memerlukan perlakuan tambahan di awal dengan asam organik kuat atau lisis mekanis (seperti *bead-beating*) (Dingle & Butler-Wu, 2013).



Gambar 2.1 Metodologi MALDI-TOF MS. Sampel dikristalisasi bersama dengan matriks pada target sampel dan didesorpsi dan diionisasi oleh sumber ion MALDI (misalnya laser ultraviolet). Molekul ion, termasuk peptida/protein mikroba, dipercepat oleh medan listrik ke dalam penganalisa TOF. Semua ion dipisahkan oleh TOF sesuai dengan rasio m/z dan spektrum massa.
Sumber: Huo, 2019.

Setelah sampel ditempatkan dalam instrument alat, sampel akan terionisasi oleh puls laser pendek, membentuk ion fase gas melalui fermentasi yang minimal, kemudian diikuti oleh percepatan partikel dalam ruang hampa melalui medan listrik. Jumlah waktu yang dibutuhkan setiap partikel untuk mencapai detektor disebut “*flight of time*” (TOF) bergantung pada massa dan muatannya. Setelah semua protein dalam sampel terdeteksi oleh *mass spectrometry*, maka akan muncul pola unik spektra yang dihasilkan oleh organisme akan dianalisis (Dingle & Butler-Wu, 2013).

Dalam beberapa studi menunjukkan bahwa protein utama yang dideteksi oleh MALDI TOF MS adalah protein ribosom, meskipun protein sitosol juga banyak terdeteksi (seperti protein DNA *binding* dan protein *cold-shock*). Uji identifikasi mikroorganisme kemudian secara otomatis ditentukan berdasarkan perangkat lunak dengan membandingkan profik pola spektra organisme yang terbentuk (Dingle & Butler-Wu, 2013).

MALDI-TOF MS telah diperkenalkan dalam laboratorium mikrobiologi klinik untuk mengidentifikasi bakteri dan jamur dari sampel klinik. Tingkat kesalahan identifikasi MALDI-TOF MS lebih rendah dibandingkan VITEK 2 dalam mengidentifikasi bakteri. Teknik ini dianggap cepat, hemat biaya dan dapat dipertimbangkan menggantikan metode fenotipe konvensional dalam

mengidentifikasi isolat bakteri di laboratorium mikrobiologi klinis (Branda et al., 2014; Guo et al., 2015).

- **Persiapan Sampel**

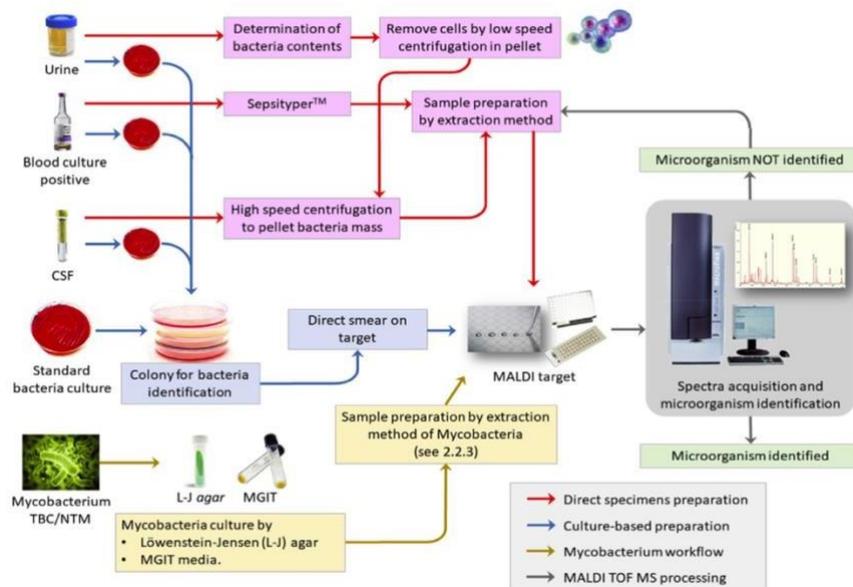
Sebagian besar isolat bakteri yang tumbuh dan terpisah pada media agar padat dipilih 1 (satu) koloni dan dioleskan langsung pada lapisan tipis pada target MALDI. Namun, untuk *Mycobacterium spp.* dan jamur berfilamen biasanya memerlukan beberapa langkah metode ekstraksi untuk memastikan kualitas proteom biologis sehingga meningkatkan spektrum dan proses identifikasi yang lebih akurat. Untuk kasus dengan peningkatan urgensi di klinis, identifikasi patogen langsung dapat dilakukan dari sampel biologis. Beberapa jenis spesimen cairan tubuh memerlukan tindakan pemisahan khusus untuk memisahkan patogen dari sel inang, peptida, dan protein. Metode persiapan dan alur kerja identifikasi untuk sampel biologis yang berbeda diperlukan untuk mengoptimalkan analisis dari MALDI-TOF MS (Hou et al., 2019).

- **Persiapan umum**

Persiapan sampel yang mudah dan cepat merupakan metode terbaik yang digunakan di klinik. Beberapa bakteri yang terbungkus oleh glikokalis atau lapisan kapsul termasuk *Mycobacterium sp.* dan spesies *yeast* tertentu sulit tidak dapat mudah diekstraksi dengan larutan matriks. Metode ekstraksi menggunakan asam format etanol (FA) dapat digunakan pada sampel ini untuk menghasilkan spektrum berkualitas tinggi pada saat identifikasi dan analisis (Hou et al., 2019).

- 1) Mikroorganisme dari satu koloni bakteri atau *yeast* dioleskan pada pelat target MALDI-TOF MS. Sebanyak 1 mikroliter larutan matriks HCCA (*α -cyano-4-hydroxycinnamic acid*) (yang terdiri dari 50% asetonitril dan 2.5 % asam trifluoroasetat dalam air murni) kemudian diteteskan ke atas apusan. Pelarut ini mampu mengekstraksi protein dari sebagian besar bakteru untuk pengukuran MALDI-TOF MS.
- 2) Satu loop bakteri disuspensikan dengan 300 mikroliter air murni dan dicampur dengan 900 mikroliter etanol untuk menonaktifkan mikroorganisme dengan vortex beberapa detik.
- 3) Lakukan sentrifugasi kecepatan tinggi selama 2 menit dan buang supernatan secara hati-hati.

- 4) Sebanyak 20-50 mikroliter etanol asam (FA) ditambahkan dan dicampur dengan baik, kemudian tambahkan dan campurkan asetonitril dalam jumlah yang sama lalu divortex selama beberapa detik.
- 5) Palet bakteri yang terbentuk disentrifugasi kecepatan tinggi selama 2 menit dan 2 mikroliter dari supernatant diaplikasikan pada target MALDI.
- 6) Setelah kering, sampel ditutup dengan 1 mikroliter larutan matriks HCCA untuk diukur.



Gambar 2.2 Alur kerja identifikasi mikroorganisme MALDI-TOF MS di laboratorium klinis. Semua koloni bakteri dari kultur media padat diaplikasikan langsung melalui metode apusan. Beberapa sampel cair dari spesimen, seperti botol kultur darah positif dan cairan tubuh (CSF atau urin), dapat langsung digunakan untuk identifikasi setelah persiapan sampel dan protokol ekstraksi.
Sumber: Huo, Chang-Ni, and Teng, 2019.

2.2. Healthcare Associated Infection (HAIs)

2.2.1. Definisi HAIs

Menurut definisi dari WHO (*World Health Organization*), HAIs merupakan infeksi pada pasien di rumah sakit atau tempat pelayanan kesehatan lain yang belum tampak atau tidak sedang masa inkubasi pada saat pasien pertama kali masuk atau yang terjadi selama pasien dirawat di rumah sakit lebih dari 48 jam, yang tidak muncul pada saat masuk rumah sakit. Termasuk juga infeksi yang didapatkan pasien selama masa perawatan di rumah sakit atau fasilitas kesehatan yang baru muncul setelah pasien pulang, maupun juga infeksi pada staf rumah sakit (WHO, 2002).

Kejadian infeksi di fasilitas pelayanan kesehatan dapat disebabkan oleh 6 (enam) komponen rantai penularan berupa agen infeksi, *reservoir* (tempat atau

sumber agen infeksi), *portal of exit* (pintu keluar), cara penularan, *portal of entry* (pintu masuk) dan *susceptible host* (penjamu yang rentan). Keenam komponen ini perlu diperhatikan agar apabila salah satu komponen ini diputus atau dihilangkan maka dapat mencegah atau menghentikan terjadinya infeksi (PERMENKES RI, 2017).

HAIs merupakan salah satu penyebab meningkatnya angka kesakitan (morbidity) dan angka kematian (mortality) di rumah sakit dan dapat menjadi masalah kesehatan baru, baik di negara berkembang maupun di negara maju. Oleh karena itu rumah sakit dituntut untuk dapat memberikan pelayanan yang bermutu sesuai dengan standar yang sudah ditentukan dan harus diterapkan oleh semua kalangan petugas kesehatan. Selain itu akibat lama rawat pada pasien HAIs yang terjadi dirumah sakit dapat meningkatkan biaya perawatan (Haque et al., 2018).

