

MIKROBIOLOGI KESEHATAN (KONSEPTUAL DAN PRAKTIKAL)

**Almira Ulimaz
Angriani Fusvita
Ni Ketut Yuliana Sari
Revita Permata Hati
Ani Umar
Nurmasita
Adriani
Made Gayatri Anggarkasih
Etin Diah Permanasari**



GET PRESS INDONESIA

MIKROBIOLOGI KESEHATAN (KONSEPTUAL DAN PRAKTIKAL)

Penulis :

Almira Ulimaz
Angriani Fusvita
Ni Ketut Yuliana Sari
Revita Permata Hati
Ani Umar
Nurmasita
Adriani
Made Gayatri Anggarkasih
Etin Diah Permanasari

ISBN :

Editor : DR. D.Sc. Drs. Sunarno SastroAtmodjo, S.E., S.T., S.AP., S.IP.,
S.Sos., S.IKom., M.Si., M.M.

Penyunting : Dr. Neila Sulung, S.Pd., Ns., M.Kes.

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat

Website : www.getpress.co.id

Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Januari 2024

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

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Mikrobiologi Kesehatan (Konseptual Dan Praktikal) ini.

Buku ini membahas Pendahuluan, Interaksi Mikroorganisme dan Host, Penyakit Karena Mikroorganisme, Infeksi, Patogenitas Ani Umar, Metabolisme Bakteri, Pemahaman Diagnostik; Cara Pemeriksaan Mikrobiologis, Rekayasa Genetika Molekuler Mikro, Proses Rekombinan Atau Transgenik.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, Januari 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Mikrobiologi dan Kesehatan.....	1
1.2 Tujuan Mempelajari Mikrobiologi	3
1.2.1 Tujuan dalam ruang lingkup bidang pertanian	3
1.2.2 Tujuan dalam ruang lingkup bidang peternakan	5
1.2.3 Tujuan dalam ruang lingkup bidang kesehatan	7
1.2.4 Tujuan dalam ruang lingkup bidang farmasi.....	9
1.2.5 Tujuan dalam ruang lingkup bidang pendidikan.....	12
1.3 Kesimpulan.....	15
DAFTAR PUSTAKA	16
BAB 2 INTERAKSI MIKROORGANISME DAN HOST	19
2.1 Pendahuluan.....	19
2.2 Tipe Interaksi Mikroorganisme dan Host.....	20
DAFTAR PUSTAKA	26
BAB 3 PENYAKIT KARENA MIKROORGANISME	27
3.1 Pendahuluan.....	27
3.2 Penyakit yang Disebabkan oleh Virus	28
3.2.1 Infeksi Virus Saluran Pernapasan	29
3.2.2 Infeksi Virus Sistem Pencernaan.....	31
3.2.3 Infeksi Virus Penyebab Demam Berdarah.....	34
3.2.4 Infeksi Virus Menular Seksual.....	35
3.2.5 Infeksi Virus Eksantematosa.....	36
3.2.6 Infeksi Virus Neurologis	36
3.2.7 Infeksi Virus Kongenital	37
3.3 Penyakit yang Disebabkan oleh Bakteri	37
3.3.1 Infeksi Bakteri Penyebab Gastroenteritis	38
3.3.2 Infeksi Bakteri pada Kulit.....	40
3.3.3 Infeksi Menular Seksual Akibat Bakteri.....	41
3.3.4 Infeksi Bakteri Penyebab Pneumonia	42
3.3.5 Infeksi Saluran Kemih Akibat Bakteri	42
3.4 Penyakit yang Disebabkan oleh Fungi	43

3.5 Penyakit yang Disebabkan oleh Protozoa	45
3.6 Penyakit yang Disebabkan oleh Cacing	46
DAFTAR PUSTAKA	49
BAB 4 INFEKSI	55
4.1 Pendahuluan.....	55
4.2 Agen Infeksius	57
4.3 Mekanisme	60
4.4 Epidemiologi.....	69
4.5 Tes Diagnostik.....	79
4.6 Perspektif Masa Depan	83
4.7 Rangkuman.....	84
DAFTAR PUSTAKA	85
BAB 5 PATOGENITAS	89
5.1 Pendahuluan.....	89
5.2 Mikroorganisme Patogenik.....	89
5.2.1 Patogen Frank	89
5.2.2 Patogen Oportunistik.....	90
5.2.3 Non Patogen.....	90
5.3 Faktor Virulensi Mikroorganisme	91
5.4 Penentu Patogenitas dan Virulensi Bakteri.....	92
5.5 Genetika Patogenitas.....	95
5.5.1 Pertahanan terhadap Infeksi.....	95
5.5.2 Mekanisme Pertahanan Non Spesifik.....	95
DAFTAR PUSTAKA	99
BAB 6 METABOLISME BAKTERI.....	101
6.1 Pendahuluan.....	101
6.2 Pembagian Metabolisme	103
6.2.1 Katabolisme	103
6.3 Respirasi Anerobik.....	109
6.3.1 Penguraian glukosa menjadi piruvat (Glikolisis).....	109
6.3.2 Fermentasi.....	113
6.4 Respirasi Aerobik.....	114
6.4.1 Siklus Krebs.....	114
6.4.2 Rantai Transfer Elektron.....	115
DAFTAR PUSTAKA	117

BAB 7 PEMAHAMAN DIGNOSTIK : CARA	
PEMERIKSAAN MIKROBIOLOGIS	119
7.1 Pendahuluan.....	119
7.2 Jenis Dan Kriteria Sampel Untuk Pemeriksaan	
Mikrobiologi	120
7.3 Jenis Pemeriksaan Mikrobiologi Klinis	121
7.4 Pemeriksaan mikroskopis.....	122
7.4.1 Pengecatan gram.....	122
7.4.2 Pewarnaan BTA	125
7.5 Uji biokimia.....	128
7.5.1 Uji SIM (<i>Sulfide indole motility</i>).....	128
7.5.2 Uji Fermentasi karbohidrat.....	129
7.5.3 Uji sitrat.....	130
7.5.4 Uji oksidase	131
7.5.5 Uji TSIA.....	132
7.5.6 Uji Voges Proskauer.....	133
7.5.7 Uji katalase.....	133
7.5.8 Uji urease	134
7.6 Analisis 16S rRNA : PCR.....	135
DAFTAR PUSTAKA	139
BAB 8 REKAYASA GENETIKA MOLEKULER MIKRO	141
8.1 Pendahuluan.....	141
8.2 Asam Nukleat.....	142
8.3 Gen dan Kromosom.....	146
8.4 Aliran Informasi Genetik	147
8.4.1 Replikasi.....	147
8.4.2 Transkripsi.....	150
8.4.3 Translasi.....	151
8.5 Teknologi DNA Rekombinan.....	153
8.6 Aplikasi Teknologi Rekombinan DNA	155
8.6.1 Bidang Kesehatan.....	155
8.6.2 Bidang Pangan dan Pertanian.....	156
DAFTAR PUSTAKA	158
BAB 9 PROSES REKOMBINAN ATAU TRANSGENIK.....	161
9.1 Pengertian	161
9.2 Langkah dalam Proses Rekombinan atau Transgenik.....	162
9.2.1 Identifikasi Gen yang dibutuhkan	162

9.2.2 Pemotongan dan Isolasi Gen	163
9.2.3 Vektor	164
9.2.4 Transformasi.....	165
9.2.5 Seleksi dan Kultivasi	166
9.2.6 Analisis dan Karakterisasi	167
9.2.7 Penggunaan.....	168
DAFTAR PUSTAKA	170
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Tanaman Padi yang dijadikan objek penelitian untuk gejala penyakit hawar daun bakteri (HDB)	5
Gambar 1.2. Peran Mikroorganisme dalam Rumen Sapi.....	6
Gambar 1.3. Peran Mikroorganisme dalam bentuk Vaksin.....	9
Gambar 1.4. Peran Mikroba dalam bentuk Obat-obatan Steroid	11
Gambar 2.1. Simbiosis yang timbul dari interaksi tidak langsung S (symbion) dengan H (Host) dan E (musuh alami).....	21
Gambar 2.2. Tipe Interaksi antara mikroorganisme dengan Host.....	22
Gambar 4.1. Imunitas spesifik	63
Gambar 4.2. Siklus infeksi secara umum	68
Gambar 4.3. Grafik Kategori pangan di antara kasus penyakit bawaan makanan.....	74
Gambar 4.4. Sumber pencemaran air	77
Gambar 4.5. Cara penularan penyakit.....	78
Gambar 4.6. Prosedur laboratorium diagnosis klinis penyakit menular dengan etiologi bakteri.....	80
Gambar 5.1. Infeksi respon host	90
Gambar 5.2. Faktor Virulensi. Panah padat menunjukkan struktur seluler	92
Gambar 5.3. Virulensi, Patogenitas, Kerentanan, Disposisi.....	94
Gambar 6.1. Pembagian proses metabolisme.....	104
Gambar 6.2. Keragaman sumber energi mikroba.....	105
Gambar 6.3. Mekanisme pengangkutan nutrisi ke dalam sel	107
Gambar 6.4. Jalur Embden Meyerhof Parnas (EMP)	110
Gambar 6.5. Jalur Pentosa-fosfat	112
Gambar 6.6. Jalur Entner-Douroff.....	113

Gambar 6.7. Jenis-jenis fermentasi berdasarkan reaksinya	114
Gambar 6.8. Siklus Krebs.....	115
Gambar 6.9. Rantai Transpor Elektron pada Eukariotik	116
Gambar 7.1. Struktur morfologi koloni bakteri pada permukaan medium agar.....	122
Gambar 7.2. Dinding sel bakteri Gram positif dan Gram negative.....	123
Gambar 7.3. Prosedur pewarnaan gram pada bakteri.....	124
Gambar 7.4. Struktur dinding sel Mycobacterium	126
Gambar 7.5. Prosedur pewarnaan BTA.....	127
Gambar 7.6. Hasil uji SIM yang positif.....	129
Gambar 7.7. Hasil fermentasi karbohidrat (A) dan sitrat (B) oleh bakteri	130
Gambar 7.8. Hasil uji oksidase pada sampel	131
Gambar 7.9. Interpretasi hasil uji TSIA	132
Gambar 7.10. Interpretasi hasil uji VG (A) dan uji katalase (B).....	133
Gambar 7.11. Interpretasi hasil uji urease	134
Gambar 7.12. Visualisasi hasil elektroforesis gel. DNA ditunjukkan dengan tanda panah	138
Gambar 8.1. Perbedaan DNA dan RNA.....	144
Gambar 8.2. Aliran Informasi Genetik	147
Gambar 8.3. Replikasi Semi Konservatif	149
Gambar 8.4. Proses Transkripsi dan Translasi	153

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Virus pernapasan yang umum, klasifikasi, sindrom utama, dan metode deteksi utama	30
Tabel 3.2. Demam berdarah virus dikelompokkan berdasarkan famili virus.....	34
Tabel 3.3. Infeksi jamur invasif, patogen dan karakteristik penyakit	44
Tabel 3.4 Penyakit yang disebabkan oleh protozoa	46
Tabel 3.5. Cacing yang penting secara klinis dan cara utama penularannya	47
Tabel 4.1. Penyakit Menular yang Muncul.....	59
Tabel 4.2. Penyakit Menular yang Muncul Kembali	60
Tabel 4.3. Tingkat kontaminasi mikroorganisme pada pangan dari berbagai sumber	76
Tabel 5.1. Istilah (terminologi) Dasar Infeksi (Patogen).....	93
Tabel 5.2. Mekanisme Paling Penting dalam Pertahanan Nonspesifik Terhadap Infeksi	96
Tabel 7.1. Interpretasi BTA berdasarkan IUATLD	128
Tabel 8.1. Rangkuman Perbedaan DNA dan RNA.....	143
Tabel 8.2. Aturan Penulisan Satu Unit Nukleotida.....	145
Tabel 8.3. Perbedaan Gen dan Kromosom	146
Tabel 9.1. Jenis vektor yang digunakan dalam rekombinan genetik.....	164

BAB 1

PENDAHULUAN

Oleh Almira Ulimaz

1.1 Mikrobiologi dan Kesehatan

Kesehatan adalah harta yang paling berharga dan yang paling patut untuk disyukuri dalam diri dan kehidupan seseorang. Saat sehat semua terasa lebih menyenangkan. Tahukah kamu bahwa jika seseorang sehat maka sebenarnya orang tersebut adalah orang kaya. Ya, sepenting itulah kesehatan bagi makhluk hidup.

Ada peribahasa yang mengatakan bahwa di dalam tubuh yang sehat terdapat jiwa yang kuat. Peribahasa itu merupakan gambaran betapa pentingnya memiliki tubuh yang sehat. Apapun yang terjadi, tubuh yang sehat adalah hal pertama dan utama meski bukan satu-satunya tujuan dari hidup seseorang.

Bicara tentang kesehatan, tidak hanya dalam sisi psikologis makhluk hidup khususnya bagi manusia, dalam sisi keilmuan juga selalu menarik untuk dibahas. Dunia kesehatan tentu saya selalu berhubungan dengan dunia kedokteran, dunia farmasi, bahkan masih berhubungan secara langsung dengan dunia pendidikan. Dalam konteks keilmuan atau pendidikan sendiri, kesehatan erat kaitannya dengan ilmu dasar seperti biologi, fisika, dan kimia.

