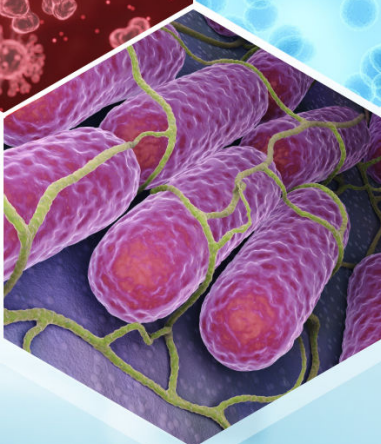
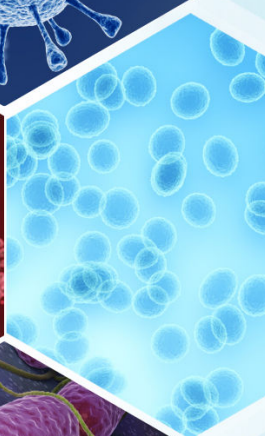
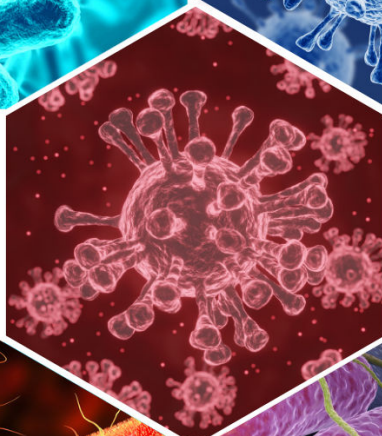
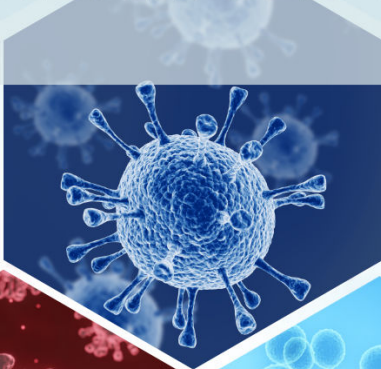




MIKROBIOLOGI-VIROLOGI



Penulis :

Dewi Ratih Tirto Sari, David Soputra, Adhistry Nurpermatasari,
Ika Kurnia Sukmawati, Arti Wahyu Utami, Juvita Herdianty,
Luluk Aniqoh Meliana Putri, Sri Hainil

MIKROBIOLOGI-VIROLOGI

**Dewi Ratih Tirto Sari
David Soputra
Adhisty Nurpermatasari
Ika Kurnia Sukmawati
Arti Wahyu Utami
Juvita Herdianty
Luluk Aniqoh Meliana Putri
Sri Hainil**



PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

MIKROBIOLOGI-VIROLOGI

Penulis :

Dewi Ratih Tirto Sari
David Soputra
Adhisty Nurpermatasari
Ika Kurnia Sukmawati
Arti Wahyu Utami
Juvita Herdianty
Luluk Aniqoh Meliana Putri
Sri Hainil

ISBN : 978-623-198-460-9

Editor : Dr. Neila Sulung, N.S., S.Pd., M.Kes.

Penyunting: Mila Sari, M.Si.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

Penerbit : PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tengah
Padang Sumatera Barat
Website : www.globaleksekuatifteknologi.co.id
Email : globaleksekuatifteknologi@gmail.com

Cetakan pertama, Juli 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Mikrobiologi-Virologi dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini berisikan tentang perbedaan fungi, alga, lichen dan protozoa, sintesis protein dan pertukaran genetik pada mikroorganisme, sterilisasi fisik dan kimia, konsep dan resistensi antibiotik, mekanisme patogenitas mikroorganisme, pemanfaatan mikroorganisme sebagai indikator uji, faktor-faktor yang mempengaruhi kerusakan produk obat dan makanan serta proses pencegahannya, perbedaan bakteri gram positif dan gram negatif.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Padang, Juli 2023
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
BAB 1 PERBEDAAN FUNGI, ALGA, LICHEN DAN PROTOZOA	1
1.1 Fungi	1
1.2 Alga	7
1.3 Lichen	11
1.4 Protozoa	13
DAFTAR PUSTAKA	15
BAB 2 SINTESIS PROTEIN DAN PERTUKARAN GENETIK PADA MIKROORGANISME	21
2.1 Pendahuluan	21
2.2 Struktur DNA	22
2.3 Biosintesis Protein	26
2.3.1 Transkripsi pada sel bakteri	26
2.3.2 Proses translasi pada sel bakteri	28
2.4 Pertukaran Genetik	33
2.4.1 Konjugasi	34
2.4.2 Transformasi	36
2.4.3 Transduksi	37
DAFTAR PUSTAKA	40
BAB 3 STERILISASI FISIK DAN KIMIA	43
3.1 Pendahuluan	43
3.2 Memahami Konsep Disinfeksi, Sterilisasi, dan Aseptik	43
3.3 Sterilisasi	46
3.3.1 Metode Fisik	47
3.3.1 Metode Kimia	50
DAFTAR PUSTAKA	54
BAB 4 KONSEP DAN RESISTENSI ANTIBIOTIK	55
4.1 Pendahuluan	55
4.2 Definisi Resistensi Antibiotika	56
4.3 Sejarah Resistensi Antibiotika	57
4.4 Penyebab Resistensi Antibiotika	59
4.4.1 Penyebab Resistensi Antibiotik Secara Nonklinik	60
4.4.2 Penyebab Resistensi Antibiotik Secara Klinik	64
4.5 Mekanisme Resistensi Bakteri	67
4.6 Dampak Resistensi Antibiotik	71
DAFTAR PUSTAKA	72
BAB 5 MEKANISME PATOGENITAS MIKROORGANISME	75
5.1 Pendahuluan	75
5.2 Mekanisme masuknya mikroorganisme patogen ke tubuh inang	75
5.1.1 Saluran Pernapasan	75

5.1.2 Saluran Pencernaan.....	76
5.1.3 Kulit dan Rongga Mulut	76
5.2 Mekanisme patogenitas bakteri.....	76
5.3 Mekanisme patogenitas virus	78
5.4 Patogenitas Protozoa	79
DAFTAR PUSTAKA.....	80
BAB 6 PEMANFAATAN MIKROORGANISME SEBAGAI INDICATOR	
UJI.....	81
6.1 Pendahuluan	81
6.2 Mikroorganisme sebagai Indikator Uji Pada Air	82
6.3 Mikroorganisme sebagai Indikator Uji Antibiotik	83
6.3.1. Metode Difusi	83
6.3.2. Metode Dilusi.....	85
6.3.2 Uji Bioautografi.....	86
DAFTAR PUSTAKA.....	89
BAB 7 FAKTOR-FAKTOR YANG YANG MEMPENGARUHI	
KERUSAKAN PRODUK OBAT DAN MAKANAN SERTA	
PROSES PENCEGAHANNYA	91
7.1 Pengertian Kerusakan Makanan.....	91
7.1.1 Tanda Kerusakan pada Sayuran dan Buah-Buahan	92
7.1.2 Tanda Kerusakan pada Ikan	92
7.1.3 Tanda Kerusakan pada Daging dan Olahannya.....	93
7.1.4 Tanda Kerusakan pada Susu serta Olahannya.....	93
7.2 Penggolongan Bahan Makanan	94
7.3 Jenis Kerusakan Makanan.....	94
7.3.1 Kerusakan Biologis	94
7.3.2 Kerusakan Fisiologis	95
7.3.3 Kerusakan Mekanis.....	95
7.3.4 Kerusakan Fisik	95
7.3.5 Kerusakan Kimia	96
7.4 Akibat Kerusakan Makanan	97
7.4.1 Kerusakan Mutu.....	97
7.4.2 Terganggunya Kesehatan.....	97
7.4.3 Kerusakan Nilai Gizi	97
7.5 Pencegahan Kerusakan Makanan.....	98
7.5.1 Perlakuan Penurunan Air (Pengeringan)	98
7.5.2 Perlakuan Panas.....	99
7.5.3 Peralakuan dengan Suhu Rendah (Pendinginan dan Pembekuan).....	99
7.5.4 Perlakuan dengan Bahan Kimia	100
7.6 Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan Mikroba	103
7.6.1 Air	103
7.6.2 Ph.....	103
7.6.3 Suhu	104

7.6.4 Oksigen.....	104
DAFTAR PUSTAKA.....	105
BAB 8 PERBEDAAN BAKTERI GRAM POSITIF DAN GRAM NEGATIF.....	107
8.1 Pendahuluan.....	107
8.2 Perbedaan Struktur Dinding Sel Bakteri.....	107
8.3 Pewarnaan Gram.....	110
8.4 Persamaan dan Perbedaan Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif.....	112
8.5 Kelompok Bakteri Patogen.....	113
DAFTAR PUSTAKA.....	125
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Struktur hifa, A. Hifa sepat, B. Hifa aseptate	3
Gambar 1.2 Jenis-jenis alga, A. Filamen bercabang (<i>Gracillaria</i>), B – C. Talus parenkim (B. <i>Padina</i> , C. <i>Sargassum</i>), D. alga <i>siphonaceous</i> (<i>Halimeda</i>)	8
Gambar 1.3 alga aquatic, a. Mikroalga <i>Spyrogyra</i> , B. Makroalga <i>Caulerpa racemosa</i>	9
Gambar 1.4 Struktur Lichen	13
Gambar 2.1. Struktur DNA yang menunjukkan pasangan basa nitrogennya	22
Gambar 2.2. Proses pembentukan DNA, leading strands dan lagging strands	23
Gambar 2.3. Tahapan transkripsi RNA	26
Gambar 2.4. Proses transkripsi pembentukan mRNA pada inti sel bakteri	28
Gambar 2.5. struktur tRNA dengan bagian-bagiannya	29
Gambar 2.7. Diagram sintesa protein	33
Gambar 2.8. Tahapan konjugasi antara dua bakteri	35
Gambar 2.9. Tahapan transformasi pada bakteri	37
Gambar 2.10. Proses transduksi pada bakteri	38
Gambar 3.1. Macam - macam Metode Sterilisasi	47
Gambar 4.1. Cover Koran The New York Times Oktober 1945	59
Gambar 4.2. Bakteri yang resisten antibiotik	68
Gambar 4.3. Proses transfer gen resisten antibiotik pada bakteri	70
Gambar 6.1. Metode Difusi Cakram dengan zona bening disekitar cakram	84
Gambar 6.2. Metode Difusi Sumuran dengan zona bening disekitar sumuran	85
Gambar 6.3. Metode Dilusi Cair dengan seri pengenceran	86
Gambar 6.4. Uji Bioautografi langsung	87
Gambar 6.5. Metode Bioautografi overlay	88
Gambar 8.1. Komponen Dinding Sel Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif	108
Gambar 8.2. Pewarnaan Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif	112

DAFTAR PUSTAKA

Tabel 2.1. Perbedaan antara DNA dengan RNA	24
Tabel 2.2. Kode triplet mRNA dengan jenis asam aminonya	30
Tabel 4.1. Mekanisme Antimikroba dengan Plasmid	70
Tabel 8.1. Perbedaan Sel Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif.....	109
Tabel 8.1. Klasifikasi Bakteri Berdasarkan Pewarnaan Gram	110
Tabel 8.3. Perbedaan Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif	112

BAB 1

PERBEDAAN FUNGI, ALGA, LICHEN DAN PROTOZOA

Oleh Dewi Ratih Tirto Sari

1.1 Fungi

Fungi berasal dari bahasa latin yang didefinisikan sebagai jamur, dan termasuk lima kingdom dalam sistem klasifikasi. Jumlah spesies yang telah teridentifikasi dalam kingdom fungi mencapai lebih dari 135.000 spesies. Fungi termasuk eukariot, yang ditandai dengan adanya membran plasma yang menyelubungi organel sel. Jamur yang termasuk dalam kingdom fungi ini antarlain jamur makroskopis dan mikroskopis, baik yang dapat dikonsumsi (*edible mushroom*), jamur patogen, jamur penghasil antibiotik, dan jamur yang mengandung toksin (Bloch & Ghosh, 2023; de Paz et al., 2023).

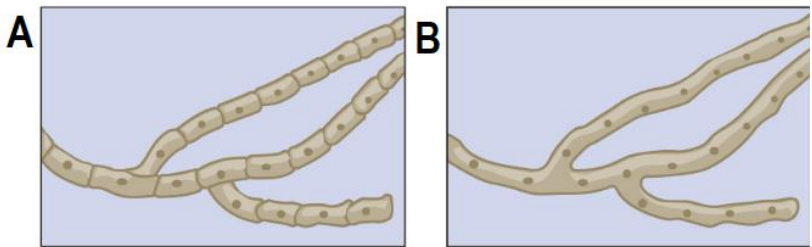
Jamur secara morfologi menunjukkan kemiripan dengan tanaman. Namun secara genetik, jamur memiliki berkerabat dekat dengan hewan. Selain itu, jamur bersifat heterotrop, karena tidak mengandung klorofil atau zat hijau daun sehingga tidak dapat fotosintesis. Jamur mendapatkan nutrisi dari hasil penguraian senyawa organik kompleks sebagai sumber karbon dan energi, sehingga fungi disebut sebagai organisme saprofit. Dinding sel fungi bersifat rigid dan mengandung glukukan dan kitin, yang merupakan polisakarida kompleks. Kitin juga dapat ditemukan pada cangkang udang, kerang, dan organisme laut. Membran sel fungi terdiri atas ergosterol. Sel fungi dapat bersifat uniseluler atau multiseluler, tergantung lingkungan

tumbuhnya. Selain itu, fungi juga dapat bersifat dimorfik, yakni dapat merubah dirinya dari uniseluler menjadi multiseluler atau sebaliknya. Beberapa organisme fungi yang uniseluler diantaranya *Saccharomycess cerevisiae* dan *Candida albicans*. *Saccharomycess cerevisiae* dapat ditemukan pada ragi tape dan roti. Sedangkan *Candida albicans* merupakan fungi patogen yang menyebabkan infeksi organ reproduksi. Sebagian besar fungi merupakan organisme multiseluler dengan dua tahap morfologi yakni vegetatif dan generatif. Fase vegetatif fungi merujuk pada organ vegetatif fungi, sedangkan generatif merujuk pada organ yang berfungsi sebagai organ reproduksi. Fungi dapat tumbuh dengan subur ketika berada di lingkungan yang lembab dan sedikit asam, selain itu juga dapat tumbuh di lingkungan yang kurang cahaya atau kurang oksigen (de Paz et al., 2023; Dufossé, 2023; Mukherjee & Ghorai, 2023).

Fungi memiliki tubuh yang disebut sebagai talus. Talus fungi yang memiliki bentuk ramping memanjang disebut hifa. Kumpulan dari hifa disebut miselium. Hifa berbentuk seperti tabung yang memanjang tanpa sekat atau bersekat, dengan sel terdiri dari sitoplasma. Sekat hifa berasal dari dinding sel yang disebut sebagai septa. Hifa yang bersekat memiliki lebih dari satu inti sel, sedangkan hifa yang tidak bersekat cenderung memiliki satu inti sel yang disebut sebagai sel senositik. Hifa jenis ini yang tidak bersekat juga disebut sebagai *incomplete – hyphae* dan fungi primitif (Cañete-Gibas et al., 2023; Mukherjee & Ghorai, 2023).

Struktur sel fungi terdiri atas dinding sel yang bervariasi, beberapa dinding sel fungi rigid, dan beberapa lunak seperti cendawan. Komposisi kimia dinding sel fungi terdiri atas selulosa jamur yang dikenal dengan kitin. Membran plasma, lapisan yang dekat dengan dinding sel, retikulum endoplasma sel jamur terdiri atas struktur mikrotubuler granula dengan membran plasma, mitokondria, badan golgi, nukleus dan vakuola. Jamur memiliki flagella sebagai alat gerak dengan filamen central dan axial yang disebut sebagai axonema. Nutrisi yang

dibutuhkan fungi untuk berkembang diantaranya material organik dan inorganik sebagai sumber karbon dan energi, material sebagai sumber nitrogen, mikronutrien seperti sulfur, fosfor, kalium, magnesium, zat besi, Zn, Co, Mo, faktor pertumbuhan, vitamin dan enzim untuk pertumbuhan. Selain itu, pertumbuhan jamur didukung oleh lingkungan yang sesuai, yakni lingkungan yang lembab, temperatur yang sesuai, suplai oksigen, pH, dan metabolit (Bloch & Ghosh, 2023; Cañete-Gibas et al., 2023; de Paz et al., 2023).



Gambar 1.1. Struktur hifa, A. Hifa septat, B. Hifa aseptate
(Sumber: <https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology>)

Berdasarkan cara memperoleh nutrisi, jamur dikelompokkan menjadi jamur saprofit yang mendapatkan nutrisi dari organisme yang mati dan menguraikannya menjadi material organik untuk diserap. Fungi saprofit dibagi menjadi dua yaitu saprofit obligat dan saprofit fakultatif. Fungi dikatakan sebagai saprofit obligat karena fungi mendapatkan nutrisi dari material tidak hidup, misalnya jamur yang tumbuh pada kain, pintu, dinding, dan lainnya. Fungi yang termasuk saprofit obligat yaitu *Mucor mucedo* yang dapat dijumpai pada kotoran hewan ternak. Fungi saprofit fakultatif juga hidup pada organisme yang mati, namun juga memiliki kemampuan menginfeksi tanaman/hewan yang hidup. Fungi parasit merupakan fungi yang hidup dengan mengabsorbsi makanan dari material organisme hidup, fungi jenis ini biasanya menginfeksi organisme inang dan menyebabkan penyakit. Fungi parasit diklasifikasikan menjadi dua yaitu fungi parasit obligat dan

fungi parasit fakultatif. Fungi yang termasuk parasit diantaranya *Puccinia*, *Reuanelia*, *Fusarium*. Jenis fungi lainnya yaitu fungi symbion, yakni fungi yang mendapat nutrisi dari simbiosis dengan organisme lain. Fungi symbion diantaranya mycorrhiza yang bersimbiosis dengan akar pinus, lichen yang merupakan simbiosis antara fungi dengan alga biru dan hidup epifit pada batang pohon, substrat batu, dinding, dan lainnya (Bloch & Ghosh, 2023).

Sistem reproduksi fungi yaitu reproduksi vegetatif, seksual dan aseksual. Reproduksi vegetatif diantaranya fragmentasi, pembelahan (*fission*), tunas (*budding*), sclerotia, dan *rhizomorf*. Fragmentasi ketika hifa terpecah menjadi fragmen kecil. Pembelahan (*fission*) yaitu pembelahan sel fungi somatik menjadi dua sel anakan. Tunas atau *budding* yakni sel somatik dan spora berkembang dan menghasilkan anakan baru. Rhizomorf merupakan modifikasi dari miselia. Reproduksi seksual fungi yaitu dengan plasmogami, karyogami, dan meiosis. Plasmogami merupakan tahapan penggabungan sitoplasma dua miselia untuk menghasilkan miselia sekunder yang dikariot. Karyogami merupakan fusi dua nukleus dari dua miselia yang berbeda untuk menghasilkan zigot, sedangkan meiosis merupakan pembentukan empat nukleus haploid dari nukleus diploid. Perkembangbiakan aseksual fungi yakni dengan spora. Spora fungi pada dasarnya dibagi menjadi dua, yakni sporangiospore dan konidia. Sporangiospore memiliki karakteristik diantaranya, terbentuk dari sporangium, terbentuk karena pemecahan protoplasma sekitar nukleus, terdiri atas zoospora (spora motil) dan aplanospora (spora non-motil), serta terdapat pada beberapa phyla yaitu chytridiomycota, hyphochytridiomycota dan oomycota. Sporangiospore disebut juga spora endogen, karena terdapat di dalam organisme fungi. Konidia merupakan spora eksogen yang terbentuk dari pucuk hifa pendukung yang disebut sebagai konidiaspora. Konidia memiliki dua struktur utama, yakni thalus dan *blastic*. Thalus berasal dari penyekatan dan fragmentasi hifa, berkembang pada posisi

hifa interkalar. Sedangkan blastic konidia merupakan hasil dari proses penggepungan dan perkembangan sebagai spora tunggal. Blastic memiliki beberapa jenis, diantaranya blastospora yang berkembang dari tunas hifa, porospora, aleuspora yang berkembang sebagai spora tunggal dan terletak dibagian terminal, annelospora, phialospora, arthospora, clamydospora, dan zoospora. Spora fungi juga beberapa merupakan spora seksual, yakni ascospora yang merupakan spora ascogenus dikariotik apikal dari hifa scogenus yang memanjang. Selain itu terdapat basidiospora dan zygospora yang terbentuk akibat fusi hifa haploid (Bloch & Ghosh, 2023; Cañete-Gibas et al., 2023; Dufossé, 2023; Mukherjee & Ghorai, 2023; Wikandari et al., 2023).

Diversitas fungi sangat beragam. Pengklasifikasian fungi didasarkan beberapa aspek fenotipik, antara lain warna, laju pertumbuhan, sporulasi, dan penyekatan hifa. Ahli fungi, mikologis, mengklasifikasi fungi menjadi tiga kingdom, yakni kingdom fungi untuk jamur, kingdom straminipila untuk cendawan air, dan kingdom mycetoza untuk cendawan *slime*. Kingdom fungi atau mycota diklasifikasikan menjadi dua berdasarkan sistem reproduksinya, yakni sistem reproduksi yang jelas dan belum teridentifikasi. Fungi yang masuk dalam kelompok fungi dengan sistem reproduksi tidak teridentifikasi yaitu deuteromycota (fungi tidak lengkap) seperti *Cercospora fusarium*. Sedangkan fungi yang termasuk kelompok dengan sistem reproduksi yang teridentifikasi dibagi dua, yaitu oomycota (miselium aseptat) dan eumycota (miselium septat). Oomycota dikebagi menjadi dua kelompok yaitu phycomycetes (*algal fungi*), zygomycetes. Eumycota dibagi dua yakni ascomycetes dan basidiomycetes (Cañete-Gibas et al., 2023; Mukherjee & Ghorai, 2023; Wikandari et al., 2023).

Fungi memiliki beberapa manfaat, diantaranya sebagai agen biodegradasi dan biodeteriorasi untuk degradasi polimer kompleks seperti selulosa, lignin, dan protein. Beberapa fungi dimanfaatkan sebagai bahan fermentator seperti *Saccharomyces cerevisiae* untuk memproduksi roti,

bir, wine, dan alkohol. Selain itu juga dimanfaatkan untuk produk komersial, seperti *Aspergillus niger* untuk menghasilkan asam sitrat. Beberapa fungi juga *edible*, sehingga digunakan sebagai sumber makanan, seperti jamur tiram, jamur kuping, jamur kancing, dan lainnya. Fungi di bidang pertanian juga dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas hasil panen, seperti mikoriza, fungi simbiosis dengan akar pinus yang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, agen bioremediasi, fungi *Beauveria bassiana* yang dimanfaatkan untuk mengontrol serangga. Di bidang kesehatan, fungi juga menghasilkan antibiotik seperti *Penicillium* yang menghasilkan penicillin (Dufossé, 2023; Mukherjee & Ghorai, 2023).

Zygomycetes merupakan kelompok fungi saprofit, menghasilkan miselia yang bercabang, dinding sel tersusun atas chitosan – chitin, tidak memiliki spora motil, memiliki spora aseksual yaitu aplanospora, reproduksi seksual dengan fusi gamet. Fusi gamet jantan dan betina miselia menghasilkan zygospora yang memiliki dinding sel yang tebal. Fungi yang termasuk zygomycetes yaitu *Rhizopus stolonifer* yang terdapat pada jamur roti. Ascomycetes memiliki karakter khas dengan sporangium yang berbentuk seperti kantong yang disebut ascus. Ascomycetes memiliki bentuk filamen dan menghasilkan hifa yang bersekat (septat). Reproduksi aseksual dengan konidiospora. Reproduksi seksual diawali dengan miselia yang menghasilkan gamet jantan (anteridium) dan gamet betina (askogonium) yang fusi atau terjadi proses plasmogami. Selanjutnya terjadi pembelahan mitosis untuk menghasilkan hifa dikariot. Pada ascocarp (tubuh ascomycetes) mengandung ribuan asci dan mengalami meiosis untuk menghasilkan ascospora haploid yang siap disekresi. Basidiomycota merupakan fungi edible, terdiri atas basidia (tudung jamur) dan basidiokarp (tubuh jamur). Siklus hidup basidiomycota yaitu basidiospora haploid mengalami germinasi dan terbantu miselia. Miselia mengalami perkawinan dan plasmogami untuk menghasilkan miselia

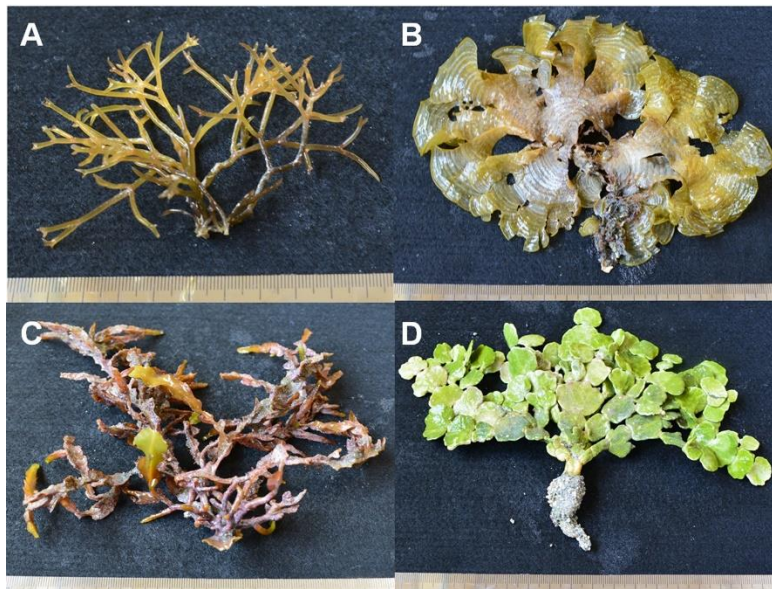
dikariotik. Selanjutnya terjadi mitosis dan karyogami untuk menghasilkan zigot. Zigot juga mengalami tahap meiosis untuk menghasilkan sel basidia haploid untuk proses sekresi basidiospora (Cañete-Gibas et al., 2023; Mukherjee & Ghorai, 2023; Wikandari et al., 2023).

1.2 Alga

Alga merupakan organisme protista autotroph, bersifat uniseluler atau multiseluler. Alga memiliki sel yang dilapisi dengan membrane plasma, sehingga disebut organisme eukariotik. Alga memiliki inti sel tunggal, namun beberapa multinukleus. Alga juga termasuk siphonaceus atau inti sel tidak dipisahkan oleh dinding sel. Alga memiliki DNA sebagai material genetik yang tersusun di dalam kromosom. Alga bersifat autotroph, atau mampu membuat makan sendiri, karena mengandung kloroplas. Kloroplas pada alga sama seperti kloroplas pada tumbuhan umumnya, memiliki struktur yang datar (*flat*), kantong bermembran, yang disebut thylakoid, dan mengandung beberapa pigmen, yaitu klorofil, karotenoid, dan fikobiliprotein (Baweja et al., 2016; Umashree et al., 2023).

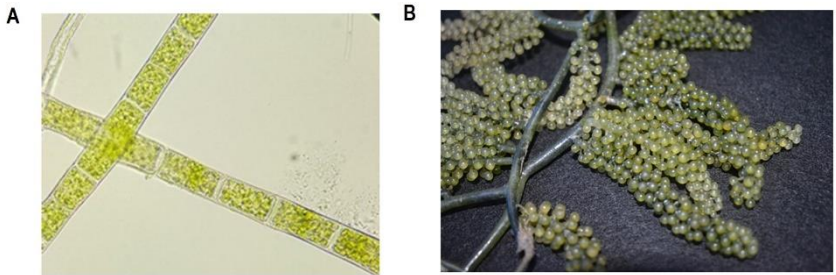
Alga dikatakan sebagai thallus, sebab tidak dapat dibedakan dengan jelas akar, batang, dan daunnya. Alga juga beberapa uniseluler, namun juga jaringan pembuluh terbatas. Beberapa alga uniseluler, soliter atau berkoloni, berbentuk cenobial filamen, bercabang, beberapa tidak bercabang. Alga uniseluler motil merupakan alga yang terdiri dari satu sel saja dan dapat berpindah/bergerak. Sebaliknya, alga uniseluler non-motil merupakan alga uniseluler yang tidak memiliki alat gerak dan tidak dapat berpindah. Alga multiseluler koloni merupakan alga bersel banyak/multiseluler tetapi hidup berkoloni, alga jenis ini dikelompokkan menjadi motil coenobial colony (coenobium, seperti *volvox*), coenobial colony non-motil (*Hydrodictyon*), *palmelloid* (alga yang memiliki sel agregat dan ditemukan

pada matrix gelatin), dendroid (alga yang melekat pada substrat, seperti *Prasinocladus*) (Gambar 3.2).