Suatu infeksi pada pasien dapat dinyatakan sebagai HAIs bila memenuhi beberapa kriteria:

1. Pada waktu pasien mulai dirawat di rumah sakit tidak didapatkan tanda klinis infeksi tersebut.
2. Pada waktu pasien mulai dirawat di rumah sakit tidak sedang dalam masa inkubasi infeksi tersebut.
3. Tanda klinis infeksi tersebut baru timbul sekurang-kurangnya 48 jam sejak mulai perawatan.
4. Infeksi tersebut bukan merupakan sisa infeksi sebelumnya.

Infeksi HAIs ini terdiri dari infeksi saluran kemih terkait pemasangan kateter urine (CAUTI), infeksi aliran darah terkait pemasangan jalur sentral (CLABSI), infeksi daerah operasi (IDO), pneumonia terkait pemakaian ventilator (VAP), pneumonia yang didapat di rumah sakit (HAP) dan infeksi *Clostridium difficile* (CDI). Risiko kejadian HAIs bergantung pada program pengendalian infeksi di rumah sakit, kondisi daya tahan tubuh pasien, dan prevalensi kuman patogen di lingkungan komunitas (Monegro et al., 2023).

2.2.2. Klasifikasi HAIs

1. *Central Line-Associated Bloodstream Infection (CLABSI)*

Central line adalah selang yang dimasukkan ke dalam pembuluh darah besar di dada, lengan, leher, atau selangkangan pasien. *Central line* digunakan untuk

memberi cairan, mengukur jumlah cairan dalam tubuh, atau memberi obat (Marschall et al., 2014).

Infeksi terkait pemasangan *central line* merupakan infeksi serius yang dapat terjadi akibat masuknya kuman baik bakteri, jamur dan virus (Marschall et al., 2014). Hal ini muncul dalam 48 jam setelah pemasangan *central line* dan dari semua jenis HAIs, infeksi ini dihubungkan dengan tingginya biaya perawatan (Haddadin et al., 2022). Manifestasi klinis yang muncul sangat beragam bergantung beratnya kesakitan pasien, dapat berupa demam, nyeri dan kemerahan di kulit sekitar pemasangan *central line*, bahkan pada pasien usia lanjut dan penyakit imunodefisiensi dapat muncul gambaran sepsis seperti penurunan kesadaran, hipotensi, lemah dan lesu (Haddadin et al., 2022; Marschall et al., 2014).

Beberapa patogen tersering pada infeksi ini antara lain bakteri gram positif (Koagulase Negatif *Staphylococcus*, 34.1%; *Enterococcus*, 16%; dan *Staphylococcus aureus*, 9,9%), kemudian bakteri gram negatif (*Klebsiella spp.*, 5.8%; *Enterobacter spp.*, 3.9%; *Pseudomonas spp.*, 3.1%; *E.coli*, 2.7%; *Acinetobacter spp.*, 2.2%), dan *Candida spp.* (11.8%) dan ditemukan kurang lebih 20-30% (Haddadin et al., 2022).

Sebuah data terbaru menunjukkan terjadi peningkatan kasus CLABSI yang signifikan hingga 47.0% di tahun 2020 dari sebelumnya, yang mana sebanyak 65% kasus merupakan pasien yang dirawat di ICU (CDC, 2021). Faktor penjamu yang meningkatkan risiko CLABSI antara lain penyakit kronik (pasien hemodialisa, keganasan, penyakit saluran cerna, hipertensi pulmonal), penurunan daya tahan tubuh (transplantasi organ dan diabetes militus), malnutrisi, jumlah nutrisi parenteral, usia lanjut, dan perawatan rumah sakit jangka panjang (Haddadin et al., 2022).

Apabila ada kecurigaan mengarah kepada CLABSI, sambil menunggu hasil kultur, terapi empiris harus segera diberikan. Terapi empiris seharusnya diberikan berdasarkan organisme patogen yang paling sering ditemukan, faktor *host*, dan memperhatikan gambaran klinis secara keseluruhan. Pemberian terapi juga memperhatikan pola kuman dan uji sensitifitas antibiotik yang ada di rumah sakit (Haddadin et al., 2022).

2. *Catheter Associated Urinary Tract Infection (CAUTI)*

Infeksi saluran kemih yang disebabkan oleh penggunaan kateter urine adalah salah satu infeksi paling umum yang didapat pada pasien yang dirawat di fasilitas kesehatan. Infeksi ini meliputi beberapa bagian dari sistem urinaria, termasuk uretra, kandung kemih, dan ginjal. Sekitar 15-25% pasien rawat inap terpasang kateter urine saat dirawat. Infeksi saluran kemih akibat pemasangan kateter urine adalah sumber dari sekitar 20% episode bakteremia akut yang ditemukan di layanan kesehatan di fasilitas perawatan jangka pendek dan lebih dari 50% di fasilitas perawatan jangka panjang. Oleh karena itu, penggunaan kateter urine hanya dapat digunakan sesuai indikasi yang tepat dan seharusnya dilepaskan sesegera mungkin apabila tidak digunakan lagi (Lo et al., 2019; (Brusch John L, 2021).

Bakteri yang paling sering ditemukan antara lain *E. coli*, *Pseudomonas spp.*, *Enterococcus spp.*, *S. aureus*, *Coagulase Negative Staphylococcus*, *Enterobacter spp.*, dan yeast. *Proteus spp.* dan *Pseudomonas spp.* merupakan organisme yang paling sering dihubungkan dengan pertumbuhan biofilm di kateter urine. *Candida albicans* merupakan patogen kedua yang umum ditemukan pada kasus CAUTI ataupun kolonisasi yang tidak menimbulkan gejala (Brusch John L, 2021).

Faktor risiko yang menyebabkan bakteriuria pada pasien dengan pemasangan kateter urine dalam jangka waktu lama antara lain kolonisasi pada urine bag, diare, diabetes melitus, tidak diterapi antibiotik, jenis kelamin wanita, insufisiensi renal, perawatan kateter yang salah, pelepasan kateter urine yang lambat dan penyakit imunokompromise (Brusch John L, 2021).

Gejala klinis umumnya tidak spesifik. Kebanyakan pasien mengeluh demam dan ditemukan leukositosis. Pada pemeriksaan kultur urin biasanya jumlah koloni berkisar 10^2 - 10^3 / mL, dan ditemukan gambaran polimikrobial (Brusch John L, 2021).

Pada pasien dengan bakteriuria sebaiknya kateter urine yang terpasang segera dilepaskan. Untuk menurunkan risiko UTI, terapi antibiotik dapat dipertimbangkan pada pasien dengan bakteriuria asimtomatik yang muncul 48 jam setelah kateter dilepaskan. Pemberian antibiotik sebaiknya dilakukan setelah memperoleh hasil kultur urin untuk mengurangi kemungkinan terjadinya peningkatan resistensi antibiotik (Zhuo et al., 2020; Bruschi, 2021).

Intervensi yang paling penting untuk mencegah bakteriuria dan infeksi saluran kemih adalah membatasi penggunaan kateter yang menetap dan bila penggunaan kateter diperlukan segera menghentikan pemasangan kateter sesegera mungkin. Program pengendalian infeksi di fasilitas perawatan kesehatan harus menerapkan dan memantau strategi untuk membatasi infeksi saluran kemih yang diakibatkan oleh pemasangan kateter urin, termasuk pengawasan penggunaan kateter, kesesuaian indikasi kateter, dan komplikasi.

3. *Surgical Site Infection (SSI)* atau Infeksi Daerah Operasi (IDO)

Infeksi daerah operasi adalah infeksi yang terjadi setelah proses pembedahan pada bagian tubuh yang dilakukan proses pembedahan. Infeksi ini terkadang berupa infeksi di daerah superfisial di permukaan kulit dan dapat menyebabkan masalah serius bila merusak jaringan dibawah kulit, organ ataupun material implant yang terpasang (Bashaw & Keister, 2019).

Beberapa studi terbaru melaporkan sebanyak 20%-30% kasus IDO dari semua jenis HAIs yang paling sering ditemukan (Bashaw & Keister, 2019). Berdasarkan data dari Pusat Pengendalian dan Pencegahan Penyakit Amerika Serikat (CDC) menunjukkan terjadi penurunan 8.3% - 13.1% kasus SSI pada kuartal keempat di tahun 2020 (CDC, 2020).