Terkhusus kaitannya dengan ilmu hayat (Biologi), kesehatan juga secara langsung berhubungan dengan cabang ilmu Biologi yakni Mikrobiologi (ilmu yang mempelajari tentang mikroba). Mikrobiologi dan dunia kesehatan serta keilmuan kedokteran tidak bisa dipisahkan satu sama lain. Bahkan jika Mikrobiologi masih memiliki cabang keilmuannya sendiri maka Mikrobiologi Kesehatan dan Mikrobiologi Kedokteran merupakan nama atau istilah untuk keilmuan Mikrobiologi yang menaungi konsep dan praktik di dalam dunia kesehatan maupun dunia kedokteran.

Pada masa kini, banyak alasan yang menjadi dasar mengapa Mikrobiologi begitu penting untuk dipelajari khususnya pada bidang ilmu eksakta yang masuk dalam rumpun Biologi. Mikrobiologi

sendiri merupakan bidang ilmu yang menjadi salah satu cabang besar dalam Biologi (Ulimaz, 2022). Jika Biologi berasal dari kata *Bios* yang artinya hayat dan *Logos* yang artinya ilmu, maka penambahan kata Mikro di depan kata Biologi berasal dari kata *Micros* memiliki makna, ilmu hayat "kecil" (Ni'mah, et al., 2018).

Ilmu Hayat "kecil" merupakan arti per kata dari Mikrobiologi, akan tetapi maknanya secara harfiah bukanlah itu. Ilmu Hayat "kecil" tersebut makna harfiahnya adalah, ilmu tentang kehidupan makhluk hidup yang berukuran amat sangat kecil dimana secara detilnya makhluk hidup yang dimaksud ada beberapa diantaranya harus dilihat dengan bantuan alat seperti mikroskop. Mikroskop sendiri adalah alat yang digunakan oleh para ilmuwan di bidang eksakta (biologi, kedokteran, pertanian, peternakan, farmasi, dan lainnya) untuk melihat benda berukuran kecil yang tidak bisa dilihat secara langsung dengan indra penglihatan (mata). Pada umumnya sering digunakan di laboratorium.

Orang yang bekerja di bidang Mikrobiologi juga tidak lepas dari laboratorium karena banyak kegiatan terkait bidang ini yang mengharuskan keberadaan laboratorium dan mikroskop tersedia. Misalnya teknisi laboratorium di bidang pertanian, pangan, kedokteran hingga farmasi atau dosen di perguruan tinggi yang mengajar mata kuliah Mikrobiologi di suatu Perguruan Tinggi, mereka semuanya memerlukan keberadaan laboratorium dalam menunjang pekerjaan mereka di bidang Mikrobiologi (Ulimaz, et al., 2020). Selain keberadaan sarana dan prasarana laboratorium yang harus memadai, pekerjaan di bidang Mikrobiologi khususnya pengajar di mata kuliah ini juga memerlukan bahan ajar yang terkait ke arah sana dimana bahan ajar tersebut dapat menunjang kegiatan pendidikan atau pengajaran serta penelitian (Ulimaz, 2019).

Mikrobiologi bahkan diajarkan di hampir semua jurusan atau program studi yang disiplin ilmunya ke arah sains atau sains terapan. Program studi pendidikan kedokteran memiliki mata kuliah Mikrobiologi Kedokteran. Program studi Biologi memiliki mata kuliah Mikrobiologi Dasar, Mikrobiologi Terapan, Mikrobiologi pangan. Program studi farmasi memiliki mata kuliah Mikrobiologi kesehatan dan Mikrobiologi farmasi. Mikrobiologi itu sendiri bahkan

menjadi suatu jurusan atau suatu nama program studi untuk beberapa tingkatan degree seperti S2 Mikrobiologi yang ada di kampus Universitas Brawijaya, Universitas Gadjah Mada, dan di kampus Institut Teknologi Bandung atau ITB.

Melihat pentingnya keberadaan Mikrobiologi pada masa kini, maka banyak penelitian di bidang eksakta yang mengarah kesana. Oleh sebab itu, saya sebagai penulis dan juga pendidik yang mengajarkan mata kuliah Mikrobiologi di kampus, memiliki *quotes* yang beberapa kali mungkin diutarakan ke mahasiswa, yang isi *quotes* tersebut berbunyi kurang lebih seperti ini *"Tidak akan habis tema penelitian di ranah pembelajaran Biologi karena masih banyak sekali misteri yang belum terungkap dalam cabang besarnya yakni Mikrobiologi"*. Meskipun pada faktanya, penelitian di bidang Mikrobiologi membutuhkan biaya yang memang tidak murah.

1.2 Tujuan Mempelajari Mikrobiologi

Seperti yang sudah diketahui bahwasanya Mikrobiologi merupakan salah satu cabang dari ilmu biologi yang mempelajari tentang mikroba dalam hal ini mikroorganisme, maka Mikrobiologi yang merupakan cabang besar dari Biologi ini tentu memiliki tujuan untuk dipelajari dalam setiap aspek keilmuan lainnya. Seperti kebanyakan cabang ilmu lainnya, Mikrobiologi tentu saja dipelajari dengan tujuan untuk melengkapi aspek pembelajaran yang hanya bisa diisi oleh kajian dalam lingkup Mikrobiologi. Sebagai contohnya adalah sebagai berikut:

1.2.1 Tujuan dalam ruang lingkup bidang pertanian

Tujuan mempelajari Mikrobiologi dalam lingkup bidang pertanian adalah untuk mempelajari dan memanfaatkan mikroba atau mikroorganisme dengan sebaik mungkin yang berguna dalam meningkatkan produksi pertanian baik secara kuantitas maupun secara kualitas. Hal tersebut nanti juga diharapkan dapat menekan kemungkinan kehilangan produksi karena berbagai sebab. Kembali lagi bahwa Mikrobiologi sendiri dipelajari dalam dunia pertanian dan biasanya diistilahkan sebagai Mikrobiologi Pertanian yang mana pembahasannya didalamnya terkhusus kepada mikroorganisme yang memang memiliki peranan langsung di dalam kajian keilmuan pertanian seperti bakteri dan jamur.

Mikrobiologi Pertanian merupakan cabang dari Mikrobiologi yang mempelajari peranan mikroba baik itu yang menguntungkan maupun yang merugikan pada produksi pertanian. Ruang lingkup mikrobiologi di dalam dunia pertanian antara lain, pemanfaatan mikroba sebagai patogen tanaman, pemanfaatan mikroba sebagai pupuk hayati (*biofertilizer*) atau pupuk organik alami, pemanfaatan mikroba dalam pengendalian hayati di lingkungan (*biological control*), serta pemanfaatan mikroba dalam proses bioremediasi. Seperti yang pernah dilakukan oleh (Anggraini, et al., 2020) dalam penelitiannya, dimana dimanfaatkan dua jenis mikroba yakni *Bacillus firmus* (bakteri) dan *Penicillium chrysogenum* (fungi) dalam peningkatan mutu sari buah jambu biji.

Mikroorganisme dalam hal ini terutama monera atau bakteri dan fungi atau jamur, banyak dimanfaatkan untuk proses budidaya tanaman. Peranan mikroorganisme sendiri dalam pertanian organik umumnya adalah sebagai pupuk maupun pestisida. Aplikasi mikroba dalam pertanian organik adalah untuk menurunkan kandungan kimia dalam produk-produk pertanian dan mengurangi pencemaran untuk tetap menjaga kelestarian lingkungan. Beberapa jenis mikroba berfungsi sebagai pupuk, bio dekomposer, penghasil zat pengatur tumbuh dan biopestisida (Nurhayati & Darwati, 2014).

Mikroorganisme yang berfungsi sebagai bio dekomposer akan mendegradasi selulosa dan lignin sehingga nantinya akan tersedia bahan organik untuk tanaman. Selain itu ada juga mikroorganisme yang langsung diaplikasikan ke tanaman sebagai pupuk hayati untuk meningkatkan kesuburan tanah. Beberapa spesies ada juga yang berfungsi sebagai penghasil zat pengatur tumbuh pada tubuh tumbuhan. Mikroorganisme juga dapat dimanfaatkan sebagai biopestisida untuk melindungi tanaman melalui proses kompetisi, antibiosis/lisis, menginduksi kekebalan tanaman terhadap penyakit dan *hyphal interference* (Nurhayati & Darwati, 2014).

Berikut adalah contoh aplikasi atau pemanfaatan Mikrobiologi dalam dunia pertanian:



Gambar 1.1. Tanaman Padi yang dijadikan objek penelitian untuk gejala penyakit hawar daun bakteri (HDB)

Sumber: <http://repo.unand.ac.id/6249/1/Bahan%20Ajar%20Mikrobiologi.pdf> halaman 433 dari 615 halaman

Berdasarkan Gambar 1.1 dapat terlihat pentingnya aplikasi Mikrobiologi dalam bidang Pertanian. Oleh sebab itu, tujuan mempelajari Mikrobiologi dalam bidang Pertanian sudah sangat jelas, yakni untuk dapat mendayagunakan mikroba baik itu mikroorganisme yang menguntungkan maupun mikroorganisme yang merugikan dalam proses produksi pertanian.

1.2.2 Tujuan dalam ruang lingkup bidang peternakan

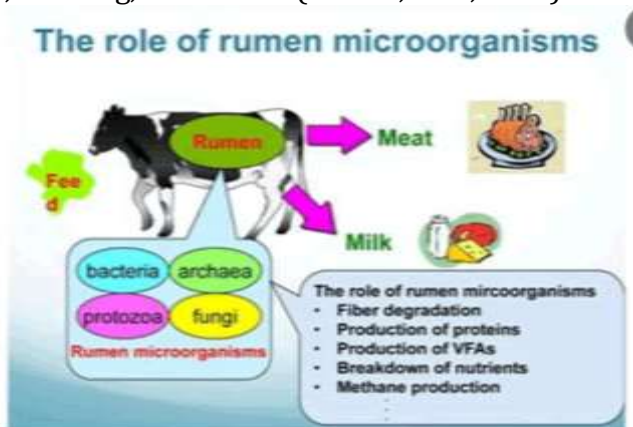
Bidang peternakan secara umum masih termasuk ke dalam bidang pertanian. Hal ini terbukti dari masih adanya beberapa Perguruan Tinggi dimana program studi ilmu peternakan masih ada di bawah naungan jurusan pertanian atau Fakultas Pertanian. Meskipun ada beberapa perbedaan mendasar diantara keduanya akan tetapi untuk aplikasi keilmuan Mikrobiologi, ada beberapa yang memang terkhusus ke ranah bidang peternakan.

Cakupan ilmu peternakan sendiri diantaranya adalah genetika, genetika populasi, genetika kuantitatif, seleksi, genetika molekuler, *mating system*, hewan transgenik hingga kloning. Mikrobiologi sendiri dapat masuk ke dalam ranah genetika sampai dengan hewan transgenik hingga kloning. Mikrobiologi juga dapat

masuk ke dalam ranah bidang pemuliaan ternak dalam dunia peternakan dimana berdasarkan denotasi dan konotasi keilmuan, pemuliaan ternak adalah suatu cabang ilmu biologi, genetika terapan dan metode untuk peningkatan atau perbaikan genetika ternak. Pemuliaan ternak sendiri diartikan sebagai suatu teknologi beternak yang digunakan untuk meningkatkan mutu genetik untuk hewan ternak (Hifizah, 2012).

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka tujuan mempelajari Mikrobiologi dalam dunia peternakan adalah untuk memanfaatkan mikrobia atau mikroorganisme dalam meningkatkan mutu atau kualitas hasil ternak sehingga nilai ekonomis hasil ternak tersebut juga akan meningkat. Selain meningkatkan mutu, mikroorganisme juga dapat memperpanjang masa simpan produk peternakan.

Adapun beberapa manfaat dalam mempelajari Mikrobiologi di bidang peternakan antara lain adalah untuk membantu proses fermentasi susu, membantu proses pembuatan dan penggunaan vaksin pada hewan ternak, membantu pembuatan dan penggunaan antiserum untuk hewan ternak, mendayagunakan mikroba dalam rumen sapi untuk menghasilkan sapi yang lebih sehat dan bugar, serta membantu proses pemberian prebiotik pada hewan ternak seperti sapi, kambing, dan kerbau (Radiati, et al., 2019).



Gambar 1.2. Peran Mikroorganisme dalam Rumen Sapi

Sumber: Suhubdy (2022) *Mikroba Rumen: Kecil Jasadnya, Besar Fungsinya*.

<https://pb-ispi.org/mikroba-rumen-kecil-jasadnya-besar-fungsinya/>.

Rumen adalah “dunia kecil” yang kompleks berlokasi di perut ternak ruminansia. Aktivitasnya sangat esensial dalam kehidupan induk semangnya. Salah satu komponen rumen itu adalah mikroba atau jasad renik. Jasad renik adalah makhluk hidup yang terdiri dari satu sel atau beberapa kumpulan sel dengan ukuran beberapa mikron (1 mikron=0,001 mm). Jasad renik dapat berbentuk bakteri, kapang, khamir, protozoa, maupun virus yang mampu diamati menggunakan mikroskop elektron (Suhubdy, 2022).