Gambar 1.2 Jenis-jenis alga, A. Filamen bercabang (*Gracillaria*), B – C. Talus parenkim (B. *Padina*, C. *Sargassum*), D. alga *siphonaceous* (*Halimeda*) (sumber: dokumentasi pribadi)

Alga dapat tumbuh pada lingkungan aquatic, terrestrial, dan tempat khusus. Alga aquatic sebagian besar ditemukan mengapung dan beberapa tenggelam di perairan, seperti di kolam, sungai, saluran limbah, air payau, air laut, dan lainnya. Alga aquatic dibedakan menjadi dua yaitu air tawar dan air laut (Gambar 3.3). Alga yang hidup di air tawar seperti *Clamydomonas*, *Ulotrix*, *Cladophora*, *Volvox*, dan sebagainya. Sedangkan alga di perairan air laut diantaranya makroalga/ rumput laut, misalnya *Phaeophyceae*, *Rhodophyta*, *Caulerpa*, *Sargassum*, dan beberapa *Chlorophyceae*. Alga terrestrial merupakan alga yang tumbuh di darat, seperti permukaan tanah. Alga yang termasuk alga terrestrial diantaranya *Nostoc*, *Anabaena*, *Botrydium*, dan lain-lain (Umashree et al., 2023).



Gambar 1.3 alga aquatic, a. Mikroalga *Spyrogyra*, B. Makroalga *Caulerpa racemosa* (sumber: Dokumentasi Pribadi)

Alga yang hidup di tempat khusus seperti alga thermophytic (alga dengan suhu tinggi $> 70^{\circ}\text{C}$), Cryophytic (alga yang hidup di lingkungan bersalju), halophytic (alga di perairan dengan kadar garam tinggi), Lithophytic (Alga yang tumbuh di batuan), Epiphytic (Alga yang tumbuh di tanaman air). Endophytic (alga yang didalam tumbuhan tingkat tinggi), epizoic (alga di dalam cangkang moluska), endozoic (alga yang tumbuh di hewan). Alga parasit, alga simbiotik (alga bersimbiosis dengan organisme lain, seperti lichen) (Alvarez et al., 2021; Mugnai et al., 2023).

System reproduksi alga terdiri dari tiga system, yaitu reproduksi aseksual, reproduksi seksual dan vegetative. System reproduksi vegetative dengan fragmentasi untuk membentuk filamen alga baru, pembelahan (*fission*), penambahan cabang, umbi, tunas (*budding*), hormogonia, hormospora. System reproduksi secara aseksual dilakukan dengan akinet, hypnospora, zoospore, aplanospore, tetraspora, monospora, autospora, heterocyst, auxospore, carpospore, paraspora, statospora, dan *neutral spore*. Akinet merupakan hasil pembelahan filamen alga dan tumbuh akibat lingkungan yang tidak mendukung, seperti *Anabaena*. Hypnospora merupakan spora tidak berflagel, memiliki dinding yang tebal, contohnya *Clamydomonas*. Zoospore merupakan spora berflagel, seperti *Ulothrix*, aplanospore merupakan spora aseksual dengan dinding tipis. Tetraspora

merupakan spora aseksual non-motil yang dapat ditemui pada Rhodophyceae dan Phaeophyceae. Monospora merupakan spora tunggal dari sporangium. Autospora merupakan spora aplanospore yang terbentuk dan identic dengan induknya. Auxospore ditemukan pada Bacillariophyceae, Carpospora pada alga Rhodophyta, statospora pada Xanthophyceae, dan neutral spora merupakan protoplas sel vegetative yang memiliki fungsi sebagai spora, seperti pada *Ectocarpus* (Mugnai et al., 2023; Y. Qin, 2018).

System reproduksi seksual pada laga dengan isogami, anisogamy, oogami, hologami, dan autogamy. Isogami terjadi ketika gamet yang melakukan fusi memiliki karakter morfologi yang sama tetapi fisiologi yang berbeda. Alga dengan isogami diantaranya *Ulothrix*, *Spyrogyra*, *Chlamydomonas*._ Alga anisogamy merupakan gamet yang melakukan fusi memiliki morfologi dan fisiologi yang berbeda. Oogami terjadi ketika alga yang memiliki mikrogamet jantan fusi dengann gamet betina makro. Hologami terjadi pada alga uniseluler yang memiliki talus seperti gamet. Autogamy ketika terjadi fusi antara dua gamet berlawanan dari sel induk yang sama (Baweja et al., 2016; Tan et al., 2020).

Klasifikasi alga dibedakan menjadi dua, yaitu alga prokariot dan eukariot. Filum yang termasuk alga prokariot yaitu cyanophyta. Cyanophyta disebut juga cyanobacteria, tidak memiliki reproduksi seksual, sel motil, talus uniseluler, berkoloni. Alga eukariot diantaranya filum Chrysophyta, Chlophyta, Euglenophyta, Pyrrophyta, Cryptophyta, Phaeophyta, dan Rhodophyta. Chlorophyta memiliki pigmen klorofil, sehingga disebut sebagai alga hijau. selain itu juga mengandung pigmen karotenoid dan xanthophyl. Sel memiliki inti yang terbungkus oleh membrane plasma. Plastida chlorophyta memiliki pirenoid. Reproduksi seksual dengan isogami dan oogami. Xanthophyceae merupakan alga air tawar, mengandung pigmen xanthofil, motil dengan biflagellate, reproduksi seksual dengan isogami.

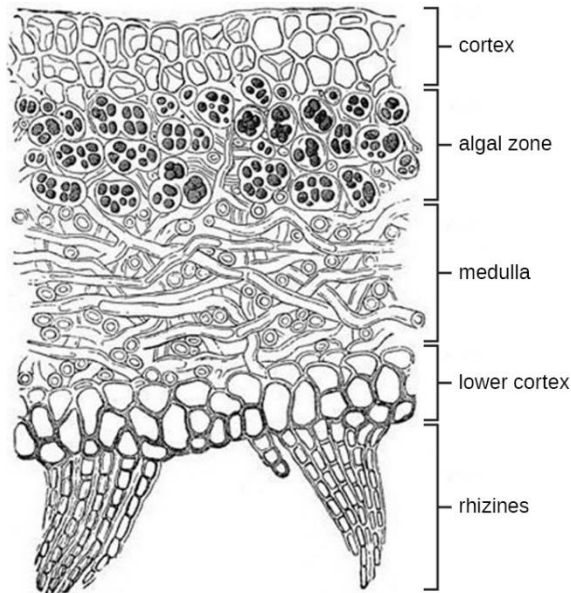
Chryphyceae merupakan alga air laut dan tawar, memiliki pigmen phycochrysin yang menunjukkan warna oranye hingga coklat, motil dengan jumlah flagel dua atau tiga. Bacillariophyceae dikenal sebagai diatom atau alga kersik, habitat di perairan laut dan tawar, dinding sel terdapat silica sebagai ornament, dan memiliki pyrenoid. Cryptophyceae merupakan alga dengan pigmen warna coklat, merah, olive, hijau, dan hijau kebiruan. Sel mengandung klorofil yang berukuran besar, motil dengan dua flagel (biflagellate), bereproduksi dengan isogami. Dynophyceae merupakan alga uniseluler motil dengan biflagellate, mengandung pigmen phycophyrin, merah gelap peridinin, dan kuning kehijauan chlorophyllin. Reproduksi seksual dengan isogami, dan jarang terjadi. Euglenophyceae merupakan alga uniseluler dengan flagel, reproduksi dengan pembelahan sel. Phaephyceae merupakan alga coklat, merupakan alga yang kompleks, mengandung pigmen klorofil a, klorofil c, β -caroten, dan xantofil. Warna coklat pada alga disebabkan adanya pigmen fukosantin, sering dikenal sebagai rumput laut. Alga coklat ini banyak digunakan sebagai bahan pangan, karena mengandung laminarin, mannitol, fucoidan, dan alginate. Selain itu juga digunakan sebagai sumber bahan kosmetik dan obat. Rhodophyceae merupakan alga merah, berwarna merah karena kandungan pigmen phycobilin, phycoerythrin, phycocyanin dan allophycocyanin. Selain itu mengandung tepung floridean, sehingga digunakan sebagai bahan pangan tinggi serat. System reproduksi dengan oogami dan tidak motil (Alvarez et al., 2021; Baweja et al., 2016; Mugnai et al., 2023; Y. Qin, 2018; Tan et al., 2020).

1.3 Lichen

Lichen merupakan organisme symbiosis antara fungi (Ascomycota) dengan cyanobacteria atau alga biru. Lichen memiliki morfologi yang tampak seperti tanaman, epifit pada permukaan batang tanaman, bebatuan, dinding, dan

substrat lainnya. struktural mikroskopis, lichen terdiri atas phycobion yang membentuk matriks kompleks dengan filamen fungi atau mycobiont. Organisme cyanobacteria yang dapat bersimbiosis dengan ascomycota antaralain spesies dari genus *Calothrix*, *Nostoc*, dan *Gleocapsa*. System pengklasifikasian lichen relative tidak mudah, karena diperlukan analisis kedua organisme simbion. Namun demikian, spesies lichen yang telah teridentifikasi mencapai 15.000 spesies (Arun et al., 2023; Biradar et al., 2023; Rai & Gupta, 2022).

Lichen memiliki morfologi thalus yang beragam dan unik. Diantaranya crustose, foliosa, fruticose. Lichen dengan thalus crustose memiliki adaptasi dengan daerah kering yang baik dengan menempel erat dengan organisme inangnya. Foliosa memiliki bentuk seperti daun, jenis ini seperti *Hydrothryria venosa* dan *Dermatocarpon fluviatile* yang hidup pada substrat bebatuan. Lichen dapat mendegradasi bebatuan dan sebagai bioindicator pencemaran udara. Selain itu, beberapa spesies lichen berpotensi sebagai obat, seperti *Cetraria islandica* yang digunakan untuk meningkatkan nafsu makan. Spesies *Lecanora esculenta* digunakan sebagai sumber pangan tinggi nutrisi. Spesies *Orchlorechia*, *Rocella*, dan *Umbilicaria* memiliki pigmen warna violet yang banyak dimanfaatkan sebagai pewarna sintetik tekstil. Struktur lichen yaitu thalus atau tubuh lichen, yang dilapisi oleh lapisan luar yang disebut sebagai korteks yang berdinding tebal, lapisan tengah disebut medulla, dan lapisan paling bawah terdapat akar semu atau rhizoid, yang berfungsi untuk pelekatan pada substrat (Gambar 3.4) (Arun et al., 2023; Biradar et al., 2023; dela Cruz et al., 2023; Rai & Gupta, 2022; Vijayakumar & Dharumadurai, 2023).



Gambar 1.4 Struktur Lichen

(<https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/>)

1.4 Protozoa

Protozoa merupakan mikroorganisme uniseluler eukariotik, dan termasuk kelompok protista. Protozoa bersifat heterotrofik, mendapatkan sumber makanan dari material karbon organik. Protozoa tidak berfilamen, hidup di lingkungan aquatic, dan berbentuk seperti cendawan. Protozoa juga diketahui motil dengan flagellate, hidup soliter dan berkoloni. System reproduksi protozoa dengan pembelahan sel (fission), schyzogami (reproduksi aseksual dengan pembelahan multiple pada nucleus yang diikuti dengan segmentasi sitoplasma untuk membentuk protozoa baru), tunas (*budding*) (F. El-Bawab, 2020; Garcia, 2017; Warren & Esteban, 2019).

Protozoa diklasifikasikan menjadi beberapa sub-filum. Sub filum sarcomastigophora memiliki flagel, pseudopodia, memiliki nucleus tunggal, dan tidak terdapat spora. Genus yang termasuk sarcomastigophora yaitu *Trypanosoma*,

Leishmania, *Chilomastix*, *Giardia*, *Hexamita*, *Histomonas*, *Trichomonas*, dan *Entamoeba*. Phylum apicomplexa memiliki conoid pada apical, tidak terdapat silia dan flagel sebagai alat gerak, system reproduksi dengan syngamy dan oocyst. Genus yang termasuk filum ini yaitu *Eimeria*, *Isospora*, *Cryptosporidium*, *Toxoplasma gondii*, *Besnoitia*, *Hammondia*, *Sarcocystis*, *Hepatozoon*, *Kloisella*, dan lainnya. Filum Microspora memiliki spora dengan atua tau lebih filamen polar, seperti genus *Encephalitozoon*. Filum Ciliophora memiliki silia, mengandung dua inti sel, berkembangbiak dengan pembelahan biner dan konjugasi. Genus yang termasuk Ciliophora yaitu *Balantidium*. Sebagian besar protozoa menyebabkan infeksi dan menyebabkan beberapa penyakit, seperti *Toxoplasma gondii* yang menyebabkan toxoplasmosis yang ditandai dengan gejala demam, nyeri otot, kelelahan, sakit tenggorokan, dan pembengkakan kelenjar getah bening. Selain itu, *Plasmodium* juga menyebabkan penyakit malaria. Infeksi entamoeba dapat menyebabkan diare. *Leishmania* menyebabkan penyakit leishmaniasis yang menginfeksi dan terjadi komplikasi pada *spleen*, *liver*, dan sumsum tulang belakang (F. El-Bawab, 2020; Esteban et al., 2015; Milner et al., 2015; Warren & Esteban, 2019).

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez, A. L., Weyers, S. L., Goemann, H. M., Peyton, B. M., & Gardner, R. D. (2021). Microalgae, soil and plants: A critical review of microalgae as renewable resources for agriculture. *Algal Research*, 54, 102200. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102200>
- Arun, A. B., Girish, S., & Ravi, L. (2023). Chapter 9 - Photobiont symbiotic association in lichens. In D. B. T.-M. S. Dharumadurai (Ed.), *Microbial Symbionts* (pp. 161–175). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99334-0.00009-8>
- Baweja, P., Kumar, S., Sahoo, D., & Levine, I. (2016). Chapter 3 - Biology of Seaweeds. In J. Fleurence & I. B. T.-S. in H. and D. P. Levine (Eds.), *Seaweed in Health and Disease Prevention* (pp. 41–106). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802772-1.00003-8>
- Biradar, S., Ramya, R., & Sankaranarayanan, A. (2023). Chapter 12 - Mycobionts interactions in lichen. In D. B. T.-M. S. Dharumadurai (Ed.), *Microbial Symbionts* (pp. 215–233). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99334-0.00040-2>
- Bloch, K., & Ghosh, S. (2023). 2 - Endophytic fungi-mediated synthesis of gold and silver nanoparticles. In M. Shah & D. B. T.-E. A. W. Deka Why and How (Eds.), *Developments in Applied Microbiology and Biotechnology* (pp. 19–36). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91245-7.00016-X>

- Cañete-Gibas, C. F., Wiederhold, N. P., & Patterson, T. F. (2023). 242 - Classification of Fungi. In S. S. B. T.-P. and P. of P. I. D. (Sixth E. Long (Ed.), *Endophytic Association: What, Why and How* (pp. 1253-1255.e1). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-75608-2.00242-1>
- de Paz, G. Á., Saucedo, U. C., Morcillo, R. L., & Aranda, E. (2023). 1 - World of fungi and fungal ecosystems. In M. J. Taherzadeh, J. A. Ferreira, & A. B. T.-C. D. in B. and B. Pandey (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 1-29). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91872-5.00010-7>
- dela Cruz, T. E. E., Paguirigan, J. A. G., & Santiago, K. A. A. (2023). Chapter 6 - Lichens in the Philippines: diversity and applications in natural product research. In J. J. G. Guerrero, T. U. Dalisay, M. P. De Leon, M. A. O. Balendres, K. I. R. Notarte, & T. E. E. B. T.-M. in the T. Dela Cruz (Eds.), *Mycology in the Tropics* (pp. 147-160). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99489-7.00002-0>
- Dufossé, L. (2023). 11 - Production of bioactive pigmented compounds by filamentous fungi. In M. J. Taherzadeh, J. A. Ferreira, & A. B. T.-C. D. in B. and B. Pandey (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 325-341). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91872-5.00011-9>
- El-Bawab, F. (2020). Chapter 3 - Phylum Protozoa. In F. B. T.-I. E. and R. El-Bawab (Ed.), *Invertebrate Embryology and Reproduction* (pp. 68-102). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814114-4.00003-5>

- Esteban, G. F., Finlay, B. J., & Warren, A. (2015). Chapter 7 - Free-Living Protozoa. In J. H. Thorp & D. C. B. T.-T. and C. F. I. (Fourth E. Rogers (Eds.), *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates* (pp. 113–132). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385026-3.00007-3>
- Garcia, L. S. (2017). 191 - Protozoa: Intestinal and Urogenital Amebae, Flagellates and Ciliates. In J. Cohen, W. G. Powderly, & S. M. B. T.-I. D. (Fourth E. Opal (Eds.), *Infectious Diseases* (pp. 1725-1733.e1). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-6285-8.00191-X>
- Milner, D. A., Pecora, N., Solomon, I., & Soong, T. R. B. T.-D. P. I. D. (Eds.). (2015). Protozoa Classification and Diagnosis. In *Diagnostic Pathology: Infectious Diseases* (pp. IV-1-2-IV-1-3). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-37677-8.50083-8>
- Mugnai, S., Derossi, N., & Hendlin, Y. (2023). Algae communication, conspecific and interspecific: the concepts of phycosphere and algal-bacteria consortia in a photobioreactor (PBR). *Plant Signaling & Behavior*, 18(1), 2148371. <https://doi.org/10.1080/15592324.2022.2148371>
- Mukherjee, S., & Ghorai, S. (2023). 3 - Fungal biology. In M. J. Taherzadeh, J. A. Ferreira, & A. B. T.-C. D. in B. and B. Pandey (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 67–104). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91872-5.00017-X>
- Qin, Y. (2018). 1 - Seaweed Bioresources. In Y. B. T.-B. S. for F. A. Qin (Ed.), *Bioactive Seaweeds for Food Applications* (pp. 3–24). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813312-5.00001-7>

- Rai, H., & Gupta, R. K. (2022). Chapter 13 - Lichenized fungi, a primary bioindicator/biomonitor for bio-mitigation of excessive ambient air nitrogen deposition worldwide. In J. Samuel, A. Kumar, & J. B. T.-R. B. M. and the E. for S. E. S. Singh Volume 1 (Eds.), *Relationship Between Microbes and the Environment for Sustainable Ecosystem Services, Volume 1* (pp. 267–301). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89938-3.00013-X>
- Tan, J. Sen, Lee, S. Y., Chew, K. W., Lam, M. K., Lim, J. W., Ho, S.-H., & Show, P. L. (2020). A review on microalgae cultivation and harvesting, and their biomass extraction processing using ionic liquids. *Bioengineered*, 11(1), 116–129. <https://doi.org/10.1080/21655979.2020.1711626>
- Umashree, V. R., Anjana, K., Vidya, D., Vinod, B., Nayana, K., Sreelakshmi, M., Raja, R., & Arunkumar, K. (2023). Chapter 1 - An introduction to algae materials. In K. Arunkumar, A. Arun, R. Raja, & R. B. T.-A. M. Palaniappan (Eds.), *Developments in Applied Microbiology and Biotechnology* (pp. 1–28). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18816-9.00021-6>
- Vijayakumar, V. R., & Dharumadurai, D. (2023). Chapter 10 - Endolichenic actinobacterial association in fruticose, foliose, and crustose lichens. In D. B. T.-M. S. Dharumadurai (Ed.), *Microbial Symbionts* (pp. 177–191). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99334-0.00045-1>
- Warren, A., & Esteban, G. F. (2019). Chapter 2 - Protozoa. In D. C. Rogers & J. H. B. T.-T. and C. F. I. (Fourth E. Thorp (Eds.), *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates* (pp. 7–42). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385024-9.00002-2>

Wikandari, R., Manikharda, Dewanti-Hariyadi, R., & Taherzadeh, M. J. (2023). 12 - Filamentous fungi for food. In M. J. Taherzadeh, J. A. Ferreira, & A. B. T.-C. D. in B. and B. Pandey (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 343–397). Elsevier.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91872-5.00007-7>

BAB 2

SINTESIS PROTEIN DAN PERTUKARAN GENETIK PADA MIKROORGANISME

Oleh David Soputra

2.1 Pendahuluan

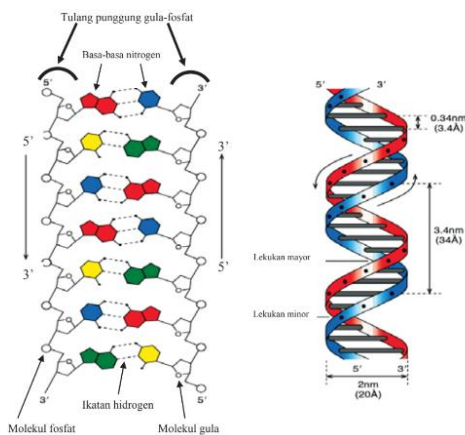
Protein merupakan satu zat makromolekul yang penting bagi kehidupan. Mulai dari sebagai zat pembangun tubuh, mengatur metabolisme, membentuk sel-sel tubuh, mengatur transportasi zat, membentuk enzim, membentuk antibodi, dan fungsi-fungsi penting lainnya. Begitu pentingnya sintesis protein ini, sehingga bila tubuh kekurangan salah satu saja dari protein yang dibutuhkan tubuh, akan berdampak besar bagi keberlangsungan hidup makhluk tersebut. Oleh karena itu proses pembentukan protein ini harus berjalan dengan baik di setiap sel makhluk hidup agar proses fisiologi dan metabolisme dapat berjalan sebagaimana mestinya.

Sintesis protein itu sendiri berlangsung di dalam sel. Diawali dari pembelahan rantai DNA (*Deoxyribonucleic acid*) di inti sel yang akan mencetak rantai tunggal mRNA (*Messenger DNA*) yang akan pergi meninggalkan inti sel menuju ribosom di sitoplasma. Di dalam sitoplasma ini kode-kode genetika yang dibawa oleh mRNA akan bertemu dengan tRNA (*transfer RNA*) yang membawa asam amino sesuai dengan kode yang dibawa oleh mRNA. Selanjutnya asam-asam amino yang telah tersusun akan diikat dengan ikatan polipeptida yang akan membentuk satu rantai protein yang panjang.

2.2 Struktur DNA

Deoxyribose nucleic acid (DNA) merupakan materi genetik yang terdapat pada kromosomal sitoplasma dan plasmid bakteri. Baik DNA kromosomal dan DNA plasmid bertentuk melingkar. Stuktur kimia DNA bakteri dan organisme lain adalah sama, yakni berbentuk *double helix* atau tangga berpilin. Masing-masing DNA tersusun atas dua rantai yang dihubungkan oleh ikatan hydrogen.

Komponen kimia penyusun DNA adalah gugusan pospat, gula deoksiribosa, dan basa nitrogen. Ada dua jenis basa nitrogen, yakni golongan purin dan pirimidin. Golongan purin terdiri dari basa nitrogen adenin dan guanin, sedangkan golongan pirimidin terdiri dari basa nitrogen sitosin dan timin. Dalam struktur DNA, Adenin senantiasa berpasangan dengan timin dengan ikatan hidrogen rangkap dua, sedangkan sitosin senantiasa berpasangan dengan guanin dengan ikatan hidrogen rangkap tiga (Baktir, 2012). Untuk mengenal struktur DNA lebih rinci, dapat dilihat pada gambar 2.1.

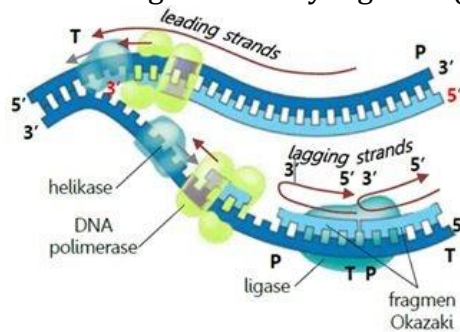


Gambar 2.1. Struktur DNA yang menunjukkan pasangan basa nitrogennya (Baktir, 2012).

Masing-masing basa nitrogen akan berpasangan dengan gula pentosa dan gugusan pospat. Gabungan dari gugusan pospat, gula pentosa, dan basa nitrogen ini disebut

dengan nukleotida. Satu nukleotida akan bergandengan dengan nukleotida yang lain dengan ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen antara adenin dan timin merupakan ikatan hidrogen rangkap dua, sedangkan ikatan hidrogen antara guanin dan sitosin merupakan ikatan hidrogen rangkap tiga yang kondisinya lebih stabil. Satu rantai DNA itu bisa mengandung ribuan nukleotida.

Terakhir enzim ligase akan mengikat fragmen-fragmen di lagging strands yang terputus-putus dan membentuk satu rantai ganda DNA yang baru (P.P, 2013).



Gambar 2.2. Proses pembentukan DNA, leading strands dan lagging strands (sumber: (*Sintesis Protein - Pengertian, Skema, Diagram, Proses, Tahap*, no date).

Sintesis DNA pada bakteri terjadi sebelum pembelahan sel. Pada saat ini, dua rantai DNA double helix tersebut terbuka di bagian satu sisi, sehingga ikatan hidrogen terputus dan terjadi pemisahan rantai DNA. Dan segera dilanjutkan dengan pembentukan pasangan DNA yang membelah, seperti proses replikasi di atas, di mana satu rantai DNA menjadi cetakan untuk masing-masing DNA baru yang akan dibentuk. Dan hasilnya ialah dua buah DNA baru yang berbentuk lingkaran dan yang masing-masing terdiri dari separuh DNA induk, dan separuh lagi DNA yang baru disintesis.

Transkripsi adalah proses di mana DNA membentuk RNA atau sering juga disebut dengan proses penyalinan DNA untuk membentuk mRNA. RNA adalah singkatan dari

Ribunucleic acid. Ada beberapa bentuk RNA yang berhubungan dengan sintesis protein, yakni messenger RNA (mRNA) yang disebut juga dengan RNA duta, transfer RNA (tRNA), dan ribosomal RNA (rRNA). mRNA dibentuk di nucleus oleh DNA, tRNA adalah RNA yang membawa asam amino sesuai dengan urutan kodon yang dibawa oleh mRNA, sedangkan rRNA adalah RNA yang akan membentuk ribosom (Lee, Minchin and Busby, 2012).

Ada beberapa perbedaan antara DNA dengan RNA baik pada mikroorganisme maupun makhluk lainnya. Perbedaan itu dapat dilihat pada Tabel 2.1.

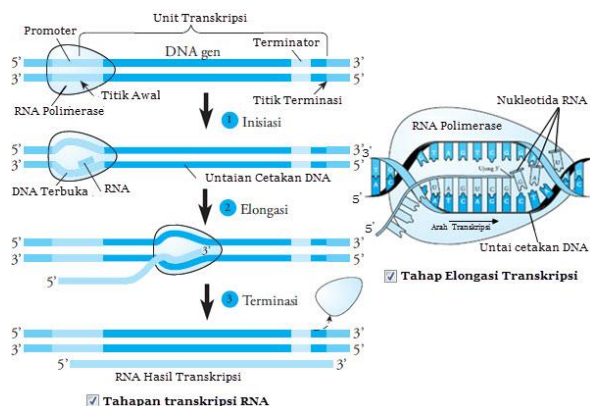
Tabel 2.1. Perbedaan antara DNA dengan RNA (Joachimi, Benz and Hartig, 2009).

	DNA	RNA
Lokasi	Mitokondria, inti sel, plastida. Khusus pada bakteri (prokaryota) materi genetik bersatu dengan sitoplasma, karena bakteri tidak memiliki membran inti sel	Inti sel, ribosom, dan sitoplasma
Bentuk Rantai	Rantai ganda panjang seperti tangga berpilin (double helix)	Rantai tunggal dan pendek
Fungsi	Sintesa protein dan penurunan sifat	Sintesa protein
Kadar/Jumlah	Kadarnya tetap, dan tidak dipengaruhi oleh kecepatan sintesa protein	Kadarnya berubah-ubah ditentukan oleh kecepatan sintesa protein
Gugusan gula	Deoksiribosa	Ribosa

	DNA	RNA
Basa Nitrogen	Pirimidin: Sitosin (C) dan Timin (T) Purin: Adenin (A) dan Guanin (G)	Pirimidin: Sitosin (C) dan Urasil (U) Purin: Adenin (A) dan Guanin (G)

Seperti yang telah diuraikan sebelumnya bahwa transkripsi itu adalah proses pembentukan mRNA di dalam inti sel untuk sekelompok gen DNA tertentu. Ada tiga tahap proses transkripsi baik pada mikroorganisme, yakni (Reznikoff *et al.*, 2003):

1. Inisiasi. Pada tahap ini RNA polimerase bakteri akan menempel pada promotor DNA yang memiliki gen yang akan disalin. Kemudian RNA polimerase membentuk suatu kompleks inisiasi dengan protein setempat untuk memulai pembukaan rantai DNA.
2. Elongasi. Pada tahap ini kompleks inisiasi RNA polimerase membuka rantai DNA dan mulai menyusun nukleotida-nukleotida mRNA dengan arah ujung 5' ke ujung 3'. Dalam proses ini setiap basa nitrogen adenin (A) pada DNA akan dibaca urasil (U) oleh mRNA, demikian pula untuk basa nitrogen guanin (G) akan dibaca sitosin (C) oleh mRNA. Dan setiap basa nitrogen timin (T) pada DNA, akan dibaca adenin (A) oleh mRNA, dan setiap basa nitrogen sitosin (C) akan dibaca guanin (G) oleh mRNA.
3. Terminasi. Pada tahap ini proses sintesis mRNA terhenti di ujung terminator. RNA polimerase dan mRNA terlepas dari DNA. Dan DNA menyatu kembali. Kemudian mRNA akan meninggalkan inti sel menuju ribosom di sitoplasma.