Infeksi daerah operasi dihubungkan dengan meningkatnya lama rawat, biaya perawatan yang tinggi dan risiko kematian sekitar 2-11 kali lipat (Haque et al., 2018). Beberapa faktor risiko yang dapat menyebabkan angka kejadian antara lain faktor intrinsik (berupa faktor dari pasien baik yang dapat dimodifikasi maupun tidak) dan faktor ekstrinsik (prosedur, fasilitas, preoperatif dan saat operasi) (Ban et al., 2016; Waltz, 2017; Akinkunmi, 2014). Selain itu, WHO mengindikasikan kondisi resistensi antibiotik merupakan faktor yang signifikan untuk terjadinya infeksi daerah operasi (Bashaw & Keister, 2019).

Insidens terjadinya IDO bergantung pada sterilisasi prosedur operasi, sistem ventilasi mekanik, penggunaan HEPA filter, sinar ultraviolet, pertukaran udara, kelembaban udara, suhu, perbedaan tekanan ruang, jumlah partikel udara dan pemberian antibiotik profilaksis (Shajahan et al., 2019).

Patogen yang sering ditemukan pada kultur spesimen pasien dengan IDO antara lain *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus spp.*, *Escherchia coli*, CONS, *Enterococcus* dan *Candida sp*

American Colage of Surgeon membagi luka bekas operasi menjadi 4 (empat) golongan, yaitu (**Fry, 2022; Manulang, 2021**):

1. *Clean wood* (Luka bersih): luka operasi tidak memasuki struktur/jaringan inflamasi, lumen saluran gastrointestinal, genital dan saluran respiratorik. Bila operasi memasuki lumen saluran empedu atau saluran kemih, masih dianggap “luka bersih” bila tidak ditemukan inflamasi dan urine/empedu steril. Tidak ada pemasangan drain dan luka ditutup primer.
2. *Clean-contaminated Wounds* (Luka bersih tercemar): luka operasi memasuki lumen saluran gastrointestinal, genitalia atau respiratorik tanpa pencemaran signifikan. Jika luka operasi memasuki lumen saluran empedu atau saluran kemih yang mengalami infeksi, termasuk golongan ini.
3. *Contaminated wound* (Luka tercemar): Operasi pada kasus inflamasi bakterial akut tanpa pus, resusitasi jantung terbuka, operasi saluran cerna tercemar isi usus dan luka baru traumatik di daerah asal relatif bersih.
4. *Dirty wound* (Luka kotor): ditemukan pus, perforasi saluran cerna, luka lama traumatik atau dari daerah asal yang kotor. Dianggap infeksi sudah terjadi sebelum operasi.

Diagnosis pasien infeksi post operatif dibagi berdasarkan gejala klinis, antara lain (**WHO, 2018; Fry, 2022**)

1. *Superficial Incisional* IDO:
 - Terjadi dalam waktu 30 hari setelah operasi
 - Melibatkan kulit dan jadingan subkutan
 - Setidaknya 1 dari gejala:
 - Sekret purulent
 - Organisme yang diisolasi berasal dari cairan atau jaringan insisis superfisial
 - Salah satu gejala inflamasi (nyeri, kemeraham, indurasi, eritema, teraba hangat disekitar luka operasi
2. *Deep incisional* IDO:
 - Terjadi sekitar 30 hari atau kurang lebih setahun dari pemasangan implant
 - Melibatkan jaringan lunak yang dalam seperti fascia dan atau otot di tempat operasi
 - Setidaknya 1 dari gejala:

- Sekret purulent yang berasal dari luka sayatan tanpa adanya keterlibatan organ
- Adanya fasial yang terpisahkan karena tanda-tanda peradangan.
- Abses yang dalam yang diidentifikasi secara langsung atau saat tindakan reoperatif dengan pemeriksaan histopatologi atau pun pemeriksaan.

3. *Organ/Ruang* IDO:

- Terjadi sekitar 30 hari atau kurang lebih setahun dari pemasangan implant
- Melibatkan struktur anatomi yang tidak dibuka atau dimanipulasi selama operasi.
- Setidaknya 1 dari gejala:
 - Cairan purulent dari bekas luka yang dalam/organ.
 - Organisme yang diisolasi dari organ atau ruangan dengan kultur aseptik.
 - Abses yang dalam yang diidentifikasi secara langsung atau saat tindakan reoperatif dengan pemeriksaan histopatologi atau pun pemeriksaan.

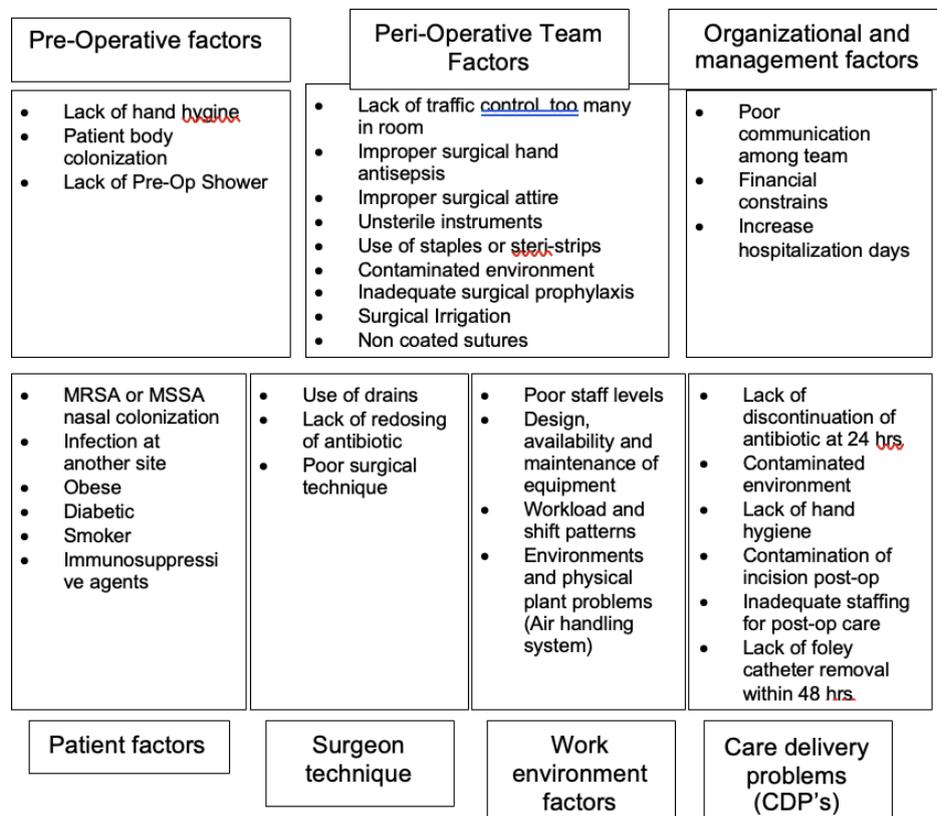
Beberapa metode pencegahan yang dapat dilakukan terkait infeksi daerah operasi antara lain (**Fry, 2022; Manulang, 2021**):

1. Rencana Preoperatif:

- Sebelum dilakukan tindakan pembedahan, sebaiknya pasien mandi dengan sabun antiseptik.
- Lokasi yang rencananya akan dilakukan sayatan tidak boleh dicukur pada malam hari sebelum operasi karena dapat mengakibatkan kolonisasi mikroba. Sebaiknya jika ingin mencukur dilakukan segera sebelum dilakukan insisi.
- Pada keadaan tertentu dapat dilakukan penundaan tindakan apabila: ditemukan adanya luka kulit terbuka atau infeksi di sekitar daerah operasi. Pertimbangkan kemungkinan adanya bakteri kolonisasi di lingkungan rumah sakit jika pasien dirawat lebih dari 4 hari, sehingga perlu diberikan antibiotik profilaksis

2. Pencegahan di ruangan operasi:

- Bersihkan daerah permukaan kulit tempat insisi dengan klorheksidin atau iodine povidone dan dibiarkan kering untuk memberi efek antiseptik yang maksimal.
 - Penggunaan APD seperti tutup kepala, gaus, masker, dan sarung tangan bedah steril yang sesuai standar.
 - Penutupan luka tidak menggunakan antiseptik atau antibiotik topikal.
 - Balutan luka dibuka setelah 24-48 jam pasca operasi.
3. Pencegahan dengan terapi antibiotik:
- Diberikan pada infeksi dengan risiko tinggi seperti operasi *colon resection*.
 - Pemberian antibiotik profilaksis sistemik tidak diperbolehkan dilanjutkan setelah semua prosedur operasi selesai



Gambar 2.3 Faktor risiko IDO
Sumber: Manulang, 2021

4. Ventilator Associated Pneumonia (VAP)

Ventilator associated pneumonia (VAP) didefinisikan sebagai infeksi parenkim paru pada pasien yang terpasang ventilator mekanik selama setidaknya 48 jam atau lebih melalui endotrakeal atau trakeostomi di ICU (CDC, 2022; Papazian,

2020; Amanullah, 2015). VAP ini sendiri merupakan infeksi nasokomial yang paling umum ditemukan di perawatan ICU dan merupakan salah satu penyebab utama kematian di ICU (Emma Letchford and Suzanne Bench, 2018).