Bentuk atau wujud jasad renik dalam rumen sapi tersebut memang tidak kasat mata, akan tetapi mereka adalah sangat nyata dan hasil kerjanya sangat signifikan sehingga konsumen daging sapi dapat menikmati hasil kerjasama mereka di dalam tubuh sapi (misalnya daging dan susu sapi). Para jasad renik atau mikroba tersebut yang sesungguhnya pengubah sejati biomasa selulotik (pakan) menjadi pangan (*food*), dan energi atau tenaga. Komponen biotik penghuni rumen ini yang utama adalah bakteri, protozoa, jamur, dan archaea. Mereka mengambil tiga peran sekaligus yaitu sebagai produsen, konsumen, dan pengurai (Suhubdy, 2022).

Berdasarkan Gambar 1.2 dapat terlihat pentingnya peran mikroba dalam rumen sapi. Sebagai hewan ternak yang dikonsumsi oleh banyak orang maka kesehatan pencernaan sapi juga akan mempengaruhi kualitas dagingnya. Kualitas daging sapi tentu juga akan berpengaruh kepada kualitas kesehatan manusia yang mengkonsumsi daging sapi tersebut.

1.2.3 Tujuan dalam ruang lingkup bidang kesehatan

Tujuan mempelajari Mikrobiologi dalam ruang lingkup kesehatan atau dunia kedokteran adalah tentang bagaimana mempelajari mikroorganisme sebagai penyebab penyakit infeksi pada tubuh manusia, bagaimana cara mendiagnosis penyakit tersebut, bagaimana pengobatan dilakukan, dan bagaimana proses pencegahan penyakit diterapkan sebagai bentuk pengendalian infeksi. Mikrobiologi kedokteran memiliki peranan penting dalam penanganan penyakit infeksi terutama untuk mengetahui penyebab infeksi sehingga mudah diketahui dan ditemukan berbagai cara

untuk penanggulangannya baik yang terjadi dalam skala individu maupun skala besar seperti pandemi COVID-19.

Salah satu manfaat dalam mempelajari Mikrobiologi dalam dunia kesehatan maupun dunia kedokteran adalah seseorang dapat menemukan penyebab dari timbulnya suatu penyakit. Kemudian melalui belajar Mikrobiologi, seseorang mampu untuk membuat obat dari penyakit tersebut. Hal ini karena di dalam ranah keilmuan Mikrobiologi akan dipelajari bagaimana mikroba (bisa berupa bakteri, jamur, protozoa, maupun virus) hidup dan bagaimana cara membunuhnya (jika sifatnya merugikan) serta bagaimana cara memperbanyaknya (jika sifatnya menguntungkan).

Salah satu contoh manfaat dalam mempelajari Mikrobiologi di dunia kesehatan dan kedokteran yang baru saja dirasakan oleh hampir seluruh penduduk di dunia adalah terciptanya vaksin untuk pencegahan penyebaran pandemi COVID-19 agar tidak semakin meluas dan wabahnya bisa berhenti sama sekali. Setiap orang saat ini diwajibkan untuk melakukan vaksinasi, bahkan agar vaksin bisa terdistribusi dengan baik ke setiap individu, banyak sekali regulasi peraturan yang mengharuskan seseorang untuk menerima vaksin jika ingin melakukan sesuatu. Contohnya, saat ini jika seseorang ingin bepergian dengan pesawat terbang atau sesederhana masuk ke dalam pusat perbelanjaan maka orang tersebut harus sudah mendapat vaksin setidaknya sebanyak 1 kali seumur hidup.

Vaksin sendiri merupakan produk biologi yang berisi antigen berupa mikroorganisme atau bagiannya atau dapat pula zat yang dihasilkannya, yang telah diolah sedemikian rupa sehingga aman, apabila diberikan kepada seseorang. Jika sudah masuk ke dalam tubuh maka akan menimbulkan kekebalan spesifik secara aktif terhadap penyakit tertentu. Dalam penggunaan kalimat sederhana maka bisa dijabarkan vaksin adalah sesuatu yang harus ditaruh di dalam tubuh manusia agar nantinya ketika mikroba “jahat” yang sesungguhnya masuk ke dalam tubuh, sistem imun tubuh tidak terlalu “aget” saat menerima keberadaannya.



Gambar 1.3. Peran Mikroorganisme dalam bentuk Vaksin

Sumber: Saputra, Anjar (2022) Saputra, Anjar. 2022. *Indonesia Disarankan Suntikan Vaksin Covid-19 Dosis ke 4, Ini Jawaban Kemenkes.*

<https://health.grid.id/read/353299051/indonesia-disarankan-suntikan-vaksin-covid-19-dosis-ke-4-ini-jawaban-kemenkes?page=all>.

Berdasarkan Gambar 1.3 dapat terlihat pentingnya peran Mikrobiologi dalam dunia kesehatan dan kedokteran dimana vaksin hanyalah merupakan salah satu contoh dari sekian banyak produk berbasis biologi yang dapat digunakan untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat. Contoh lain dari pemanfaatan mikroba untuk kesehatan adalah antibiotik dan interferon. Selain itu, dalam bidang pangan yang masih berkaitan dengan dunia kesehatan, Mikrobiologi juga berperan dalam proses produksi makanan dan minuman kesehatan seperti susu fermentasi yang masyarakat awam biasa sebut sebagai Yoghurt. Hal ini berarti mempelajari Mikrobiologi juga memiliki fungsi sebagai upaya dalam mewujudkan ketahanan pangan nasional dan juga strategi penanggulangan untuk mengurangi kerentanan maupun kerawanan pangan di era pasca pandemi global Covid-19 saat ini (Saediman, et al., 2021).

1.2.4 Tujuan dalam ruang lingkup bidang farmasi

Secara umum tujuan mempelajari Mikrobiologi dalam ruang lingkup bidang farmasi dan obat-obatan mungkin hampir mirip dengan tujuan mempelajari Mikrobiologi dalam ruang lingkup bidang kesehatan, akan tetapi dalam dunia farmasi, tujuan mempelajari Mikrobiologi lebih terpusat pada bagaimana cara

membuat produk-produk seperti antibiotika, obat-obatan steroid, insulin, dan interferon yang dihasilkan melalui bakteri rekayasa genetika. Mikroba dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan di industri farmasi misalnya, dapat digunakan untuk produksi bahan aktif seperti antibiotik, enzim, antiparasit, dan antioksidan.

Penjelasan tentang tujuan dan pentingnya mempelajari ilmu Mikrobiologi dalam rangka pemanfaatan mikroba di dunia farmasi juga disampaikan dalam Forum Guru Besar (FGB) Institut Teknologi Bandung (ITB) oleh Professor Marlia Singgih Wibowo, Ph.D. dari Kelompok Keahlian Farmakokimia, Sekolah Farmasi ITB dengan judul, “Peran Mikrobiologi Farmasi dalam Pengawasan Mutu dan Pengembangan Produk Farmasi di Indonesia”. Professor Marlia memulai orasi ilmiahnya dengan memaparkan definisi dan landasan hukum produk farmasi di Indonesia. Beliau menjelaskan, sediaan farmasi dapat berupa obat, bahan obat, obat tradisional, dan kosmetika. Proses produksi dan peredaran produk farmasi meliputi pengadaan bahan awal dan bahan pengemas, produksi, pengemasan, pengawasan mutu, dan pemastian mutu. Standar mutunya mengacu pada Farmakope Indonesia/baku standar negara lain dan disitulah ilmu mikrobiologi farmasi berperan.

Ruang lingkup Mikrobiologi Farmasi sendiri sangatlah luas. Namun, pada dasarnya, ilmu tersebut memastikan sediaan farmasi yang dikembangkan dan diproduksi dapat tetap terjaga aspek keamanan, kualitas, dan khasiatnya. Oleh karena itu, mikrobiologi farmasi juga berkaitan erat dengan manajemen risiko suatu produk (Permana dan Utami, 2021).



Gambar 1.4. Peran Mikroba dalam bentuk Obat–obatan Steroid
Sumber: Kompas, 2020. *WHO Rekomendasikan Obat Steroid untuk Pengobatan Pasien Covid–19 Kritis.*

<https://www.kompas.com/sains/read/2020/09/03/170100523/who-rekomendasikan-obat-steroid-untuk-pengobatan-pasien-covid-19-kritis?page=all>.

Berdasarkan Gambar 1.4 dapat terlihat pentingnya peran ilmu Mikrobiologi dalam ruang lingkup bidang farmasi dan obat-obatan. Salah satu contoh produk berbasis Biologi dalam dunia farmasi adalah obat steroid. Uji klinis internasional mengkonfirmasi bahwa terdapat obat steroid yang murah dan tersedia secara luas di apotik maupun rumah sakit yang mana obat ini memberikan harapan kepada masyarakat untuk membantu pasien kritis karena wabah Covid–19. Akan tetapi, obat ini tidak dianjurkan untuk digunakan pada pasien dengan penyakit ringan.

Dr. Howard C. Bauchner, pemimpin redaksi dari *Journal of American Medical Association* (JAMA) yang telah menerbitkan lima makalah atau artikel ilmiah tentang pengobatan menggunakan obat steroid menyatakan bahwa standar perawatan pasien kritis yang terpapar Covid–19 adalah dengan pengobatan menggunakan obat-obatan steroid. Studi baru saat ini telah mencakup analisis yang mengumpulkan data dari 7 uji klinis yang mengevaluasi 3 steroid pada lebih dari 1.700 pasien. Dalam studi ini disimpulkan bahwa

masing-masing dari ketiga obat tersebut dapat mengurangi risiko kematian (Kompas, 2020).

Dunia kesehatan dan dunia farmasi memang saling berkaitan satu sama lain. Salah satu hal yang membuatnya bisa saling melengkapi adalah kesamaan disiplin ilmu di bidang eksakta khususnya bidang biologi dan kimia. Secara khusus di bidang Biologi yang menaungi kedokteran, kesehatan, dan farmasin adalah cabang ilmu biologi di bidang Mikrobiologi.

1.2.5 Tujuan dalam ruang lingkup bidang pendidikan

Dunia pendidikan dapat dikatakan adalah dunia dimana segala macam ilmu diajarkan, bukan hanya bidang ilmu Mikrobiologi. Akan tetapi dalam dunia pendidikan perguruan tinggi, khususnya bidang eksakta atau sains, Mikrobiologi bahkan diajarkan tidak hanya dalam skala mata kuliah bahkan ada beberapa perguruan tinggi yang menjadikan Mikrobiologi sebagai suatu program studi atau Jurusan. Dalam perspektif Tri Dharma Perguruan Tinggi, Mikrobiologi juga memiliki peranan yang penting. Oleh sebab itu, kajian pembelajaran Mikrobiologi yang cakupannya paling luas adalah dalam bidang ini.

1. Mikrobiologi dalam bidang Pendidikan dan Pengajaran

Mikrobiologi dalam skala paling kecil di dunia pendidikan tinggi diajarkan dalam lingkup satu mata kuliah. Program Studi ataupun Jurusan bidang sains dan eksakta setidaknya selalu memiliki satu mata kuliah dengan nama Mikrobiologi. Sebagai contoh, Jurusan Teknologi Industri Pertanian (TIP) Kampus Politeknik Negeri Tanah Laut (Politala), memiliki dua mata kuliah Mikrobiologi pada Program Studi Agroindustri antara lain, Mikrobiologi Dasar dan Mikrobiologi Industri. Pada program studi lainnya yakni Teknologi Pakan Ternak, juga terdapat mata kuliah Mikrobiologi.

Tujuan pengadaan mata kuliah Mikrobiologi baik dasar maupun terapan di dua program studi tersebut adalah agar memudahkan para dosen maupun mahasiswanya dalam mempelajari dan memanfaatkan mikroba atau mikroorganisme dengan sebaik mungkin untuk kepentingan

meningkatkan produksi pertanian maupun pakan ternak baik secara kuantitas maupun secara kualitas. Keberlanjutan dari ini nantinya akan bermanfaat dalam proses pembuatan Tugas Akhir mahasiswa yang dalam ranah Vokasi harus mengadakan berbagai pengujian untuk produk yang dihasilkannya termasuk pengujian sediaan mikrobiologis (terutama jika mahasiswa yang bersangkutan mengambil tema pengolahan produk untuk dijadikan penelitian dalam laporan tugas akhirnya). Oleh sebab itu penting sekali memahami Mikrobiologi sebagai pondasi dasar keilmuan di lingkup sains terapan (industri pertanian dan pakan ternak).