Gambar 2.3. Tahapan transkripsi RNA (Ajim, 2023)

2.3 Biosintesis Protein

Protein tersusun atas gugusan-gugusan asam amino. Ada sekitar 20 jenis asam amino yang digunakan oleh mikroorganisme untuk membentuk protein. Asam amino-asam amino ini ada yang bersifat esensial dan non-esensial. Dikatakan esensial karena mutlak diperlukan oleh sel untuk membentuk protein, dan sel mikroorganisme tidak mampu membuatnya, sehingga harus tersedia di bahan makanan yang dikonsumsi mikroorganisme. Dikatakan nonesensial bila asam amino tersebut dapat disintesis oleh sel mikroorganisme sehingga tidak harus ada di dalam bahan makanan mikroorganisme. Namun meskipun demikian ada juga bakteri yang mampu mensintesis langsung kedua puluh asam amino tersebut, baik yang esensial maupun nonesensial di dalam selnya. Contohnya ialah bakteri *Escherichia coli*.

2.3.1 Transkripsi pada sel bakteri

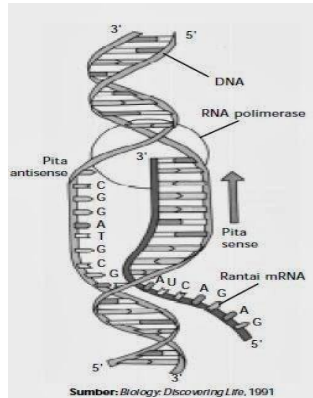
Sintesis protein dimulai dengan pembentukan mRNA di inti sel melalui proses transkripsi. Kode sintesis protein akan diberikan oleh DNA. Hal ini dimulai seperti yang telah diuraikan sebelumnya dengan pengaktifan enzim RNA polimerase untuk memulai pembentukan mRNA sesuai

dengan kode yang diberikan oleh DNA. Pada awalnya RNA polimerase akan membuka rantai ganda DNA untuk selanjutnya membentuk nukleotida-nukleotida sesuai dengan kode genetik dari DNA.

Pada tahap ini, bila kode nukleotida DNA Timin, maka RNA polimerase akan membentuk basa nitrogen adenin. Dan bila basa nitrogen DNA sitosin, maka RNA polimerase akan membentuk basa nitrogen guanin. Bila basa nitrogen DNA adenin, maka RNA polimerase akan membentuk basa nitrogen urasil. Demikian seterusnya hingga terbentuk untai mRNA. Arah pembentukan mRNA ini berawal dari ujung 5' dan berakhir pada ujung 3'.

Proses transkripsi ini akan berakhir bila RNA polimerase tiba di ujung terminator yang memiliki kode genetika stop atau nonsense. Di ujung terminator ini, mRNA dan RNA polimerase akan terlepas dari DNA. Selanjutnya rantai DNA yang terputus akan menyatu kembali, dan rantai mRNA ini akan membawa kode pembentukan protein tersebut ke ribosom (Browning and Busby, 2016).

Kode genetika (kodon) yang ada pada DNA itu terdiri atas tiga basa nitrogen. Misalnya AAA, ATG, GGA, dan seterusnya. Kemudian mRNA akan membentuk kodon yang terdiri dari tiga basa nitrogen juga yang merupakan antikodon dari DNA. Misalnya, bila kodon DNA itu AAA, maka mRNA akan membentuk UUU. Bila kodon DNA itu ATG, maka kodon mRNA adalah UAC, dan seterusnya.



Gambar 2.4. Proses transkripsi pembentukan mRNA pada inti sel bakteri

Misalkan ada kode DNA seperti berikut:

TAC – TGG – GCG – CCC-CAT – AGG – GTA – CCT – AAG

Dari kode DNA tersebut, akan terbentuk mRNA sebagai berikut:

5'AUG – ACC – CGC – GGG – GUA – UCC – CAU – GGA – UUC3'

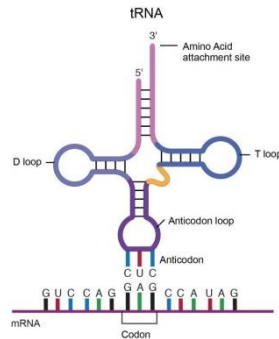
Dan rantai AUG-ACC-CGC-GGG-GUA-UCC-CAU-GGA-UUC inilah yang akan menuju ribosom di sitoplasma untuk menyusun protein yang diminta.

2.3.2 Proses translasi pada sel bakteri

Translasi ialah proses di mana kode genetik yang dibawa oleh mRNA diterjemahkan oleh tRNA dengan membawa asam amino sesuai dengan kode pada mRNA. tRNA adalah jenis RNA yang akan menerjemahkan kode-kode genetika yang dibawa oleh mRNA. RNA ini berbentuk seperti salib terbalik, di mana ujung bawahnya akan membaca kode mRNA, dan ujung atasnya akan mengikat asam amino yang diperlukan. Dengan demikian setiap asam amino memiliki tRNA tersendiri.

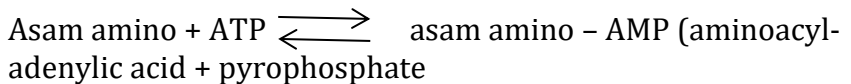
tRNA ini terdiri dari lengan antikodon yang diujungnya membawa kode antikodon. Kode antikodon adalah kode yang berpasangan dengan basa nitrogen mRNA. Misalnya,

bila mRNA membawa kode AAA, maka tRNA akan menyambutnya dengan antikodon UUU. Sedangkan pada ujung tempat asam amino melekat akan memunculkan kode AAA yang berikatan dengan asam amino sesuai dengan kode AAA (Tomikawa, 2018).

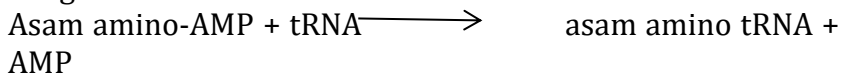


Gambar 2.5. struktur tRNA dengan bagian-bagiannya (Kim *et al.*, 1974).

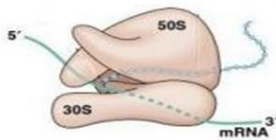
Untuk itu semua asam amino yang akan dibawa oleh tRNA harus diaktivasi dulu oleh energi ATP dengan reaksi sebagai berikut:



Reaksi ini dibantu juga oleh enzim pengaktifan. Kemudian tRNA akan mengikat asam amino-AMP ini dengan enzim pengaktifan asam amino tersebut. Sedangkan reaksi tRNA dengan asam amino-AMP adalah:



Tempat berlangsungnya sintesis protein ialah di ribosom di sitoplasma. Ribosom ini terbuat dari ribosomal RNA (rRNA). Jenis rRNA ini banyak sekali terdapat pada sel-sel bakteri. Jadi badan penyusun ribosom ini ialah rRNA dan protein. Ribosom akan mencetak protein sesuai dengan kode yang dibawa oleh mRNA. Ribosom pada bakteri E.coli berbentuk seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2.6. Struktur ribosom bakteri

Ribosom bakteri umumnya terdiri dari dua bagian, yakni subunit 50S yang berukuran besar, dan subunit 30 S yang lebih kecil. Mikroorganisme lainnya yang eukariotika memiliki subunit besar 60S dan subunit kecil 40S. Sewaktu sintesis protein berlangsung, subunit 50S bergabung dengan subunit 30S membentuk subunit 70S. Sedangkan yang eukariotika akan membentuk subunit gabungan 80S. Subunit 30S pada bakteri berfungsi untuk menerjemahkan kodon yang dibawa oleh mRNA. Sedangkan subunit 50S berfungsi untuk pembentukan ikatan peptida, atau yang dikenal dengan sebutan aktifitas peptidyl-transferase (Noller, 1991).

Seperti yang sudah kita bahas sebelumnya bahwa setiap kodon itu tersusun atas tiga basa nitrogen (triplet) yang menerjemahkan akan satu jenis asam amino. Di bawah ini disajikan tabel triplet basa nitrogen dengan jenis asam amino yang dibawanya.

Tabel 2.2. Kode triplet mRNA dengan jenis asam aminonya

Basa Pertama	Basa Kedua								Basa Ketiga
	U		C		A		G		
U	UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys	U
	UUC	Phe	UCC	Ser	UAC	Tyr	UGC	Cys	C
	UUA	Leu	UCA	Ser	UAA	Term	UGA	Term	A
	UUG	Leu	UCG	Ser	UAG	Term	UGG	Tryp	G
C	CUU	Leu	CCU	Pro	CAU	His	CGU	Arg	U
	CUC	Leu	CCC	Pro	CAC	His	CGC	Arg	C
	CUA	Leu	CCA	Pro	CAA	GluN	CGA	Arg	A
	CUG	Leu	CCG	Pro	CAG	GluN	CGG	Arg	G
A	AUU	Ileu	ACU	Thr	AAU	AspN	AGU	Ser	U
	AUC	Ileu	ACC	Thr	AAC	AspN	AGC	Ser	C
	AUA	Ileu	ACA	Thr	AAA	Lys	AGA	Arg	A
	AUG	Met	ACG	Thr	AAG	Lys	AGG	Arg	G
G	GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gly	U
	GUC	Val	GCC	Ala	GAC	Asp	GGC	Gly	C
	GUA	Val	GCA	Ala	GAA	Glu	GGA	Gly	A
	GUG	Val	GCG	Ala	GAG	Glu	GGG	Gly	G

Dari tabel di atas kita dapat membuat satu contoh, misalnya bila basa nitrogen pertama U, kemudian basa nitrogen kedua U, dan basa nitrogen ketiga U, maka susunan

tripletnya adalah UUU. Dan jenis asam amino yang dibawa adalah fenilalanin (phe). Demikianlah seterusnya.

Proses translasi untuk membentuk protein terdiri atas tiga tahap, yakni tahap inisiasi, elongasi, dan terminasi. Proses inisiasi ditandai dengan bergabungnya ujung 5' mRNA dengan subunit 30S dengan bantuan GTP dan enzim-enzim tertentu. GTP adalah singkatan dari guanosin tripospat, suatu senyawa yang berfungsi untuk mengikat mRNA dan tRNA ke ribosom. Kode awal untuk translasi terjadi bila kodon yang masuk ialah AUG yang akan diterjemahkan oleh antikodon tRNA sebagai asam amino metionin. Maka tRNA pada ujung asam amino akan membawa asam amino metionin tersebut. Dengan demikian pada tahap inisiasi ini, kodon AUG merupakan sinyal untuk dimulainya sintesa protein.

Pada tahapan elongasi, masuklah kodon-kodon berikutnya yang membawa kodon-kodon mRNA yang akan dibaca oleh antikodon tRNA lain dan membawa asam amino sesuai dengan kodon mRNA. Masing-masing kodon mRNA memiliki tRNA masing-masing. tRNA untuk kodon pertama tidak sama dengan tRNA untuk kodon berikutnya. Bila kodon berikutnya GAU, maka antikodon tRNA adalah CUA, dan jenis asam amino yang dibawanya ialah aspartin. Kemudian masuk lagi kodon GAG, maka antikodon tRNA adalah CUC, maka asam amino yang dibawa adalah sesuai dengan kodon mRNA, yakni GAG, atau Glutamin. Demikianlah seterusnya. Dan pada tahap ini, rRNA pada subunit 50S akan membentuk ikatan peptida yang akan menyatukan semua asam amino yang sudah terbentuk.

Tahap terminasi adalah tahap di mana mRNA akan membawa kode berhenti sintesis protein atau kodon yang tidak memiliki arti asam amino. Contoh kodon ini ialah UGA, UAG dan UAA. Bila mRNA membawa kodon ini, maka sintesis protein segera berakhir. Dan pada tahap ini polipeptida akan terlepas dari ribosom, dan subunit ribosom 70S kembali terbagi menjadi subunit 50S dan subunit 30S.

Setelah itu protein (polipeptida) yang terbentuk akan bergabung dengan senyawa lain sesuai dengan maksud dan peruntukannya. Contoh sintesis protein ini dapat kita lihat pada skema di bawah ini (Dolussi *et al.*, 2015).

Kodon DNA: TAC – TGG – GCG – CCC-CAT – AGG – GTA – CCT – AAG -ACT

Kodon DNA ini akan membentuk mRNA (transkripsi) sebagai berikut:

mRNA : 5'AUG – ACC – CGC – GGG – GUA – UCC – CAU – GGA – UUC - UGA3'

Kemudian mRNA yang sudah terbentuk menuju ribosom, dan disambut oleh tRNA dengan antikodon sebagai berikut:

Antikodon tRNA: 5'UAC- UGG – GCG – CCC – CAU – AGG – GUA – CCU- AAG – ACU3'

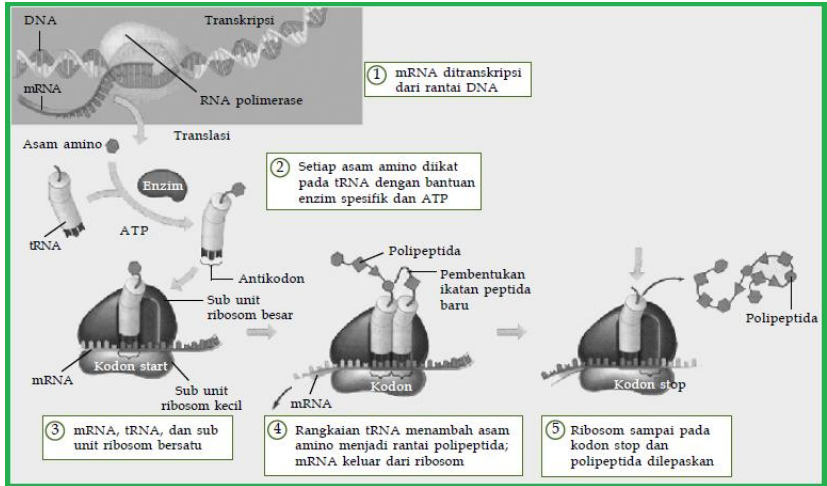
Kemudian tRNA akan membawa asam amino sesuai dengan kodon pada mRNA:

AUG = metionin; ACC= treonin; CGC = arginin; GGG = glisin; GUA = valin; UCC = serin; CAU = histidin; GGA = glisin; UUC = fenilalanin; UGA = stop.

Maka urutan polipeptidanya adalah:

Metionin – treonin – arginin – glisin – valin – serin – histidin – glisin – fenilalanin.

Dan berikut ini adalah skema gambar sintesis protein tersebut:



Gambar 2.7. Diagram sintesa protein (Populer, 2018).

Secara singkatnya sintesis protein itu dimulai dari DNA membentuk mRNA, kemudian mRNA menuju ribosom di sitoplasma. Di ribosom kodon mRNA akan dibaca oleh tRNA (translasi) dan membawa asam amino yang sesuai dengan kodon yang dibawa oleh mRNA. Kemudian setiap asam amino akan diikat oleh ikatan peptida untuk membentuk polipeptida.

2.4 Pertukaran Genetik

Setiap makhluk hidup memiliki seperangkat komponen genetik yang diwariskan dari satu generasi ke generasi lainnya. Materi genetik yang disebut gen ini tersimpan pada kromosom makhluk hidup dan memiliki kemampuan untuk menentukan morfologi, fisiologi, dan fenotipnya. Salah satu kemampuan dari materi genetik ini ialah berubah menyesuaikan dirinya dengan hal-hal yang ada disekitarnya. Hal ini sering disebut dengan mutasi. Perubahan ini akan

menentukan fenotip individu yang bersangkutan, tidak terkecuali juga untuk mikroorganisme.

Contoh mutasi yang sekarang kita lihat adalah terbentuknya varians-varians baru dari virus Covid-19 yang telah bermutasi menjadi beberapa varians baru dengan karakternya yang agak berbeda dengan virus aslinya. Beberapa jenis bakteri juga mampu mengubah fenotipnya untuk melawan serangan beberapa virus tertentu. Misalnya bila ada bakteri yang diserang oleh virus Bacteriophage, maka beberapa bakteri yang berhasil lolos akan menjadi bakteri jenis baru dengan kemampuan mampu melawan virus Bacteriophage.

Selain faktor mutasi, mikroorganisme seperti bakteri juga dapat mengalami perubahan fenotip melalui pertukaran materi genetiknya. Perpindahan materi genetik pada bakteri dikenal dengan sebutan Rekombinasi. Ada beberapa bentuk rekombinasi yang dilakukan oleh bakteri, yakni konjugasi, transformasi, dan transduksi. Oleh karena pada rekombinasi ini terjadi pertukaran bahan genetik, maka sering juga disebut dengan reproduksi seksual bakteri.

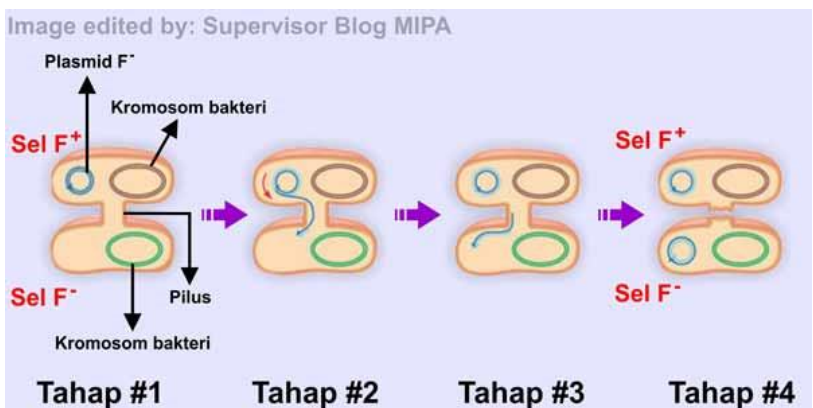
2.4.1 Konjugasi

Konjugasi adalah peristiwa perpindahan materi genetik dari satu sel bakteri ke sel bakteri lainnya dengan menggunakan jembatan penghubung fili. Konjugasi sebenarnya bukanlah suatu reproduksi seksual, tetapi lebih tepatnya disebut dengan paraseksual. Bakteri yang memberikan materi genetiknya disebut dengan F⁺ dan bakteri yang menerima materi genetik disebut dengan F⁻. Materi genetik F⁺ akan membentuk zigot dengan materi genetik F⁻. Dan melalui peristiwa pindah silang akan terjadi pertukaran materi genetik antara F⁺ dan F⁻ sehingga pada akhirnya akan terbentuklah rekombinasi materi genetik dari kedua jenis bakteri. Konjugasi ini hanya bisa terjadi antara dua sel bakteri yang berbeda jenis, yakni antara F⁺ dan F⁻.

Dan tidak bisa terjadi antara dua bakteri yang memiliki muatan yang sama.

Materi genetik yang ditransfer pada konjugasi ini sebenarnya bukan materi genetik dari kromosom bakteri, tetapi dari plasmid bakteri, yang disebut dengan plasmid kesuburan (F = sering juga disebut dengan F faktor). Plasmid kesuburan ini bisa jadi mengandung gen penting seperti gen resistensi terhadap antibiotika. Dalam hal ini bakteri F⁺ akan membentuk fili seks yang akan membentuk jembatan penghubung ke bakteri F⁻.

Tahap awal dari konjugasi ialah pembelahan DNA plasmid menjadi rantai tunggal. Kemudian salah satu dari rantai DNA tunggal dari F⁺ ini akan ditransfer ke sel bakteri F⁻ melalui jembatan seks fili. Dibutuhkan sekitar 100 menit untuk memindahkan DNA plasmid tersebut ke sel bakteri lainnya. Hasilnya ialah bahwa sel bakteri F⁻ sekarang sudah memiliki DNA plasmid bakteri F⁺. Kemudian masing-masing DNA plasmid rantai tunggal baik yang ada di F⁺ maupun F⁻ akan membentuk rantai ganda DNA plasmid. Akhirnya baik bakteri F⁺ maupun bakteri F⁻ sama-sama memiliki gen resisten antibiotika (Lawley, Wilkins and Frost, 2014). Untuk lebih jelasnya proses konjugasi ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.8. Tahapan konjugasi antara dua bakteri (MIPA, 2017)

2.4.2 Transformasi

Transformasi adalah kejadian di mana satu sel bakteri mengambil materi genetik bakteri lainnya yang sudah mengalami lisis. Tidak semua bakteri dapat melakukan transformasi. Hanya bakteri-bakteri tertentu saja. Tetapi yang sering diketahui orang ialah bakteri penyebab penyakit pneumonia, yakni *Pneumococcus*, *Bacillus subtilis*, *Haemophilus*, *Neisseria*, *Streptococcus*, dan *Rhizobium*. Materi genetik yang diambil biasanya materi genetik yang sejenis dengan materi genetik yang dimiliki oleh bakteri resipien. Bakteri yang memberikan materi genetiknya disebut dengan bakteri donor, dan bakteri yang menerima materi genetik disebut dengan bakteri resipien.

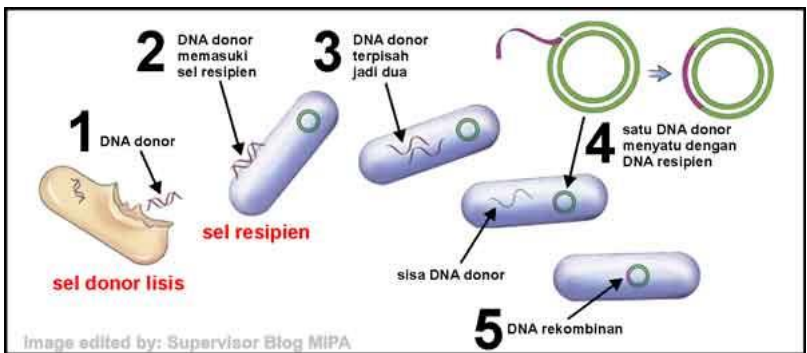
Bakteri resipien yang menerima materi genetik dari bakteri donor, lambat laun akan menjadi bakteri donor. Misalnya bila ada bakteri *pneumococci* yang memiliki kapsul akan menjadi bakteri *pneumococci* yang tidak memiliki kapsul bila bakteri yang berkapsul ini menyerap materi genetika nonkapsul dari bakteri donor. Akhirnya bakteri yang berkapsul itu akan menjadi bakteri yang tidak berkapsul. Misalnya bila ada bakteri *Streptococcus pneumonia* yang tidak berbahaya menyerap materi genetik dari bakteri lain yang mengandung gen untuk menimbulkan infeksi, maka setelah terjadi rekombinasi materi genetik antara bakteri donor dan resipien, pada akhirnya *Streptococcus pneumonia* yang tadinya tidak berbahaya akan berubah menjadi bakteri *Streptococcus pneumonia* yang dapat menimbulkan infeksi (Yoshida and Sato, 2009).

Langkah-langkah transformasi adalah sebagai berikut:

1. Sel bakteri donor pecah dan mengeluarkan materi genetiknya. Materi genetik ini akan terpecah-pecah menjadi beberapa fragmen.
2. Fragmen-fragmen materi genetik sel donor akan terserap oleh sel bakteri resipien.

3. Beberapa fragmen sel donor yang cocok dan sesuai dengan materi genetik resipien akan menyatu untuk membentuk rekombinan.
4. Materi genetik rekombinan ini akan terus ikut membelah saat bakteri membelah diri, sehingga bakteri anakan akan terus membawa materi genetik rekombinan ini.

Berikut ini adalah tahapan rekombinasi materi genetik melalui peristiwa transformasi.



Gambar 2.9. Tahapan transformasi pada bakteri (MIPA, 2017).

2.4.3 Transduksi

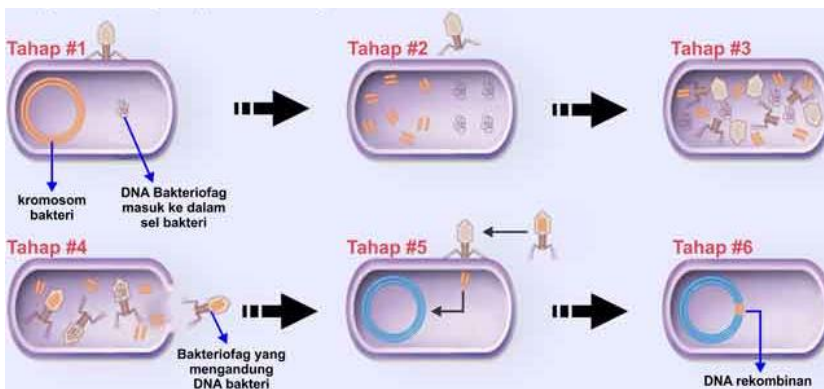
Transduksi adalah proses perpindahan materi genetik (DNA) suatu bakteri ke bakteri lain dengan bantuan virus. Virus yang melakukan ini ialah virus yang biasa menginfeksi bakteri, seperti Bacteriophage. Melalui proses transduksi ini banyak bakteri yang tadinya tidak ganas menjadi bakteri yang ganas.

Tahapan-tahapan transduksi adalah sebagai berikut (Weinstock, 2003):

1. Virus memasukkan DNA atau RNAny ke dalam sel bakteri
2. Di dalam sel bakteri, DNA virus akan mengambil alih peranan DNA bakteri, dan menghancurkannya menjadi fragmen-fragmen DNA bakteri yang kecil-kecil.

3. Selanjutnya DNA virus akan menggunakan DNA bakteri untuk menduplikasi dirinya.
4. Kemudian dengan hasil duplikasi ini DNA virus akan membentuk protein virus seperti kapsid dan yang lainnya untuk memperbanyak diri. Sebagian dari virus akan membawa DNA bakteri.
5. Kemudian DNA bakteri yang dibawa virus akan disuntikkan virus ke bakteri lain untuk membentuk profage, di mana DNA bakteri dari virus bergabung dengan DNA bakteri yang diserang. Nah, pada tahap ini bakteri tersebut sudah memiliki rekombinan DNA bakteri lama dengan DNA bakteri yang baru. Transduksi seperti ini disebut transduksi umum, sebab pemindahan DNA terjadi secara acak.

Ada kalanya DNA rekombinan yang acak ini akan disuntikkan lagi oleh virus ke bakteri lain, sehingga terbentuk rekombinan DNA tertentu dari bakteri DNA rekombinan ke DNA bakteri ketiga hanya pada daerah-daerah sekitar profage. Dan ini disebut dengan transduksi khusus. Untuk lebih rincinya, proses transduksi ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.10. Proses transduksi pada bakteri (MIPA, 2017).

Dengan adanya peristiwa konjugasi, transformasi, dan transduksi ini akan memungkinkan untuk terjadinya varietas baru bakteri dan terbentuknya variasi. Dan hal ini juga memungkinkan terbentuknya jenis bakteri baru yang kebal terhadap antibiotik atau bakteri lain yang lebih ganas.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajim, N. (2023) *Tahapan Sintesis Protein, Mikirbae. Com*. Available at:
<https://www.mikirbae.com/2016/03/tahapan-sintesis-protein.html>.
- Baktir, A. (2012) *DNA Struktur dan Fungsi*. pertama. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Browning, D. F. and Busby, S. J. W. (2016) 'Local and global regulation of transcription initiation in bacteria', *Nature Reviews Microbiology* 2016 14:10, 14(10), pp. 638–650.
- Dolussi, T. M. *et al.* (2015) 'Initiation of Translation in Bacteria by a structured eukaryotic IRESRNA', *Nature*, 519(7541), pp. 110–113.
- Joachimi, A., Benz, A. and Hartig, J. S. (2009) 'A comparison of DNA and RNA quadruplex structures and stabilities', *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 17(19), pp. 6811–6815.
- Kim, S. H. *et al.* (1974) 'Three-dimensional tertiary structure of yeast phenylalanine transfer RNA', *Science*, 185(4149), pp. 435–440.
- Lawley, T., Wilkins, B. M. and Frost, L. S. (2014) 'Bacterial Conjugation in Gram-Negative Bacteria', *Plasmid Biology*, pp. 203–226.
- Lee, D. J., Minchin, S. D. and Busby, S. J. W. (2012) 'Activating Transcription in Bacteria',
<https://doi.org/10.1146/annurev-micro-092611-150012>, 66, pp. 125–152. doi: 10.1146/ANNUREV-MICRO-092611-150012.