VAP merupakan komplikasi yang muncul pada 28% pasien yang menerima ventilasi mekanis dan insidennya meningkat disertai dengan durasi pemasangan alat (**Amanullah, 2015**). CDC melaporkan adanya peningkatan kasus VAP di akhir tahun 2020 sebesar 48.8% kasus yang meningkat dari sebelumnya di awal tahun sebesar 11.3% (CDC, 2020). Beberapa mikroorganisme yang sering dihubungkan dengan tingginya angka kematian pada kasus VAP antara lain bakteri gram negative seperti *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherchia coli*, *Acinetobacter sp.*, dan *Klebsiella pneumoniae*, untuk bakteri gram positif yang paling banyak ditemukan adalah *Staphylococcus aureus*. Ditemukan pula mikroorganisme lain seperti jamur berupa *Candida Sp.* dan *Aspergillus sp.* (Papazian, 2020).

Diagnosis VAP secara konvensional ditentukan berdasarkan tiga kriteria; kecurigaan klinis, gambaran infiltrat pada foto thoraks yang dinilai secara progresif dan hasil pemeriksaan kultur mikrobiologi dari spesimen saluran napas bawah yang menunjukkan adanya hasil identifikasi mikroorganisme (**Papazian, 2020**). Dalam pemberian terapi VAP sebaiknya memperhatikan organisme yang teridentifikasi, pola resistensi antibiotik di ruangan ICU, regimen antibiotik yang rasional dan pertimbangan deeskalasi atau penghentian antibiotik (**Koenig,2006**).

2.2.3. Epidemiologi HAIs

Menurut laporan Organisasi Kesehatan Dunia di negara berpenghasilan tinggi dari 100 pasien yang dirawat di rumah sakit setidaknya sebanyak 7 pasien dan negara berkembang sebanyak 15 pasien mengalami setidaknya satu jenis HAIs. Rata-rata, 1 dari setiap 10 pasien yang terkena akan meninggal dunia akibat HAIs (WHO, 2022).

Sebuah survei dilakukan di 183 rumah sakit di Amerika Serikat dengan 11.282 pasien melaporkan bahwa 4% pasien terinfeksi dengan setidaknya satu jenis HAIs. Di negara Asia, kejadian infeksi nosokomial terjadi sebanyak 10%. Sedangkan di Amerika kejadian infeksi nosokomial terjadi pada \pm 5% dari 40 juta pasien yang dirawat setiap tahun dengan angka kematian mencapai 1% dan beban biaya penanganan mencapai 4,5 milyar rupiah pertahun.

Prevalensi infeksi HAIs pada pasien di negara maju bervariasi antara 3,5% dan 12%, sedangkan di negara berkembang termasuk Indonesia prevalensi infeksi HAIs 9,1% dengan variasi 6,1% -16%. Menurut data Kementerian Kesehatan, infeksi HAIs di Indonesia mencapai 15,74%, jauh di atas negara maju yang berkisar 4-8-15,5% (Rahmawati, 2021).

CDC melaporkan terjadinya peningkatan signifikan insidens CLABSI sebanyak 47% (dimana 65% kasus di ICU dan 16 % kasus di perawatan bangsal), CAUTI mengalami peningkatan sebanyak 19% dari sebelumnya (30% kasus terjadi di ruangan ICU), VAP meningkat 45 % (44% total kasus ditemukan di ICU dan 35% kasus di perawatan bangsal) dan MRSA mengalami peningkatan selama sepanjang tahun 2020 sebanyak 33.8% kasus. Untuk insidens kasus *Surgical Site Infection* (SSI) (Bedah Kolon dan Histerektomi Abdomen) mengalami penurunan hingga 8.3-13.1% kasus. (CDC, 2021).

2.2.4. Faktor Risiko HAIs

Banyak faktor yang berpengaruh terhadap kejadian HAIs. Beberapa faktor yang dapat menjadi penyebab HAIs antara lain daya tahan tubuh, usia lanjut, lama rawat di rumah sakit, penyakit penyerta, pemasangan ventilator mekanik, riwayat prosedur invasif, perawatan di ruangan intensif, dan petugas kesehatan di rumah sakit (Anjali, 2006; Parhusip, 2005). Lingkungan (udara, kontak permukaan dan air) pun menjadi salah faktor yang dapat menyebabkan terjadinya infeksi yang dikaitkan dengan lingkungan rumah sakit (Anjali, 2006). Sejumlah faktor antara lain faktor dari dalam dan faktor dari luar (Darmadi, 2008).

1. Faktor Intrinsik

Beberapa faktor intrinsik dari penderita yang berpengaruh terhadap kejadian HAIs diantaranya usia, jenis kelamin, kondisi klinis penderita, penyakit yang mendasari dan risiko terapi yang diberikan. Pasien dengan penyakit dasar tertentu dengan penurunan daya tahan tubuh (seperti pasien dengan penyakit kronis, keganasan, AIDS) memiliki risiko tinggi karena sistem imun yang menurun sebagai akibat dari penyakit atau terapi yang dijalani pasien.

2. Faktor Ekstrinsik

Perawatan: Lama dirawat buruknya standar pelayanan kesehatan, jumlah pasien dalam ruangan menjadi faktor risiko yang paling mempengaruhi terjadinya infeksi

nosokomial. Panjangnya waktu perawatan di rumah sakit memungkinkan terjadinya kolonisasi bakteri baik dari luar pasien (eksogen), maupun oleh bakteri dari dalam diri pasien yang bersangkutan (endogen).

1. Petugas pelayanan medis: perawat, dokter, dokter, bidan, tenaga laboratorium.
2. Peralatan dan material medis
3. Intervensi diagnostik

Beberapa prosedur diagnostik yang bersifat invasif seperti kateter urine, kateter vena sentral (CVC), dan endotracheal-tube (ET) biasa dilakukan di ruang rawat intensif. Tindakan tersebut berpengaruh pada kejadian infeksi nosokomial melalui:

a. *Central Venous Cathether (CVC)*

Kateter vena sentral atau CVC pada pasien rawat inap mutlak diperlukan untuk mensuplai beberapa bahan penting untuk tubuh, diantaranya: cairan intra vena, obat-obatan serta produk darah, nutrisi parental yang berkepanjangan, kemoterapi, dan hemodialisis. Namun, kateter vena sentral ini memiliki beberapa komplikasi berupa gangguan mekanik, fisik, dan kimiawi. Komplikasi tersebut dapat berupa:

- Ekstravasasi infiltrat: cairan infus masuk ke jaringan sekitar insersi kanula.
- Penyumbatan: infus tidak berfungsi sebagaimana mestinya tanpa dapat dideteksi adanya gangguan lain.
- Flebitis: terdapat pembengkakan, kemerahan dan nyeri sepanjang vena.
- Trombosis: terdapat pembengkakan di sepanjang pembuluh vena yang menghambat aliran infus.
- Septikemia: bila kuman menyebar hematogen dari kanul.
- Supurasi: bila telah terjadi bentukan pus di sekitar insersi kanul.

b. Kateter urine

Penggunaan kateter urine yang lama dan tidak diganti-ganti erat kaitannya dengan terjadinya infeksi di saluran kemih. Sangat sulit untuk dapat mencegah penyebaran mikroorganisme sepanjang uretra yang melekat dengan permukaan kateter. Kebanyakan pasien akan terinfeksi setelah 1-2 minggu pemasangan kateter. Penyebab paling utama adalah kontaminasi tangan atau sarung tangan ketika pemasangan dilakukan, atau air yang

digunakan untuk membesarkan balon kateter. Dapat juga karena sterilisasi yang gagal dan teknik septik dan aseptik yang kurang baik.

c. *Endotracheal tube* (ET)

Komplikasi paling umum yang terjadi pada pasien dengan *endotracheal intubation* jangka panjang adalah infeksi pneumonia terkait rumah sakit. Penggunaan biomaterial sebagai *life-support* dan monitoring pasien kritis sangat esensial, tapi penggunaannya dapat meningkatkan risiko infeksi nosokomial. Berbagai macam plastik digunakan pada alat yang mendukung *life-support* dan monitoring. *Polyvinylchlorida* (PVC) yang merupakan bahan dari Endotracheal tube adalah salah satu bahan yang paling mudah untuk terjadi adhesi bakteri.

4. Lingkungan

Lingkungan rumah sakit yang tidak bersih juga dapat menyebabkan infeksi nosokomial, sebab mikroorganisme penyebab infeksi dapat tumbuh dan berkembang pada lingkungan yang kotor dan lembab. Mikroorganisme penyebab infeksi berperan dalam kontaminasi dan penularan di lingkungan rumah sakit (King et al., 2013). Mikroorganisme di udara yang terdapat di lingkungan menjadi salah satu faktor yang berpotensi menyebabkan terjadinya infeksi di lingkungan rumah sakit (Harper et al., 2013).