2. Mikrobiologi dalam bidang Penelitian dan Publikasi

Mikrobiologi sendiri dalam bidang penelitian dan publikasi dosen, ilmunan, maupun mahasiswa sudah menjadi topik umum yang menarik perhatian. Penelitian dalam ranah Mikrobiologi dikenal sebagai topik yang hampir tidak memiliki limit atau batas (bisa disebut sebagai ujung) akhir selama kehidupan di atas bumi masih berjalan. Hal ini karena, Mikrobiologi sebagai cabang ilmu Biologi masih memiliki banyak cabang keilmuan lainnya dalam bidang sains terapan seperti Mikrobiologi Pertanian, Mikrobiologi Peternakan, Mikrobiologi Kedokteran dan Kesehatan, Mikrobiologi Farmasi dan Obat-obatan, Mikrobiologi Pangan dan Non Pangan, hingga Mikrobiologi Industri sedangkan dalam ranah sub-disiplin keilmuannya, Mikrobiologi terbagi menjadi virologi (studi tentang virus), mikologi (studi mengenai jamur), bakteriologi (ilmu yang mempelajari bakteri) dan parasitologi (ilmu yang mempelajari parasit).

Penelitian yang mengarah ke perspektif Mikrobiologi memang selalu menarik untuk dieksplor secara mendalam. Akan tetapi satu hal yang harus diingat bahwa penelitian ke arah Mikrobiologi membutuhkan kesabaran, ketelitian, kebersihan, dan pendanaan yang biasanya tidak sedikit. Hal ini karena peralatan yang digunakan dalam penelitian

Mikrobiologi membutuhkan alat dan bahan di laboratorium yang harganya juga tidak bisa dibilang murah. Walaupun seperti itu, tapi penelitian di bidang Mikrobiologi terus berjalan, hal ini bisa dilihat dari banyaknya judul penelitian ke arah Mikrobiologi yang bisa ditemukan di berbagai macam platform publikasi ilmiah seperti jurnal, seminar, konferensi, hingga konsorsium.

3. Mikrobiologi dalam bidang Pengabdian Kepada Masyarakat

Mikrobiologi dalam bidang pengabdian kepada masyarakat sifatnya lebih sederhana dibandingkan Mikrobiologi dalam bidang pendidikan pengajaran dan apalagi bidang penelitian publikasi. Pengabdian kepada masyarakat biasanya dilakukan dalam bentuk penyuluhan atau sosialisasi ke masyarakat dalam komunitas tertentu misalnya ibu-ibu PKK, sekolah, panti asuhan, dan lainnya. Mikrobiologi sendiri biasanya diperkenalkan ke masyarakat luas dalam bentuk penyuluhan / sosialisasi pembuatan produk tertentu. Salah satu contoh produk berbasis Mikrobiologi yang bisa diperkenalkan ke masyarakat adalah pembuatan pupuk organik dengan bahan dasar limbah rumah tangga.

Selama ini masyarakat mungkin bisa saja sudah lebih menguasai proses pembuatan pupuk organik mengingat mudahnya jaringan atau akses internet yang saat ini sudah bisa dijangkau oleh siapa saja. Oleh sebab itu masyarakat bisa mencari tutorial pembuatan pupuk organik berbahan dasar limbah buangan rumah tangga dari platform *YouTube*. Akan tetapi pengabdian kepada masyarakat bukan hanya tentang memahami masyarakat tentang bagaimana membuat pupuk organik dari limbah rumah tangga, melainkan juga memahami masyarakat tentang pentingnya mengatasi permasalahan sampah rumah tangga dengan cara mendaur ulang sampah tersebut menjadi sesuatu yang berguna seperti pupuk kompos.

1.3 Kesimpulan

Cakupan Mikrobiologi dalam kehidupan sangatlah luas. Hal ini disebabkan karena semua sektor kehidupan hampir melibatkan mikroorganisme didalamnya. Misalnya saja dalam proses pembuatan tempe dan tapai, itu sudah menjadi bahasan keilmuan Mikrobiologi dalam sektor pangan. Bahan dasarnya yakni kacang kedelai dan singkong atau bisa juga beras ketan, merupakan bahan atau produk dalam sektor pertanian maupun perkebunan. Oleh sebab itu penting kiranya mempelajari Mikrobiologi dengan tujuan untuk mencapai hal-hal yang akan menaikkan daya guna suatu produk melalui pemanfaatan mikroba atau mikroorganisme.

Tujuan mempelajari Mikrobiologi bahkan tidak hanya berada dalam ranah keilmuan. Orang biasa dalam kehidupan sehari-harinya juga sebenarnya telah mempelajari Mikrobiologi dalam skala yang lebih sederhana. Sebut saja orang-orang yang telah melakukan proses vaksinasi untuk penanganan dan pencegahan penyebaran COVID-19. Vaksin sendiri merupakan produk dalam Mikrobiologi yang dipelajari oleh manusia dengan tujuan untuk mencegah efek buruk pandemi dari dalam sistem imunitas tubuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, D.P., Sulistiana, D., Agustina, D.K. and Ulimaz, A., 2020. Determination of Kinetic Parameters and The Effect of Ion Mg^{2+} Inhibition Into Pectinase Activities. *Jurnal Penelitian dan Pengkajian Ilmu Pendidikan: e-Saintika*, 4(2), pp.112-118.
- Hifizah, A., 2012. Mikrobiologi Ternak.
- Liswarni, Yenny. 2020. Mikrobiologi Pertanian. Available at: <http://repo.unand.ac.id/6249/1/Bahan%20Ajar%20Mikrobiologi.pdf>. Diakses pada 28 Agustus 2022.
- Kompas, 2020. WHO Rekomendasikan Obat Steroid untuk Pengobatan Pasien Covid-19 Kritis. <https://www.kompas.com/sains/read/2020/09/03/170100523/who-rekomendasikan-obat-steroid-untuk-pengobatan-pasien-covid-19-kritis?page=all>. Diakses pada 28 Agustus 2022.
- Ni'mah, S., Ulimaz, A. and Lestari, N.C., 2018. Penerapan Bahan Ajar Berbasis Inkuiri Terbimbing Terhadap Pemahaman Konsep Biologi Siswa SMP Di Banjarmasin Barat. *Jurnal Biotek*, 6(2), pp.120-130.
- Nurhayati, H. and Darwati, I., 2014, June. Peran mikroorganisme dalam mendukung pertanian organik. In *Prosiding Seminar Nasional Pertanian Organik* (pp. 294–300). <http://balittro.litbang.pertanian.go.id/wp-content/uploads/2015/10/37-Hera-Peran-Mikroorganisme-mendukung-PO.pdf>
- Permana, Adi dan Utami, Vera Citra. 2021. *Orasi Ilmiah Prof. Marlia Singgih Ungkap Peran Mikrobiologi Farmasi terhadap Produk Farmasi di Indonesia*. <https://www.itb.ac.id/berita/detail/58008/orasi-ilmiah-prof-marlia-singgih-ungkap-peran-mikrobiologi-farmasi-terhadap-produk-farmasi-di-indonesia>. Diakses pada 28 Agustus 2022.
- Radiati, L.E., Andriani, R.D., Apriliyani, M.W. and Rahayu, P.P., 2019. *Mikrobiologi Dasar Hasil Ternak*. Universitas Brawijaya Press.

- Saediman, H., Gafaruddin, A.B.D.U.L., Hidrawati, H.I.D.R.A.W.A.T.I., Salam, I., Ulimaz, A., Rianse, I.S., Sarinah, S. and Taridala, S.A.A., 2021. The contribution of home food gardening program to household food security in Indonesia: A review. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 17, pp.795-809.
- Saputra, Anjar. 2022. *Indonesia Disarankan Suntikan Vaksin Covid-19 Dosis ke 4, Ini Jawaban Kemenkes*.
<https://health.grid.id/read/353299051/indonesia-disarankan-suntikan-vaksin-covid-19-dosis-ke-4-ini-jawaban-kemenkes?page=all>. Diakses pada 28 Agustus 2022.
- Suhubdy, 2022. *Mikroba Rumen: Kecil Jasadnya, Besar Fungsinya*.
<https://pb-ispi.org/mikroba-rumen-kecil-jasadnya-besar-fungsinya/>. Diakses pada 28 Agustus 2022.
- Ulimaz, A., 2019. Hasil Belajar Mahasiswa Prodi DIII Agroindustri Pada Materi Parameter Limbah Cair Menggunakan Media Pembelajaran Kahoot. *Jurnal Pendidikan Hayati*, 5(4).
- Ulimaz, A., 2022. MODEL PEMBELAJARAN INKUIRI TERBIMBING PADA MATA KULIAH MIKROBIOLOGI DASAR DI PERGURUAN TINGGI BERBASIS VOKASI. *Nusantara Hasana Journal*, 2(1), pp.198-206.
- Ulimaz, A., Agustina, D.K., Anggraini, D.P. and Sulistiana, D., 2020. Pengembangan Lembar Kerja Mahasiswa pada Materi Nutrisi Mikroorganisme Berbasis High Order Thinking Skill. *Bioedusiana: Jurnal Pendidikan Biologi*, 5(1), pp.41-51.

BAB 2

INTERAKSI MIKROORGANISME DAN HOST

Oleh Angriani Fusvita

2.1 Pendahuluan

Terminologi yang digunakan untuk mendefinisikan interaksi mikroorganisme dan host telah digunakan selama hampir satu abad. Pada awal periode ini, mikroorganisme dianggap sebagai agresor utama yang mengatur interaksi antara host dan mikroorganisme patogen, yang mengakibatkan penyakit. Belakangan ini, informasi baru mengenai mikroorganisme dan host menghasilkan pemahaman bahwa interaksi host dan mikroorganisme patogen tidak selalu mengakibatkan penyakit. Pengakuan ini, menyebabkan diperkenalkannya istilah-istilah untuk menjelaskan keadaan di mana mikroorganisme berada dalam host tanpa menyebabkan penyakit dan beberapa mikroorganisme hanya menyebabkan penyakit pada host tertentu (Casadevall and Pirofski, 2000).

Komensal, keadaan pembawa, dan oportunistik adalah istilah yang digunakan untuk menjelaskan mikroorganisme dan kondisi yang kadang-kadang dikaitkan dengan penyakit tetapi postulat Koch tidak dapat dipenuhi karena satu dan lain hal. Sebagian besar istilah-istilah ini awalnya diusulkan untuk menggambarkan perilaku mikroorganisme tertentu, bukan untuk mendefinisikan hubungan mikroorganisme dan host yang lebih umum (Casadevall and Pirofski, 2000). Interaksi mikroorganisme dan host adalah proses kompleks yang secara langsung dan tidak langsung diatur oleh berbagai faktor, termasuk presentasi mikroorganisme dari tanda molekul spesifik pada permukaan mikroorganisme, serta presentasi reseptor sel host yang mengenali tanda mikroorganisme patogen tersebut (Baum *et al.*, 2014).

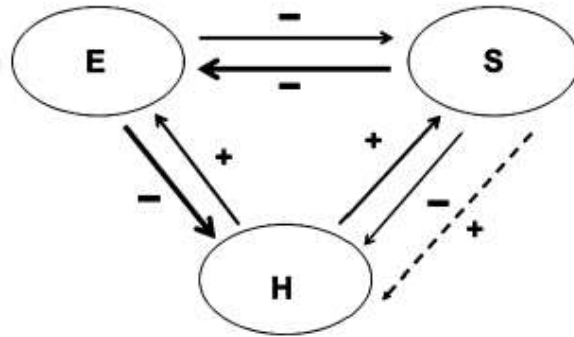
Meskipun mikroorganisme tidak terlihat, tetapi hidup berdampingan dengan manusia dan jumlahnya banyak dan terdapat dimana-mana. Sebagai akibatnya, organisme multiseluler ini berevolusi untuk hidup berdampingan dan bahkan memanfaatkan kehadiran mikroorganisme sebagai bagian dari gaya hidup. Interaksi antara mikroorganisme dan host sering kali rumit dan saling terkait. Kemampuan beberapa mikroorganisme yang menyebabkan penyakit memulai penelitian signifikan tentang interaksi mikroorganisme patogen dan host. Namun, ada lebih banyak mikroorganisme dan host yang berinteraksi dibandingkan yang menghasilkan interaksi penyakit yang nyata. Semua organisme hidup dikelilingi oleh mikroorganisme di lingkungannya. Selain itu untuk mengembangkan cara menghindari keberadaan dikuasai oleh mikroorganisme, host sering kali mengembangkan mekanisme untuk berinteraksi dan bahkan mengeksploitasi mikroorganisme. Walaupun sebagian besar mikroorganisme tidak menyebabkan penyakit, namun hidup berdampingan secara damai dengan host mereka (Finlay and Medzhitov, 2007).

2.2 Tipe Interaksi Mikroorganisme dan Host

Simbiosis defensif adalah interaksi tidak langsung yang terjadi melibatkan setidaknya tiga spesies (inang, simbios, dan musuh) dimana keuntungan bersih dari simbiosis bergantung pada kehadiran musuh (tertera pada Gambar. 2.1). Kinerja host dan non-host populasi dengan adanya dan tidak adanya musuh alami membedakan manfaat langsung dari simbiosis (seperti penyediaan nutrisi) dari manfaat tidak langsung yang timbul dari perlindungan musuh alami. Simbiosis defensif mensyaratkan bahwa kebugaran host secara proporsional lebih tinggi dibandingkan non-host dengan adanya musuh alami yang relatif pada kondisi bebas musuh. Dengan tidak adanya musuh, simbiosis defensif dapat menurun frekuensinya atau hilang dari populasi host (Palmer *et al.*, 2008);(Clay, 2014).