- MIPA, S. blok (2017) *Gambar dan Tahapan Reproduksi Bakteri dengan Konjugasi*, *BiologiJK*. Available at: <https://www.biologiJK.com/2017/07/reproduksi-bakteri-secara-konjugasi.html> (Accessed: 19 April 2023).
- Noller, H. F. (1991) 'Ribosomal RNA and translation', *Annual review of Biochemistry*, 60, pp. 191–227.
- P.P, W. (2013) *Apakah DNA?* Kedua. Bandung: Puri Delco.
- Populer, I. (2018) *Proses Sintesis Protein*, *Diary BErsama*. Available at: <https://duniainformasisemasa368.blogspot.com/2018/11/proses-sintesis-protein-tahapan-atau.html> (Accessed: 21 April 2023).
- Reznikoff, W. S. *et al.* (2003) 'THE REGULATION OF TRANSCRIPTION INITIATION IN BACTERIA', *Sintesis Protein - Pengertian, Skema, Diagram, Proses, Tahap* (no date). Available at: <https://www.dosenpendidikan.co.id/sintesis-protein/> (Accessed: 21 April 2023).
- Tok, P. (2019) *Proses Replikasi DNA*, *Edubio*. Available at: <https://www.edubio.info/2019/01/proses-replikasi-dna-lagi.html>.
- Tomikawa, C. (2018) '7-Methylguanosine Modifications in Transfer RNA (tRNA)', *International Journal of Molecular Sciences* 2018, Vol. 19, Page 4080, 19(12), p. 4080.
- Weinstock, G. M. (2003) 'Transduction in Gram-Negative Bacteria', *Modern Microbial Genetics*, pp. 561–579.
- Yoshida, N. and Sato, M. (2009) 'Plasmid uptake by bacteria: a comparison of methods and efficiencies', *Applied Microbiology and Biotechnology*, 83, pp. 791–798.

BAB 3

STERILISASI FISIK DAN KIMIA

Oleh Adhistry Nurpermatasari

3.1 Pendahuluan

Pengendalian mikroba baik melalui sterilisasi dan disinfeksi merupakan salah satu aspek yang sangat penting dilakukan baik di laboratorium, di rumah, di rumah sakit maupun industri (Hafsan, S.Si., 2011). Disinfeksi dan sterilisasi di rumah sakit sangat penting untuk memastikan bahwa instrumen medis dan bedah tidak menularkan patogen infeksius kepada pasien (Rutala and Weber, 2013), sedangkan sterilisasi dan disinfeksi di laboratorium mikrobiologi adalah proses sterilisasi yang dilaksanakan dalam penyiapan media biakan, reagen dan peralatan dimana pekerjaan menjamin kondisi steril tetap terjaga. (Kumar *et al.*, 2020)

Berbagai cara fisik maupun kimiawi yang dapat digunakan untuk mengendalikan mikroba pada tahap yang diinginkan. Pemilihan bahan yang terbaik sangat bergantung pada penerapan mikroba sasaran, misalnya untuk mematikan seluruh mikroba, mematikan jenis-jenis tertentu atau bahan mencegah terjadinya pertumbuhan sekalipun (Hafsan, S.Si., 2011)

3.2 Memahami Konsep Disinfeksi, Sterilisasi, dan Aseptik

Disinfeksi dan sterilisasi merupakan teknik yang bertujuan untuk menghilangkan patogen. Kata kunci untuk membedakan kedua teknik tersebut adalah endospora.

Menghilangkan patogen tetapi masih meninggalkan endospora dianggap sebagai desinfeksi, sementara menghancurkan endospora dan patogen sepenuhnya dianggap sebagai sterilisasi. Oleh karena itu, perlu dipahami kapan waktu yang tepat untuk menerapkan istilah disinfeksi atau sterilisasi.(Yoo, 2018)

Sterilisasi menggambarkan suatu proses yang menghancurkan atau menghilangkan semua bentuk kehidupan mikroba dan dilakukan dengan metode fisik atau kimia. Agen sterilisasi yang biasa digunakan adalah uap bertekanan tinggi, panas kering, gas Etilen oksida, plasma gas hidrogen peroksida, dan bahan kimia cair (Rutala and Weber, 2013). Bentuk sterilisasi yang paling baik adalah pembakaran, namun karena banyak instrumen di bidang medis yang harus didaur ulang, oleh karena itu, pilihan terbaik kedua adalah penggunaan autoclave.(Yoo, 2018)

Disinfeksi menggambarkan suatu proses yang menghilangkan mikroorganisme patogen kecuali spora bakteri pada benda mati. Pada fasilitas kesehatan, objek biasanya didesinfeksi dengan bahan kimia cair atau pasteurisasi basah. Sedangkan aseptis adalah kondisi yang memastikan bahwa kondisi lingkungan, produk dan peralatan yang digunakan sudah disterilkan, teta[i hal tersebut tidak menjamin sterilitas, jika salah satu komponen terdapat kecacatan dalam. (Kothekar and Kulkarni, 2020).

Faktor-faktor yang mempengaruhi keefektifan disinfeksi dan sterilisasi meliputi pembersihan objek terlebih dahulu; muatan organik dan anorganik yang ada; jenis dan tingkat cemaran mikroba; konsentrasi dan waktu pemaparan terhadap bahan pembasmi kuman; sifat fisik objek (misalnya celah, engsel, dan lumen); adanya biofilm; suhu dan pH proses desinfeksi; dan dalam beberapa kasus, kelembapan relatif dari proses sterilisasi (misalnya, etilen oksida). (Rutala and Weber, 2013)

Klasifikasi Bahan yang akan Disterilkan/ Disinfeksi

Lebih dari 30 tahun yang lalu, Earle H. Spaulding menyusun pendekatan rasional untuk disinfeksi dan sterilisasi barang dan peralatan perawatan pasien. Skema klasifikasi ini sangat jelas dan logis sehingga dipertahankan, disempurnakan, dan berhasil digunakan oleh profesional pengendalian infeksi dan lainnya saat merencanakan metode untuk disinfeksi atau sterilisasi. (Rutala and Weber, 2013) Kategori ini bergantung pada risiko infeksi, sifat paparan terhadap jaringan dan ketelitian sterilisasi, dan disinfeksi. (Selvaraj, 2008).

1. Item Kritis

Item kritis memberikan risiko tinggi untuk infeksi jika terkontaminasi dengan mikroorganisme apa pun. Dengan demikian, benda yang masuk ke jaringan steril atau sistem vaskular harus steril karena setiap kontaminasi mikroba dapat menularkan penyakit. Kategori ini mencakup instrumen bedah, kateter jantung dan urin, implan, dan probe ultrasonografi yang digunakan dalam rongga tubuh yang steril, dll.

Sebagian besar barang dalam kategori ini harus dibeli dalam keadaan steril atau disterilkan dengan uap jika memungkinkan. Benda yang peka terhadap panas dapat disterilkan dengan Etilenoksida, plasma gas hidrogen peroksida; atau jika metode lain tidak sesuai, dapat di sterilisasi dengan cairan kimia. (Rutala and Weber, 2013)

2. Item Semi Kritis

Item ini terpapar pada selaput lendir utuh atau kulit yang tidak utuh, tetapi biasanya tidak merusak penghalang jaringan, sehingga menimbulkan risiko menengah. Jaringan rentan terhadap infeksi yang dihasilkan oleh bakteri dan virus tetapi resisten terhadap infeksi yang disebabkan oleh spora bakteri, sehingga sterilisasi sporicidal tidak diperlukan. Disinfeksi tingkat tinggi wajib untuk barang-barang ini. (Kothekar and Kulkarni, 2020)

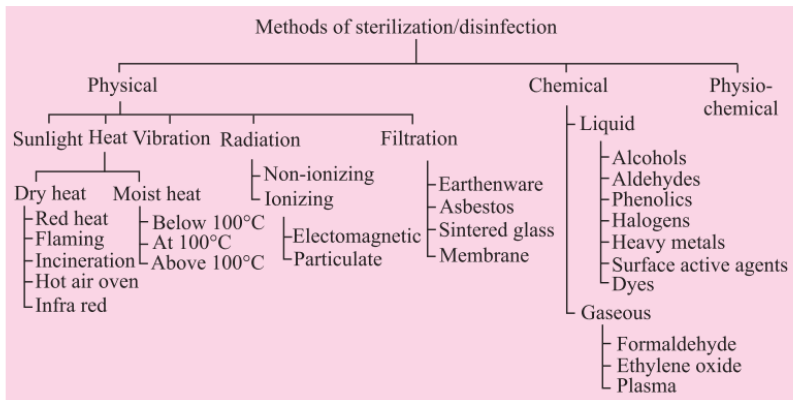
3. Item Non Kritis

Item ini termasuk manset tekanan darah, oksimeter denyut, kabel dan elektroda elektrokardiografi (EKG), dan lingkungan sekitar pasien seperti furnitur dan lantai yang bersentuhan dengan kulit utuh. Risiko penularan infeksi kepada pasien dengan barang-barang ini sangat rendah, tetapi barang-barang tersebut tidak boleh terpapar pada kulit dengan luka terbuka. Item ini membutuhkan disinfeksi tingkat menengah atau tingkat rendah berdasarkan bioburden. Penting untuk diingat bahwa metode yang salah atau sterilisasi/disinfeksi yang tidak memadai dapat membuat pasien dan petugas kesehatan terpapar risiko infeksi. Sangat penting untuk selalu mengikuti rekomendasi pabrikan untuk desinfeksi, sterilisasi, dan pembersihan. Penggunaan metode yang tidak kompatibel dapat merusak peralatan secara permanen sehingga tidak dapat diperbaiki dan, dengan demikian, memperburuk kekurangan pasokan. Misalnya, penggunaan disinfektan berbasis alkohol untuk desinfeksi probe ultrasound dapat menyebabkan kerusakan permanen pada probe karena reaksinya dengan kepala karet transduser. (Kothekar and Kulkarni, 2020)

3.3 Sterilisasi

Macam-macam metode sterilisasi :

1. Metode Fisik
 - a. Metode Termal (Panas)
 - b. Metode Radiasi
 - c. Metode Filtrasi
2. Metode Kimia
3. Metode gas



Gambar 3.1. Macam - macam Metode Sterilisasi
(Sumber : Textbook of Microbiology for Paramedicals)

3.3.1 Metode Fisik

1. Metode Termal (Panas)

a. Sterilisasi Panas Kering

Sterilisasi panas adalah metode sterilisasi yang paling banyak digunakan dan dapat diandalkan karena melibatkan penghancuran enzim dan konstituen sel penting lainnya. Dalam keadaan kering terjadi perubahan oksidatif dan masukan panas yang lebih tinggi diperlukan. Metode sterilisasi ini hanya dapat diterapkan pada produk termostabil, tetapi dapat digunakan untuk bahan yang sensitif terhadap kelembaban dengan panas kering atau menggunakan oven (160-180°C) selama satu hingga 2 jam. (Selvaraj, 2008)

Spora terbunuh pada suhu ini dan ini adalah metode yang paling umum untuk sterilisasi peralatan gelas, tongkat penyeka, alu dan mortar, minyak mineral dll. Jarum inokulasi disterilkan dengan memanaskan hingga 'merah' di dalam pembakar Bunsen atau nyala lampu spiritus. Sterilisasi panas kering menyebabkan denaturasi protein, kerusakan oksidatif, efek toksik dari elektrolit yang meningkat tanpa adanya air.

b. Sterilisasi panas basah atau panas lembab

Proses sterilisasi ini lebih efektif dalam keadaan terhidrasi dimana pada kondisi kelembaban tinggi, terjadi hidrolisis dan denaturasi, sehingga diperlukan input panas yang lebih rendah. Sterilisasi panas basah dilakukan dengan :

- 1) Perebusan pada suhu 100°C selama 30 menit dilakukan dalam waterbath. Jarum suntik, barang karet dan instrumen bedah dapat disterilkan dengan metode ini. Hampir semua bakteri dan spora tertentu dibunuh dengan metode ini
- 2) Mengukus pada suhu 100°C selama 20 hingga 30 menit di bawah tekanan atmosfir normal lebih efektif daripada panas kering pada suhu yang sama karena bakteri lebih rentan terhadap panas lembab. Uap memiliki daya penetrasi dan daya sterilisasi yang lebih besar karena lebih banyak panas yang dilepaskan selama kondensasi. Cocok untuk mensterilkan media yang mungkin rusak pada suhu di atas 100°C .
- 3) Tindalisasi (Fractional Sterilization) adalah proses pengukusan yang dilakukan pada suhu 100°C dilakukan dalam steam sterilizer selama 20 menit dilanjutkan dengan inkubasi pada suhu 37°C semalaman dan siklus ini diulangi selama 2 hari berturut-turut. Spora akan menjadi bakteri vegetatif selama inkubasi dan dihancurkan selama pengukusan pada hari kedua dan ketiga. Media labil panas yang mengandung gula, susu, gelatin dapat disterilkan menggunakan metode ini.
- 4) Autoklaf dilakukan dengan uap di bawah tekanan. Mengukus pada suhu lebih tinggi dari 100°C digunakan dalam autoklaf. Ini dicapai dengan menggunakan tekanan yang lebih tinggi. Autoklaf ditutup dan dibuat kedap udara untuk pengembangan tekanan dan pada tekanan 15 lbs per inci persegi, suhu 121°C akan tercapai dan suhu ini diberikan sebagai waktu penahanan sterilisasi

selama 15 menit berikutnya. Proses ini membunuh spora dan ini bekerja seperti pressure cooker dan salah satu metode sterilisasi yang paling umum.

- 5) Pasteurisasi adalah salah satu metode sterilisasi panas lembab yang bekerja di bawah suhu 100°C. Proses ini digunakan untuk memanaskan susu dan makanan cair lainnya. Produk disimpan pada suhu dan untuk jangka waktu tertentu untuk membunuh bakteri patogen yang mungkin ada di dalam produk. Proses ini tidak menghancurkan organisme lengkap termasuk spora.

Semua sterilisasi panas lembab ini menyebabkan denaturasi dan koagulasi protein, kerusakan untai DNA, dan hilangnya integritas fungsional membran sel.

2. Metode Radiasi

Radiasi Ultraviolet pada panjang gelombang antara 330 nm dan 400 nm menyebabkan efek sterilisasi. Metode ini digunakan dalam sterilisasi permukaan laminar air flow, biosafety cabinet dan pada kasus tertentu di laboratorium.

3. Metode Filtrasi

Metode sterilisasi ini digunakan untuk media yang sifatnya sangat labil terhadap panas (mis. serum, media yang mengandung protein atau metabolit labil. Jika studi memerlukan filtrat bebas bakteri, dapat diperoleh melalui membran filter berukuran 0,45 mikron dan jika studi memerlukan virus larutan bebas partikel, kemudian membran filter berukuran 0,22 mikron digunakan. Pada hari-hari sebelumnya, filter serap asbes atau tanah diatom digantikan oleh porselen tanpa glasir atau kaca sinter digunakan. Saat ini, filter ini diganti dengan filter membran nitroselulosa dengan porositas bertingkat, PVDF, dll. (Kumar *et al.*, 2020)

3.3.1 Metode Kimia

Alternatif untuk sterilisasi uap bertekanan tinggi atau panas kering adalah sterilisasi kimia (sering disebut “sterilisasi dingin”). Jika benda perlu disterilkan tetapi akan rusak jika disterilkan dengan menggunakan uap bertekanan tinggi atau sterilisasi panas kering maka benda tersebut dapat disterilkan secara kimiawi.

1. Agen Pengoksidasi

- a. Natrium hipoklorit (NaClO) Natrium hipoklorit merupakan oksidator yang memiliki struktur Na-ClO dan terutama digunakan sebagai pemutih. Pada konsentrasi di atas 40% (>500 ppm), dapat menimbulkan korosi pada logam. Natrium hipoklorit harus ditangani dengan hati-hati karena iritasi pada selaput lendir, dan pembilasan menyeluruh harus dilakukan setelah digunakan. Mencampur natrium hipoklorit dengan desinfektan selain air bisa berbahaya. Natrium hipoklorit tidak membunuh spora pada konsentrasi rutin, namun memiliki efek sporisida pada konsentrasi 5.000 ppm atau lebih tinggi. Sebagai referensi, buah dan sayuran disterilkan pada 100 ppm selama lima menit, peralatan makan disterilkan pada 200 ppm, dan pembersihan lantai umum disterilkan pada 400 ppm. (Yoo, 2018)
- b. Povidone-iodine
Povidone-iodine (polyvinylpyrrolidone Iodine) bekerja dengan menembus dinding sel bakteri, mengoksidasi bahan, dan mendominasi sel. (Yoo, 2018)
- c. Hidrogen peroksida (H_2O_2)
Hidrogen peroksida (H_2O_2) tidak membunuh spora secara efektif pada konsentrasi rendah ($<2\%$) (disinfektan tingkat rendah), tetapi bertindak sebagai disinfektan tingkat tinggi atau bahan kimia steril jika dibiarkan cukup waktu pada konsentrasi tinggi (7,5–30%). Peningkatan aktivitas hidrogen

peroksida dihasilkan melalui campuran dengan surfaktan, dan ini berfungsi sebagai disinfektan tingkat tinggi yang dapat menghilangkan endospora dan virus yang tidak berselubung jika digunakan selama 5 menit dalam larutan 2%. (Yoo, 2018)

d. Asam perasetat

Asam perasetat memiliki struktur $\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H}$, senyawa ini mencapai permukaan bakteri dan menghancurkannya dengan oksidasi. Pada saat yang sama, ia juga menghasilkan radikal hidroksil dan memperkuat aksi sterilisasi, terutama dalam penghancuran ikatan sulfhidril (-SH) dan sulfur (S-S). Asam perasetat juga efektif dalam menghilangkan zat organik dengan memecah protein dan menghancurkan biofilm. Bahkan pada suhu rendah, dapat membunuh endospora (sterilisasi kimia).

2. Non Oksidasi (Koagulan)

a. Alkohol (etanol)

Rumus kimia etanol adalah $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ digunakan sebagai antiseptik pada konsentrasi 60-80%, sedangkan pada konsentrasi 70% etanol memiliki aktivitas antimikroba. Etanol tidak dapat digunakan pada konsentrasi 80% atau lebih karena akan terjadi koagulasi dinding sel bakteri yang berlebihan dan sehingga disinfektan tidak dapat masuk ke dalam sel. Karena sifatnya yang dapat menguapkan air, larutan alkohol 100 berbahaya bagi kulit, oleh karena itu, disinfektan etanol dibuat dalam sediaan gel untuk melembabkan dan melindungi tangan dan untuk memperpanjang waktu kontak mikroorganisme dengan alkohol agar lebih meningkatkan efek sterilisasi.

Mekanisme dasar etanol adalah denaturasi dan koagulasi protein. Gugus hidroksil (-OH), yang merupakan struktur dasar alkohol, berikatan dengan protein mikroba melalui ikatan hidrogen dan merusak struktur dan fungsi protein sehingga

mengakibatkan penghambatan enzim dan pengendapan protein dan bersifat sporostatik. (Yoo, 2018)

b. Chlorhexidine (CHX)

Chlorhexidine (CHX) adalah bahan kimia yang dihasilkan dari biguanide, karena muatan positifnya, chlorhexidine berikatan dengan baik pada dinding sel dan membran bakteri yang bermuatan negatif. Pengikatan ini mengakibatkan keretakan pada sel bakteri, menyebabkan isinya bocor dan akhirnya menyebabkan bakteri pecah. Ikatan muatan negatif dan positif ini sangat kuat dan tetap di tempat untuk waktu yang lama, sehingga chlorhexidine memiliki efek jangka panjang tidak seperti alkohol yang mempunyai efek jangka pendek. (Yoo, 2018)

c. Senyawa amonium kuarter

Senyawa amonium kuarterner (contoh : benzalkonium klorida) mengikat dinding sel atau membran sel bakteri dan menyebabkan kebocoran, sehingga mengganggu potensial membran dan gradien pH sel. Senyawa amonium kuarterner digunakan untuk desinfeksi barang-barang yang tidak kritis dan bertindak sebagai deterjen kationik. Senyawa amonium kuarterner tidak dapat membunuh endospora, *Mycobacterium*, dan virus yang tidak berselubung (misalnya, norovirus). Sebagai pengecualian, norovirus dapat dinonaktifkan dengan senyawa amonium kuartener 200 ppm atau konsentrasi yang lebih tinggi atau 2.470 ppm + alkohol. Namun demikian, dalam kasus norovirus, sebaiknya menggunakan hidrogen peroksida atau disinfektan klorin.

Bakteri melawan Senyawa amonium quartener dengan memperlakukannya seperti fluoroquinolones atau tetrasiklin. Misalnya, bakteri mengeluarkan senyawa amonium quartener dengan pompa efflux aktif yang terdiri dari gen *qac* yang dimediasi oleh plasmid. (Yoo, 2018)

d. Glutaraldehida dan orto-phthalaldehyde (OPA)

Beberapa disinfektan tingkat tinggi akan membunuh endospora setelah paparan yang lama (10-24 jam). Disinfektan umum yang dapat digunakan untuk sterilisasi kimia meliputi glutaraldehida dan formaldehida. Sterilisasi dilakukan dengan merendam selama minimal 10 jam dalam larutan glutaraldehida 2-4% atau minimal 24 jam dalam formaldehida 8%. Baik glutaraldehid maupun formaldehida membutuhkan penanganan khusus dan meninggalkan residu pada instrumen yang dibersihkan, oleh karena itu, membilas dengan air steril sangat penting jika barang harus dijaga tetap steril.

Meskipun formaldehida lebih murah daripada glutaraldehida, ia juga lebih mengiritasi kulit, mata dan saluran pernapasan dan diklasifikasikan sebagai zat karsinogenik. Oleh karena itu Saat menggunakan glutaraldehid atau formaldehida, kenakan sarung tangan untuk menghindari kontak kulit, kenakan kacamata untuk melindungi dari percikan, batasi waktu pemaparan, dan gunakan kedua bahan kimia tersebut hanya di area yang berventilasi baik. (Chains, 1999)

DAFTAR PUSTAKA

- Chains, H.M. (1999) 'X x x x', in *Infection Prevention Guidelines*, pp. 13–17.
- Hafsan, S.Si., M.P. (2011) *MIKROBIOLOGI UMUM*. 1st edn, Alaudin University Press. 1st edn. Edited by M.K. Mustami. Makassar: lauddin Press.
- Kothekar, A.T. and Kulkarni, A.P. (2020) 'Basic principles of disinfection and sterilization in intensive care and anaesthesia and their applications during covid-19 pandemic', *Indian Journal of Critical Care Medicine*, 24(11), pp. 1114–1124. Available at: <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10071-23562>.
- Kumar, A. *et al.* (2020) 'STERILIZATION TECHNIQUE USED IN MICROBIOLOGY', in. Mumbai: Mumbai Research Centre of CIFT, pp. 1–9. Available at: <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>.
- Rutala, W.A. and Weber, D.J. (2013) 'Disinfection and sterilization in healthcare facilities', *Bennett & Brachman's Hospital Infections: Sixth Edition* [Preprint], (May). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.idc.2021.04.004>.
- Selvaraj, L. (2008) 'Sterilisation and Disinfection', *Textbook of Microbiology for Paramedicals*, (April 2016), pp. 17–17. Available at: https://doi.org/10.5005/jp/books/11041_4.
- Yoo, J.H. (2018) 'Review of disinfection and sterilization - Back to the basics', *Infection and Chemotherapy*, 50(2), pp. 101–109. Available at: <https://doi.org/10.3947/ic.2018.50.2.101>.

BAB 4

KONSEP DAN RESISTENSI ANTIBIOTIK

Oleh Ika Kurnia Sukmawati

4.1 Pendahuluan

Masalah kesehatan utama didunia dan juga di Indonesia salah satunya disebabkan oleh penyakit infeksi. Dinegara berkembang penyakit infeksi menjadi salah satu penyebab kematian paling besar dimana yang meninggal terdapat 13 juta kematian pertahun. Dibandingkan dengan penyakit degeneratif, penyakit infeksi mengalami penurunan pada tahun 2018 jika dibandingkan dengan hasil Riskesdas 2013. Prevalensi penyakit menular yang terdata turun adalah ISPA, malaria dan diare pada balita. Prevalensi ISPA turun menjadi 4,4% dari 13,8%, malaria turun menjadi 0,4% dari 1,4%, begitupun diare pada balita juga turun menjadi 12,3% dari 18,5%. Penyakit TB paru prevalensinya masih sama sebesar 0,4% dan prevalensi pneumonia naik dari 1,6% menjadi 2%. Kasus HIV masih meningkat setiap tahunnya pada 2015 sebanyak 30.935 dan 2017 tercatat 48.300 kasus (Kementrian kesehatan RI, 2019).

Walaupun penyakit Infeksi mengalami penurunan, beberapa penyakit infeksi menular tersebut masih tinggi prevalensinya dan merupakan ancaman kesehatan masyarakat. Globalisasi juga memberikan hasil kemudahan mobilitas manusia berbeda negara, serta perubahan gaya hidup yang mempercepat proses penyebaran wabah atau penularan penyakit. Untuk mencegah terjadinya wabah harus terus dilakukan evaluasi dan penyesuaian metode pengobatan untuk menghadapi kasus infeksi. Penyakit

infeksi dapat disebabkan oleh mikroorganisme patogen, seperti bakteri, virus, parasit atau jamur dimana pengobatan infeksi yang tidak tepat akan menyebabkan resistensi (Kementrian kesehatan RI, 2019).

Pengobatan penyakit infeksi dilakukan dengan menggunakan antibiotik, tetapi resistensi bakteri terhadap pilihan pertama antibiotik meningkat drastis, karena banyak bakteri yang sudah resisten terhadap antibiotika. Pada tahun 2016 Kemenkes menunjukkan data dari hasil survei nasional bahwa prevalensi *Multidrug Resistant Organisms* (MDRO) adalah 50-82% terhadap *E coli* dan *K pneumoniae* penghasil ESBL (*extended-spectrum beta-lactamase*). Tingginya angka prevalensi tersebut sepatutnya segera diatasi dengan melaksanakan aturan pemakaian antibiotik yang rasional sehingga infeksi dapat dicegah dengan optimal tanpa adanya resistensi. (Permenkes RI, 2021).

Masyarakat dapat membaca dan ikut memahami serta mengawasi penggunaan antibiotik mengacu pada PerMenKes No 28 tahun 2021 tentang Pedoman Penggunaan Antibiotik digunakan sebagai salah satu pedoman penyusunan tata laksana penyakit dengan pengobatan antibiotik dalam pedoman nasional pelayanan kedokteran. (Permenkes RI, 2021).

4.2 Definisi Resistensi Antibiotika

Resistensi antibiotik adalah kejadian dimana mikroorganisme yang sebelumnya sensitif tidak lagi sensitif terhadap beberapa jenis antibiotik dimana hal tersebut disebabkan oleh antibiotik sistemik pada dosis normal/kadar hambat minimalnya tidak bisa menghambat pertumbuhan bakteri. Definisi dari resistensi antibiotik adalah kemampuan mikroorganisme seperti bakteri, virus, jamur, atau parasit untuk melawan atau tidak merespons pengobatan dengan antibiotik, sehingga bakteri menjadi kebal terhadap antibiotik sebelumnya efektif untuk

pengobatan infeksi yang disebabkan oleh bakteri tersebut. Bakteri yang resisten terhadap antibiotik tidak bisa di bunuh oleh antibiotik, bahkan bakteri berkembangbiak dan menyebabkan penyebaran sehingga lebih berbahaya (World Health Organization, 2015)

Resistensi antibiotik menjadi masalah global yang serius karena dapat mengurangi efektivitas antibiotik dan meningkatkan risiko infeksi yang tidak terkendali. Fenomena resistensi antibiotik telah ditemukan pada berbagai jenis mikroorganisme dan telah menjadi masalah kesehatan yang signifikan diseluruh dunia, ditambah dengan adanya mekanisme resistensi baru yang menyebar menyebabkan daftar infeksi yang terus bertambah seperti pneumonia, TBC, gonore, dan penyakit infeksi lainnya menjadi sulit diobati bahkan tidak mungkin diobati lagi dengan antibiotik karena sudah tidak efektif lagi (World Health Organization, 2015)

4.3 Sejarah Resistensi Antibiotika

Sejarah resistensi antibiotik dimulai sejak awal penggunaan antibiotik pada pertengahan abad ke-20. Pada saat itu, antibiotik dianggap sebagai obat mujarab yang efektif dan cepat dalam menyembuhkan infeksi bakteri. Namun beberapa bakteri mulai mengembangkan resistensi terhadap antibiotik. Awal penemuan resistensi yaitu pada saat ditemukannya *Streptococcus pyogenes* yang resisten terhadap sulfonamida pada tahun 1930-an. Kemudian tahun 1940-an ditemukan penisilin resistensi terhadap *Staphylococcus aureus*. Begitu juga dengan *Mycobacterium tuberculosis* yang resisten terhadap streptomycin.