5. Minuman/makanan

6. Penderita lain

Keberadaan penderita lain dalam satu kamar atau ruangan atau bangsal perawatan dapat merupakan sumber penularan.

7. Pengunjung atau keluarga

Pengunjung dapat menyebarkan infeksi yang didapat dari luar ke dalam lingkungan rumah sakit, atau sebaliknya, yang dapat ditularkan dari dalam rumah sakit ke luar rumah sakit.

8. Lama pemakaian antibiotik

Di ruang rawat intensif, dimana penggunaan antibiotik lebih sering dan dalam dosis tinggi dibandingkan dengan area lainnya di rumah sakit, resistensi antibiotik menjamin eksistensi beberapa patogen yang mengakibatkan infeksi terkait rumah sakit. Meningkatnya resistensi bakteri dapat meningkatkan angka mortalitas terutama terhadap pasien yang *immunocompromised*. Penggunaan antibiotik spektrum luas di ruang rawat intensif lebih sering

dibandingkan ruangan lain, hal ini menjadi faktor yang sangat berpengaruh terhadap terjadinya resistensi antibiotika.

Studi mengatakan bahwa pemberian antibiotik yang tidak adekuat merupakan faktor yang berpengaruh terhadap terjadinya resistensi antibiotika. Penggunaan antibiotik yang terus-menerus ini meningkatkan multiplikasi dan penyebaran strain yang resisten. Penyebab utamanya karena penggunaan antibiotik yang tidak sesuai dan tidak terkontrol, dosis antibiotik yang tidak optimal, terapi dan pengobatan menggunakan antibiotik yang terlalu singkat.

9. Kebijakan rumah sakit

Kebijakan rumah sakit merupakan hal yang tidak kalah penting dalam penyebaran infeksi terkait rumah sakit. Kebijakan ini mengikat para klinisi kesehatan dengan aturan-aturan tertentu sebelum melakukan intervensi medis kepada pasien yang tentunya harus dipatuhi. Salah satu contoh yang paling penting adalah perilaku cuci tangan karena tangan merupakan sumber utama penularan infeksi terkait rumah sakit. Perilaku mencuci tangan pada para klinisi kesehatan yang kurang adekuat akan memindahkan organisme – organisme bakteri patogen secara langsung kepada pasien yang akan menyebabkan infeksi terkait rumah sakit.

10. Ulkus Dekubitus

Ulkus dekubitus atau luka tekan adalah kerusakan jaringan yang terlokalisir yang disebabkan karena adanya kompresi jaringan lunak diatas tulang menonjol (body prominence) dan adanya tekanan dari luar dalam jangka waktu yang lama. Kompresi jaringan tersebut akan menyebabkan gangguan suplai darah pada daerah yang tertekan. Apabila ini berlangsung lama, maka dapat menyebabkan insufisiensi aliran darah, anoksia atau iskemik jaringan dan akhirnya dapat mengakibatkan kematian sel. Kerusakan struktur anatomis dan fungsi kulit normal ini tidak sembuh dengan urutan dan waktu biasa.

2.2.5. Penyebab HAIs

Terdapat banyak patogen berbeda yang dapat menyebabkan HAIs yaitu, bakteri, virus, parasit dan fungi. Patogen ini memiliki karakteristik yang unik dan bervariasi dalam menginfeksi bergantung pada lokasi fasilitas kesehatan, pengaturan perawatan kesehatan dan populasi pasien (Sikora, 2022).

1. Bakteri

- *Commensal bacteria*: Bakteri ini merupakan flora normal yang terdapat di dalam tubuh manusia yang sehat, dan dapat dikatakan sebagai pelindung tubuh yang cukup signifikan. Bakteri ini berperan untuk mencegah kolonisasi dari mikroorganisme patogen. Beberapa bakteri komensal dapat menyebabkan infeksi jika faktor *host* terganggu. Sebagai contoh, *coagulase-negative staphylococci*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus sp.*, dan *Escherichia coli* merupakan penyebab umum dari infeksi saluran kemih (Sikora, 2022).
- *Pathogenic bacteria*: Bakteri ini memiliki tingkat virulensi yang tinggi dan dapat menyebabkan infeksi baik sporadik ataupun epidemik. Beberapa contohnya adalah:
 - Bakteri bentuk batang gram positif, misalnya *Clostridium*, menyebabkan gangrene
 - Bakteri gram positif (*Staphylococcus aureus*), yang berkolonisasi di kulit dan hidung baik pada staff rumah sakit maupun pada pasien merupakan penyebab berbagai penyakit paru, tulang, jantung, dan pembuluh darah. Bakteri ini juga sering resisten terhadap antibiotika.
 - Bakteri gram negatif (*Enterobacteriaceae*), seperti *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Proteus*, *Escherichia coli*, dan *Serratia marcescens*, akan berkolonisasi saat pertahanan tubuh menurun dan menyebabkan infeksi serius, terutama luka operasi dan infeksi perineum.
 - Organisme gram negatif seperti *Pseudomonas spp.* sering terisolasi dalam air dan tempat yang lembab, dan dapat menginfeksi saluran pencernaan pasien rawat inap.
 - Bakteri lainnya yang merupakan penyebab infeksi di rumah sakit misalnya *Legionella sp.* yang merupakan penyebab pneumonia baik sporadik maupun endemik melalui inhalasi aerosol yang mengandung air yang telah terkontaminasi, misalnya pada AC, shower, bahkan pada terapi yang menggunakan aerosol.

2. Virus

Infeksi virus dilaporkan terjadi sekitar 1-5 % pada kasus HAIs, (Aitken, 2001) diantaranya virus hepatitis B dan C dan HIV dengan media penularan dari transfusi, dialisis, suntikan dan endoskopi (Ganczak, 2008; Sikora, 2022). *Respiratory syncytial virus* (RSV), rotavirus, dan enterovirus yang ditularkan

lewat kontak tangan ke mulut maupun fecal-oral. Rute penularan untuk virus sama seperti mikroorganisme lainnya, seperti melalui traktus gastrointestinal, traktus respiratorius, kulit dan darah. Virus lain yang sering menyebabkan infeksi nosokomial adalah *cytomegalovirus*, ebola, virus influenza, virus herpes simplex, dan virus varicella-zoster (Sikora, 2022).

3. Jamur

Infeksi akibat jamur biasanya berhubungan dengan infeksi oportunistik pada pasien dengan imunokompromais dan pasien dengan Riwayat pemasangan divice seperti *central line cateter* dan kateter urin. Beberapa spesies *Candida* seperti *C.albicans*, *C. Parapsiliosis* dan *C.glabrata* merupakan organisme yang paling sering ditemukan terkait kondisi HAIs. *Aspergillus fumigatus* juga dilaporkan paling banyak ditemukan melalui kontaminasi udara. telah berulang kali menyebabkan wabah di fasilitas kesehatan (Sikora, 2022).

2.2.5 Pengendalian HAIs

1. Kebijakan Pengendalian dan Pencegahan Infeksi di Rumah Sakit

Penyakit infeksi terkait pelayanan kesehatan atau *Healthcare Associated Infection* (HAIs) merupakan salah satu masalah kesehatan di berbagai negara di dunia, termasuk Indonesia. Pencegahan dan Pengendalian Infeksi merupakan upaya untuk memastikan perlindungan kepada setiap orang terhadap kemungkinan tertular infeksi dari sumber masyarakat umum dan disaat menerima pelayanan kesehatan pada berbagai fasilitas kesehatan (Permenkes, 2017).

Berdasarkan sumber infeksi, maka infeksi dapat berasal dari masyarakat/komunitas (*Community Acquired Infection*) atau dari rumah sakit (*Healthcare-associated infection/HAIs*). HAIs telah diperluas pengertiannya yaitu infeksi tidak hanya berasal dari rumah sakit, tetapi juga dari fasilitas pelayanan kesehatan lainnya yang dapat terjadi bukan hanya pada pasien namun juga kepada petugas kesehatan dan pengunjung yang tertular pada saat berada di dalam lingkungan fasilitas pelayanan kesehatan (Permenkes, 2017).

2. Program PPI

Pelaksanaan pencegahan dan pengendalian infeksi di fasilitas kesehatan bertujuan untuk melindungi pasien serta petugas kesehatan, pengunjung serta masyarakat dalam lingkungan dengan cara memutus rantai penularan siklus

infeksi melalui kewaspadaan standar dan kewaspadaan berdasarkan transmisi (Permenkes, 2017).

CDC dan HICPAC merekomendasikan 11 (sebelas) komponen utama yang harus dilaksanakan dan dipatuhi dalam kewaspadaan standar, yaitu kebersihan tangan, Alat Pelindung Diri (APD), dekontaminasi peralatan perawatan pasien, kesehatan lingkungan, pengolahan limbah, penatalaksanaan linen, perlindungan kesehatan petugas, penempatan pasien, hygen respirasi/ etika batuk dan bersin, praktik menyuntik yang aman dan praktik lumbal punksi (Permenkes, 2017).