Interaksi mikroorganisme pada tumbuhan dan hewan biasanya tidak terlihat dengan mata telanjang, namun dampaknya terhadap inang dan komunitas host bisa sangat besar. Organisme yang lebih tinggi menampung beragam komunitas mikroorganisme

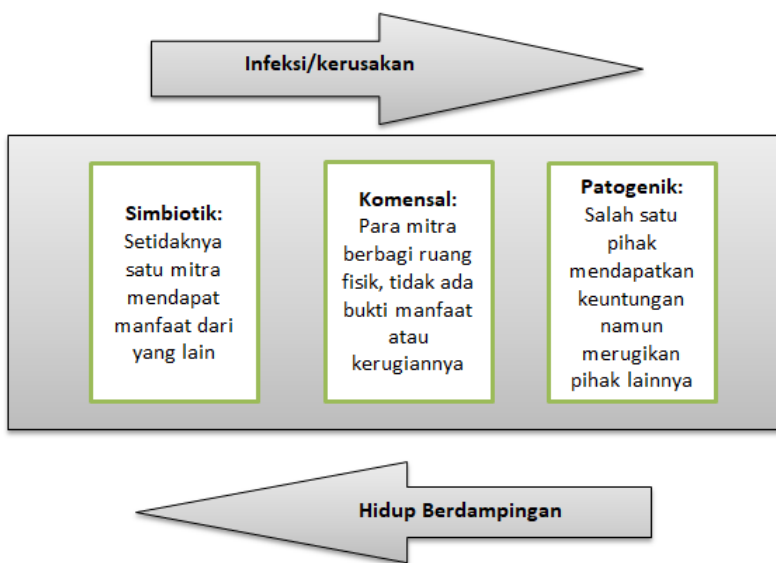
dan ketergantungan mikroorganisme pada inang akan menguntungkan sifat-sifat yang membantu melindungi sumber daya tersebut (Costello *et al.*, 2009);(Łukasik *et al.*, 2013).



Gambar 2.1. Simbiosis yang timbul dari interaksi tidak langsung S (symbion) dengan H (Host) dan E (musuh alami) (Clay, 2014).

Berdasarkan tipe interaksi mikroorganisme dengan inang terbagi 3 jenis yaitu sebagai berikut:

1. Simbiotik → Interaksi ini umumnya menyiratkan bahwa setidaknya satu organisme mendapat manfaat dari yang lain
2. Komensal → Dalam interaksi komensal, satu organisme hanya menggunakan tubuh organisme lain sebagai fisik lingkungan tanpa bukti manfaat atau kerugian.
3. Patogenik → interaksi yang terjadi dimana yang diuntungkan oleh salah satu mitra namun merugikan pihak lainnya, menyebabkan kerusakan sel atau jaringan atau bahkan kematian organisme. Adapun pemaparan dari interaksi dapat dilihat pada Gambar 2. (Steinert, Hentschel and Hacker, 2000);(Casadevall and Pirofski, 2000)



Gambar 2.2. Tipe Interaksi antara mikroorganisme dengan Host
(Steinert, Hentschel and Hacker, 2000)

Tabel 2.1. Sebuah survei interaksi mikroorganisme dan Host

Filum	Host Eukariotik	Mitra Prokariotik	Tipe Interaksi	Manfaat/bahaya
Protozoa	Amoeba proteus	X-bacteria	Symbiotik	Tidak diketahui
	Paramecium	Holospora spp.	Pathogenik	Kematian sel
	Acanthamoeba	Legionella spp	Pathogenik	Kematian sel
Cnidaria	Terumbu Karang	Symbiodinium spp.	Symbiotik	Pemberian nutrisi
Moluska	Teredinidae	Simbion cacing kapal	Symbiotik	Degradasi selulosa
	Lucinidae, Solemyidae	Simbion kemoautotrofik	Symbiotik	Penyediaan karbon dan nitrogen
Vertebrata	Sapi, domba, kambing	Bacteroides spp. Ruminococcus spp.	Symbiotik	Pencernaan selulosa

Filum	Host Eukariotik	Mitra Prokariotik	Tipe Interaksi	Manfaat/bahaya
	Manusia	Legionella pneumophila	Pathogenik	Penyakit Legionnaires
		Staphylococcus aureus	Pathogenik	Sindrom syok toksik, infeksi nosokomial
		Mycobacterium tuberculosis	Pathogenik	Tuberkulosis
		Vibrio cholerae	Pathogenik	Kolera
		Bordetella pertussis	Pathogenik	Batuk rejan
		Pathogenic E. coli	Pathogenik	Infeksi saluran pencernaan dan saluran kemih
Tanaman	Tanaman polong-polongan	- Rhizobium spp. - Bradyrhizobium spp	Simbiotik	Fiksasi Nitrogen
	Berbagai Tanaman	Agrobacterium tumefaciens	Pathogenik	Tumor mahkota empedu
		Xanthomonas spp.	Pathogenik	Lesi nekrotik

Dalam filum Cnidaria (karang, ubur-ubur, anemon laut) tersebut Simbiosis yang paling terkenal adalah simbiosis antara karang dan Symbiodinium alga bersel tunggal,. Alga memperbaiki CO₂ dan memberikan nutrisi kepada hostnya,dan memungkinkan berkembang di komunitas terumbu karang yang berada di perairan tropis yang miskin nutrisi. Keberhasilan evolusioner dari peristiwa simbiosis tersebut juga terlihat jelas pada terumbu karang di daerah tropis di antara lingkungan yang paling beragam dan kaya. Di dalam filum Mollusca (siput, kerang, gurita), simbiosis adalah hal yang umum dan seringkali bersifat evolusioner. Sebagian besar interaksi simbiosis adalah berdasarkan transfer nutrisi dari simbion ke hostnya melalui translokasi senyawa dengan berat molekul rendah

dan/atau melalui pencernaan bakteri (Steinert, Hentschel and Hacker, 2000).

Simbiosis juga umum terjadi antara mikroorganisme dan tanaman sebagai host, contoh yang paling terkenal adalah simbiosis antara bakteri pengikat N_2 (*Rhizobium*) dan tanaman polong-polongan. Juga. Spektrum yang luas dari parasit tanaman diketahui, yang paling menonjol adalah parasit *Agrobacterium tumefaciens* yang menyebabkan tumor mahkota empedu pada orang yang terinfeksi tanaman. Dalam banyak kasus interaksi tersebut memiliki konsekuensi evolusioner bagi kedua mitra. Misalnya jaringan atau organ baru telah berevolusi untuk menampung bakteri (bintil akar). Host telah memperoleh serangkaian kemampuan metabolik baru (fiksasi N_2). Di sisi bakteri, spesifik reseptor telah berevolusi yang memungkinkan pengenalan dan keterikatan spesifik pada tanaman. Selain itu, kontak intim dan host yang berlangsung lama mungkin disertai dengan perubahan genetik pada bakteri seperti amplifikasi set gen tertentu dan/atau pengurangan genome (Steinert, Hentschel and Hacker, 2000).

Pada vertebrata, mikroflora rumen sapi adalah simbiosis paling terkenal dan memungkinkan penggunaan selulosa sebagai nutrisi yang merupakan sumber makanan yang tidak dapat dicerna. Hal ini terjadi karena minat manusia yang bias terhadap penelitian medis, interaksi patogenik sebagian besar diketahui antara mikroorganisme dan vertebrata, terutama manusia. Ada sekitar 200 patogen prokariotik yang telah diketahui, banyak di antaranya yang menghuni saluran pencernaan (*Escherichia coli*, *Salmonella*, *Vibrio*), menyerang paru-paru (*Legionella*, *Mycobacterium*) atau terdapat pada saluran kemih/kelamin (*E. coli*, *Neisseria gonorrhoeae*, *Chlamydia trachomatis*). Bakteri yang lain menghuni kulit (*Staphylococcus aureus*) atau rongga mulut (*Streptococcus* spp.) atau melintasi penghalang darah-otak (*Meningococcus*). Bakteri patogen seringkali menghasilkan faktor virulensi atau patogenisitas seperti adhesin, kapsul, dan toksin yang memungkinkan menyebabkan infeksi pada organisme host tertentu. Infeksi digambarkan sebagai keberhasilan persistensi atau penggandaan suatu patogen di dalam host, sedangkan penyakit didefinisikan sebagai kerusakan yang ditimbulkan pada host. Hal itu penting untuk menyadari bahwa

tingkat kerusakan tergantung pada baik potensi mikroorganisme dan efisiensi pertahanan dari host (Steinert, Hentschel and Hacker, 2000).

Interaksi mikroorganisme-host jelas telah berevolusi berkali-kali dan tersebar luas di dunia hewan dan tumbuhan. Keberhasilan evolusioner dari asosiasi-asosiasi ini diwujudkan pada setidaknya dalam dua cara: pertama, dalam populasi yang beragam di relung ekologi dan, kedua, diversifikasi spesies organisme hostnya. Alasan mengapa interaksi mikroorganisme dengan inang menyebabkan “lompatan kuantum evolusioner” tersebut adalah mikroorganisme seperti bakteri jauh lebih rentan terhadap perubahan genetik. Bakteri biasanya mempunyai waktu generasi yang lebih tinggi secara genetis lebih beragam dibandingkan organisme eukariotik. Selain itu, mereka menghasilkan populasi yang sangat besar (Steinert, Hentschel and Hacker, 2000).

Simbiotik dan mikroorganisme patogen mempunyai kesamaan yaitu mereka hidup di dalam atau pada host. Untuk dapat berhasil hidup pada sel host eukariotik, mikroorganisme harus memiliki ciri-ciri untuk mengenali host tertentu. Ketika lokasi mikroorganisme berada di dalam atau intraseluler, selanjutnya harus memiliki kemampuan untuk menyerang dan akhirnya berkembang biak di dalam host. Mekanisme mendasar yang memungkinkan bentuk keberadaan ini menunjukkan kesamaan antara simbiotik dan bakteri patogen. Namun, hasil akhirnya dapat menimbulkan konsekuensi yang luas bagi host, mulai dari terganggunya jalur metabolisme menuju kerusakan atau kematian. Meskipun sangat besar berbagai bentuk interaksi, simbiotik dan bakteri patogen mempunyai kesamaan yaitu mereka beradaptasi dengan lingkungan tertentu. Kontribusi ini mengulas kekuatan evolusi yang telah membentuk interaksi antara mikroorganisme dan host. Penekanan khusus ditempatkan pada jalur genetik dan mekanisme molekuler yang mendorong evolusi respon mikroorganisme terhadap tekanan selektif dari lingkungan host (Steinert, Hentschel and Hacker, 2000).

DAFTAR PUSTAKA

- Baum, L. G. *et al.* 2014. 'Microbe-host interactions are positively and negatively regulated by galectin-glycan interactions', *Frontiers in Immunology*, 5(JUN), pp. 1–8. doi: 10.3389/fimmu.2014.00284.
- Casadevall, A. and Pirofski, L. A. 2000. 'Host-pathogen interactions: basic concepts of microbial commensalism, colonization, infection, and disease.', *Infection and immunity*, 68(12), pp. 6511–6518. doi: 10.1128/IAI.68.12.6511-6518.2000.
- Clay, K. 2014. 'Defensive symbiosis: A microbial perspective', *Functional Ecology*, 28(2), pp. 293–298. doi: 10.1111/1365-2435.12258.
- Costello, E. K. *et al.* 2009. 'Bacterial community variation in human body habitats across space and time.', *Science (New York, N.Y.)*, 326(5960), pp. 1694–1697. doi: 10.1126/science.1177486.
- Finlay, B. B. and Medzhitov, R. 2007. 'Host-Microbe Interactions: Fulfilling a Niche', *Cell Host and Microbe*, 1(1), pp. 3–4. doi: 10.1016/j.chom.2007.02.004.
- Łukasik, P. *et al.* 2013. 'Unrelated facultative endosymbionts protect aphids against a fungal pathogen.', *Ecology letters*, 16(2), pp. 214–218. doi: 10.1111/ele.12031.
- Palmer, T. M. *et al.* 2008. 'Breakdown of an ant-plant mutualism follows the loss of large herbivores from an African savanna.', *Science (New York, N.Y.)*, 319(5860), pp. 192–195. doi: 10.1126/science.1151579.
- Steinert, M., Hentschel, U. and Hacker, J. 2000. 'Symbiosis and pathogenesis: Evolution of the microbe-host interaction', *Naturwissenschaften*, 87(1), pp. 1–11. doi: 10.1007/s001140050001.

BAB 3

PENYAKIT KARENA MIKROORGANISME

Oleh Ni Ketut Yuliana Sari

3.1 Pendahuluan

Mikroorganisme atau mikroba adalah organisme mikroskopis yang terdapat pada biosfer. Mikroorganisme ini dapat berbentuk uniseluler, multiseluler, atau kelompok sel. Kehadiran mikroorganisme selalu mempengaruhi lingkungan tempat mereka tumbuh. Mikroorganisme dapat memberikan manfaat untuk kehidupan seperti menguraikan bahan organik, obat-obatan, menyediakan nutrisi untuk tanaman, dan bahkan menjaga kesehatan manusia. Namun, beberapa diantaranya bersifat patogen dan dapat menyebabkan penyakit pada manusia (Maraz & Khan, 2021).