Pada tahun 1950 resistensi tunggal maupun multiple (*multidrug resistance*) yang dimediasi oleh plasmid dapat dipindahkan dari satu organisme ke mikroorganisme lainnya di traktus gastrointestinal bakteri tersebut adalah bakteri enterik seperti *Escherichia coli*, *Shigella* dan

Salmonella yang meningkatkan masalah klinis dan biaya pengobatan terutama dinegara berkembang. Resistensi *S. aureus* terhadap antibiotik semakin berkembang. Pada tahun 1960-an resistensi terus meningkat terhadap Sebagian besar antibiotik, dengan adanya *methicillin-resistant Staphylococcus aureus* (MRSA). Pada pertengahan 1970-an dan 1980-an dengan munculnya resistensi terhadap sejumlah besar antibiotik seperti tetracycline, aminoglikosida, dan sefalosporin, gen-gen resisten pada bakteri diketahui semakin meluas di masyarakat. Bakteri resisten semakin menyebar ditahun 1990-an. Pada tahun 2000-an ditemukan resistensi terhadap obat tuberculosis, bakteri *Staphylococcus* terhadap vancomysin, *Neisseria gonorrhoeae* terhadap ceftriaxone dan pada tahun 2011 ditemukan staphylococcus resisten terhadap ceftaroline ("ANTIMICROBIAL," n.d.; Davies, 1996; Muntasir and Susanti widy, 2022)

Fleming mengingatkan bahaya resistensi bakteri

“Mungkin akan tiba waktunya ketika penisilin dapat dibeli siapapun di toko. Kemudian bahaya muncul saat orang yang abai tersebut mungkin dengan mudahnya memberikan dirinya dosis yang rendah dan paparan jumlah yang tidak mematikan terhadap mikroba yang ada di dalam dirinya sehingga membuat mikroba tersebut tersebut menjadi resisten.”

Alexander Fleming

Pada tahun 2014, Fleming menyampaikan Sebagian pidato pada saat penerimaan Penghargaan Nobel di bidang kedokteran bersama dengan Chain dan Florey (Alexander Fleming, 1945).



Gambar 4.1. Cover Koran The New York Times
Oktober 1945
(Sumber: Amazon)

Saat ini, resistensi antibiotik telah menjadi masalah global yang serius dan mengancam kesehatan manusia diseluruh dunia. Didunia akibat resistensi antibiotik terdapat 700.000 kematian pertahun. DiIndonesia terdapat laporan kematian sebanyak 140.000., hal ini disebabkan kurangnya pengawasan terhadap penggunaan antibiotik sehingga digunakan berlebihan (Kurnia, 2023).

4.4 Penyebab Resistensi Antibiotika

Penyebab utama resistensi antibiotik adalah penggunaan antibiotik yang tidak tepat atau berlebihan. Ketika antibiotik digunakan dengan tidak benar, bakteri dapat mengalami mutasi atau mengambil gen resistensi dari bakteri lain melalui transfer horizontal gen. Hal ini menyebabkan bakteri menjadi lebih resisten terhadap antibiotik dan sulit untuk diobati.

Untuk mengatasi masalah resistensi antibiotik, perlu dilakukan upaya untuk mengurangi penggunaan antibiotik yang tidak tepat, meningkatkan pengawasan penggunaan antibiotik, dan meningkatkan kepatuhan terhadap pengobatan antibiotik yang diresepkan. Selain itu, pengembangan antibiotik baru dan strategi pengobatan alternatif juga perlu ditingkatkan.

Berikut adalah penyebab resistensi antibiotik: secara non klinik dan klinik.

4.4.1 Penyebab Resistensi Antibiotik Secara Nonklinik

Beberapa faktor yang menyebabkan resistensi antibiotik antara lain:

1. Bakteri dapat membentuk Biofilm.

Biofilm merupakan mikroorganisme yang berkelompok dimana banyak bakteri berkelompok dan saling menempel pada suatu permukaan sel hidup ataupun benda mati membentuk matriks berlendir dan merupakan zat polimer ekstraseluler (EPS) yang diproduksi oleh dirinya sendiri membentuk biofilm dalam bentuk yang irreversible. Mikroorganisme bisa menempel pada perangkat medis yang menimbulkan masalah serius bagi kesehatan masyarakat dan mempengaruhi fungsi perangkat medis tersebut. Bakteri yang membentuk biofilm menjadi penyebab banyaknya penyakit menular kronis. Biofilm pun dapat menjadi sumber bermasalah di bidang industri makanan dan minuman seperti pengolahan produk segar, unggas dan daging merah, pembuatan bir, pengolahan susu dan lain-lain.

Secara umum semua bakteri mampu membentuk biofilm. Berikut bakteri yang dapat membentuk biofilm adalah: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* dll.

Pembentukan Biofilm merupakan hal yang kompleks, secara umum dikelompokkan menjadi 4 tahapan yaitu:

a. Perlekatan sel

Faktor penyebab perlekatan mikroorganisme pada suatu permukaan tergantung dari beberapa hal yaitu: motilitas bakteri oleh gravitasi, difusi fase cairan dan sekitarnya, unsur hara dalam media disekitarnya dan tahap pada saat sel bakteri tumbuh. Perlekatan yang bersifat reversible menghasilkan perlekatan jangka Panjang antara sel bakteri dan substrat. Perlekatan tersebut terkait dengan interaksi van der Waals, gaya elektrostatik dan interaksi hidrofobik. Selanjutnya perlekatan irreversible merupakan interaksi jangka pendek yang melibatkan interaksi dipol-dipol, ion hidrogen, ikatan kovalen, dan interaksi hidrofobik. Selama tahap reversible, bakteri menunjukkan gerak Brown dan bisa hilang oleh pembilasan dengan air. Bakteri membutuhkan energi tinggi (Scrubbing dan menggores) untuk melakukan interaksi dengan permukaan flagela, fimbriae, pili dan fibril, serta melakukan pengangkatan sel. Suhu dan pH juga menjadi factor perlekatan sel mikroorganisme.

b. Pembentukan mikrokoloni

Perlekatan yang bersifat irreversible disebabkan oleh Proliferasi sel-sel bakteri menggunakan nutrisi yang terdapat pada sel dan membentuk lapisan sel yang menutupi permukaan. Perlekatan sel kepermukaan dibantu oleh eksopolisakarida yang dihasilkan dari sel-sel yang melekat.

c. Pembentukan biofilm

Perlekatan jangka panjang antara sel bakteri dan substrat secara terus menerus menyebabkan produksi EPS. Ukuran biofilm membesar karena ada deposisi atau perlekatan dari bahan-bahan organik dan anorganik serta partikel dari fase cair di sekitarnya.

d. Pemantapan dan perluasan biofilm.

Setelah biofilm terbentuk, bakteri harus mampu melepaskan diri dari kelompok yang ada didalam biofilm sehingga muncul sel bakteri yang baru dan terlepas sehingga berpindah lokasi baru dan memulai kembali proses biofilm.

Pengaruh Biofilm terhadap penyakit infeksi pada manusia terbukti bahwa biofilm menyebabkan infeksi lebih dari 65%. Berikut penyakit infeksi yang disebabkan oleh biofilm yaitu: *E. coli* penyebab Infeksi saluran kemih, *Staphylococcus aureus* penyebab infeksi kateter, *Haemophilus influenzae* penyebab infeksi telinga tengah anak. Penyakit tersebut sulit diobati dan sering kambuh.

Penyakit infeksi yang disebabkan oleh mikroba biofilm sulit diobati hal tersebut karena adanya resistensi antibiotik dan peranan sistem imun dari manusia. Berikut perbedaan antara mikroba biofilm dan non biofilm dalam hal karakteristik bakterinya terhadap terapi dan resistensi:

- a. Sel bakteri biofilm berbeda dengan sifat biologis sel bakteri biasa meskipun strainnya sama.
- b. Bakteri biofilm lebih tahan oleh pengaruh lingkungan yang kurang kondusif.
- c. Penggunaan dosis obat meningkat menjadi 100 sd 1000 kali lipat untuk infeksi yang disebabkan oleh bakteri biofilm.
- d. Proses fagositosis sistem imun inang resisten terhadap bakteri biofilm sehingga membentuk infeksi dan inflamasi yang permanen sehingga menyebabkan jaringan mengalami kerusakan. Tidak efektifnya terapi

infeksi terhadap antibiotik disebabkan oleh mikroba biofilm dimana terdapat mekanisme yang bertanggung jawab terhadap resistensi antibiotik yaitu:

- a. Perubahan fenotif bakteri. Bakteri dalam biofilm mengaktifkan banyak gen yang mengubah fenotif bakteri sehingga terjadi peningkatan jumlah mutasi bakteriselain itu terjadi perubahan target molekul, dan perubahan kerentanan terhadap antibiotik (resistensi). Perubahan fenotif disebabkan oleh pergeseran genetic dimana terdapat 65-80 protein yang berubah. Pembentukan biofilm terjadi karena adanya *GenrpoS* yang menginduksi respon stressor dan penekanan metabolisme energi serta mortalitas sehingga terjadi perubahan fisiologis yang menyebabkan resistensi antibiotik.
- b. Perpindahan gen resistensi: Bakteri dapat mentransfer gen resistensi antibiotik kepada bakteri lain melalui plasmid atau konjugasi. Perpindahan gen resistensi dapat terjadi di lingkungan tanpa keterlibatan manusia atau hewan. Bakteri dalam biofilm dapat mentransfer informasi genetic dan plasmid, berkomunikasi satu sama lain dan merasakan lingkungan eksternal.
- c. Inaktivasi molekul aktif secara langsung dimana produksi ekso polisakarida dapat mengikat matriks biofilm dan berkontribusi memperlambat kecepatan difusi zat antimikroba. Pada saat matriks biofilm terikat maka antibiotik diinaktivasi.
- d. Bakteri yang tidak berkembang atau lambat berkembang menyebabkan resistensi. Hal tersebut akibat dari bakteri yang terlalu rapat dalam biofilm sehingga kekurangan oksigen dan mempengaruhi aktivitas metabolik.

2. Dormansi

Dormansi merupakan fase pada bakteri yang terjadi karena kondisi lingkungan yang tidak mendukung untuk kehidupan bakteri. Pertumbuhan dan metabolisme bakteri menjadi melambat dan lebih resisten terhadap antibiotik. Sel dorman bersifat reversible, jika terjadi perubahan lingkungan sel bakteri akan kembali aktif. Antibiotik bekerja pada saat bakteri sedang aktif. (Muntasir and Susanti widy, 2022)

4.4.2 Penyebab Resistensi Antibiotik Secara Klinik

Meningkatnya resistensi antibiotik disebabkan oleh beberapa hal yaitu :

1. Penggunaan antibiotik dalam Pengobatan

Penggunaan antibiotik dalam pengobatan yang menjadi penyebab resistensi adalah:

- a. Peresepan Antibiotik yang kurang tepat (Irasional)
Pengobatan yang terlalu singkat, dosis yang terlalu rendah, durasi yang tidak tepat dan indikasi yang tidak tepat merupakan penyebab penggunaan antibiotik yang tidak tepat dan berpotensi menyebabkan resistensi. Penegakan diagnose yang tidak tepat pun menjadikan pemberian resep yang tidak tepat, contohnya: infeksi virus yang seharusnya tidak diberikan antibiotik.
- b. Antibiotik sering diberikan secara empiris (berdasarkan asumsi tanpa hasil tes laboratorium) pada pasien dengan infeksi yang tidak diketahui penyebabnya. Penggunaan antibiotik secara empiris dapat menyebabkan penggunaan antibiotik yang tidak tepat dan berlebihan.
- c. Penggunaan antibiotik tanpa menggunakan resep dokter. Kondisi dimana masyarakat mendapatkan antibiotik secara bebas tanpa menggunakan resep dokter, dikarenakan lemahnya pengawasan dan

komitmen pemerintah dalam distribusi antibiotik dapat menyebabkan resistensi.

- d. Penggunaan pada pasien Usia lanjut dan pasien dengan Gangguan sistim Imun.
Pasien dengan sistim imun yang rendah seperti pasien AIDS, pasien kanker, pasien dengan transplantasi organ dan pasien usia lanjut membutuhkan waktu perawatan yang lama dirumah sakit dan beresiko terinfeksi nosocomial.
- e. Penggunaan alat serta prosedur medik, pembedahan, diagnose baru, (transplantasi sum-sum tulang, penggunaan kateter) kurangnya kebersihan tangan, peralatan medis yang tidak steril, atau fasilitas sanitasi yang tidak memadai.
- f. Kurangnya pengendalian infeksi di rumah sakit dapat menyebabkan penyebaran bakteri resisten secara luas dari komunitas atau fasilitas Kesehatan lainnya.
- g. Ketidakpatuhan dalam menjalankan protokol antibiotik yang telah ditetapkan oleh rumah sakit.
- h. Penggunaan antibiotik spektrum luas dapat menyebabkan bakteri resisten berkembang karena antibiotik tersebut dapat membunuh bakteri baik dan buruk di dalam tubuh, sehingga bakteri yang tersisa akan menjadi resisten.
- i. Peningkatan penggunaan antibiotik profilaksis.
- j. Peningkatan penggunaan kombinasi antibiotik dengan indikasi yang tidak tepat.
- k. Tingkat pengetahuan antibiotik pada masyarakat sangat kurang dimana masyarakat memiliki anggapan bahwa antibiotik harus diberikan untuk pengobatan penyakit. Flu dan batuk biasa menggunakan antibiotik, Pasien dengan ekonomi yang baik meminta antibiotik yang mahal meskipun tidak diperlukan sedangkan pasien dengan kondisi ekonomi yang lemah tidak mampu menuntaskan regimen terapi.

1. Kurangnya penelitian dalam menemukan antibiotik baru.(Muntasir and Susanti widy, 2022)
2. Pembentukan Penggunaan antibiotik pada hewan ternak:

Antibiotik sering digunakan pada hewan ternak untuk mencegah dan mengobati infeksi. Seperti penggunaan antibiotik pada ayam, sapi atau hewan ternak lainnya bertujuan untuk meningkatkan pertumbuhan dan mencegah infeksi dan hal ini sangat lumrah dilakukan oleh peternak unggas di Indonesia dengan mencampurkan antibiotik pada pakan. Penggunaan antibiotik yang berlebihan pada hewan diduga menyebabkan penyebaran bakteri resisten, oleh karena produk unggas merupakan makanan yang paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 10 sampel ayam broiler mengandung residu antibiotik golongan tetrasiklin, 15 sampel golongan makrolida dan 9 sampel golongan aminoglikosida. (Saniwanti et al., 2015). Penggunaan antibiotik yang berlebihan atau tidak tepat dosis dapat menyebabkan bakteri menjadi resisten terhadap antibiotik tersebut. Antibiotik yang digunakan pada hewan ternak dapat menyebar ke lingkungan dan dapat menjadi sumber infeksi bagi manusia.

3. Penggunaan antibiotik dalam pertanian:

Antibiotik juga digunakan dalam pertanian diberikan dengan tujuan untuk meningkatkan pertumbuhan dan pengobatan tanaman. Antibiotik bisa diberikan sebagai pestisida ataupun pupuk. Penyakit tanaman yang disebabkan oleh bakteri dapat menghambat produksi panen dan sangat sukar dikendalikan karena selain gejala-gejala penyakit yang nampak, bakteri dapat masuk ke dalam jaringan tanaman sehingga sulit untuk dibasmi upaya yang dilakukan hanya dengan memangkas jaringan yang terinfeksi atau pemberian pestisida pada permukaan tanaman. Pestisida antibiotika merupakan senyawa kimia yang sangat baik untuk mengatasi penyakit

bakteri dan jamur pada tanaman. Tetapi, muncul strain bakteri resisten terhadap antibiotika yang telah membatasi efektifitas antibiotika tersebut dalam bidang Kesehatan (Raini et al., n.d.). Penggunaan antibiotik yang berlebihan atau tidak tepat dosis dapat menyebabkan bakteri menjadi resisten terhadap antibiotik tersebut. Antibiotik yang digunakan dalam pertanian dapat menyebar ke lingkungan dan dapat menjadi sumber infeksi bagi manusia (Mdegela et al., 2021)

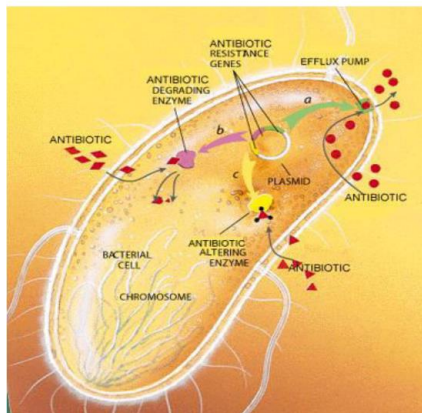
4. Pencemaran lingkungan dengan antibiotik: Antibiotik yang terbuang ke lingkungan melalui limbah industri farmasi atau limbah domestik dapat menyebabkan peningkatan resistensi bakteri terhadap antibiotik. Dari penelitian didapatkan bahwa terdapat bakteri resisten sulfonamida dan tetrasiklin terdeteksi pada air limbah dalam jumlah yang tinggi dan kondisi IPAL memungkinkan terjadinya proliferasi bakteri resisten.

4.5 Mekanisme Resistensi Bakteri

Resistensi bakteri terhadap obat-obat antimikroba pilihan pertama sudah sangat meningkat. Saat ini pemilihan antibiotik harus mempertimbangkan pola resistensinya untuk mencapai target terafi. Proses terjadinya resistensi antimikroba dapat terjadi melalui mekanisme berikut ini:

1. Mikroorganisme dapat menghasilkan enzim yang berfungsi sebagai pengurai struktur antibiotik. Contoh enzim tersebut seperti enzim penisilinase, sefalosporinase, fosforilase, adenilase serta asetilase.
2. Membrane sel bakteri menjadi impermeable, sehingga antibiotik gagal mencapai target karena tidak bisa memasuki sel bakteri
3. Dihasilkannya senyawa endogen yang berefek antagonis terhadap obat.
4. Jumlah reseptor obat pada sel bakteri berubah sehingga obat tidak bisa berikatan dengan reseptor.

Resistensi dapat terjadi secara khromosomal dengan berkembangnya sel yang diturunkan kepada generasi selanjutnya (Intrinsik) dan akibat mutasi khromosomal atau akibat transfer DNA (dapatan). (Al-Kobaisi MF. Jawetz, 2007)



Gambar 4.2. Bakteri yang resisten antibiotik
(Sumber : (Levy SB, 1998)

Resistensi antibiotik merupakan kejadian perubahan genetik yang bersifat tetap dan dapat diturunkan kegenerasi selanjutnya. Proses yang dapat menyebabkan resistensi yaitu setiap proses yang menghasilkan komposisi genetik bakteri seperti mutasi, transduksi, transformasi dan konjugasi. Transduksi merupakan transfer DNA melewati bakteriofag sedangkan konjugasi merupakan kontak langsung DNA dari bakteri satu ke bakteri lainnya melalui pili. Resistensi antibiotik pada bakteri kokus gram positif terjadi dengan adanya mekanisme proses mutasi, transduksi dan transformasi. Sedangkan resistensi pada bakteri batang Gram negatif melibatkan semua proses yaitu: mutase, transduksi, transformasi dan konjugasi (Sande AS, 1990).

Penyebaran sifat resisten terjadi secara cepat pada dengan perantara plasmid (faktor R) pada spesies bakteri yang sama maupun yang berbeda, dan genus yang berbeda. Mikroorganisme mendapatkan kemampuan memproduksi enzim dan bermutasi sehingga terjadi perubahan struktur di

dalam sel bakteri, hal tersebut menyebabkan resistensi oleh plasmid (Al-Kobaisi MF. Jawetz, 2007).

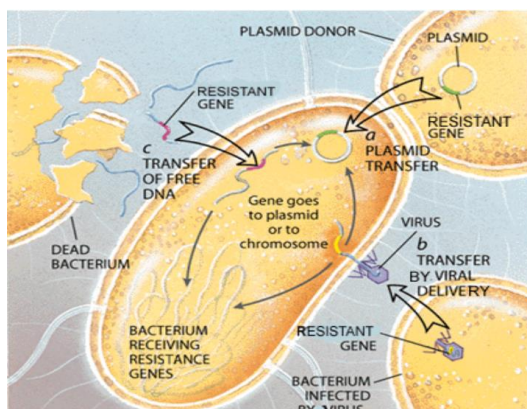
Resistensi akibat mutasi

Mutasi kromosom yang terjadi secara spontan dan acak dapat menyebabkan resistensi. Mutasi kromosom tidak dipengaruhi oleh antibiotik kecuali antibiotik yang bersifat mutagen. Pada proses mutasi pada umumnya terjadi pada gen yang memiliki pasangan basa urutan nukleotida. Perubahan akibat mutasi kromosom adalah terjadinya perubahan pada sel bakteri meliputi:

1. Berubahnya struktur ribosom yang berfungsi sebagai tempat target.
2. Impermeabelnya dinding sel dan membran plasma terhadap obat.
3. Permukaan reseptor dan dinding sel bakteri berubah seperti hurup L atau sferoplast.

Resistensi dengan perantaraan plasmid

Jenis resistensi ini merupakan resistensi yang sering ditemukan. Plasmid merupakan elemen genetik ekstrakromosom yang mampu mengadakan replikasi secara mandiri dengan membawa gen pengkode yang menyebabkan resistensi antibiotik. Karakteristik gen yang terdapat pada plasmid yaitu gen lebih cepat bergerak bila dibandingkan dengan gen pada kromosom sehingga lebih mudah ditransfer dari satu sel sel lainnya.



Gambar 4.3. Proses transfer gen resisten antibiotik pada bakteri. (Sumber : (Levy SB, 1998)

Antibiotik bisa kehilangan sifat bakterisid dan bakteriostatiknya dikarenakan adanya peran plasmid pada sintesis protein dimana secara enzimatik obat menjadi rusak dan kehilangan aktivitasnya. Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Mekanisme Antimikroba dengan Plasmid

Golongan Antimikroba	Mekanisme penyebab Resistensi
Antibiotik β -laktam: penisilin, sefalosporin	β -laktamase
Aminoglikosida	N-asetilase, fosforilase
Kloramfenikol	Asetil transferase
Streptomisin, spektinomisin	Fosforilase
Tetrasiklin	Perubahan sistem transfort
Eritromisin	Perubahan „ribosom binding set“

Sumber: (Moehario LH, 1986)

Reistensi dengan perantara transposon.

Transposon adalah DNA yang memiliki kemampuan berpindah tempat didalam kromosom yang sama atau berbeda. Transposon dapat berupa transposon sederhana (mengandung gen yang melakukan transposisi) dan transposon kompleks (bagian dari plasmid dan bakteriofag). Struktur ini dapat mengubah urutan DNANYA sendiri dengan memotongnya dari lokasi DNA dan pindah tempat ke DNA lainnya sehingga susunan genom berubah dan terjadi proses delesi, inversi, duplikasi dan fusi replikasi. Resistensi antibiotik terjadi jika transposon yang mengandung gen resisten bereplikasi sendiri dengan inang yang baru disebabkan adanya proses insersi pada plasmid sehingga terjadi perpindahan ke sel lain.

4.6 Dampak Resistensi Antibiotik

Dampak dari adanya resistensi sangat merugikan dilihat dari berbagai aspek baik itu aspek klinis ataupun aspek ekonomi. Pada Aspek klinik dampak dari resistensi adalah: perpanjangan pengobatan penyakit, meningkatkan resiko kematian dan lama rawat inap dirumah sakit, meningkatnya penularan galur resisten, penentuan regimen menjadi lebih sulit dan penggunaan antibiotik pilihan kedua beresiko lebih toksik.

Sedangkan aspek ekonomi biaya pengobatan semakin mahal dan masyarakat tidak mampu membeli obat baru sehingga terjadinya gagal pengobatan (Muntasir and Susanti widy, 2022)

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander Fleming, 1945. Penicillin.
- Al-Kobaisi MF. Jawetz, M.& A., 2007. Medical Microbiology. 24th ed. Sultan Qaboos Univ Med J.
- Davies, J., 1996. Origins and evolution of antibiotic resistance. Microbiologia. <https://doi.org/10.1128/membr.00016-10>
- Kementrian kesehatan RI, 2019. Laporan_Nasional_RKD2018_FINAL. Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan.
- Kurnia, K.A., H.I.L., & S.S., 2023. Article Review: Analysis of the Level of Knowledge of Antibiotic Resistance in the Community. Journal of Pharmaceutical and Sciences 6, 221–229.
- Levy SB, 1998. The challenge of antibiotic resistance. . Scientific American.
- Mdegela, R.H., Mwakapeje, E.R., Rubegwa, B., Gebeyehu, D.T., Niyigena, S., Msambichaka, V., Nonga, H.E., Antoine-Moussiaux, N., Fasina, F.O., 2021. Antimicrobial use, residues, resistance and governance in the food and agriculture sectors, tanzania. Antibiotics 10. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10040454>
- Moehario LH, 1986. Aspek genetika resistensi kuman. Simposium Perkembangan Antibiotik pada Penanggulangan Infeksi dan Resistensi Kuman. Jakarta.
- Muntasir, Susanti widy, 2022. Antibiotik dan Resistensi Antibiotik.
- Permenkes RI, 2021. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia.
- Raini, M., Biomedis, P., Teknologi, D., Kesehatan, D., n.d. Kajian Pestisida Berbahan Aktif Antibiotika Review Articles Of Antibiotics Used As Pesticide.

- Sande As, K.-U.J. Dan M.G.G. And G., 1990. The Pharmacological Basis Of Therapeutics, Antimicrobial Agents, General Considerations. Dalam : Gilman Ag, Rall Tw, Nies As, Dan Taylor P (Eds), 8th Ed. Pergamon Press,.
- Saniwanti, Agustina, D., Fakultas Peternakan Uho, A., Pengajar Fakultas Peternakan Uho, S., 2015. Studi Residu Antibiotik Daging Broiler Yang Beredar, Jitro. Mei.
- World Health Organization, 2015. World Health Statistics .

BAB 5

MEKANISME PATOGENITAS MIKROORGANISME

Oleh Arti Wahyu Utami

5.1 Pendahuluan

Mikroorganisme patogen adalah mikroorganisme yang dapat menyebabkan penyakit pada organisme lain. Kemampuan patogen untuk menyebabkan penyakit disebut dengan patogenitas. Virulensi merupakan ukuran patogenisitas suatu organisme. Untuk menyebabkan penyakit mikroorganisme patogen harus masuk ketubuh inang tetapi tidak semua mikroorganisme dapat menyebabkan penyakit.

5.2 Mekanisme masuknya mikroorganisme patogen ke tubuh inang

Secara umum mikroorganisme patogen dapat memasuki tubuh inang dalam berbagai cara. Patogenesis bakteri dan virus diawali dengan masuknya bakteri ke dalam tubuh inang melalui bermacam-macam cara, antara lain

5.1.1 Saluran Pernapasan

Saluran pernapasan adalah saluran yang sering dilalui mikroorganisme patogen untuk menular. Biasanya mikroorganisme patogen yang masuk melalui hidung dan mulut berupa partikel debu..

5.1.2 Saluran Pencernaan

Makanan dan minuman yang terkontaminasi merupakan salah satu cara mikroorganisme masuk kedalam saluran pencernaan, selain itu tangan yang tidak bersih juga dapat menyebabkan mikroorganisme patogen masuk kedalam pencernaan. Mikroorganisme patogen dapat hancur oleh asam klorida dan enzim yang terdapat di lambung tetapi mikroorganisme patogen yang dapat bertahan hidup bias menyebabkan penyakit. Contoh penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisme patogen adalah tifus, disentri amuba, hepatitis A dan kolera. Patogen kemudian diekskresikan dalam tinja dan dapat menginfeksi inang lain melalui air, makanan, terkontaminasi. .

5.1.3 Kulit dan Rongga Mulut

Beberapa mikroorganisme patogen dapat masuk dalam tubuh melalui area kulit yang terbuka, folikel rambut atau kantung kelenjar keringat. Mikroorganisme yang lain masuk ketubuh inang saat berada di bawah jaringan kulit atau melalui permukaan membrane mukosa. Sedangkan pada permukaan rongga mulut banyak terdapat koloni mikroorganisme. Karies gigi merupakan salah satu penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisme patogen yang ada didalam rongga mulut.. Karies gigi disebabkan oleh bakteri *Streptococcus mutans* dan spesies *Streptococcus*, bakteri tersebut berkoloni pada permukaan gigi.

5.2 Mekanisme patogenitas bakteri

Bakteri dapat menyebabkan penyakit dengan beberapa cara melalui penyebaran, perlekatan pada permukaan sel inang, invasi, dan toksisitas.

A. Infeksi atau penularan

Penyakit menular yang disebabkan oleh bakteri yang bergerak dari sumber eksternal disebut eksogen.

Penyakit yang disebabkan oleh flora normal seperti bakteri oportunistik disebut endogen.