1. Kewaspadaan Standar

Terdapat 11 (sebelas) kewaspadaan standar yang harus di terapkan di semua fasilitas pelayanan kesehatan, yaitu:

b) Kebersihan Tangan

Kebersihan tangan dilakukan dengan mencuci tangan menggunakan sabun dan air mengalir bila tangan jelas kotor atau terkena cairan tubuh, atau menggunakan alkohol (*alcohol-based handrubs*) bila tangan tidak tampak kotor. Kuku petugas harus selalu bersih dan terpotong pendek, tanpa kuku palsu, tanpa memakai perhiasan cincin.

c) Alat Pelindung Diri (APD)

Alat pelindung diri adalah pakaian khusus atau peralatan yang di pakai petugas untuk memproteksi diri dari bahaya fisik, kimia, biologi/bahan infeksius. APD terdiri dari sarung tangan, masker/*Respirator Partikulat*, pelindung mata (*goggle*), perisai/pelindung wajah, kap penutup kepala, gaun pelindung/apron, sandal/sepatu tertutup (*Sepatu Boot*). Tujuan Pemakaian APD adalah melindungi kulit dan membran mukosa dari resiko pajanan darah, cairan tubuh, sekret, ekskreta, kulit yang tidak utuh dan selaput lendir dari pasien ke petugas dan sebaliknya. Indikasi penggunaan APD adalah jika melakukan tindakan yang memungkinkan tubuh atau membran mukosa terkena atau terpercik darah atau cairan tubuh atau kemungkinan pasien terkontaminasi dari petugas. Melepas APD segera dilakukan jika tindakan sudah selesai di lakuka dan tiidak dibenarkan menggantung masker di leher, memakai sarung tangan sambil menulis dan menyentuh permukaan lingkungan. Hal penting lainnya yang harus diperhartikan adalah kapan dan bagaimana masing-masing alat pelindung diri itu digunakan.

d) Dekontaminasi peralatan dan perawatan pasien

Proses dekontaminasi peralatan perawatan pasien dilakukan pada peralatan bekas pakai perawatan pasien yang terkontaminasi darah atau cairan tubuh (*pre-cleaning, cleaning, disinfeksi, dan sterilisasi* sesuai SOP yang berlaku

e) Pengendalian lingkungan

Pengendalian lingkungan di fasilitas pelayanan kesehatan dilakukan dengan upaya memperbaiki kualitas udara, air dan permukaan lingkungan serta desain dan konstruksi bangunan untuk mencegah transmisi kepada pasien, petugas dan pengunjung.

- Kualitas udara: tidak dianjurkan melakukan *fogging* dan sinar ultraviolet untuk kebersihan udara, kecuali dengan *dry mist* dengan H₂O₂ dan penggunaan sinar UV untuk terminal dekontaminasi ruangan pasien yang ditransmisikan melalui *air borne*. Perlunya pembatasan jumlah personil dalam ruangan dengan ventilasi yang memadai.
- Kualitas air: persyaratan kualitas air bersih yang harus dipenuhi terkait bau, rasa, warna, susunan kiawi, dan debitnya sesuai aturan perundangan yang berlaku.
- Permukaan lingkungan: seluruh permukaan lingkungan data, bebas debu, bebas sampah, bebas serangga dan binatang pengganggu dan seharusnya dibersihkan secara terus menerus. Pembersihan permukaan dapat menggunakan larutan klorin 0.05 % atau H₂O₂ 0.5-1.4%, untuk cairan tubuh menggunakan klorin 0.5%.
- Desain dan konstruksi bangunan: beberapa hal yang perlu diperhatikan terkait desain dan konstruksi bangunan antara lain;
- Desain jumlah petugas kesehatan. Perlu memperhatikan jumlah petugas kesehatan disesuaikan dengan jumlah pasien agar mengurangi kelelahan yang dapat mengakibatkan kelalaian.
- Desain ruang rawat. Perhatikan ketersediaan ruang rawat satu pasien untuk isolasi pasien infeksius dan pasien dengan imunitas yang rendah. Jarak antar tempat tidur 1-1.8m, tersedia *Alcohol-Based Hand Rub* dan toilet yang dilengkapi dengan *shower* di setiap kamar mandi.
- Luas ruangan yang tersedia. Ruang rawat pasien disarankan memiliki luas bersih antara 12-16m² per tempat tidur. Pada ruang intensif dengan model kamar individual atau kamar isolasi luasnya 16-20m² dan rasio

kebutuhan tempat duduk di ruang tunggu bagi pengunjung pasien adalah 1 pasien 1-2 tempat duduk.

- Jumlah, jenis pemeriksaan dan prosedur. Kebutuhan ketersediaan peralatan medis dan APD bergantung pada jenis penyakit yang ditangani. Lokasi dan tempat penyimpanan alat medis dan APD harus mudah dijangkau, bersih dan steril.
- Persyaratan teknis komponen lantai, dinding dan langit-langit.
- Air, listrik dan sanitasi. Air dan listrik di rumah sakit harus tersedia terus menerus selama 24 jam. Air minum harus memenuhi standar mutu dan diperiksa secara teratur dan rutin setiap bulan sekali. Kebutuhan yang digunakan di unit khusus (Bedah, HCU, ICU) harus menggunakan metode *Reverse Osmosis* untuk mencegah perkembangan mikroba lingkungan seperti *Legionella sp.*, *Pseudomonas*, jamur, dll. Toilet dan wastafel harus dibersihkan setiap hari.
- Ventilasi dan kualitas udara. Lingkungan perawatan pasien diupayakan seminimal mungkin kandungan partikel debu, kuman dan spora dengan menjaga kelembaban dan pertukaran udara. Ruang perawatan minimal 6X pergantian udarajam, ruang isolasi minimal 12X/jam dan ruang kamar operasi minimal 20X/jam. Sistem ventilasi yang baik menjamin terjadinya pertukaran udara dari dan ke dalam Gedung yang memadai sehingga konsentrasi droplet nuclei menurun. Dikenal ada beberapa jenis jenis ventilasi, yaitu:
 - o Ventilasi alamiah: yang mana sistem ini mengandalkan pada pintu dan jendela yang terbuka, serta *skylight* untuk mengalirkan udara dari dan ke dalam gedung dengan menciptakan aliran udara silang (*cross ventilation*) dan arah angin yang tidak membahayakan pasien atau petugas kesehatan.
 - o Ventilasi mekanik: sistem ini menggunakan peralatan mekanik untuk mengalirkan dan mensirkulasi udara di dalam ruangan secara paksa untuk menyalurkan/menyedot udara ke arah tertentu sehingga terjadi tekanan negatif dan tekanan positif termasuk *exhaust fan*, kipas angin berdiri (*standing fan*) atau duduk.
 - o Ventilasi campuran (*hybrid*) merupakan sistem ventilasi alamiah ditambah dengan penggunaan peralatan mekanik untuk menamnah efektifitas penyaluran udara. Pemilihan jenis ventilasi udara

bergantung pada jenis fasilitas dan keadaan setempat. Pertimbangan sistem ventilasi yang akan digunakan juga berdasarkan kondisi lokal fasyankes berupa struktur bangunan, iklim-cuaca, peraturan bangunan, budaya, dana dan kualitas udara luar. Perlu dilakukan monitoring dan pemeliharaan secara periodik. Sistem ventilasi campuran dengan pemasangan *exhaust fan* atau kipas angin dengan benar dapat membantu untuk mendapatkan dilusi yang lebih adekuat. Jenis ventilasi mekanik yang akan digunakan disesuaikan dengan kebutuhan yang ada dan diletakkan di tempat yang tepat. Tidak dianjurkan memasang kipas angin pada langit-langit (*ceiling fan*), untuk kipas angin yang diletakan berdiri atau di atas meja dapat digunakan pada PPI TB dengan arah dari petugas kesehatan ke pasien. Pemasangan *exhaust fan* dapat langsung menyedot udara keluar sehingga meningkatkan ventilasi yang sudah ada. Sistem ini dilengkapi dengan saluran udara keluar dan harus dibersihkan secara teratur.