Mikroorganisme dapat diklasifikasikan dalam kelompok biologis besar berikut ini: 1) Alga; 2) Protozoa; 3) *Slime moulds*; 4) Fungi; 5) Bakteri; 6) Archaea; 7) Virus. Alga (ganggang) (tidak termasuk ganggang biru-hijau), protozoa, *slime mould* (jamur yang berlendir), dan fungi termasuk mikroorganisme eukariotik yang lebih besar; sel-selnya memiliki jenis struktur dan organisasi umum yang sama dengan yang ditemukan pada tumbuhan dan hewan. Bakteri, termasuk organisme dari kelompok mikoplasma, rickettsia, dan klamidia, bersama dengan ganggang biru-hijau yang terkait, terdiri dari organisme mikro yang lebih kecil, dengan bentuk organisasi seluler yang digambarkan sebagai prokariotik. Archaea adalah kelompok filogenetik prokariota yang berbeda yang hanya memiliki hubungan nenek moyang yang jauh dengan organisme lain. Virus adalah yang terkecil dari agen infeksius. Virus memiliki struktur yang relatif sederhana dibandingkan dengan sel. Cara reproduksi virus pada dasarnya berbeda dari organisme seluler (Pitt & Barer, 2012).

Mikroorganisme yang menyebabkan penyakit pada manusia dan hewan masuk ke dalam tubuh pada lokasi yang berbeda dan menghasilkan gejala penyakit dengan berbagai mekanisme. Mikroorganisme yang menyebabkan penyakit dan menghasilkan kerusakan, atau patologi, pada jaringan disebut sebagai mikroorganisme patogen, atau secara sederhana disebut sebagai patogen. Mikroorganisme sebagai agen penyebab penyakit terbagi dalam lima kelompok, yaitu virus, bakteri, fungi, protozoa, dan cacing. Protozoa dan cacing biasanya dikelompokkan bersama sebagai parasit, dan merupakan subjek dari disiplin ilmu parasitologi, sedangkan virus, bakteri, dan fungi adalah subjek mikrobiologi (Murphy & Weaver, 2017).

3.2 Penyakit yang Disebabkan oleh Virus

Virus adalah agen infeksius subseluler yang merupakan parasit intraseluler obligat. Virus berukuran sangat kecil, memiliki diameter sekitar 20 hingga 400 nanometer. Virus merupakan suatu partikel yang tidak aktif bila berada di luar sel hidup. Ketika memasuki sel inang, virus dapat mengambil alih metabolisme sel untuk bereplikasi. Virus menginfeksi dan mengambil alih sel inang untuk bereplikasi. Partikel virus ekstraseluler yang sudah matang disebut virion. Virion mengandung genom yang mungkin berupa DNA atau RNA yang dibungkus dengan mantel protein yang disebut kapsid atau nukleokapsid. Beberapa virus memiliki selubung lipid yang mengelilingi nukleokapsid. Pada virus semacam itu, glikoprotein yang dikodekan oleh virus tertanam di dalam selubung lipid. Fungsi kapsid atau selubung adalah untuk melindungi genom virus saat berada di luar sel dan mendorong masuknya genom ke dalam sel baru yang rentan (Drexler, 2010; Strauss & Strauss, 2008).

Virus menyerang sel-sel sehat dan mulai berkembang biak dalam sel-sel ini. Beberapa di antaranya tidak berbahaya dan hanya memicu flu ringan, sementara yang lain dapat menyebabkan penyakit serius seperti AIDS (InformedHealth.org, 2019). Infeksi virus menyerang berbagai jaringan dan organ termasuk: saluran pernapasan atas dan paru-paru (misalnya, rhinovirus dan influenza), usus besar (misalnya, rotavirus), hati (misalnya, virus Hepatitis B), sumsum tulang belakang (misalnya, Poliovirus), sel

endotel pembuluh darah (misalnya, Ebola), dan sel darah putih (misalnya, HIV). Infeksi virus menyebabkan sejumlah kematian yang mencengangkan dalam sejarah manusia. Cacar (yang disebabkan oleh virus variola), yang berhasil diberantas pada tahun 1980, diperkirakan telah menyebabkan 300-500 juta kematian pada abad ke-20. HIV telah menginfeksi 75 juta orang dan membunuh sekitar 32 juta orang hingga saat ini. Tercatat per 1 Desember 2020, sindrom pernapasan akut parah coronavirus 2 (SARS CoV-2) telah menginfeksi >63 juta orang dan menewaskan >1,4 juta orang (Harper *et al.*, 2021).

Penyakit virus adalah beberapa kelainan berbahaya yang diakibatkan oleh infeksi virus. Seseorang yang terinfeksi virus dapat menunjukkan tanda dan gejala yang dikenal dengan istilah penyakit klinis. Sekelompok tanda dan gejala yang spesifik disebut sebagai sindrom. Prinsip-prinsip penting yang berkaitan dengan penyakit virus adalah sebagai berikut: (1) banyak infeksi virus yang bersifat subklinis; (2) penyakit yang sama dapat disebabkan oleh berbagai macam virus; (3) virus yang sama dapat menyebabkan berbagai macam penyakit; (4) penyakit yang ditimbulkan tidak ada kaitannya dengan morfologi virus; dan (5) hasil dari suatu kasus ditentukan oleh faktor virus dan inang serta dipengaruhi oleh faktor genetika masing-masing (Jawetz *et al.*, 2019).

Jenis-jenis infeksi virus meliputi infeksi virus pada saluran pernapasan, sistem pencernaan, demam berdarah akibat virus, Infeksi Menular Seksual (IMS), infeksi eksantematosa (penyebab ruam), infeksi neurologis dan infeksi bawaan (my.clevelandclinic.org, 2022^b).

3.2.1 Infeksi Virus Saluran Pernapasan

Virus pernapasan adalah agen penyebab penyakit yang paling sering terjadi pada manusia, dengan dampak yang signifikan terhadap morbiditas dan mortalitas di seluruh dunia. Virus pernapasan yang paling sering menjadi agen endemik atau epidemi adalah virus influenza, virus syncytial pernapasan (*human respiratory syncytial virus/* HRSV), virus parainfluenza (*human parainfluenza virus/* HPIV), metapneumovirus (*human metapneumovirus/* HMPV), rhinovirus (*human rhinovirus/* HRV), coronavirus (*human coronavirus/* HCoV) serta SARS-CoV

(Coronavirus yang terkait dengan SARS (*Severe Acute Respiratory Syndrome*)), adenovirus (ADV), dan bocavirus (*human bocavirus/ HBoV*). Virus pernapasan yang paling sering menyebabkan penyakit pada manusia dicantumkan pada Tabel 3.1 (Boncristiani *et al.*, 2009).

Tabel 3.1. Virus pernapasan yang umum, klasifikasi, sindrom utama, dan metode deteksi utama

Virus	Klasifikasi	Sindrom utama	Metode deteksi
HRSV	Grup A dan B	Infeksi saluran pernapasan atas (ISPA), bronkiolitis, bronkitis, pneumonia	Kultur, deteksi Ag, RT-PCR
HPIV	Tipe 1, 2, 3, 4	ISPA, bronkiolitis, croup, bronkitis, pneumonia	Kultur, deteksi Ag, RT-PCR
HRV	Spesies A, B, dan C dengan 100 serotipe	ISPA, Asma dan eksaserbasi PPOK	Kultur, RT-PCR
ADV	51 serotipe	ISPA, PCF, bronkitis, pneumonia	Kultur, deteksi Ag, RT-PCR
HCoV	Tipe OC43, 229E, NL (NH), HKU1	ISPA, bronkitis, pneumonia	Kultur, RT-PCR
SARS-CoV	1 tipe	SARS	Kultur, RT-PCR
HMPV	Grup A dan B	ISPA, bronkitis, pneumonia	Kultur, RT-PCR
HBoV	2 garis keturunan	ISPA, bronkitis, pneumonia, eksaserbasi asma, bronkitis, pneumonia	PCR

Sumber: Boncristiani *et al.*, 2009

3.2.2 Infeksi Virus Sistem Pencernaan

Gastroenteritis virus adalah penyakit virus yang paling umum yang memengaruhi saluran pencernaan, yang menyebabkan peradangan dan iritasi pada lapisan lambung dan usus. Tanda dan gejala umum yang terkait dengan kondisi ini termasuk sakit perut, diare, dan dehidrasi. Virus yang menginfeksi sistem pencernaan dapat menyebabkan penyakit diare yang disertai darah maupun tidak. Adapula virus yang terkait dengan penyakit non-diare lainnya seperti hepatitis, penyakit maag, dan neoplasma (Jagirdhar *et al.*, 2023).

1. Diare tidak berdarah akibat gastroenteritis virus

Norovirus. Norovirus menyebabkan radang lambung atau usus (gastroenteritis akut). Gejala muncul dalam waktu 12 hingga 48 jam setelah terpapar norovirus, dapat sembuh dalam waktu 1 hingga 3 hari, namun masih dapat menyebarkan virus selama beberapa hari setelahnya. Penderita akan mengalami sakit perut, mual, muntah atau diare berkali-kali dalam sehari, yang dapat menyebabkan dehidrasi (CDC, 2023).

Rotavirus. Gastroenteritis rotavirus umum terjadi pada bayi dan anak kecil. Infeksi berulang dapat terjadi dengan strain virus yang berbeda. Masa inkubasi rotavirus berlangsung sekitar dua hari. Bayi dan anak-anak yang terkena infeksi rotavirus akan mengalami diare, muntah, demam, dan sering kali diikuti dengan sakit perut dan dehidrasi. Virus ini sangat tahan di lingkungan dan dapat bertahan selama berbulan-bulan di dalam tinja pada suhu kamar (WHO, 2023).

Adenovirus. Adenovirus enterik tipe 40 dan 41 ditularkan lewat tinja melalui jalur fekal dan terutama menyerang bayi dan anak kecil. Pasien sering kali datang dengan diare berair yang berlangsung selama 5 sampai 12 hari. Adenovirus dapat menyebabkan hiperplasia limfoid yang menyebabkan obstruksi atau intususepsi terutama pada populasi anak (Pezhouh *et al.*, 2018).

Astrovirus. Astrovirus adalah virus RNA beruntai tunggal (famili Astroviridae) yang dapat menyebabkan gastroenteritis parah, terutama pada bayi dan anak-anak. Tanda dan gejalanya meliputi diare, mual, muntah, demam, sakit perut, sakit kepala,

dan tidak enak badan. Virus ditularkan melalui jalur fekal-oral (makanan atau air yang terkontaminasi). (bio.libretexts.org, 2023).

Sapovirus. Sapovirus bertanggung jawab atas kasus-kasus sporadis dan wabah diare akut. Penyebaran sapovirus melalui intrusi air limbah ke sumber air minum, dan dalam makanan yang terkontaminasi. Anak-anak di bawah usia 5 tahun dan lansia memiliki risiko tinggi terinfeksi sapovirus. Gejala umum infeksi sapovirus meliputi diare, mual, muntah, dan sakit perut yang biasanya sembuh dalam waktu satu minggu (Becker-Dreps *et al.*, 2020).

Enterovirus. Enterovirus yang menginfeksi manusia (EV) adalah anggota dari genus Enterovirus dalam keluarga Picornaviridae. Genus Enterovirus terdiri dari 15 spesies, termasuk 12 spesies EV (EV-A hingga EV-L) dan 3 spesies rhinovirus (RV-A hingga RV-C) (Rojjanadumrongkul, 2020). Enterovirus terutama ditularkan melalui rute fekal-oral dan menargetkan epitel saluran cerna. Enterovirus biasanya tertelan melalui kontak dengan permukaan, makanan, dan/atau air yang terkontaminasi. Sebagian besar kasus infeksi enterovirus tidak menunjukkan gejala. Virus-virus ini tidak dianggap menyebabkan penyakit gastrointestinal (GI) seperti muntah parah atau diare, tetapi komplikasi terkait GI dapat terjadi (Wells & Coyne 2019).

Coronavirus. Coronavirus adalah virus RNA beruntai tunggal yang termasuk dalam keluarga Coronaviridae. Virus corona ditularkan melalui berbagai rute, terutama melalui droplet, kontak dengan orang yang terinfeksi, dan permukaan yang terkontaminasi. *Human Coronavirus* (HCoV) diketahui menyebabkan infeksi saluran pernapasan, tetapi mereka juga menyebabkan gejala saluran pencernaan termasuk diare, mual, muntah, dan sakit perut. Mayoritas infeksi HCoV seperti diare terjadi pada neonatus, bayi, dan anak-anak. Selain itu, virus ini juga menginfeksi bersama dengan virus enterik lainnya seperti norovirus dan rotavirus (Jagirdhar *et al.*, 2023).