B. Perlekatan permukaan sel

Perlekatan terjadi antara molekul permukaan patogen yang disebut adhesin yang terikat secara spesifik pada permukaan reseptor pada sel inang. Proses masuknya bakteri patogen ke dalam tubuh inang melalui perlekatan mukosa inang.

C. Daya serang bakteri (invasif)

Diperlukan beberapa enzim proses daya serang bakteri. Enzim ini adalah:

- Kolagenase merupakan enzim yang diproduksi oleh beberapa spesies bakteri *Clostridium* yang dapat merusak protein kolagen yang membentuk jaringan penghubung otot dan organ tubuh lainnya
- Koagulase merupakan enzim bakteri yang mengkoagulasi fibrinogen dalam darah. Bakteri yang menghasilkan koagulase antara lain anggota genus *Staphylococcus*
- Hemolisin merupakan enzim yang dihasilkan bakteri dapat menyebabkan lisis eritrosit sel darah merah. Bakteri yang menghasilkan hemolisin adalah *Staphylococcus*, *Streptococcus*,
- Leukosidin merupakan enzim yang dihasilkan oleh *Streptococcus* dan *Staphylococcus*, enzim ini dapat mengancurkan neutrofil dan leukosit yang aktif dalam proses fagositosis.

D. Toksin

Toksin adalah racun yang dihasilkan oleh mikroorganisme tertentu untuk mendukung proses infeksi pada organisme. Terdapat kelompok utama toksin diantaranya :

- Endotoksin merupakan komponen lipopolisakarida yang dihasilkan oleh Gram negative patogen

maupun nonpatogen. Endotoksin mempunyai sifat tahan panas dan tidak bias diubah menjadi toksoid . Endotoksin dapat menyebabkan demam dan gejala umum lainnya.

- Eksotoksin adalah toksin yang diproduksi dan disekresikan oleh bakteri gram positif dan gram negatif. Eksotoksin dapat menyebabkan penyakit pada bagian tubuh tertentu setelah menyebar melalui jalur sistemik.. Eksotoksin lebih beracun daripada endotoksin. Misalnya toksin tetanus menyebabkan kematian pada konsentrasi $< 1 \mu\text{g}$. Polipeptida eksotoksin adalah antigen kuat yang dapat merangsang antibodi tubuh untuk menghasilkan antitoksin yang berguna untuk pencegahan atau terapi. penyakit seperti tetanus. Toksisitas eksotoksin dapat dinetralkan dengan formaldehida, asam, panas, dan toksoid yang dapat digunakan untuk membuat vaksin.

Secara umum, eksotoksin dibagi menjadi tiga macam :

- Neurotoksin,teribat dalam transmisi normal impuls saraf
- Sitotoksin, membunuh sel inang atau memepengaruhi fungsi sel
- Enterotoksin, memepengaruhi sel-sel pada saluran pencernaan

5.3 Mekanisme patogenitas virus

Virus memasuki tubuh inang dan melakukan kontak fisik dengan menembus membran plasma sel. Di dalam sel, virus mengembangkan dan mereplikasi genomnya sambil memfasilitasi produksi protein oleh ribosom inang. Prosesnya tergantung pada sifat asam nukleat virus. Partikel virus yang dikumpulkan dari molekul biologis yang baru disintesis ini menjadi virus menular. Mekanisme patogenitas

virus tergantung pada kemampuan untuk memasuki sel inang dan menghindari sistem pertahanan tubuh inang. Patogenesis virus dapat berakibat timbulnya penyakit klinis maupun subklinis (tidak bergejala) yang merupakan hasil interaksi antara beberapa faktor antara virus dan inang. Virus yang menginfeksi dapat merusak dan menyebabkan kematian sel inang. Kematian sel inang disebabkan oleh akumulasi jumlah besar virus yang bermutiplikasi akibat protein virus yang mengganggu permeabilitas membrane plasma inang atau penghambatan sintesis DNA, RNA atau protein sel inang.

5.4 Patogenitas Protozoa

Protozoa patogen dapat merugikan sel inang dengan cara berkembangbiak, penyerangan, kerusakan sel dan dengan pengaruh toksin dan enzim yang dihasilkan oleh protozoa. Protozoa seperti Plasmodium yang menyebabkan penyakit malaria menginvasi sel dan bereproduksi didalam sel inang dan menyebabkan sel inang pecah. Demam adalah gejala umum yang disebabkan oleh protozoa patogen, serta gejala seperti splenomegali dan limfadenopati sering ditemukan. Stadium pertama infeksi akibat protozoa patogen dapat akut dan juga mematikan, atau berkembang menjadi stadium laten yang menahun, tetapi tidak jarang diselingi dengan kambuhnya gejala.

DAFTAR PUSTAKA

- Boleng, D. T. (2015). *bakteriologi konsep konsep dasar*. universitas Muhamadiyah Malang.
- Dayanara, I., Kawuri, R., & Yulihastuti, D. A. (2019). The presences of pathogenic bacteria in snack for school children on Sapeken Island, Sumenep, East Java. *Jurnal Biologi Udayana*, 23(2), 68.
- Mayasari, U. (2022). *Mikrobiologi* (R. A. Nasution (ed.)). PENERBIT MEDIA SAINS INDONESIA.
- Riant, A., Buana, E. O. G. N., Kiyat, W. El, & Harsojo. (2018). Eliminasi Bakteri Patogen pada Sayur dan Buah sebagai Bahan Baku Salad Siap Santap dengan Iradiasi Gamma. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop Dan Radiasi*, 14(1), 59.
- Rini, C. S., & Rohmah, J. (2020). *Bakteriologi Dasar* (M. Mushlih (ed.)). UMSIDA Press.
- Rudin, N. A., Perdana, N. G. A., & Amalia, N. N. (2021). Identifikasi Bakteri Patogen *Escherichia coli* dan *Salmonella* spp. pada Rectal Swab Penjamah Makanan Rumah Sakit Di Yogyakarta. *Jurnal Pro-Life*, 8(3), 227–238. <https://ejournal.uki.ac.id/index.php/prolife>
- Suryani, Y., & Taupiqurrahman, O. (2021). *Mikrobiologi Dasar*. LP2M UIN SGD Bandung.

BAB 6

PEMANFAATAN MIKROORGANISME SEBAGAI INDICATOR UJI

Oleh Juvita Herdianty

6.1 Pendahuluan

Mikroorganisme merupakan salah satu bagian yang dipelajari dibidang mikrobiologi, kelompok mikroorganisme antara lain yaitu bakteri, fungi, alga, virus dan protozoa. Bakteri merupakan kelompok mikroorganisme yang paling banyak dipelajari dan banyak terdapat dialam dan lingkungan sekitar. Pemanfaatan mikroorganisme saat ini telah banyak dilakukan penelitian dimana mikroorganisme bermanfaat dibidang pangan, industri dan juga kesehatan.

Mikroorganisme yang berperan dalam bidang pangan salah satunya yaitu pemanfaatan untuk fermentasi dan juga sebagai zat tambahan pangan (Tortora, Funke and Case, 2013). Pemanfaatan mikroorganisme dibidang industri salah satunya sebagai parameter indikator awal dalam pengendalian suatu cemaran pada perairan sehingga dapat menjamin kualitas air (Hamidah, 2016). Sedangkan didunia kesehatan mikroorganisme digunakan sebagai mendiagnosa suatu penyakit dan juga menganalisa suatu infeksi yang terjadi di Rumah sakit (Talaro and Chess, 2012).

Pada era kemajuan saat ini maka banyak sekali para peneliti melakukan eksperimen untuk memanfaatkan mikroorganisme menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat. Menurut Mubarak dkk (2021) tentang peran mikroorganisme dilingkungan dibagi menjadi :

1. Mikroorganisme yang bertugas sebagai pengurai dilingkungan
2. Mikroorganisme sebagai pembersih dengan memperbaiki ekosistem lingkungan akibat cemaran
3. Mikroorganisme sebagai pengganti pestisida untuk pengendalian hama.

Mikroorganisme juga dimanfaatkan sebagai indikator dalam pengujian, hal ini diperuntukkan untuk identifikasi, untuk mendiagnosa penyakit tertentu, pengujian bahan kimia untuk menentukan potensi karsinogenik suatu bahan.

Berikut persyaratan mikroorganisme sebagai indikator uji yaitu: (Supandi Tatang, 2014):

1. Mikroorganisme indikator bersifat non patogenik
2. Identifikasinya menggunakan metode, peralatan yang mudah, cepat relatif murah.
3. Patogen terdapat pada sampel yang terkontaminasi
4. Jumlahnya lebih besar dari patogen.

6.2 Mikroorganisme sebagai Indikator Uji Pada Air

Lingkungan air merupakan salah satu yang perlu perhatian khusus hal ini karena lingkungan air baik air sumur, air sungai, air laut maupun sumber mata air mudah dicemari oleh suatu mikroba sehingga dapat membahayakan manusia dan lingkungan serta dapat memperburuk kualitas air. Kelompok mikroba yang biasa terdapat pada limbah yaitu golongan mikroba patogen, mikroba yang menghasilkan toksin, mikroba pencemar dan mikroba pengurai (Supandi Tatang, 2014).

Tidak semua mikroba dapat diisolasi dan diidentifikasi secara langsung menggunakan media sederhana pada tahun 1914 The U.S *Public Health Service* mengenalkan konsep pemanfaatan mikroba sebagai indikator salah satunya yaitu penggunaan bakteri golongan

coliform. Golongan coliform merupakan salah bakteri yang paling mudah untuk mendeteksi adanya cemaran air dari kotoran manusia karena pada umumnya golongan bakteri ini biasanya terdapat pada kotoran manusia.

Salah satu metode melihat cemaran pada air dengan melakukan beberapa tahapan pengujian yaitu dengan uji penduga dengan metode (*Most Probable Number* (MPN), dengan uji penguat yaitu menggunakan media (*Eosin Methylene Blue Agar*) EMBA (Anita, 2021).

Metode MPN merupakan metode yang digunakan untuk menghitung jumlah pertumbuhan mikroorganisme menggunakan media cair spesifik dalam seri tabung sehingga diperoleh data secara kuantitatif jumlah mikroorganisme dengan satuan MPN/mL (g). Metode MPN dilakukan dengan uji pengenceran bertingkat sehingga dapat mengukur konsentrasi mikroorganisme yang ditargetkan. Prinsip metode ini adalah mengecerkan sampel sampai pada tingkat tertentu sehingga diperoleh konsentrasi mikroorganisme yang sesuai (Anita, 2021).

6.3 Mikroorganisme sebagai Indikator Uji Antibiotik

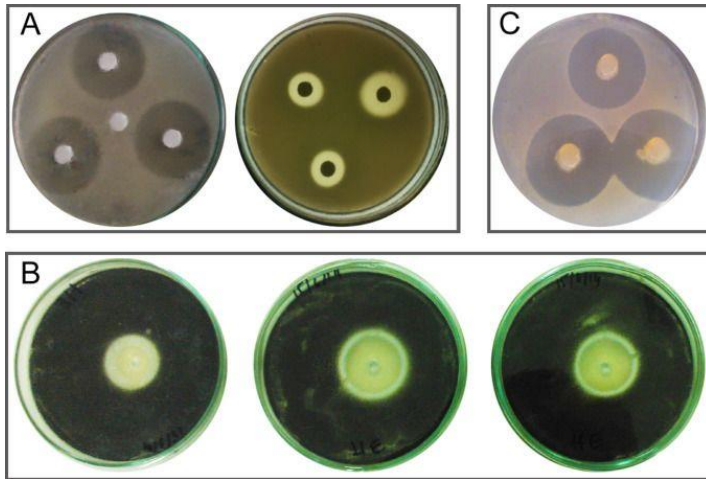
Pengujian ini digunakan untuk mengukur respon dari pertumbuhan populasi suatu mikroorganisme terhadap agen antimikroba (Pratiwi, 2008). Manfaat uji antimikroba yaitu untuk mengetahui pengobatan yang efektif dan efisien. Metode pengujian antimikroba bisa menggunakan metode difusi, metode dilusi, uji bioautografi (Jawetz *et al.*, 2001).

6.3.1. Metode Difusi

A. Metode Difusi Cakram

Metode uji antimikroba dengan menggunakan piringan tipis yang berisi agen antimikroba yang diletakkan pada media agar yang telah diinokulasi

mikroorganisme sehingga akan berdifusi kedalam media agar tersebut. Bila terlihat area bening pada sekitar cakram menunjukkan adanya daya hambatan pertumbuhan mikroorganisme oleh agen antimikroba (Moh.Mulyadi, 2017). (lihat gambar 6.1)

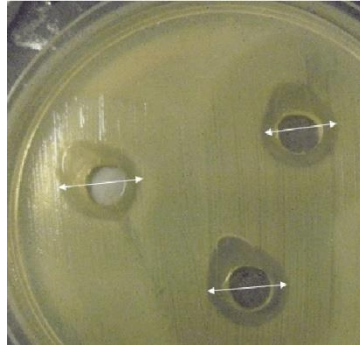


Gambar 6.1. Metode Difusi Cakram dengan zona bening disekitar cakram

(Sumber:<https://assets.kompasiana.com/items/album/2020/03/25/1-s2-0-s2095177915300150-gr1-5e7a45c2d541df2372606452.jpg?t=o&v=760>)

B. Metode Difusi sumuran

Merupakan metode yang hampir mirip dengan disc diffusion akan tetapi disini nanti media akan dibuat sumur pada media yang telah ditanami mikroorganisme dan pada sumur akan diberikan agen antimikroba yang akan diuji, untuk hasil yang didapatkan mirip dengan dengan disc diffusion yaitu terlihat area bening disekitar sumuran (Pratiwi, 2008). (lihat gambar 6.2)



Gambar 6.2. Metode Difusi Sumuran dengan zona bening disekitar sumuran

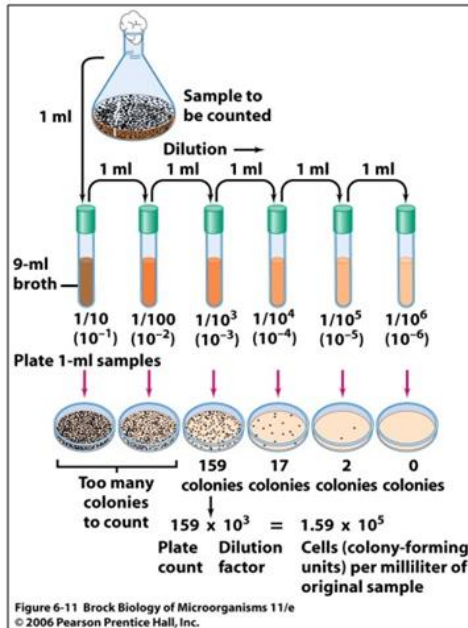
(Sumber: <https://www.researchgate.net/profile/Naveed-Shahza-d5/publication/320391677/figure/fig3/AS:549511797932034@1508025230437/Agar-well-diffusion-assay-for-the-determination-of-antibacterial-activity-of-manuka.png>)

6.3.2. Metode Dilusi

Metode dilusi merupakan metode yang menggunakan media cair (*broth dilution*) dan metode dilusi padat (*solit dilution*). Metode dilusi ini untuk mengukur *Minimum Inhibitory Concentration* (MIC) atau mengukur Kadar Bunuh Minimum (KBM) dengan ditunjukkan adanya sediaan yang jernih.

A. Metode dilusi cair/ borth dilution

Teknik metode ini yaitu membuat seri pengenceran agen antimikroba pada media cair yang telah ditambahkan dengan mikroba uji. Larutan uji agen antimikroba pada kadar minimum akan terlihat jernih hal ini menunjukkan tidak adanya pertumbuhan mikroba uji kemudian dihitung nilai kadar hamabat minimum (KHM), kemudian dilakukan pengulturan ulang pada media cair dan diinkubasi kembali selama 24 jam. Apabila hasil media cair masih tampak jernih setelah diinkubasi maka ditetapkan sebagai nilai KBM (Christina dkk, 2014). (lihat gambar 6.3)



Gambar 6.3. Metode Dilusi Cair dengan seri pengenceran

(Sumber: [http://4.bp.blogspot.com/-](http://4.bp.blogspot.com/-BXBvUYyIMzA/VZlIYYF88hI/AAAAAAAAAK8/ZkjO91w4Js4/s1600/Dilusi.png)

[BXBvUYyIMzA/VZlIYYF88hI/AAAAAAAAAK8/ZkjO91w4Js4/s1600/Dilusi.png](http://4.bp.blogspot.com/-BXBvUYyIMzA/VZlIYYF88hI/AAAAAAAAAK8/ZkjO91w4Js4/s1600/Dilusi.png))

B. Metode dilusi padat/ solit dilution

Teknik metode ini mirip dengan dilusi cair hanya yang berbeda media padat yang digunakan. Keuntungan menggunakan media dilusi padat mampu menguji agen antimikroba lebih dari beberapa mikroba uji (Pratiwi, 2008).

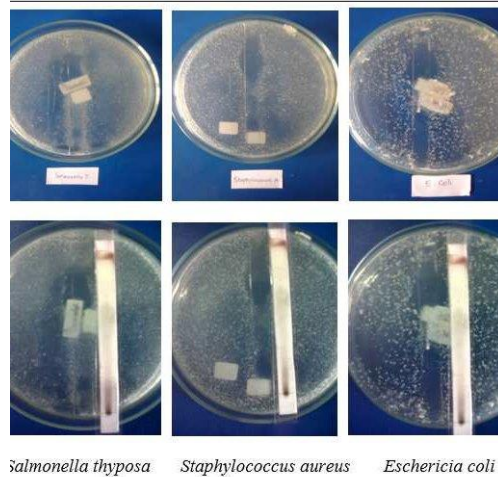
6.3.2 Uji Bioautografi

Metode ini merupakan metode spesifik untuk mendeteksi bercak pada kromatogram hasil KLT (kromatografi lapis tipis) yang menunjukkan aktivitas sebagai antibakteri, (Yadi dkk, 2017). Keuntungan menggunakan metode ini yaitu lebih efisien untuk mendeteksi senyawa antimikroba karena letak bercak dapat ditentukan meskipun dalam campuran kompleks sehingga

memudahkan untuk mengisolasi senyawa aktif tersebut. Kerugian dari metode ini tidak dapat menentukan nilai KHM dan KBM. Metode bioautografi ini memiliki dua macam, yaitu:

A. Bioautografi langsung

Teknik metode ini yaitu dengan menyemprot plat KLT menggunakan suspensi mikroorganisme atau bisa juga dengan menyentuhkan plat KLT pada media yang telah ditanami mikroorganisme. Setelah itu diinkubasi selama 24 jam, letak dari senyawa aktif akan tampak sebagai area bening dengan latar belakang yang keruh (Risfah dkk, 2011). (lihat gambar 6.4)



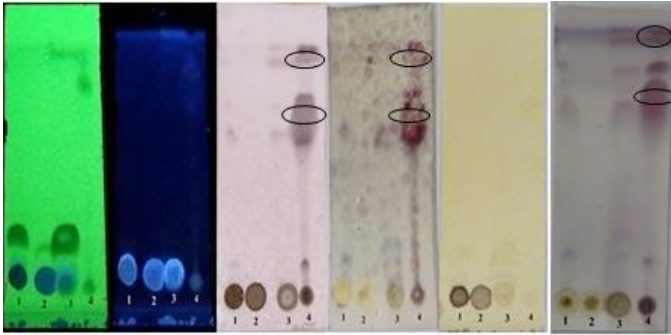
Gambar 6.4. Uji Bioautografi langsung

Sumber: https://www.researchgate.net/profile/Islamudin-Ahmad/publication/317409821/figure/fig3/AS:614104175751176@1523425253373/figure-fig3_Q640.jpg

B. Bioautografi overlay

Teknik oada metode ini yaitu menuangkan media agar yang telah dicampurkan dengan mikroorganisme diatas permukaan plat KLT, kemudian media ditunggu

hingga padat setelah itu diinkubasi selama 24 jam. Nilai zona hambat akan tampak dengan melihat nilai Rf (Yadi dkk, 2017). (lihat gambar 6.5)



Gambar 6.5. Metode Bioautografi overlay

Sumber:

<https://www.researchgate.net/publication/330666905/figure/download/fig1/AS:753084041023511@1556560635702/Gambar-1-Hasil-uji-bioautografi-fraksi-nheksan-biji-buah-pepaya-a-Sebelum-diinkubasi.jpg>

DAFTAR PUSTAKA

- Anita. 2021. G., Analisis Cemaran *Coliform* dan Identifikasi *Escherichia coli* dari Depo Air Minum Isi Ulang di Kota Semarang, Life Science 10 (1) (2021).
- Christina A., Wahyuning S., Himawan H., 2014. Uji Daya Antibakteri Dan Identifikasi Isolat Senyawa Katekin Dari Daun Teh (*Camellia Sinensis* L. Var *Assamica*), hal 50-57.
- Hamidah. 2016. Uji Kandungan Bakteri *Escherichia Coli* Pada Air Pdam Donggala. Vol 2 No.2 , 1-72.
- Jawets RE, Melnic JC, Adelberg EA. 2001. *Mikrobiologi Kedokteran* Edisi XXII Diterjemahkan oleh Bagian Mikrobiologi Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga Jakarta: Penerbit Salemba Medika.
- Moh. Mulyadi, Wuryanti, Purbowatiningrum Ria Sarjono. 2017. Konsentrasi Hambat Minimum (KHM) Kadar Sampel Alang-Alang (*Imperata cylindrica*) dalam Etanol Melalui Metode Difusi Cakram, hal 130-135.
- Mubarak, dkk. 2021. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. (p. xvi'226). Medan: Yayasan Kita Manulis, ISBN. 978-623-342-342-7.
- Pratiwi ST 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Risfah Y., Herlina R., Gemini A., Akbar T., 2011. Skrining Dan Analisis Klt-Bioautografi Senyawa Antimikroba Beberapa Ekstrak Spons Asal Perairan Laut Pulau Barrang Lompo, Sulawesi Selatan. Hal 88-94.
- Supandi Tatang. 2014. *Mikrobiologi Pangan*. In S. Tatang, Mikrobiologi Pangan (p.xviii 494). Yogyakarta: CV. Andi Offset ISBN 978-979-29-4542-3.
- Talaro, K. P. and Chess, B. 2012. *Foundations in Microbiology*. 8th ed. New York: Mc Graw Hill.

Tortora, G.J., Funke, B.r. and Case, c.l. 2013. *Microbiology: An Introduction*, Person. United States of America: Person
Doi: 10.1016/0167-7799(83)90064-1.

Yadi Y., Yuniati Y., Swandari., Mona ., Abdul M., Danial ., 2017. Analisis Bioautografi Dengan Kromatografi Lapis Tipis Pada Ekstrak Etanol Daun *Caesalpinia Sumatrana* Roxb. Terhadap Bakteri Penyebab Infeksi Nosokomial : Doi : <https://doi.org/10.25026/jsk.v1i7.57>

BAB 7

FAKTOR-FAKTOR YANG YANG MEMPENGARUHI KERUSAKAN PRODUK OBAT DAN MAKANAN SERTA PROSES PENCEGAHANNYA

Oleh Luluk Aniqoh Meliana Putri

7.1 Pengertian Kerusakanan Makanan

Kerusakan makanan secara umum mempunyai definisi terdapat ketidaknormalan yang melebihi batasan yang bisa diterima secara normal oleh panca indera ataupun standar maupun patokan lainnya. Bagian yang mengalami kerusakan seperti pada sayuran maupun pada buah-buahan harus dihilangkan karena tidak layak untuk dikonsumsi. Sayuran hijau yang mengalami perlayuan, daun menguning dan mengalami lubang-lubang pada daun disebut sudah terjadi kerusakan. Sedangkan pada buah-buahan, kerusakan terjadi keruskan ditandai dengan adanya daerah memar serta pada daging buahnya mengalami pelunakan. Kerusakan pada makanan dapata dinyatakan apabila sudah terbentuk pergantian yang tidak diinginkan baik dari sifat maupun wujudnya. Kerusakan bisa berlangsung karena beberapa faktor seperti halnya adanya kerusakan fisik, kimia atau juga enzimatis. Akan tetapi, salah satu faktor yang menjadi penyebab kerusakan makanan ialah terjadinya pertumbuhan bakteri, kapang dan juga khamir pada bahan makanan yang dimana hal tersebut dapat merusak protein yang mengakibatkan pembusukan, selain itu, kerusakan makanan oleh bakteri dapat mengakibatkan terbentuknya lendir, racun ataupun gas.

7.1.1 Tanda Kerusakan pada Sayuran dan Buah-Buahan

Saat dilakukannya proses penanaman, pemanenan, penyimpanan sampai pendistribusian pada tempat-tempat penjualan, sayuran dan buah-buahan mempunyai peluang mengalami kontaminasi akibat dari bahan kimia pertanian seperti antibiotik pertanian, residu pestisida serta pupuk yang digunakan untuk merangsang pertumbuhannya, sehingga sebelum sayur dan buah akan dikonsumsi oleh konsumen sayuran dan buah-buahan harus dilakukan pembersihan terlebih dahulu yaitu dengan cara mencuci menggunakan air mengalir yang bersih. Kerusakan yang biasa terjadi pada sayuran dan buah-buahan yaitu kerusakan yang dikarenakan adanya benturan fisik, serangan oleh serangga juga terkontaminasi oleh mikroorganisme. Sayuran dan buah-buahan yang sudah mengalami kerusakan akan berbau busuk, terjadi perubahan warna dan juga terjadi perubahan rasa dan mengeluarkan lendir.

7.1.2 Tanda Kerusakan pada Ikan

Ikan serta kerang bisa menjadi sarana penghubung bagi mikroba patogen contohnya vibrio serta parasit yaitu cacing pipih yang bisa mengakibatkan manusia terinfeksi. Bibit penyakit ini biasanya berawal dari lingkungan asli ikan, utamanya air yang sudah mengalami kontaminasi karena kotoran dari pasien yang memiliki penyakit kolera. Bakteri vibrio diketahui tidak menimbulkan diare tetapi menyebabkan infeksi pada saluran pencernaan yang memiliki sifat dapat mengancam nyawa manusia. Cara untuk mengurangi resiko terpapar penyakit, ikan yang dikonsumsi secara mentah atau dimakan pada saat setengah masak harus dilakukan pencucian terlebih dahulu menggunakan air mengalir yang bersih. Kerusakan pada ikan dapat diamati dengan adanya perubahan bau, perubahan warna serta perubahan tekstur dan pada badan ikan terdapat lendir. Bakteri yang bisa menjadi penyebab kerusakan pada ikan

biasanya dikarenakan suhu pada saat ikan tersebut disimpan.

7.1.3 Tanda Kerusakan pada Daging dan Olahannya

Kerusakan pada daging ditandai dengan munculnya perubahan warna menjadi merah kebiruan atau kehitaman, bau daging menjadi busuk, serta munculnya lendir di permukaan daging. Pada daging yang terjadi kerusakan biasanya adanya kerusakan insang yang berubah warna menjadi coklat cenderung hitam, terdapat lendir berlebih serta muncul bau yang menyengat. Daging yang segar adalah media yang sangat ideal bagi pertumbuhan bakteri. Hal tersebut dikarenakan daging memiliki air dan zat nutrisi dalam jumlah yang mencukupi untuk pertumbuhan bakteri serta memiliki pH cenderung sedang. Mikroba yang ada pada daging hewan biasanya bermula dari lingkungan hidup seperti dari air yang dikonsumsi. Mikroba melalui saluran pencernaan dapat memasuki tubuh hewan. Untuk Dapat menghindari penyakit, maka mikroba patogen dimusnahkan dahulu dengan cara memasak dengan sempurna daging ataupun bahan makanan yang mengandung daging.

7.1.4 Tanda Kerusakan pada Susu serta Olahannya

Susu yang diperah dengan proses dengan higienis dari hewan dalam keadaan sehat biasanya mengalami kontaminasi mikroba dengan tingkat yang sedikit, akan tetapi pada saat perjalanan ke tempat pengolahan selanjutnya, susu sangat rawan terkontaminasi oleh mikroba. Selama proses pengolahannya, susu juga dapat terancam terkena kontaminasi bakteri jika alat-alat yang dipakai tidak dalam keadaan steril. Kerusakan pada susu dapat diamati dengan adanya pembentukan gas, munculnya lendir, penggumpalan, munculnya bau menyengat serta adanya rasa susu yang mengalami perubahan. Penggumpalan dan munculnya lendir serta trasa pada susu berubah menjadi asam biasanya disebabkan karena bakteri.