- f) Pengelolaan alat medis *reused* dan *disposable*. Pengelolaan sebaiknya terpisah, pemasangan infus dan suntikan sebaiknya dilakukan di ruangan bersih dan terpisah dari ruangan prosedur. Harus tersedia ruangan sterilisasi alat medis yang tersimpan di lemari atau wadah tertutup dan bebas debu dan kuman. Alat *disposable* tidak boleh diproses atau dicuci tetapi langsung dibuang di tempat sampah sesuai jenis limbahnya main infeksius maupun non infeksius.
- g) Pengelolaan makanan. Sebaiknya dilakukan oleh tenaga terlatih, semua permukaan di dapur harus mudah untuk dibersihkan dan tidak menimbulkan tumbuhnya jamur. Tempat penyimpanan makanan basah dan kering harus memenuhi syarat penyimpanan bahan makanan yang baik yaitu tidak menempel ke lantai maupun dinding. Makanan harus higienis dan siap dikonsumsi pasien.
- h) Pengelolaan limbah.
Dalam pengelolaan limbah perlu diperhatikan risiko, jenis, tujuan, dan proses pengelolaan limbah. Proses pengelolaan limbah perlu memperhatikan jenis dan bagaimana memisahkan limbah yang dihasilkan. Limbah medis dapat berbentuk padat, cair dan gas yang terdiri dari benda tajam, limbah infeksius, limbah patologi, limbah sitotoksik, limbah tabung

bertekanan, limbah genotoksik, limbah farmasi, limbah dengan kandungan logam berat, limbah kimi dan limbah radioaktif.

i) Penatalaksanaan linen

Linen terdiri dari linen kotor dan linen terkontaminasi. Linen terkontaminasi adalah linen yang terkena darah atau cairan tubuh termasuk benda tajam. Penatalaksanaan linen yang sudah digunakan harus dilakukan dengan hati-hati mencakup penggunaan APD yang sesuai dan membersihkan tangan secara teratur.

j) Perlindungan kesehatan petugas

Pemeriksaan kesehatan berkala terhadap semua petugas tenaga kesehatan maupun nonkesehatan sebaiknya perlu diperhatikan. Terutama dalam penatalaksanaan kecelakaan kerja akibat benda tajam bekas pakai pasien. Perlu pelaporan yang sistematis sehingga penanganan yang dilakukan pun sesuai dengan SOP tatalaksana pajanan bahan infeksius di tempat kerja yang berlaku untuk mencegah terjadinya infeksi yang tidak diinginkan.

k) Penempatan pasien

- Tempatkan pasien infeksius terpisah dengan pasien noninfeksius
- Penempatan pasien secara terpisah disesuaikan dengan pola transmisi infeksi penyakit pasien (kontak, droplet, airborne).
- Bila tidak tersedia ruangan tersendiri, maka sebaiknya pertimbangkan merawat sesuai dengan jenis infeksiunya dengan menerapkan sistem *cohorting* dengan jarak antar tempat tidur minimal 1 meter.
- Pasien yang tidak dapat menjaga kebersihan diri sebaiknya dipisahkan tersendiri.

l) Kebersihan pernapasan/etika batuk dan bersin

Fasilitas pelayanan kesehatan seharusnya menyediakan sarana cuci tangan seperti wastafel dengan air mengalir, tisu, sabun cair, tempat sampah infeksius dan masker bedah. Lakukan edukasi baik melalui audio visual, *leaflet*, poster, *banner*, atau video di TV ruang tunggu.

- Praktik menyuntik yang aman

Penggunaan spuit dan jarum suntik steril sekali pakai, juga penggunaan vial *multidose* untuk mencegah timbulnya kontaminasi mikroba saat obat dipakai pada pasien lain. Perhatikan untuk membuang spuit dan jarum suntik bekas ke tempat yang benar.

- Praktik lumbal punksi yang aman.
Semua petugas harus memakai masker bedah, gaun bersih, sarung tangan steril saat akan melakukan tindakan lumbal pungsi, anestesi spinal/epidural/pasang kateter vena sentral. Penggunaan masker bedah pada petugas dibutuhkan agar tidak terjadi droplet flora orofaring yang dapat menimbulkan meningitis bakterial.

2. Kewaspadaan Berdasarkan Transmisi

Kewaspadaan berdasarkan transmisi dilaksanakan sebelum pasien didiagnosis dan setelah terdiagnosis jenis infeksi. Jenis kewaspadaan berdasarkan transmisi sebagai berikut:

a) Melalui kontak

Kewaspadaan ini bertujuan untuk menurunkan risiko timbulnya HAIs terutama risiko transmisi mikroba secara epidemiologi akibat kontak langsung maupun tidak langsung. Kontak langsung meliputi kontak dengan permukaan kulit yang terbuka dengan kulit yang terinfeksi atau kolonisasi. Transmisi kontak tidak langsung adalah kontak dengan cairan sekresi pasien terinfeksi yang ditransmisikan melalui tangan petugas yang belum dicuci atau benda mati di lingkungan pasien.

b) Melalui droplet

Transmisi droplet terjadi ketika partikel droplet berukuran $>5 \mu\text{m}$ yang dikeluarkan pada saat batuk, bersin, muntah, bicara, selama prosedur *suction*, bronkhoskopi, melayang di udara dan akan jatuh dalam jarak $<2 \text{ m}$ dan mengenai mukosa atau konjungtiva. Untuk itu dibutuhkan APD atau masker yang memadai, bila memungkinkan dengan masker 4 lapis atau yang mengandung pembunuh kuman (*germ decontaminator*). Jenis transmisi percikan ini dapat terjadi pada kasus antara lain *common cold*, *respiratory syncytial virus* (RSV), Adenovirus, H5N1, H1N1.

c) Melalui udara (*Airborne Precaution*)

Transmisi melalui udara secara epidemiologi dapat terjadi bila seseorang menghirup percikan partikel nuklei yang berdiameter $1-5 \mu\text{m}$ ($<5 \mu\text{m}$) yang mengandung mikroba penyebab infeksi. Mikroba tersebut akan terbawa aliran udara $>2 \text{ m}$ dari sumber, dapat terhirup oleh individu rentan di ruang yang sama atau yang jauh dari sumber mikroba. Penting mengupayakan pertukaran udara $>12 \text{ x/jam}$ (*12 Air Changes per Hour/ACH*).

d) Melalui *common vehicle* (makanan, air, obat, alat, dan peralatan)

- e) Melalui vektor (lalat, nyamuk, tikus)

2.3. Udara Ruang Operasi, ICU, dan Ruang Bersalin.

2.3.1. Standar Mutu Ruang Operasi, ICU, dan Ruang Bersalin

Standar baku mutu mikrobiologi udara menjamin kualitas udara ruangan memenuhi ketentuan angka kuman dengan indeks angka kuman untuk setiap ruang/unit seperti berikut:

Tabel 2.2 Standar Baku Mutu Mikrobiologi Udara

No.	Ruang	Konsentrasi Maksimum Mikroorganisme (cfu/m ³) Per m ³ Udara (CFU/m ³)
1	Ruang operasi kosong	35
2	Ruang operasi dengan aktifitas	180
3	Ruang operasi <i>ultraclean</i>	10

Sumber: Permenkes RI, 2019

Tabel 2.3 Indeks Angka Kuman Menurut Fungsi Ruang atau Unit (KMK RI, 2004).

No.	Ruang atau Unit	Konsetrasi Maksimum Mikroorganisme per m ³ Udara (CFU/m ³)
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

Pemerikasn jumlah mikroba udara menggunakan alat pengumpul udara (*air sampler*), diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Jumlah mikroba (cfu/m}^3\text{)} = \frac{\text{Jumlah koloni} \times 10^3}{\text{Kecepatan aliran (air flow rate) x waktu dalam menit}}$$

2.3.2. Standar Baku Mutu Parameter Fisik Udara

Standar baku mutu parameter fisik untuk udara menjamin kualitas udara ruangan memenuhi ketentuan suhu dan kelembaban sesuai dengan jenis ruangan, berdasarkan tabel sebagai berikut (Permenkes RI, 2019):

Tabel 2.4 Standar Baku Mutu Suhu, Kelembaban, dan Tekanan Udara menurut Jenis Ruang

No.	Ruang/Unit	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Tekanan
1	Operasi	22-27	40-60	Positif
2	Bersalin	24-26	40-60	Positif
3	Pemulihan/Perawatan	22-23	40-60	Seimbang
4	Observasi bayi	27-30	40-60	Seimbang
5	Perawatan bayi	32-34	40-60	Seimbang
6	Perawatan	32-34	40-60	Positif
7	ICU	22-23	40-60	Positif
8	Jenazah/Autopsi	21-24	40-60	Negatif
9	Penginderaan medis	21-24	40-60	Seimbang
10	Laboratorium	20-22	40-60	Negatif
11	Radiologi	17-22	40-60	Seimbang
12	Sterilisasi	21-30	40-60	Negatif
13	Dapur	22-30	40-60	Seimbang
14	Gawat darurat	20-24	40-60	Positif
15	Administrasi	20-28	40-60	Seimbang
16	Ruang luka bakar	24-26	40-60	Positif

Sumber: Permenkes RI, 2019

2.3.3. Persyaratan Kesehatan Udara

Kondisi kualitas udara ruang dan kegiatan di ruang bangunan dan halaman di rumah sakit berpotensi menyebabkan penularan penyakit. Untuk itu, ruang bangunan dan halaman di rumah sakit harus memenuhi persyaratan kesehatan kualitas udara ruang sebagai berikut (Permenkes RI, 2019):

- a. Pemeliharaan kualitas udara ruangan rumah sakit untuk menjamin agar udara tidak berbau (terutama bebas dari H₂S dan amoniak) dan tidak mengandung debu asbestos.
- b. Persyaratan pencahayaan ruang rumah sakit sebagai berikut:
 1. Lingkungan rumah sakit dalam maupun luar ruangan harus mendapat cahaya dengan intensitas yang cukup berdasarkan fungsinya.
 2. Semua ruang yang digunakan baik untuk bekerja ataupun untuk menyimpan barang atau peralatan perlu diberikan penerangan.
 3. Ruang pasien atau bangsal harus disediakan penerangan umum dan penerangan untuk malam hari dan disediakan saklar dekat pintu masuk,

saklar individu di tempatkan pada titik yang mudah dijangkau dan tidak menimbulkan berisik.