Hepatitis E virus

Virus hepatitis E (HEV) adalah virus RNA kecil beruntai tunggal dan tidak beramplop. Infeksi HEV diketahui menyebabkan hepatitis virus akut yang ditularkan melalui air atau secara enterik yang dapat menunjukkan gejala atau tidak bergejala. Ada empat genotipe HEV yang diketahui: 1 (1a-1e) dan 2 (2a-2b) adalah virus pada manusia, dan 3 (3a-3j) dan 4 (4a-4g) adalah virus zoonosis. Penularannya melalui fekal-oral dan makanan, melalui transfusi produk darah yang terinfeksi atau transplantasi jaringan yang terinfeksi, dan penularan vertikal (ibu-janin). Hanya sekitar 35% dari semua infeksi HEV yang menimbulkan gejala. Hepatitis infeksius akut dapat disertai dengan ikterus, mual, muntah, pruritis, mialgia, sakit perut, demam, gastroenteritis, atau peningkatan transaminase (De Keukeleire & Reynders, 2015).

2. Diare berdarah akibat gastroenteritis virus

Cytomegalovirus. *Cytomegalovirus* (CMV) adalah virus DNA beruntai ganda yang termasuk dalam keluarga virus herpes. Infeksi CMV sering terjadi pada orang yang tidak memiliki kekebalan tubuh dan orang yang mengalami gangguan kekebalan tubuh (Schreuder *et al.*, 2011). Penyakit CMV Gastrointestinal dapat memengaruhi satu area atau seluruh sistem GI. Bisul dapat terjadi di kerongkongan, lambung, usus halus, atau usus besar. Bisul ini berhubungan dengan gejala-gejala seperti nyeri perut, kesulitan menelan atau nyeri saat menelan, mual dan muntah. Bisul pada usus dapat menyebabkan nyeri perut, tinja berdarah, diare, demam, penurunan berat badan. Infeksi yang lebih parah dapat menyebabkan perdarahan saluran cerna atau lubang pada dinding usus (perforasi) (Phillips *et al.*, 2022).

Herpes simplex virus. Virus herpes simpleks (HSV) adalah virus DNA beruntai ganda yang termasuk dalam keluarga Human Herpesviridae. HSV ditularkan melalui kontak intim dari orang ke orang seperti pria yang berhubungan seks dengan pria, anal reseptif tanpa kondom, dan seks oral. Gejala klinis proktitis HSV termasuk perdarahan dubur, tenesmus, nyeri anorektal, dan keluarnya lendir. Komplikasi proktitis HSV dapat

menyebabkan gejala seperti sembelit, nyeri anorektal yang parah, kesulitan buang air kecil, parestesia sakral, dan ulserasi difus pada mukosa rektum distal (Jagirdhar *et al.*, 2023).

3.2.3 Infeksi Virus Penyebab Demam Berdarah

Viral hemorrhagic fevers (VHFs) atau demam berdarah virus adalah sekelompok penyakit yang disebabkan oleh beberapa keluarga virus yang berbeda. Istilah "demam berdarah virus" mengacu pada suatu kondisi yang memengaruhi banyak sistem organ tubuh, merusak sistem kardiovaskular secara keseluruhan, dan mengurangi kemampuan tubuh untuk berfungsi dengan sendirinya. Gejala dari jenis kondisi ini dapat bervariasi, tetapi sering kali meliputi pendarahan. Meskipun VHF disebabkan oleh beberapa keluarga virus, virus-virus ini memiliki beberapa karakteristik yang sama yaitu 1) Jenis virus RNA sebagai bahan genetiknya, karena virus RNA dapat bermutasi dengan kecepatan tinggi. 2) Virus ini tertutup, atau diselimuti, oleh lapisan luar lipoprotein. 3) Virus-virus ini secara alami ada dalam populasi hewan atau serangga, sebagai populasi inang. 4) Penyebaran ke manusia ketika seseorang kontak dengan hewan atau serangga inang yang terinfeksi. Seseorang yang telah terinfeksi dapat menyebarkan virus ke orang lain. 5) Wabah VHF pada manusia bisa sulit dicegah karena dapat terjadi secara sporadis dan tidak dapat dengan mudah diprediksi (CDC, 2021^b).

Tabel 3.2. Demam berdarah virus dikelompokkan berdasarkan famili virus

Famili Virus	Penyakit yang disebabkan
Arenaviridae	Virus Chapare (CHPV) - Demam berdarah Chapare
	Virus Guanarito (GTOV) - Demam berdarah Venezuela
	Virus Junin (JUNV) - Demam berdarah Argentina
	Virus Lassa (LASV) - Demam Lassa
	Virus Lujo (LUJV) - Demam berdarah Lujo
	Virus koriomeningitis limfositik (LCMV) - Koriomeningitis limfositik
	Virus Machupo (MACV) - Demam berdarah Bolivia
	Virus Sabia (SABV) - Demam berdarah Brasil

Famili Virus	Penyakit yang disebabkan
Bunyaviridae	Virus hemoragik Krimea-Kongo (CCHFV) - Demam berdarah Krimea-Kongo Virus Dobrava-Belgrade (DOBV) - Demam berdarah dengan sindrom ginjal Virus Hantaan (HTNV) - Demam berdarah dengan sindrom ginjal Puumalavirus (PUUV) - Demam berdarah dengan sindrom ginjal Virus demam Lembah Celah (RVFV) - Demam Lembah Celah Virus Saaremaa (SAAV) - Demam berdarah dengan sindrom ginjal Virus Seoul (SEOV) - Demam berdarah dengan sindrom ginjal Virus Sin Nombre (SNV) - Sindrom paru hantavirus Virus sindrom demam dan trombositopenia parah (SFTSV) - Demam parah dan sindrom trombositopenia Virus Tula (TULV) - Demam hemoragik dengan sindrom ginjal
Filoviridae	Bundibugyo ebolavirus (BDBV) - Penyakit virus ebola Marburg marburgvirus (MARV) - Demam berdarah Marburg Sudan ebolavirus (SUDV) - Penyakit virus Ebola Tai Forest ebolavirus (TAFV) - Penyakit virus ebola Zaire ebolavirus (EBOV) - Penyakit virus ebola
Flaviviridae	Virus demam berdarah (DENV-1-4) - Demam berdarah Kyasanur forest disease virus (KFDV) - Penyakit hutan Kyasanur Omsk hemorrhagic fever virus (OHFV) - Demam berdarah Omsk Yellow fever virus (YFV) - Demam kuning

Sumber: Mangat & Louie, 2023

3.2.4 Infeksi Virus Menular Seksual

Penyakit menular seksual (PMS) yang berasal dari virus merupakan PMS yang paling banyak ditemukan di dunia. Beberapa jenis virus yang ditularkan melalui hubungan seksual dikelompokkan

berdasarkan famili virus. Hepatitis B, yang menyebabkan kerusakan hati, dan virus Zika, yang menyebabkan gejala seperti flu ringan dan cacat lahir bawaan, adalah anggota keluarga Flaviviridae. Virus herpes simpleks (HSV), virus yang menginfeksi sel saraf yang menyebabkan lesi kulit, dan Cytomegalovirus, yang biasanya tidak menunjukkan gejala pada orang dewasa yang sehat, tetapi dapat menyebabkan cacat lahir, adalah anggota keluarga Herpesviridae. Human Papillomavirus, atau HPV, adalah penyebab kutil kelamin dan beberapa jenis kanker; HPV adalah anggota keluarga dsDNA Papillomaviridae. Human Immunodeficiency Virus (HIV), yang menginfeksi sel darah putih dan menekan sistem kekebalan tubuh, adalah virus RNA beruntai tunggal (ssRNA) dari keluarga Retroviridae (Kent, 2017).

3.2.5 Infeksi Virus Eksantematosa

Infeksi virus eksantematosa menyebabkan ruam yang dapat muncul sebagai benjolan atau lepuh pada kulit atau bercak darah di bawah kulit. Infeksi ini juga dapat menyebabkan gangguan pernapasan atau gejala lainnya (my.clevelandclinic.org, 2022^b). Virus yang dominan untuk penyakit eksantem termasuk enterovirus non-polio, virus pernapasan, virus Epstein-Barr, Human herpes virus (HHV-6 dan HHV-7) serta parvovirus B19. Dalam banyak kasus, eksantema muncul dengan ciri-ciri makula atau makulopapular dalam distribusi yang menyebar. Beberapa penyakit eksantematosa menunjukkan lokasi predileksi yang khas (Folster-Holst, 2004).

3.2.6 Infeksi Virus Neurologis

Beberapa virus menyerang sel-sel sistem saraf (otak dan sumsum tulang belakang). Hal ini dapat menyebabkan kelumpuhan, pembengkakan otak atau selaput pembungkusnya (ensefalitis atau meningitis) dan kondisi lain yang mengancam jiwa. Contohnya meliputi: Virus West Nile, Polio, dan Rabies (my.clevelandclinic.org, 2022^b).

3.2.7 Infeksi Virus Kongenital

Infeksi virus kongenital adalah infeksi virus yang dibawa sejak lahir. Infeksi ini ditularkan dari ibu hamil ke janin saat perkembangannya atau selama kelahiran. Virus yang dapat menyebabkan infeksi bawaan meliputi *Cytomegalovirus* (CMV), Rubella dan Virus Zika (my.clevelandclinic.org, 2022^b).

3.3 Penyakit yang Disebabkan oleh Bakteri

Bakteri adalah organisme prokariotik yang membawa informasi genetik mereka dalam molekul DNA melingkar beruntai ganda. Beberapa spesies juga mengandung plasmid melingkar kecil dari DNA tambahan. Dalam kondisi yang tepat, beberapa bakteri dapat membelah dan berkembang biak dengan cepat. Akibatnya, beberapa infeksi hanya membutuhkan sejumlah kecil organisme untuk menyebabkan infeksi yang berpotensi besar. Infeksi bakteri ini berdampak besar pada kesehatan masyarakat. Infeksi bakteri dapat ditularkan melalui berbagai mekanisme. Banyak bakteri telah beradaptasi untuk bertahan hidup di air, tanah, makanan, dan di tempat lain. Beberapa menginfeksi vektor seperti hewan atau serangga sebelum ditularkan ke manusia lain (Doron & Gorbach, 2008).

Semua organ tubuh manusia rentan terhadap infeksi bakteri. Setiap spesies bakteri memiliki kecenderungan untuk menginfeksi organ tertentu. Sebagai contoh, *Neisseria meningitidis* biasanya menginfeksi meningen (selaput pembungkus) sistem saraf pusat, menyebabkan meningitis, dan juga dapat menginfeksi paru-paru, menyebabkan pneumonia. Namun, bakteri ini tidak menyebabkan infeksi kulit. *Staphylococcus aureus*, yang biasanya dibawa oleh manusia pada kulit atau selaput lendir mereka, sering kali menyebabkan infeksi kulit dan jaringan lunak, tetapi juga mudah menyebar ke seluruh tubuh melalui aliran darah dan dapat menyebabkan infeksi paru-paru, perut, katup jantung, dan hampir semua tempat lainnya (Doron & Gorbach, 2008).

Bakteri dapat menyebabkan berbagai jenis infeksi, tergantung pada cara terpapar dan bagian tubuh mana yang terinfeksi. Beberapa jenis infeksi bakteri yang umum terjadi yaitu gastroenteritis; infeksi kulit, telinga atau sinus; infeksi menular

seksual (IMS); pneumonia bakteri dan infeksi saluran kemih (ISK) (my.clevelandclinic.org, 2022^a).

3.3.1 Infeksi Bakteri Penyebab Gastroenteritis

Gastroenteritis adalah penyakit diare yang ditandai dengan peningkatan frekuensi buang air besar dengan atau tanpa demam, muntah, dan sakit perut. Bakteri penyebab diare berair termasuk *Clostridium perfringens*, dan *Escherichia coli* enterotoksigenik (ETEC). Beberapa spesies bakteri penyebab kasus diare menular yaitu *Salmonella*, *Campylobacter*, *Shigella*, *E. coli* penghasil racun Shiga, *Vibrio*, *Yersinia* dan *Listeria* (Sattar & Singh, 2023).