7.2 Penggolongan Bahan Makanan

Berdasarkan derajat kerusakannya, kerusakan bahan makanan dibagi atas 4 bagian yaitu bahan makanan yang cepat rusak (*highly perishable*), mudah rusak (*perishable*), agak mudah rusak (semi perishable), dan tidak mudah rusak (*non perishable*). Pada jenis bahan makanan yang termasuk ke dalam makanan yang cepat rusak, kerusakan biasanya dapat terjadi dalam kurun waktu yaitu 1-6 jam. Contoh dari bahan makanan yang termasuk dalam kategori cepat rusak yaitu ikan, daging ayam, air susu dan lain sebagainya. Bahan makanan yang mudah sekali mengalami kerusakan biasanya akan mengalami kerusakan dalam kurun waktu 1-2 hari, tetapi semua tergantung bagaimana metode penanganan yang dilakukan. Contoh makanan yang termasuk kategori bahan makanan mudah rusak adalah buah dan sayuran. Bahan makanan yang termasuk kedalam kategori bahan makanan yang agak mudah rusak seperti bawang putih dan kentang akan mengalami kerusakan dalam kurun waktu beberapa minggu. Sedangkan bahan makanan yang termasuk dalam kategori tidak mudah rusak yaitu kacang-kacangan serta biji-bijian biasanya dapat dilakukan penyimpanan dalam kurun waktu yang lama dalam hitungan bulanan (Pratiwi 2020).

7.3 Jenis Kerusakan Makanan

7.3.1 Kerusakan Biologis

Kerusakan biologis adalah kerusakan pada bahan makanan yang disebabkan oleh adanya kehadiran organisme yang dapat merusak makanan, contohnya yaitu serangga, rodentia dan unggas. Bahan makanan yang dimasuki serangga dapat merusak bahan makanan tersebut serta dapat menimbulkan adanya akses masuk dari mikroorganisme yang dapat menimbulkan pembusukan yang biasa disebut sebagai “port de antre”.

Serangga dapat menjadi salah satu faktor perusak pada sayur-sayuran, buah-buahan, biji dan juga umbi pada saat bahan-bahan makanan tersebut dilakukan pemanenan. Akibatnya terjadi hal merugikan akibat adanya kerusakan biologis seperti penyusutan berat bahan makanan, mudahnya bahan makanan mengalami kontaminasi oleh mikroorganisme yang besar kemungkinannya bisa menyebabkan beberapa penyakit apabila dikonsumsi bersama bahan-bahan makanan.

7.3.2 Kerusakan Fisiologis

Kerusakan fisiologis adalah jenis kerusakan yang diakibatkan karena terdapat reaksi metabolisme ataupun kelebihan enzim yang terkandung di dalam bahan makanan. Kerusakan yang terjadi yaitu adanya proses pembusukan. Enzim merupakan suatu senyawa protein yang bisa mempercepat kerja dari sebuah reaksi namun zat tersebut memiliki sifat katalis, sehingga tidak ikut bereaksi. Enzim dapat diperoleh dari aktivitas mikroorganisme ataupun dari hasil produksi bahan pangan itu sendiri. Contoh enzim yaitu enzim pectinase yang terdapat dalam buah-buahan yang bisa mengakibatkan buah-buahan menjadi lunak.

7.3.3 Kerusakan Mekanis

Kerusakan mekanis yaitu kerusakan yang diakibatkan oleh benturan dan gesekan yang terjadi antara sesama bahan pangan, atau bisa juga benturan antar bahan makanan dengan wadahnya. Secara umum kerusakan tersebut dapat terjadi sejak proses pemanenan sampai pada proses pembelian, sehingga menyebabkan timbulnya reaksi kimia pada makanan serta terdapat perubahan bentuk seperti retak, memar dan juga pecah.

7.3.4 Kerusakan Fisik

Kerusakan fisik adalah kerusakan yang dapat terjadi karena suhu yang tidak sesuai dan tidak cocok dengan keadaan serta kondisi suatu bahan makanan. Contohnya,

apabila pada saat proses pengolahan menggunakan suhu panas yang sangat lama maka dapat terjadi kegosongan. Pada saat proses pendinginan biasanya terjadi kerusakan yang disebut *chilling injuries* atau pada saat pembekuan terjadi kerusakan *freezing injuries* dan *freezing burn*. Pada proses pengeringan biji-bijian, apabila dilakukan secara tidak tepat dapat terjadi *case-hardening* atau keadaan dimana pada lapisan luar pada biji terlihat kering, tapi ternyata kondisi pada bagian dalamnya ternyata masih basah. Hal tersebut bisa terjadi apabila penguapan dalam bahan makanan tidak terjadi secara merata.

7.3.5 Kerusakan Kimia

Kerusakan kimia adalah kerusakan bahan makanan yang dapat terjadi dikarenakan oleh adanya reaksi kimia pada bahan makanan. Bahan kimia yang terkandung dalam bahan makanan dapat berasal dari alami dari bahan-bahan makanan itu sendiri dan memang yang ditambahkan dengan sengaja maupun tidak sengaja.

a. Bahan Kimia Alami

Bahan kimia yang secara alamiah terkandung dalam bahan makanan, sebagai contoh adalah asam lemak. Asam lemak adalah salah satu bahan yang menyusun lemak. Asam lemak bisa mengalami kerusakan dan mengalami reaksi apabila berinteraksi dengan bahan yang menyusun lemak lainnya, sehingga dapat menjadikan bau dan rasa tengik pada makanan tersebut.

b. Bahan Kimia yang Ditambahkan

Bahan kimia yang ditambahkan adalah bahan kimia yang berasal dari luar bahan makanan baik secara sengaja untuk dimasukkan ke dalam bahan makanan dengan tujuan untuk bahan tambahan atau biasa disebut *food additive* maupun yang tidak secara sengaja terdapat pada bahan makanan. Contoh bahan kimia yang tidak secara sengaja berada dalam bahan makanan yaitu insektisida dalam bahan makanan atau tembaga (Cu) yang terdapat pada alat masak.

7.4 Akibat Kerusakan Makanan

Makanan yang sudah mengalami kerusakan adalah makanan yang jika dimakan oleh makhluk hidup baik manusia maupun hewan dapat mengakibatkan ancaman bagi kesehatan. Adapun beberapa hal yang bisa berakibat dari kerusakan pada makanan adalah bisa menimbulkan terjadinya kerusakan mutu dan nilai gizi dari makanan, dan juga dapat mengganggu aktivitas.

7.4.1 Kerusakan Mutu

Suatu bahan makanan yang mengalami kerusakan dapat mempengaruhi mutu dari bahan makanan tersebut. Apabila tingkat kerusakannya ringan, atau tidak parah biasanya hanya akan berakibat terjadinya penurunan pada kelas mutunya. Sedangkan apabila tingkat kerusakannya cukup berat, maka dapat menyebabkan *off grade* atau lewat mutu. Bahan makanan yang sudah mengalami lewat mutu tidak layak untuk dikonsumsi, sehingga ditetapkanlah batas mutu yang bergantung pada tingkat dan kondisi ekonomi dari konsumen.

7.4.2 Terganggunya Kesehatan

Kerusakan bahan makanan dapat menjadi penyebab utama terjadinya gangguan pada kesehatan manusia, utamanya terjadi kerusakan dikarenakan oleh mikroorganisme yang mempunyai sifat patogen. Penyakit yang dapat ditularkan melalui makanan atau minuman yaitu kolera, TBC, hepatitis serta disentri. Penyakit yang ditimbulkan karena makanan disebut dengan “food borne disease” atau “food borne illness”.

7.4.3 Kerusakan Nilai Gizi

Kerusakan pada bahan makanan tentunya bisa memberikan pengaruh pada nilai gizi suatu bahan makanan. Mikroorganisme yang terkandung dalam bahan makanan akan menggunakan gizi yang terkandung untuk

dapat melakukan aktivitasnya. Kerusakan fisik yang terjadi saat dilakukan proses pembekuan ataupun juga pemanasan nilai gizi akan mengalami penurunan dari bahan makanan.

Tidak semua kerusakan fisik bisa mengalami penurunan nilai gizi, tetapi bisa juga menyebabkan hal lain misalnya kehilangan sifat garing pada keripik atau kerupuk yang dikarenakan teknik penyimpanan yang keliru atau kurang tepat.

7.5 Pencegahan Kerusakan Makanan

Mencegah serta melindungi bahan makanan dari terjadinya kontaminasi adalah hal yang sukar dilakukan. Hal tersebut disebabkan karena mikroba patogen secara luas menyebar pada berbagai tempat seperti tanah, air, debu, peralatan dan juga orang yang berhubungan langsung dengan bahan makanan. Agar kerusakan bahan makanan dapat dicegah, maka perlu melakukan beberapa cara yaitu dengan pengeringan, pemanasan, pendinginan dan pembekuan serta penambahan bahan kimia.

7.5.1 Perlakuan Penurunan Air (Pengeringan)

Pengeringan adalah suatu cara pengawetan yang paling lama serta banyak dilakukan oleh manusia. Ada 2 cara pengeringan, yaitu adalah pengeringan alami serta pengeringan buatan. Beberapa faktor yang dapat berpengaruh pada proses pengeringan yaitu suhu, luas permukaan bahan makanan serta kecepatan aliran udara. Semakin mengecil ukuran bahan makanan maka proses pengeringan yang disebabkan kadar air lebih cepat naik ke permukaan dan kontak dengan media pemanas menjadi lebih besar. Contoh produk pengeringan yaitu pisanag sale, kismis dan emping melinjo.

7.5.2 Perlakuan Panas

Pemanasan adalah proses pemberian energi panas dalam bentuk suhu berlebih yang secara sengaja dibebaskan merambat ke jaringan bahan makanan. Terdapat 3 jenis, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Konveksi terjadi pada bahan makanan yang berbentuk padat. Proses konveksi biasanya terjadi pada bahan makanan cair. Sedangkan radiasi terjadi pada bahan makanan yang berbentuk padat dan cair. Tujuan dari proses pemanasan adalah meningkatkan cita rasa, membunuh mikroorganisme, mempertahankan angka nilai gizi semaksimal mungkin dan juga membuat bahan makanan menjadi awet. Beberapa contoh proses pemanasan pada bahan makanan adalah boiling, baking, frying, pasteurisasi dan sterilisasi.

7.5.3 Peralakuan dengan Suhu Rendah (Pendinginan dan Pembekuan)

Pencegahan kerusakan pada bahan makanan dengan memberi perlakuan suhu yang rendah atau pendinginan dan pembekuan sudah sangat lama dilakukan dengan cara mengawetkan ikan dengan bekuan air. Ada dua jenis perlakuan suhu rendah terhadap bahan makanan yaitu pendinginan (*chilling*) dan pembekuan (*freezing*). Proses pendinginan atau chilling dipergunakan untuk menyimpan bahan makanan yang gampang mengalami kerusakan untuk jangka panjang dalam kurun waktu beberapa hari bahkan sampai minggu. Proses pembekuan atau *freezing* digunakan untuk menyimpan bahan makanan selama beberapa bulan atau tahun. Beberapa faktor yang berpengaruh pada perlakuan suhu rendah adalah :

- a. Kualitas Bahan Mentah dari Mentah
Kualitas bahan mentah dari bahan makanan sangat mempengaruhi pada proses *thawing*.
- b. Suhu
Suhu yang dipergunakan bergantung pada kadar air yang dikandung oleh bahan makanan tersebut.

c. Perlakuan Awalan

Ada beberapa perlakuan pendahuluan yang dapat mempengaruhi pada proses *thawing*.

1) Pencucian

Pencucian bahan makanan memiliki tujuan untuk menghilangkan mikroorganisme yang bisa mengurangi daya tahan pada tubuh karena biasanya bahan makanan hasil dari pertanian kotor, sehingga pencucian yang baik adalah dilakukan pada air mengalir.

2) Pemotongan

Dilakukan untuk membuang bagian yang tidak penting, selain itu juga dilakukan untuk mendapatkan ukuran yang sesuai sehingga dapat mempercepat proses pembekuan.

3) *Blancing*

Dilakukan untuk menginaktifkan enzim dan mengurangi jumlah mikroorganisme

4) Pencelupan Bahan Makanan pada Sirup atau Gula

Dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kecepatan pembekuan serta untuk mengurangi produksi O_2 yang terkandung dalam bahan makanan seperti pada buah-buahan.

5) Pengepakan

Dilakukan untuk tujuan pencegahan pergantian warna, perubahan rasa, tekstur serta untuk menghindari terjadinya kontaminasi dari udara.

7.5.4 Perlakuan dengan Bahan Kimia

Ada dua cara yang dilakukan dalam proses pencegahan kerusakan bahan makanan dengan bahan kimia, yaitu dengan teknologi fermentasi dan penggunaan *food additive* atau disebut juga bahan tambahan makanan.

a. Teknologi Fermentasi

Teknologi fermentasi adalah perubahan kimia yang terjadi pada bahan pangan yang diperbantuan oleh aktivitas mikroorganisme. Tujuan dari penggunaan teknologi fermentasi adalah untuk meningkatkan daya cerna, mengurangi kadar racun, meningkatkan nilai harga serta mendapatkan hasil produk makanan yang bermacam-macam.

Jenis-jenis mikroorganisme yang biasanya dipakai untuk teknologi fermentasi adalah kapang seperti *Mucor* dan *Aspergillus*, khamir seperti *Sacharomyces* dan bakteri seperti *Bacillus* dan *Streptococcus*. Beberapa contoh bahan makanan hasil fermentasi adalah :

- 1) Terasi yang berasal dari udang.
- 2) Yoghurt dari susu.
- 3) Oncom dari ampas kacang tanah.

b. Penggunaan *Food Additive*

Penggunaan food additive merupakan penambahan bahan makanan yang tidak dipergunakan untuk makanan yang secara sengaja ditujukan untuk mempengaruhi sifat dan khas makanan tersebut. Selain itu, bahan tambahan makanan juga bisa mencegah terjadinya fermentasi atau penguraian serta kerusakan pada makanan yang disebabkan oleh mikroorganisme seperti fungi, bakteri atau mikroorganisme lainnya. Kontaminasi bakteri pada makanan dapat menyebabkan penyakit.

Penambahan *Food Additive* biasanya ditambahkan pada proses preparasi, pengolahan, pembungkusan, penyimpanan dan distribusi bahan makanan. Penggunaan bahan tambahan aman jika digunakan pada batas yang aman. Alasan penggunaan bahan tambahan dalam bahan makanan adalah :

- 1) Sebagai peningkatan atau pertahanan nilai gizi pada bahan makanan. Vitamin serta mineral yang terkandung dalam makanan seperti tepung, susu dan margarin agar dapat memperbaiki kurangnya zat tersebut pada program seseorang yang sedang diet ataupun untuk menggantikan hilangnya vitamin dan mineral pada saat proses pembuatan olahan pangan.
- 2) Mempertahankan konsistensi dari produk makanan. Emulsifier membentuk tekstur produk yang bentuknya berupa emulsi atau suspensi yang memiliki konsistensi serta dapat melakukan pencegahan pada saat pemisahan fase air dengan fase lemak suatu emulsi pemisahan fase cair dan juga padat suspensi. Adanya zat yang dapat menstabilkan dan mengentalkan dapat memberikan tekstur yang halus serta homogen pada beberapa jenis makanan.
- 3) Mengatur keasaman dan kebasaaan pangan. Bahan yang berfungsi untuk mengembangkan yang dapat melepaskan asam apabila dilakukan pemanasan jika bereaksi dengan baking soda kemudian dapat terjadi pengembangan pada kue, cookies atau roti pada saat pemanggangan berlangsung.
- 4) Mempertahankan kelezatan dan kesehatan pada makanan yang dapat disebabkan oleh kapang, bakteri maupun fungi. Kontaminasi dari bakteri dapat mengakibatkan penyakit seperti botulism yang berbahaya bagi kehidupan. Antioksidan merupakan pengawet yang dapat mengurangi munculnya bau yang tidak kurang sedap pada makanan serta bisa mengurangi perubahan warna menjadi coklat apabila teroksidasi dengan udara seperti pada potongan buah segar contohnya yaitu apel.
- 5) Memperkuat rasa atau memperoleh hasil warna yang dibutuhkan. Beberapa jenis bumbu serta

perasa sintetis maupun alami dapat menguatkan rasa makanan, untuk pewarna dapat mempercantik hasil akhir pangan untuk memenuhi keinginan dari konsumen.

7.6 Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan Mikroba

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroba adalah : air, pH, Suhu dan Oksigen

7.6.1 Air

Air merupakan faktor utama pertumbuhan mikroba, bahan makanan yang dapat terlarut di dalam air dimana air tersebut dipergunakan oleh mikroorganisme untuk membentuk bahan sel dan untuk mendapatkan energi. Mikroba mempunyai karakteristik kondisi pertumbuhan yang tidak sama. Pada saat kondisi optimal bakteri dapat bertumbuh lebih cepat jika dibandingkan dengan kapang serta jamur, hal ini disebabkan karena bakteri mempunyai struktur sel yang lebih sederhana dibandingkan kapang dan jamur, sehingga hampir semua bakteri mempunyai waktu generasi kurang lebih 20 menit apabila dibandingkan dengan kapang dan khamir yang mempunyai struktur sel yang lebih rumit dan waktu untuk melakukan generasi lebih lama. (Hatta, 2020)

7.6.2 Ph

pH merupakan salah satu faktor penentu jenis mikroba yang bisa tumbuh pada bahan makanan dan pada tiap mikroba memiliki pH optimum, pH minimum serta pH maksimum masing-masing untuk dapat melakukan pertumbuhan.

Bakteri paling baik dapat bertumbuh pada pH netral, beberapa menyukai pH yang asam, ada yang dapat tumbuh pada pH sedikit basa atau asam. Kapang tumbuh pada pH 2-

8,5, biasanya lebih menyukai pada pH dengan suasana asam. Sedangkan pada khamir tumbuh pada pH 4-4,5 dan pada suasana basa khamir tidak dapat bertumbuh.

7.6.3 Suhu

Masing-masing mikroba memiliki suhu optimum, suhu minimum, dan suhu maksimum untuk pertumbuhannya. Bakteri memiliki suhu optimum yaitu pada suhu 20°C– 45°C. Suhu optimum pertumbuhan kapang yaitu pada suhu 25°C–30°C, sedangkan khamir memiliki suhu optimum yaitu pada suhu 25°C–30°C.

7.6.4 Oksigen

Berdasarkan pada proses respirasinya, mikroba di klasifikasikan menjadi 4 bagian, yaitu anaerobik, aerobik, fakultatif dan mikroaerofilik. Mikroba yang termasuk dalam golongan aerobik bila membutuhkan oksigen yang bebas, contohnya yaitu kapang yang terkandung dalam makanan. Golongan anaerob tidak membutuhkan oksigen dan dapat bertumbuh dengan baik tanpa memerlukan oksigen yang bebas. Golongan fakultatif bisa tumbuh dengan ada atau tidaknya oksigen yang bebas, sedangkan mikroaerofilik memerlukan oksigen yang bebas dalam jumlah kecil. (Susiwi, 2009)

DAFTAR PUSTAKA

- Pratiwi Sylvia T. *Mikrobiologi Farmasi*. Jakarta; Erlangga Medical Series
- Susiwi. 2009. *Kerusakan Pangan*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Universitas Bung Hatta. 2020. *Pertumbuhan Bakteri*. Sumatra Barat: Universitas Bung Hatta

BAB 8

PERBEDAAN BAKTERI GRAM POSITIF DAN GRAM NEGATIF

Oleh Sri Hainil

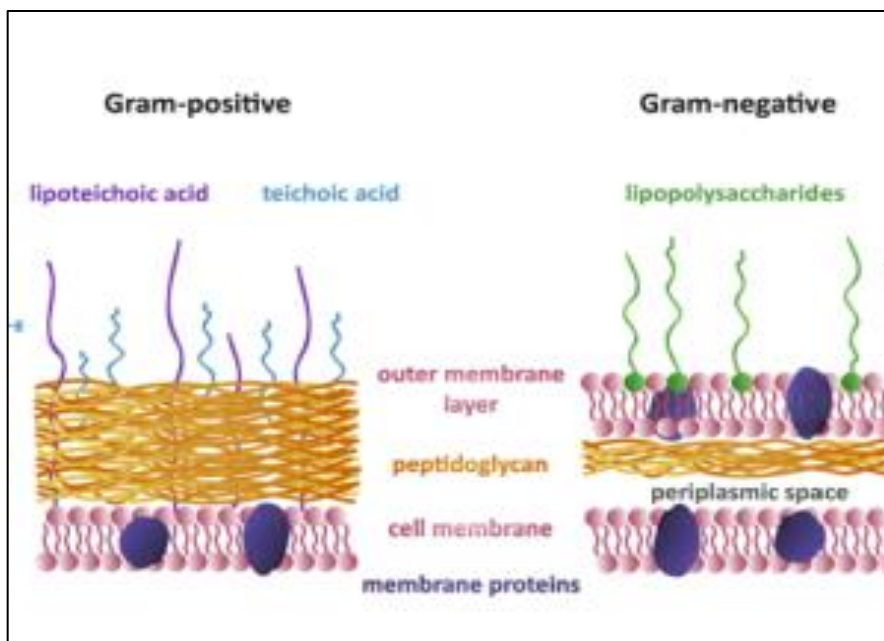
8.1 Pendahuluan

Berdasarkan metode pewarnaan Gram konstruksi dinding sel, bakteri dapat dibedakan menjadi bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif. Hans Christian Gram menciptakan pewarnaan Gram mikroorganisme pada tahun 1884. Metode ini memanfaatkan pewarna kristal violet. Bakteri Gram negatif memiliki dinding sel peptidoglikan yang lebih tipis tanpa asam teikoat. Akibatnya, bakteri tidak dapat mempertahankan zat warna ungu dan akan tampak berwarna merah saat masih muda pada pewarnaan Gram, sedangkan bakteri Gram positif memiliki dinding sel peptidoglikan yang lebih tebal dengan asam teikoat sehingga bakteri dapat mempertahankan zat warna ungu selama pewarnaan Gram (Panalawa, 2017).

8.2 Perbedaan Struktur Dinding Sel Bakteri

Konstruksi dinding sel bakteri rumit dan kaku. Adanya kandungan peptidoglikan berkontribusi terhadap kekakuan dinding sel. Glikopeptida, neuropeptida, mukopeptida atau murein peptidoglikan adalah nama lain untuk peptidoglikan.

Dinding sel bakteri Gram positif berbasis peptidoglikan membuat dinding sel menjadi kaku. Peptidoglikan memiliki komponen asam teikoat di bagian luarnya. Tidak banyak peptidoglikan pada bakteri Gram negatif, tetapi ada membran luar yang terbuat dari fosfolipid dan lipoprotein yang mengelilingi peptidoglikan dan mengandung lipopolisakarida. Bakteri Gram positif dan negatif berbeda dalam ketahanannya karena komposisi dinding selnya. Antibiotik penisilin lebih efektif membunuh peptidoglikan, membuatnya lebih efektif melawan bakteri Gram positif. Sebaliknya, bakteri Gram positif lebih tahan terhadap kerusakan mekanis karena memiliki lebih banyak peptidoglikan (Rini and Rochmah, 2020). Diagram berikut menggambarkan bagaimana bagian-bagian bakteri Gram positif dan Gram negatif berbeda:



Gambar 8.1. Komponen Dinding Sel Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif . (Sumber: Pajerski *et al.*, 2019)

Sel bakteri yang diklasifikasikan sebagai Gram positif atau Gram negatif masing-masing memiliki sifat unik. Perbedaan antara sifat-sifat ini ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 8.1. Perbedaan Sel Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif

No.	Aspek Perbedaan	Sel Bakteri	
		Gram Negatif	Gram Positif
1	Komposisi struktur dinding sel	Tipis (10 - 15 nm) terdapat tiga lapis	Tebal (15 - 80 nm) Hanya satu lapis
2	Komponen dinding sel	Kandungan lemak tinggi (11 - 22%). Lapisan kaku bagian dalam adalah peptidoglikan. Jumlahnya hanya sedikit, 10% berat kering. Tidak terdapat asam teikoat	Kandungan lemak rendah (1- 4%). Peptidoglikan sebagai monolayer. Berat kering sel bakteri terdiri dari komponen utama 50%. Terdapat asam teikoat
3	Kerentanan terhadap antibiotik	Kurang rentan	Lebih rentan
4	Zat warna dasar, seperti kristal violet, dapat menghambat pertumbuhan.	Tidak dihambat dengan nyata	Dihambat dengan nyata
5	Persyaratan nutrisi	Kurang rumit	Lebih rumit
6	Gangguan pada tubuh	Lebih rentan	Kurang rentan

Sumber : (Boleng, 2015)

Klasifikasi Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif

Banyak spesies bakteri dapat dibagi menjadi kelompok-kelompok berikut:

Tabel 8.2. Klasifikasi Bakteri Berdasarkan Pewarnaan Gram

Gram Positif		Gram Negatif	
Kokus	Batang	Kokus	Batang
<i>Abiotrophia</i>	<i>Actinomyces</i>	<i>Moraxella</i>	<i>Campylobacter</i>
<i>Peptostreptococcus</i>	<i>Bifidobacterium</i>	<i>Neisseria</i>	<i>Capnocytophaga</i>
<i>Streptococcus</i>	<i>Corynebacterium</i>	<i>Veillonella</i>	<i>Desulfobacter</i>
<i>Stomatococcus</i>	<i>Lactobacillus</i>		<i>Desulfovibrio</i>
	<i>Propionibacterium</i>		<i>Eubacterium</i>
	<i>Pseudoramibacter</i>		<i>Eikenella</i>
	<i>Rothia</i>		<i>Fusobacterium</i>
			<i>Haemophilus</i>
			<i>Leptotrichia</i>

Sumber : (Chaturvedi and Punj, 2019)

8.3 Pewarnaan Gram

Pewarnaan Gram mencoba untuk membedakan antara berbagai jenis bakteri menggunakan kemampuan pewarnaan yang melekat pada dinding sel. Bakteri Gram positif adalah bakteri dengan lapisan tebal peptidoglikan biru hingga ungu, sedangkan bakteri Gram negatif memiliki lapisan peptidoglikan lebih tipis berwarna merah hingga merah muda.

Panicker *et al.*, (2022) memaparkan Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pewarnaan Gram sebagai berikut:

1. Pembuatan Preparat Apus

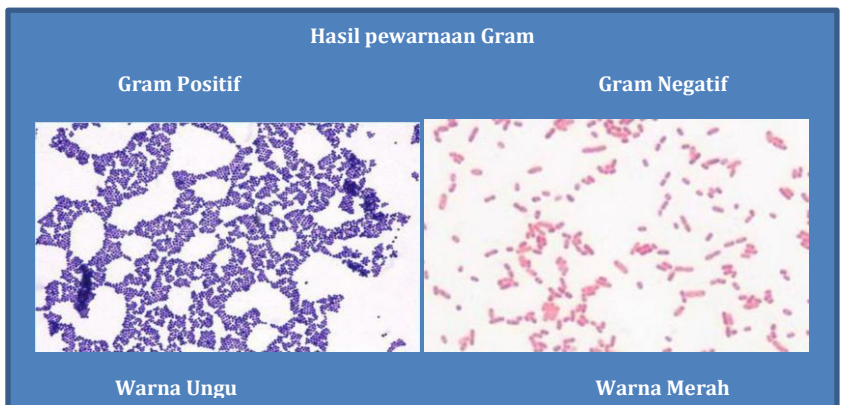
Gunakan *loop* yang sudah disterilkan untuk memindahkan setetes biakan yang tersuspensi ke kaca objek dan menerapkannya sebagai lapisan tipis. Kemudian dikeringkan menggunakan udara atau api kecil.

2. Pewarnaan Gram

- Pewarna primer: kristal violet/metilen biru → cuci setelah 60 detik
- Mordan (*Fiksatif*): gram iodine → cuci setelah 60 detik.
- Dekolorisasi: aseton atau campuran aseton dan etanol → cuci dalam 5 detik
- Counterstain (pewarna lawan): carbol fuchsin atau safranin → cuci setelah 30 detik

3. Interpretasi Hasil

- Mikroskop perbesaran rendah digunakan untuk mengamati kaca objek setelah ditetesi dengan minyak imersi untuk kemudian dievaluasi distribusi smear.
- Bakteri Gram negatif berwarna merah atau merah muda, sedangkan bakteri Gram positif berwarna biru atau ungu.
- Kokus berbentuk bulat, sedangkan basil berbentuk batang.