4. Pengukuran pencahayaan ruangan dapat dilakukan secara mandiri menggunakan peralatan ukur kesehatan lingkungan, atau dapat dilakukan oleh alat ukur dari laboratorium luar yang telah memiliki akreditasi nasional (KAN).

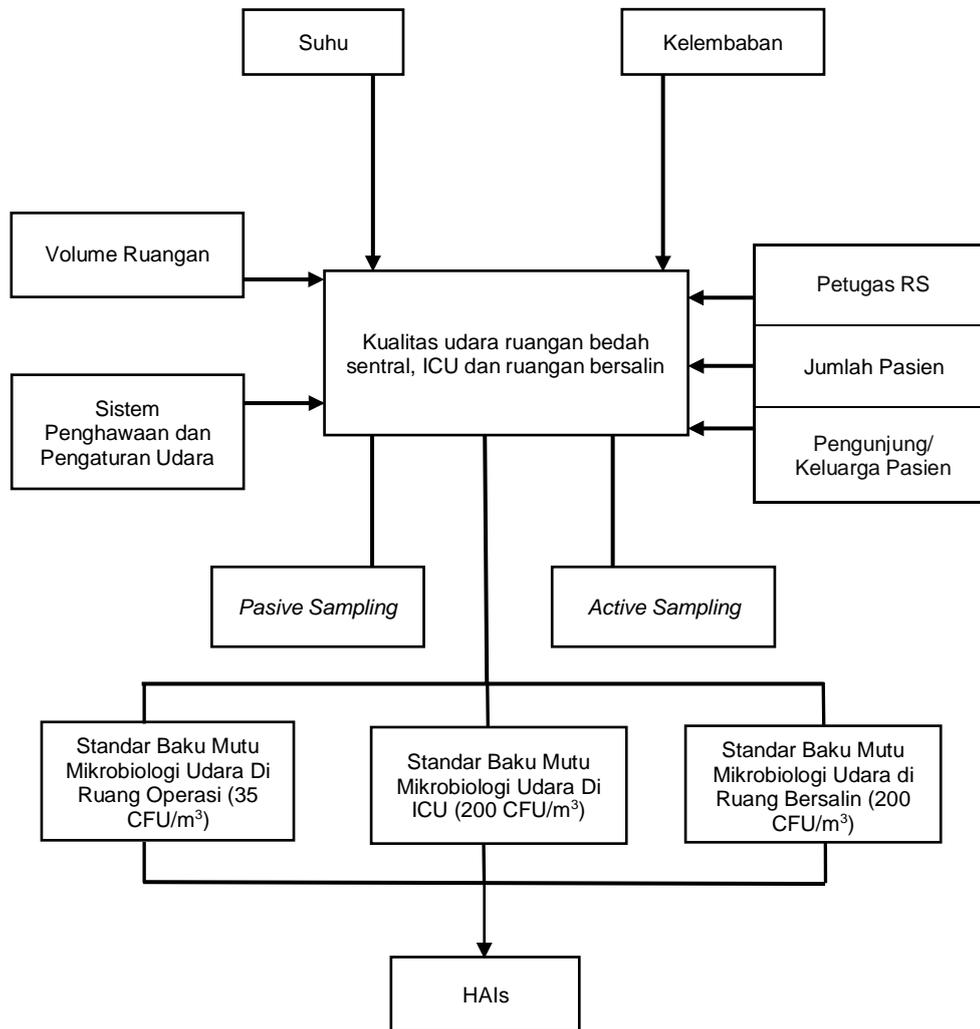
c. Penghawaan dan pengaturan udara ruangan

Penghawaan ruang bangunan adalah aliran udara di dalam ruang bangunan yang memadai untuk menjamin kesehatan penghuni ruangan. Persyaratan penghawaan untuk masing-masing ruang sebagai berikut:

1. Ruang-ruang tertentu seperti ruang operasi, perawatan bayi, laboratorium, perlu mendapat perhatian yang khusus karena sifat pekerjaan yang terjadi di ruang-ruang tersebut.
2. Ventilasi ruang operasi dan ruang isolasi pasien dengan imunitas menurun harus dijaga pada tekanan lebih positif sedikit (minimum 0,10 mbar) dibandingkan dengan ruang-ruang lain di rumah sakit.
3. Ventilasi ruang isolasi penyakit menular harus dijaga pada tekanan lebih negatif dari lingkungan luar.
4. Pengukuran suhu, kelembaban, aliran dan tekanan udara ruangan dapat dilakukan secara mandiri menggunakan peralatan ukur kesehatan lingkungan yang sesuai, atau dapat dilakukan oleh alat ukur dari laboratorium luar yang telah terakreditasi nasional.
5. Ruangan yang tidak menggunakan AC, maka pengaturan sirkulasi udara segar dalam ruangan harus memadai dengan mengacu pada Pedoman Sarana dan Prasarana Rumah Sakit atau Standar Nasional Indonesia.
6. Penghawaan atau ventilasi di rumah sakit harus mendapat perhatian yang khusus, terutama untuk ruangan tertentu misalnya ruang operasi, ICU, kamar isolasi dan ruang steril. Ruang-ruang tersebut harus dilengkapi dengan *HEPA filter*. Jika menggunakan sistem pendingin, hendaknya dipelihara dan dioperasikan sesuai buku petunjuk, sehingga dapat menghasilkan suhu, aliran udara, dan kelembaban yang nyaman bagi pasien dan karyawan. Untuk rumah sakit yang menggunakan pengatur udara sentral harus diperhatikan cooling tower-nya agar tidak menjadi perindukan bakteri *Legionella* dan untuk AHU (*Air Handling Unit*) filter udara harus dibersihkan dari debu dan bakteri atau jamur.

7. Suplai udara dan *exhaust* hendaknya digerakkan secara mekanis, dan *exhaust fan* hendaknya diletakkan pada ujung sistem ventilasi.
8. Ruang dengan volume 100m³ sekurang-kurangnya 1 (satu) fan dengan diameter 50 cm dengan debit udara 0,5 m³/detik, dan frekuensi pergantian udara perjam adalah 2 (dua) sampai dengan 12 kali.
9. Pengambilan suplai udara dari luar, kecuali unit ruang individual, hendaknya diletakkan sejauh mungkin, minimal 17,50 meter dari *exhauster* atau perlengkapan pembakaran.
10. Tinggi intake minimal 10,9 meter dari atap.
11. Sistem hendaknya dibuat keseimbangan tekanan.
12. Suplai udara untuk daerah sensitif: ruang operasi, perawatan bayi, diambil dekat langit-langit dan *exhaust* dekat lantai, hendaknya disediakan 2 (dua) buah *exhaust fan* dan diletakkan minimal 7,50 cm dari lantai.
13. Suplai udara di atas lantai.
14. Suplai udara koridor atau buangan *exhaust fan* dari tiap ruang hendaknya tidak digunakan sebagai suplai udara kecuali untuk suplai udara ke WC, toilet, dan gudang.
15. Ventilasi ruang-ruang sensitif hendaknya dilengkapi dengan saringan 2 bed. Saringan I dipasang di bagian penerimaan udara dari luar dengan efisiensi 30% dan saringan II (filter bakteri) dipasang 90%. Untuk mempelajari sistem ventilasi sentral dalam gedung hendaknya mempelajari khusus *central air conditioning system*.
16. Penghawaan alamiah, lubang ventilasi diupayakan sistem silang (*cross-ventilation*) dan dijaga agar aliran udara tidak terhalang.
17. Penghawaan ruang operasi harus dijaga agar tekanannya lebih tinggi dibandingkan ruang-ruang lain dan menggunakan cara mekanis (*air conditioner*).
18. Penghawaan mekanis dengan menggunakan *exhaust fan* atau *air conditioner* dipasang pada ketinggian minimum 2,00 meter di atas lantai atau minimum 0,20 meter dari langit- langit.
19. Untuk mengurangi kadar kuman dalam udara ruang (*indoor*) harus didisinfeksi menggunakan bahan dan metode sesuai ketentuan.
20. Pemantauan kualitas udara ruang minimum 2 (dua) kali setahun dilakukan pengambilan sampel dan pemeriksaan parameter kualitas udara (kuman, debu, dan gas).

2.4. Kerangka Teori



Gambar 2.4 Kerangka Teori