Gambar 8.2. Pewarnaan Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif. (Sumber: Rini dan Rochmah, 2019)

8.4 Persamaan dan Perbedaan Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif

- a. Persamaan antara Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif
- Mikroorganisme uniseluler prokariotik dengan kapsul adalah struktur seluler yang dimiliki oleh bakteri Gram positif dan Gram negatif.
 - berisi satu kromosom
 - Memiliki plasmid sebagai DNA ekstrakromosomnya.
 - Reproduksi secara aseksual dengan pembelahan biner.
 - Reproduksi juga dengan transformasi, transduksi dan konjugasi.
 - Antibiotik mungkin mengganggu.
 - Peptidoglikan ditemukan di dinding sel.
 - Dapat bereaksi terhadap teknik pewarnaan Gram
 - Dapat menginfeksi manusia, hewan, dan tumbuhan dengan penyakit.

b. Perbedaan Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif

Tabel 8.3. Perbedaan Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif

No.	Aspek Perbedaan	Sel Bakteri	
		Gram Negatif	Gram Positif
1	Lapisan peptidoglikan	11- 22% lebih tipis	1-4% lebih tebal
2	Motilitas	Motil dan non motil, flagella bervariasi	Non motil, bila motil tipe flagella adalah petritikus

No.	Aspek Perbedaan	Sel Bakteri	
		Gram Negatif	Gram Positif
3	Endospora	Tidak menghasilkan endospora	Endospora dihasilkan oleh beberapa kelompok
4	Toksin yang dibentuk	Endotoksin	Eksotoksin
5	Bentuk sel	Bulat, koma, oval	Batang, filamen, bulat
6	Metabolisme	Fototrof	Kemoorganoheterotrof

(Sumber: Rini dan Rochmah, 2019)

8.5 Kelompok Bakteri Patogen

1. Kelompok Bakteri Gram Negatif

a. *Salmonella sp*

Salah satu kontributor utama penyakit bawaan makanan atau penyakit yang disebabkan oleh kontaminasi bakteri dalam makanan di Amerika Serikat adalah bakteri *Salmonella sp*. Mengingat bakteri tersebut banyak terdapat pada makanan dan minuman serta merupakan bakteri patogen yang sering menyebabkan infeksi pada manusia melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi.

Salmonella sp, merupakan bakteri yang dapat membahayakan kesehatan seseorang dengan menyebabkan gastroenteritis, bakteremia dengan atau tanpa penyakit, dan demam tifoid.

Salmonella menyebabkan gastroenteritis, infeksi gastrointestinal yang berkembang lebih dari 8 sampai 48 jam setelah bakteri memasuki inang.

Gejalanya meliputi muntah, diare, demam, sakit kepala, dan sakit perut yang dapat bertahan hingga 5 hari. Kehilangan cairan dan ketidakseimbangan elektrolit adalah salah satu gejala yang mengkhawatirkan bagi anak-anak dan orang tua.

b. *Escherichia coli*

Pada negara-negara berkembang, penyakit diare merupakan sumber utama morbiditas dan mortalitas. Infeksi saluran kemih, meningitis, dan sepsis semuanya dapat disebabkan oleh bakteri *Escherichia coli* yang merupakan bakteri komensal, patogen ekstraintestinal, dan patogen intestinal.

Infeksi ini dibedakan dengan berbagai tampilan klinis, dari tanpa gejala hingga diare berdarah atau tanpa darah hingga tidak ada tanda klinis sama sekali.

c. *Klebsiella ozaenae*

Meskipun penyebab pasti penyakit ozaena tidak pasti, *Klebsiella ozaenae* dan *Bacillus foetidus* dianggap bertanggung jawab. Penyakit ini bermanifestasi dengan munculnya bintik-bintik, iritabilitas hidung, benjolan di rongga dada, sakit kepala, dan ingus berwarna hijau berbau.

d. *Pseudomonas aeruginosa*

Infeksi oportunistik manusia dan infeksi nosokomial sering disebabkan oleh *Pseudomonas aeruginosa*. Infeksi primer pada kulit dapat disebabkan oleh *Pseudomonas aeruginosa*. Ulkus diabetik merupakan infeksi yang paling khas terjadi. Kolonisasi ulkus diabetik diikuti oleh bakteremia, nekrosis jaringan, dan kerusakan vaskular lokal. Selain pembengkakan, peradangan dan kemerahan, gejala lainnya termasuk keluarnya cairan dan kaki yang tampak bengkak.

e. *Shigella dysenteriae*

Disentri adalah penyakit radang usus yang menyebabkan gejala meluas, lendir berdarah di tinja. Bakteri (*Disentri basiler*), juga dikenal sebagai *shigellosis*, yang disebabkan oleh bakteri dari genus *Shigella*, merupakan penyebab utama disentri. Gejala diare ditandai dengan sakit perut, tenesmus serta adanya lendir dan darah pada tinja.

f. *Klebsiella pneumonia*

Pneumonia ialah kondisi infeksi akut yang merusak alveoli di paru-paru. Pneumonia yang didapat masyarakat dapat disebabkan oleh *Klebsiella pneumonia*. Salah satu strain bakteri *Klebsiella* yang sering menginfeksi manusia adalah *Klebsiella pneumoniae*. Lapisan mukosa paru-paru adalah rumah bagi bakteri ini, organisme oportunistik. memiliki penyebaran yang cepat, terutama di antara mereka yang telah tertular patogen.

Pendarahan dan penebalan lapisan lendir organ adalah dua gejala penyakit ini. Selain pneumonia, bakteri *Klebsiella pneumoniae* merupakan salah satu penyebab bronkitis.

g. *Neisser meningitidis*

Meningitis adalah suatu kondisi yang mempengaruhi sistem pernapasan. Radang selaput otak dan sumsum tulang belakang serta septikemia (keracunan darah) keduanya disebabkan oleh meningitis. *Neisseria meningitidis* adalah bakteri yang menyebabkan penyakit ini.

Batuk, bersin, berciuman, berbagi makanan menggunakan alat yang sama, menggunakan sikat gigi yang sama, dan merokok secara bergantian dalam satu batang adalah cara umum penyebaran meningitis. Mikroorganisme, kanker, cedera fisik, dan obat-obatan semuanya berpotensi menyebabkan meningitis. Anda berisiko tertular penyakit dan menyebarkannya ke orang lain. Penyakit ini biasanya membutuhkan waktu 3 hingga 4 hari sebelum gejala mulai terlihat. Biasanya

mulai 1 sampai 14 hari setelah paparan, penyakit 50% dari waktu bermanifestasi sebagai meningitis.

Gejala meningitis umumnya tidak jelas, meskipun dapat berupa demam, sakit kepala, leher kaku, nyeri sendi, ruam dengan bintik-bintik ungu atau memar, keengganan terhadap cahaya terang, dan muntah yang tidak terduga.

h. *Haemophilus influenza*

Bakteri patogen manusia yang disebut *Haemophilus influenzae* dapat menyebabkan bakteremia, pneumonia, meningitis, dan influenza. Sumber penyakit dan kematian yang signifikan adalah infeksi influenza. Akibat batuk, bersin, atau kontak langsung dengan tangan yang terkontaminasi sekret pernapasan, penyakit ini dapat menyebar melalui udara berupa droplet dari saluran pernapasan orang yang terinfeksi.

Demam, nyeri otot, sakit kepala, batuk, lemas, dan nyeri saat menelan adalah tanda sistemik utama infeksi influenza. Anak-anak di bawah usia lima tahun paling sering terinfeksi influenza dan mengalami gejala yang lebih ringan.

i. *Neisseria gonorrhoeae*

Saat ini, gonore ialah penyakit menular seksual yang paling sering terjadi. Bahkan pada mereka yang sudah pernah mengalami penyakit, kekebalan intrinsik tidak ada. Selain itu, tidak ada perbedaan dalam kekebalan antara berbagai kategori etnis, jenis kelamin, atau usia. *Neisseria gonorrhoeae* adalah bakteri yang menyebabkan gonore.

Melalui interaksi seksual dengan penderita gonore, penularan terjadi. Penyakit ini memiliki masa inkubasi yang sangat singkat pada laki-laki, biasanya antara 2 dan 8 hari, dan sebagian besar infeksi menunjukkan gejala dalam waktu 2 minggu. Sulit untuk menentukan masa inkubasi pada wanita karena mereka sering tidak menunjukkan gejala dan baru teridentifikasi setelah masalah. Uretritis anterior akut,

yang dapat meluas ke proksimal dan menyebabkan masalah lokal, menaik, dan menyebar, merupakan tanda klinis infeksi awal yang paling sering dialami pria. Keluhan subjektif meliputi sensasi terbakar dan gatal di bagian distal uretra dekat orifisium uretra eksterna, diikuti dengan disuria, polikisuria, sekret mukopurulen dari orifisium uretra eksterna yang terkadang disertai darah, dan disertai sensasi nyeri selama ereksi.

Serviks sering dipengaruhi oleh gejala gonore pada wanita, menyebabkan servitisitis dan keputihan. Serviks yang terinfeksi terlihat rapuh, edematous, dan mengeluarkan cairan mukopurulen di ostium saat diperiksa. Wanita yang berisiko mengalami masalah dan memiliki sedikit atau tanpa gejala merupakan sumber utama penyebaran infeksi yang signifikan.

j. *Treponema pallidum*

Infeksi kulit yang dikenal sebagai frambusia atau patek disebarkan melalui kontak dengan individu yang terinfeksi. Kondisi yang terus-menerus ini dapat membuat kecacatan. Frambusia atau yaws merupakan infeksi *treponemal nonvenereal* pada manusia yang dibawa oleh bakteri *Treponema pallidum*. Meski bisa menyerang siapa saja, anak-anak di bawah usia 15 tahun lebih mungkin mengalaminya.

Anoreksia, demam, dan malaise konstitusional adalah gejala yang mungkin terjadi. Sementara tanda-tanda klinis lain seperti plak hiperkeratotik pada kaki dan telapak tangan, retakan dan ulserasi (*worm-eaten soles*), dan infeksi sekunder yang parah dapat berkembang, "*crab-like gait*" yang biasanya ditunjukkan oleh pasien merupakan ciri khas.

k. *Proteus vulgaris*

Abses leher dalam adalah nanah yang terkumpul di ruang yang memungkinkan antara fasia leher dalam. Bakteri *Proteus vulgaris* merupakan salah satu mikroorganisme penyebab abses leher dalam. Infeksi

leher dalam disebabkan oleh infeksi yang menyebar ke parafaring melalui amandel dan faring.

Di daerah leher yang terkena, ada rasa tidak nyaman dan bengkak di antara tanda dan gejala klinis. Tempat memungkinkan pada leher dalam adalah daerah anatomis yang sangat sangat kompleks.

l. *Chlamydia trachomatis*

Salah satu penyebab infeksi kelamin non spesifik baik pada wanita maupun pria adalah *Chlamydia trachomatis*. Infeksi menular seksual yang disebut *Chlamydia trachomatis* disebabkan oleh bakteri *Chlamydia* obligat intraseluler. Saluran genital dari kedua jenis kelamin, konjungtiva, dan paru-paru semuanya dapat dipengaruhi oleh infeksi *Chlamydia trachomatis*. Sebagian besar pasien dengan infeksi *Chlamydia trachomatis* pada saluran kelamin wanita dan pria tidak menunjukkan gejala, meskipun dapat menimbulkan efek samping yang serius.

m. *Bordetella pertussis*

Saluran pernapasan diserang oleh bakteri *Bordetella pertussis* yang sangat menular. Menciptakan racun yang merusak epitel saluran pernapasan dan berdampak sistemik berupa sindrom yang ditandai dengan batuk paroksismal spasmodik dan mengi saat pasien mencoba mengatur napas. Muntah sering terjadi setelah serangan batuk, yang dapat berlangsung selama berbulan-bulan.

2. Kelompok Bakteri Gram-Positif

a. *Clostridium botulinum*

Neurotoksin yang menargetkan saraf dan melumpuhkan orang diproduksi oleh bakteri *Clostridium botulinum*. Botulisme, suatu kondisi yang disebabkan oleh keracunan makanan adalah kondisi yang disebabkan bakteri *Clostridium botulinum*.

Mual, kram di perut, kelumpuhan, penglihatan kabur, dan masalah pernapasan adalah beberapa gejala awalnya.

b. *Clostridium tetani*

Tetanus disebabkan oleh bakteri *Clostridium tetani*. Tetanus neonatorum (pada bayi baru lahir) sering terjadi bila tali pusat atau umbilikus terabaikan saat persalinan (alat pemotong yang digunakan untuk memotong umbilikus tidak steril). Tetanus berkembang pada orang dewasa setelah luka yang dalam dengan lubang kecil (luka tusuk). Toksin tetanus dapat diproduksi oleh *Clostridium tetani* anaerobik. Kesulitan menelan, kejang otot yang kuat, dan kejang rahang adalah gejalanya.

c. *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus ialah penyebab utama infeksi bernanah pada manusia yang terdapat di kulit dan rongga hidung sebagian besar orang. *Staphylococcus* dapat masuk ke dalam tubuh melalui saluran pernapasan, tusukan jarum, atau folikel rambut. Lesi *Staphylococcus* prototipikal adalah abses lokal, seperti bisul, yang dapat menyebabkan nekrosis jaringan.

Bakteri aerob, Gram positif yang disebut *Staphylococcus aureus* biasanya berdiam di kulit manusia dan selaput lendir. Infeksi *Staphylococcus aureus* hampir dialami setiap orang. Infeksi ini dapat bervariasi dari keracunan makanan hingga infeksi kulit yang serius, yang mengancam jiwa. *Staphylococcus aureus* adalah patogen manusia yang menonjol. Benjolan berisi nanah pada kulit, peradangan, dan nyeri dirasakan sebagai gejalanya. Antibiotik seperti cloxacillin, erythromycin, dan dicloxacillin sering digunakan untuk mengobati pasien dengan gangguan infeksi yang disebabkan oleh bakteri *Staphylococcus aureus*.

d. *Staphylococcus epidermidis*

Bakteri *Staphylococcus epidermidis* telah muncul sebagai patogen yang signifikan dalam infeksi nosokomial dan sepsis, terutama pada pasien dengan perangkat implan seperti prostesis sendi, shunt serebrospinal, dan kateter intravaskular, terutama pada anak kecil, orang tua, dan pasien dengan sistem kekebalan yang lemah. Bakteri *Staphylococcus epidermidis* bertanggung jawab atas gangguan sepsis dan endokarditis.

Gejala anoreksia dan dispnea termasuk demam, sakit kepala, dan kelelahan.

e. *Streptococcus pneumoniae*

Pneumonia ialah peradangan paru-paru yang menyebabkan nyeri saat bernapas dan kekurangan oksigen. Selain batuk dan bersin, ada cara lain untuk menularkan pneumonia (WHO, 2014). *Streptococcus pneumoniae* adalah bakteri yang menyebabkan pneumonia. Anak-anak di bawah usia lima tahun lebih mungkin terkena pneumonia berat, yang meliputi masalah batuk dan pernapasan. Anak-anak pada usia ini memiliki sistem kekebalan yang relatif lemah, sehingga rentan terhadap penyakit yang ditularkan melalui udara. Durasi pengobatan terpendek dan terpanjang masing-masing adalah 3 dan 36 hari. Durasi perawatan tertinggi yang paling umum untuk pasien dewasa adalah 8 hingga 14 hari, dengan perawatan terpendek berlangsung selama 4 hari dan terlama 27 hari.

f. *Treponema pallidum*

Treponema pallidum ialah bakteri penyebab penyakit sifilis. Sifilis dikategorikan menjadi empat tahap: primer, sekunder, laten, dan tersier. Tanda-tanda klinis berbeda tergantung pada stadiumnya. Bakteri *Treponema pallidum* dapat ditularkan dari ibu ke anak serta melalui hubungan seks berisiko, seperti berganti pasangan atau tidak menggunakan kondom.

Tiga minggu setelah infeksi, tanda-tanda klinis penyakit akan mulai terlihat. Ruam kelamin adalah salah satu tanda klinis sifilis.

g. *Mycobacterium tuberculosis*

Mycobacterium tuberculosis adalah agen penyebab tuberkulosis, penyakit menular yang sering menyerang jaringan paru-paru. Semua usia dapat terkena tuberkulosis paru, yang dapat muncul dengan gejala ringan hingga berat serta berbagai situasi klinis.

Cara terbaik untuk mencegah penyakit ini ialah menyediakan air bersih, mengelola limbah dan kotoran rumah tangga, menjaga area bebas dari vektor pembawa penyakit seperti tikus, lalat, dan kecoa, menjaga kepadatan hunian yang tepat, memiliki sinar matahari pagi yang cukup untuk menerangi ruangan, dan menghindari kontaminasi makanan dan minuman. Rumah yang sehat juga harus memenuhi standar untuk mencegah kecelakaan yang disebabkan oleh faktor eksternal dan internal, seperti memiliki konstruksi yang tahan terhadap kerusakan, memenuhi standar delineasi jalan, tidak mudah terbakar, dan mencegah penghuni terpeleset dan jatuh.

h. *Streptococcus pyogenes*

Hampir setiap orang pernah mengalami radang tenggorokan atau tonsilitis yang disebabkan oleh bakteri *Streptococcus pyogenes*. Angina Ludwig (radang parah pada dasar mulut disertai dengan nanah), yang dapat disebabkan oleh peradangan yang sangat akut, mencegah udara masuk ke saluran pernapasan. Tanda dan gejala penyakit ini antara lain sakit tenggorokan yang sering disertai flu, batuk, demam, mual, dan lesu.

i. *Bacillus cereus*

Bakteri *Bacillus cereus* bertanggung jawab atas keracunan, yang bermanifestasi sebagai muntah dan diare. *Bacillus cereus* menghasilkan dua jenis racun yang berbeda: satu yang menyebabkan diare dan yang

lainnya menyebabkan muntah atau emesis. Inkubasi berlangsung antara satu dan lima jam. Racun ini menyebabkan mual, muntah, dan terkadang diare. Strain *Bacillus cereus*, yang terdapat pada makanan dengan bahan dasar nasi, merupakan salah satu penyebab keracunan makanan.

j. *Mycobacterium leprae*

Mycobacterium leprae, penyebab utama Morbus Hansen, menargetkan saraf tepi, yang kemudian dapat menyerang kulit dan organ tubuh lainnya. Karena reaksi terhadap infeksi *Mycobacterium leprae* ditentukan secara genetis, ia dapat mengambil berbagai bentuk. Macam kelainan yang bermanifestasi, seperti kusta subklinis, tergantung dari jenis kusta yang ada. Tahap subklinis kusta ditandai dengan adanya bakteri dalam tubuh positif tetapi tidak adanya gejala klinis pada orang yang terkena. Masa inkubasi gejala ini antara dua hingga lima tahun, setelah itu gejala awal penyakit yang tidak khas mulai muncul berupa bercak pada kulit dengan gangguan sensasi ringan dan berkurangnya keringat. Biasanya diperlukan waktu beberapa tahun setelah anomali ditemukan hingga tanda-tanda klinis yang khas muncul. Bergantung pada jenis kusta, anomali karakteristik ini dapat memengaruhi kulit, saraf tepi, atau organ lain.

k. *Corynebacterium diphtheriae*

Strain toksik dari bacillus Gram positif *Corynebacterium diphtheriae* inilah yang menyebabkan difteri. Infeksi saluran pernapasan atas, infeksi kulit, dan pembawa asimtomatik semuanya dapat disebabkan oleh difteri. Difteri berpotensi menimbulkan akibat fatal yang cukup berbahaya. Demam dan kesulitan menelan merupakan tanda klinis khas difteri. Batuk, sakit tenggorokan, dan pembengkakan leher adalah tanda-tanda klinis lain yang mungkin ada. Suara serak, perdarahan pada pseudomembran, dan kejang merupakan tanda klinis

yang jarang terjadi. Dengan memberikan vaksinasi toksoid difteri, penularan difteri dapat dihindari. Sejak usia dua bulan, anak-anak menerima vaksin difteri pertusis tetanus (DPT) tiga kali, setiap kali dengan interval 4 hingga 6 minggu antar dosis.

l. *Clostridium perfringens*

Bakteri anaerob Gram positif yang disebut *Clostridium perfringens* mampu menghasilkan spora. Strain yang menyebabkan keracunan makanan adalah tipe A, dan memiliki enterotoksin yang dapat membuat orang sakit diare dan sakit perut hebat. Karena diare dapat diobati tanpa intervensi medis, sering dianggap normal dan tidak dilaporkan. Diare berdampak besar pada berat badan dan status kesehatan umum pada anak kurang gizi, sehingga lebih sulit untuk mencapai status gizi yang cukup dan sehat. Gejala penyakit sering mulai 8 sampai 16 jam setelah makan makanan tercemar dan hilang dengan sendirinya dalam 12 sampai 24 jam.

m. *Gardnerella vaginalis*

Vaginosis bacterial adalah keadaan lingkungan vagina yang menyimpang yang ditandai dengan adanya bakteri anaerob dalam jumlah tinggi, khususnya *Gardnerella vaginalis*, sebagai pengganti flora vagina yang khas. Nama lain untuk kondisi ini termasuk vaginosis anaerob, vaginitis *Gardnerella vaginalis*, dan vaginitis nonspesifik. Kriteria Amsel, yang menyatakan bahwa tiga dari empat gejala yaitu adanya keputihan yang homogen, encer, putih, melekat pada dinding vagina, dan tidak normal. pH vagina > 4,5 dan tes amina positif, dengan sekret vagina yang berbau amis sebelum atau setelah penambahan KOH 10% (*Whiff test*).

n. *Staphylococcus saprophyticus*

Wanita muda yang aktif secara seksual sering mengalami infeksi saluran kelamin yang sering disebabkan oleh *Staphylococcus saprophyticus*. Semua stafilokokus memiliki risiko infeksi saluran kelamin

yang sama, sedangkan *Staphylococcus saprophyticus* memiliki kemampuan yang lebih baik untuk melekat pada epitel saluran urogenital. Tidak seperti *Escherichia coli*, *stafilokokus* berikatan dengan epitel saluran kemih dengan cara yang berbeda.

Adanya kuman, baik simtomatik maupun asimtomatik, dapat dideteksi dalam urin sebagai gejala penyakit ini dalam keadaan normal. Infeksi saluran genital juga dapat menyebabkan nyeri atau tekanan pada punggung atau perut bagian bawah, demam, rasa panas saat buang air kecil, dan sering buang air kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Boleng, D.T. (2015) *Bakteriologi Konsep-Konsep Dasar*. Malang: UMM Press. Available at: <http://ummpress.umm.ac.id>.
- Chaturvedi, M. and Punj, A. (2019) 'Human Oral Microflora', *International Journal of Current Advanced Research*, 8(07), pp. 1–5. Available at: <https://doi.org/10.24327/ijcar.2018.14070.2539>.
- Pajerski, W. *et al.* (2019) 'Attachment Efficiency Of Gold Nanoparticles By Gram-Positive and Gram-Negative Bacterial Strains Governed By Surface Charges', *Journal of Nanoparticle Research*, 21(8). Available at: <https://doi.org/10.1007/s11051-019-4617-z>.
- Panalawa, L. (2017) 'Difference Between Gram Positive and Gram negative Bacteria'. Available at: https://www.researchgate.net/publication/315757324_Difference_Between_Gram_Positive_and_Gram_negative_Bacteria.
- Panicker, V. *et al.* (2022) 'Gram Stain', *Journal of Skin and Sexually Transmitted Diseases*, pp. 1–2. Available at: <https://doi.org/10.25259/JSSTD>.
- Rini, C.S. and Rochmah, J. (2020) *Bakteriologi Dasar*. Edited by M. Mushlih. Sidoarjo: UMSIDA Press.

BIODATA PENULIS



Dr. Dewi Ratih Tirto Sari, S.Si., M.Si

Dosen Program Studi Farmasi, Universitas Ibrahimy,
Situbondo

Lahir di Kabupaten Blitar pada 27 April 1994. Bidang yang digeluti yaitu Biologi, utamanya dalam bidang Genetika, Nutrigenomik, Biokimia, dan Bioinformatika. Dr. Dewi menempuh S1 di bidang Biologi dengan kajian genetika pada tahun 2012 dan lulus tahun 2016. Selanjutnya menempuh studi S2-S3 fast track melalui jalur PMDSU, dan lulus pada Juni 2021. Saat ini aktif mengajar pada program studi S1 Farmasi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Ibrahimy dan ketua kelompok riset Biologi Farmasi – Universitas Ibrahimy. Selain itu, aktif pada organisasi ilmiah seperti Pusat studi Smonagenes – Universitas Brawijaya, Indonesia Nutrigenomik Nutrigenetic Society (INNS), Korean Endocrinology Society (KES), Perkumpulan Perhimpunan Dosen Indonesia (PPDI). Keaktifan dalam bidang keilmuan dituangkan dalam 74 hasil karya publikasi pada jurnal internasional dan jurnal nasional, dan 8 buku ber ISBN.

BIODATA PENULIS



Adhisty Nurpermatasari, MSi., Apt.

Dosen Program Studi D III Farmasi
Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Medan

Penulis lahir di Tasikmalaya tanggal 21 Juli 1985. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi D III Farmasi Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan R.I Medan. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Farmasi Universitas Jendral ahmad Yani, profesi apoteker di Sekolah Farmasi ITB dan melanjutkan pendidikan S2 pada Jurusan Farmasi di Universitas Sumatera Utara. Penulis mengajar mata kuliah Mikrobiologi dan parasitologi sejak tahun 2017-sekarang. Mata kuliah lain yang diampu penulis adalah Farmasi Rumah Sakit, Anatomi Fisiologi Manusia, Farmasetika dasar, Teknologi sediaan liquid dan semi solida serta Teknologi sediaan Steril.

Konsep Sterilisasi fisik dan kimia merupakan dasar ilmu yang sangat penting di laboratorium mikrobiologi dan Teknologi sediaan steril, karena merupakan dasar pengendalian mikroorganisme dalam lingkungan sehari-hari ataupun pada kegiatan produksi steril.

BIODATA PENULIS



Apt. Ika Kurnia Sukmawati M.Si

Dosen Program Studi D3 Farmasi
Fakultas Farmasi Universitas Bhakti Kencana

Penulis lahir di Majalengka pada tanggal 23 September 1981. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi D3 Farmasi Fakultas Farmasi Universitas Bhakti Kencana. Menyelesaikan pendidikan S1 di Sekolah Tinggi Farmasi Bandung dan melanjutkan profesi apoteker di Universitas Indonesia, kemudian melanjutkan S2 Farmasi Farmakologi dan Farmasi Klinik di Institut Teknologi Bandung dan sekarang sedang melanjutkan study S3 Farmasi di Universitas Padjajaran. Penulis aktif melaksanakan tridharma perguruan tinggi yaitu pengajaran, penelitian dan pengabdian masyarakat dengan roadmap riset terkait penyakit antiinfeksi.

BIODATA PENULIS



Arti Wahyu Utami S.Pd.,M.Si
Dosen Program Studi Sarjana Farmasi
Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Tujuh Belas

Penulis lahir di Prabumulih tanggal 23 November 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi S1 Farmasi Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Tujuh Belas. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi Universitas Sebelas Maret dan melanjutkan S2 pada Jurusan Biosain Universitas Sebelas Maret.

BIODATA PENULIS



Apt. Juvita Herdianty, S.Farm., M.Farm

Dosen Program Studi Sarjana Farmasi
Fakultas FAKAR Institut Ilmu Kesehatan Strada Kediri

Penulis lahir di Madiun tanggal 11 Januari 1985. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Sarjana Farmasi, Fakultas FAKAR, Institut Ilmu Kesehatan Strada. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Farmasi Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, melanjutkan pendidikan profesi Apoteker di Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu Farmasi di Universitas Setia Budi Suarakarta.

BIODATA PENULIS



apt. Luluk Aniqoh Meliana Putri, M.Farm
Dosen Tetap Program Studi S1 Farmasi
Fakultas Fakar
Institut Ilmu Kesehatan STRADA Indonesia Kediri

Penulis lahir di Tulungagung tanggal 23 Januari 1995. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi S1 Farmasi di Institut Ilmu Kesehatan STRADA Indonesia Kediri sejak Februari 2021. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Farmasi lulus tahun 2017 di Universitas Setia Budi Surakarta, Melanjutkan profesi Apoteker lulus tahun 2018 di Universitas Setia Budi Surakarta, kemudian melanjutkan S2 pada Jurusan Farmasi Sains lulus tahun 2020 di Universitas Setia Budi Surakarta.

Penulis juga merupakan seorang praktisi, yang beprofesi sebagai Apoteker yang berpraktik di salah satu Apotek di Tulungagung dari tahun 2021 sampai sekarang. Menjadi seorang akademisi dan praktisi adalah cita-cita saya sedari kecil, karena didalam kedua profesi tersebut akan selalu ada upgrade ilmu yang harus selalu dipelajari serta terdapat pengabdian masyarakat yang dapat memberikan manfaat bagi sekitar.

BIODATA PENULIS



apt.Sri Hainil,S.Si.,M.Farm

Dosen Program Studi Sarjana Farmasi
Institut Kesehatan Mitra Bunda

Penulis lahir di Kota Padang tanggal 10 September 1972. Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Sarjana Farmasi, Institut Kesehatan Mitra Bunda Kota Batam. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada jurusan Farmasi kemudian Profesi Apoteker dan dilanjutkan Pendidikan S2 Ilmu Farmasi, dimana ketiga pendidikan tersebut ditempuh di Universitas Andalas Padang. Selain sebagai dosen penulis juga berprofesi sebagai penanggung jawab pada sebuah Apotek dan Penulis juga aktif dalam sebuah organisasi profesi yaitu Ikatan Apoteker Indonesia (IAI) sebagai pengurus cabang IAI kota Batam.