Bakteri penyebab gastroenteritis dapat ditularkan melalui makanan dan dapat dibagi dalam 3 mekanisme, yaitu (Graves, 2013):

1. Patogen yang menghasilkan toksin dalam makanan sebelum dikonsumsi (toksin yang sudah terbentuk sebelumnya). *Staphylococcus aureus* dan *Bacillus cereus* menghasilkan enterotoksin yang stabil dalam makanan sebelum dikonsumsi. Patogen ini biasanya ditularkan oleh penyaji makanan. *S. aureus* tumbuh dengan baik pada produk susu, daging, telur, dan salad. *B. cereus* tumbuh pada makanan bertepung, seperti nasi, tetapi juga ditemukan pada daging sapi, daging babi, dan sayuran. Bakteri ini biasanya menyerang usus kecil, menyebabkan mual, muntah yang banyak, dan sakit/ kram perut. Enterotoksin dapat ditemukan dalam muntahan dan makanan.
2. Patogen yang membuat toksin di dalam saluran pencernaan, setelah makanan dicerna. *Clostridium perfringens* ditularkan dengan menelan spora yang telah berkecambah dalam produk makanan, seperti daging sapi, daging babi, makanan kaleng rumahan, dan unggas. Setelah spora mencapai usus kecil, spora akan menghasilkan enterotoksin, yang menyebabkan diare berair. Inkubasi 6-48 jam, dengan gejala sering buang air encer dan kram perut, demam, mual, dan muntah. Penularan ETEC melalui konsumsi makanan atau air yang terkontaminasi oleh kotoran yang terinfeksi. Bakteri menempel pada dinding usus halus dan enterotoksin

- dilepaskan, menarik cairan dan elektrolit dari mukosa ke dalam lumen, menyebabkan diare berair yang sangat banyak.
3. Patogen yang secara langsung menyerang dinding usus yang menyebabkan diare inflamasi antara lain Enterohemorrhagic *E coli* (EHEC), *Salmonella*, *Campylobacter jejuni*, *Vibrio parahaemolyticus* dan *Shigella*.
 - a. EHEC penghasil toksin Shiga. Bakteri ini ada di usus sapi dan ditransfer pada awalnya melalui proses pengolahan dan kemudian tertelan melalui produk makanan hewani yang kurang matang. Penularan juga dapat terjadi melalui air yang terkontaminasi, susu mentah, sari apel yang tidak dipasteurisasi, kebun binatang, dan tempat penitipan anak. Bakteri menyerang sel epitel sekum dan usus besar. Racun yang mirip shiga, yang disebut verotoksin, menghancurkan sel-sel, yang menyebabkan kolitis hemoragik. Diare encer yang cepat menjadi berdarah. Peningkatan jumlah sel darah putih, sakit perut, kram, dan muntah juga sering terlihat. Tidak adanya demam (atau hanya demam ringan) membantu membedakan EHEC dari penyebab bakteri lain dari gastroenteritis akut berdarah.
 - b. *Salmonella* ditularkan melalui konsumsi telur mentah atau setengah matang yang terkontaminasi, daging, susu mentah, es krim, kacang tanah, buah-buahan, dan sayuran. Penularan juga terjadi melalui kontak dengan hewan yang terinfeksi, seperti kura-kura dan bebek peliharaan. Bakteri yang bertahan hidup dalam keasaman lambung, berkolonisasi di usus, dan bergerak melintasi epitel usus, baik melalui invasi langsung ke enterosit atau melalui sel dendritik yang disisipkan ke dalam sel epitel.
 - c. *Campylobacter jejuni* ditularkan saat menangani atau memakan unggas mentah atau setengah matang atau susu mentah atau keju, melalui air minum yang terkontaminasi, atau dengan menangani hewan yang terinfeksi. Invasi langsung pada sel epitel usus besar yang menyebabkan peradangan. Gejala biasanya timbul dengan cepat dengan demam, menggigil, sakit kepala, dan rasa

tidak enak badan yang diikuti dengan sakit perut, mual, muntah, dan diare. Diare dapat menjadi sangat berdarah atau melanotik pada 60% hingga 90% pasien.

- d. *Vibrio parahaemolyticus* merupakan patogen penyebab paling umum dari gastroenteritis bakterialis. Penularannya dengan makan makanan laut, kepiting, tiram, atau kerang yang terkontaminasi atau melalui paparan luka terbuka terhadap air laut yang terkontaminasi. Produksi enterotoksin yang stabil terhadap panas, yang menyebabkan diare sekretorik dan hemolisis. Inkubasi 6 jam hingga 4 hari dan dapat sembuh sendiri hingga 3 hari, biasanya 24 hingga 48 jam. Gejala berupa diare encer yang parah dan tiba-tiba, kram perut, mual, dan muntah adalah gejala yang umum terjadi. Demam lebih jarang terjadi.
- e. *Shigella* biasanya berdampak pada anak-anak berusia kurang dari 5 tahun. Penularannya melalui konsumsi makanan atau air yang terkontaminasi atau melalui fekal-oral. Bakteri menyerang sel epitel kolon. *Shigella* menghasilkan toksin Shiga yang menyebabkan peradangan dan mengakibatkan kolitis hemoragik. Gejala berupa demam, kram sakit perut, dan diare yang sering kali berdarah.

3.3.2 Infeksi Bakteri pada Kulit

Infeksi kulit akibat bakteri adalah diagnosis paling umum ke-28 pada pasien yang dirawat di rumah sakit. Selulitis, impetigo, dan folikulitis adalah infeksi kulit akibat bakteri yang paling sering ditemukan. Infeksi kulit yang umum termasuk selulitis, erisipelas, impetigo, folikulitis, serta furunkel dan bisul. Selulitis adalah infeksi pada dermis dan jaringan subkutan yang memiliki batas yang tidak jelas dan biasanya disebabkan oleh spesies *Streptococcus* atau *Staphylococcus*. Erisipelas adalah bentuk selulitis yang dangkal dengan batas yang jelas dan hampir seluruhnya disebabkan oleh *Streptococcus*. Impetigo juga disebabkan oleh *Streptococcus* atau *Staphylococcus* dan dapat menyebabkan pengangkatan stratum korneum yang menghasilkan efek bulosa. Folikulitis adalah

peradangan pada folikel rambut, yang paling sering disebabkan oleh *Staphylococcus*. Jika infeksi folikel lebih dalam dan melibatkan lebih banyak folikel, infeksi ini bergerak ke tahap furunkel dan bisul (Stulberg *et al.*, 2002).

3.3.3 Infeksi Menular Seksual Akibat Bakteri

Infeksi menular seksual (IMS) adalah proses penyakit yang ditularkan melalui kontak seksual. Penularan terjadi di antara pasangan seksual melalui berbagai rute kontak seksual, baik melalui mulut, anal, atau vagina (Garcia *et al.*, 2023). IMS yang disebabkan oleh bakteri dapat mempengaruhi anorektum dan kulit perianal. Gejala IMS berbeda antar individu tergantung pada patogen penyebabnya, dan umumnya, banyak orang yang tidak mengalami gejala sama sekali. Penyakit menular seksual akibat bakteri yang umum adalah Klamidia, gonore, dan sifilis (Tenaw, 2023).

1. Infeksi yang disebabkan oleh *Chlamydia trachomatis* adalah salah satu yang paling umum dari semua penyakit menular seksual. Pada wanita, infeksi ini sering menyebabkan komplikasi seperti penyakit radang panggul (peradangan pada endometrium, saluran tuba, ovarium, dan rongga panggul) kemandulan, dan kehamilan ektopik. Wanita hamil yang terinfeksi dapat menularkan infeksi kepada bayinya selama persalinan (Kent, 2017).
2. *N. gonorrhoeae* yang menginfeksi manusia, dapat bertahan di saluran urogenital, anus, mata, atau saluran faring. Pada beberapa kasus, dapat menyebabkan infeksi sistemik dan menyebabkan radang sendi atau meningitis. Bukti laboratorium klinis awal infeksi adalah adanya sel darah putih yang memfagositkan diplokokus berbentuk seperti biji kopi, sehingga *N. gonorrhoeae* dinamakan "gonokokus." *N. gonorrhoeae* juga dapat menginfeksi mata bayi yang baru lahir selama kelahiran jika ibu memiliki infeksi saat hamil. Gejala infeksi termasuk keluarnya cairan dari alat kelamin yang bisa berwarna putih, hijau, atau kuning, rasa terbakar saat buang air kecil, dan gatal-gatal (Kent, 2017).
3. Sifilis disebabkan oleh bakteri *Treponema pallidum*. Bakteri ini menginfeksi area genital, bibir, mulut, atau anus pada pria

dan wanita. Infeksi sifilis dibagi menjadi empat tahap yaitu tahap primer, sekunder, laten dan tersier. *T. pallidum* dapat menginfeksi sistem saraf pusat pada setiap tahap sifilis yang mengakibatkan neurosifilis. Manifestasi klinis neurologis awal meningitis sifilis biasanya muncul dalam beberapa bulan pertama infeksi. Manifestasi neurologis yang terlambat terjadi 10 hingga >30 tahun setelah infeksi. Sifilis okular dan otosifilis dapat terjadi pada setiap tahap sifilis, tetapi umumnya diidentifikasi selama tahap awal dan dapat terjadi dengan atau tanpa keterlibatan sistem saraf pusat (Tenaw, 2023).

3.3.4 Infeksi Bakteri Penyebab Pneumonia

Pneumonia adalah peradangan parenkim paru yang disebabkan paling sering oleh infeksi. Menurut klasifikasi baru pneumonia, ada empat kategori: yang didapat dari komunitas (*community-acquired/ CAP*), yang didapat dari rumah sakit (*hospital-acquired/ HAP*), yang berhubungan dengan perawatan kesehatan (*healthcare-associated/ HCAP*), dan pneumonia yang berhubungan dengan ventilator (*ventilator-associated pneumonia/ VAP*) (Sattar & Sharma, 2023). Bakteri khas yang menyebabkan pneumonia adalah *Streptococcus pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus Grup A*, *Klebsiella pneumoniae*, *Haemophilus influenzae*, *Moraxella catarrhalis*. *Streptococcus pneumoniae* adalah bakteri penyebab CAP yang paling sering diidentifikasi pada semua kelompok usia di seluruh dunia. *Methicillin-resistant Staphylococcus aureus* (MRSA), *Escherichia coli*, dan *Enterobacteriaceae* lainnya adalah penyebab utama HAP, VAP, dan HCAP (Pahal *et al.*, 2023).

3.3.5 Infeksi Saluran Kemih Akibat Bakteri

Infeksi saluran kemih (ISK) adalah salah satu infeksi bakteri yang paling sering terjadi. Bakteri penyebab ISK yang paling sering adalah *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis*, *Enterococcus faecalis*, dan *Staphylococcus saprophyticus* (Flores-Mireles *et al.*, 2015). ISK lebih sering terjadi pada wanita karena memiliki uretra lebih pendek dan lebih dekat ke rektum, sehingga bakteri lebih mudah masuk ke dalam saluran kemih. Faktor resiko

lain penyebab ISK yaitu aktivitas seksual, perubahan flora normal vagina pada menopause dan penggunaan spermidid, orang tua dan anak-anak, pembesaran prostat, kebersihan yang buruk. Gejala ISK dapat meliputi: nyeri atau rasa terbakar saat buang air kecil; sering buang air kecil; merasa ingin buang air kecil meskipun kandung kemih kosong; urin berdarah; tekanan atau kram pada pangkal paha atau perut bagian bawah (CDC, 2021^a).

3.4 Penyakit yang Disebabkan oleh Fungi

Fungi dapat menyebabkan berbagai jenis penyakit yang disebut dengan mikosis. Penyakit yang ditimbulkan termasuk asma atau alergi; ruam atau infeksi pada kulit dan kuku; infeksi paru-paru (pneumonia), dengan gejala yang mirip dengan flu atau tuberkulosis; infeksi aliran darah; dan meningitis (CDC, 2019). Hanya sedikit dari fungi yang patogen bagi manusia yang cukup ganas untuk menginfeksi inang yang sehat. Sebagian besar relatif tidak berbahaya kecuali pada seseorang yang mengalami gangguan kekebalan. Hampir semua infeksi jamur pada manusia berasal dari lingkungan melalui kontak kulit dengan atau tanpa trauma, atau melalui penghirupan atau konsumsi spora jamur (de Pauw, 2011). Infeksi jamur invasif dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu mikosis endemik atau dimorfik dan infeksi jamur oportunistik. *Histoplasmosis*, *coccidioidomycosis*, *blastomycosis*, dan *paracoccidioidomycosis* disebut sebagai mikosis endemik karena secara geografis terbatas pada wilayah tertentu di benua Amerika. Begitupun *Penicillium marneffe* biasanya terlihat di Asia Tenggara. Mikosis endemik disebabkan oleh jamur patogenik sejati. Infeksi jamur oportunistik dan ragi yang bersifat saprofit, hanya akan menyerang inang yang mengalami gangguan kekebalan. Kandidiasis dan aspergillosis adalah penyakit yang disebabkan oleh jamur oportunistik (de Pauw, 2011). Beberapa karakteristik mikosis invasif ditampilkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Infeksi jamur invasif, patogen dan karakteristik penyakit

Jenis penyakit	Agen penyebab	Tanda dan gejala klinis
PATOGEN OPORTUNISTIK		
Kandidiasis	<i>Candida</i> spp	Diseminata akut: demam, menggigil, polimialgia, poliartralgia, lesi kulit berwarna merah muda yang tidak lembut, eksudat retina. Kronis: keluhan pada organ yang terlibat.
Aspergillosis	<i>Aspergillus</i> spp	Demam yang tak kunjung sembuh dan infiltrat paru selama terapi antibiotik. Nyeri dada, gosokan pleura, efusi pleura, hemoptisis. Tanda Halo dan bulan sabit udara pada radiografi dada dan CT scan. Sinusitis klinis dan radiologis.
Kriptokokosis	<i>Cryptococcus neoformans</i>	Gejala mirip flu; lesi kulit, sakit kepala tanpa meningismus.
Zygomycosis	<i>Rhizopus</i> spp <i>Absidia</i> spp <i>Mucor</i> spp	Seperti aspergillosis, bentuk badak-otak yang lebih terbuka dengan cairan hidung serosanguinosa.
Lainnya	<i>Malassezia furfur</i> <i>Trichosporon</i> spp <i>Fusarium</i> spp <i>Pseudallescheria boydii</i>	Sering berhubungan dengan kateter; pneumonia Lesi kulit dan paru-paru Sering kali kultur darah positif. Lesi kulit, mialgia yang parah. Pembentukan

Jenis penyakit	Agen penyebab	Tanda dan gejala klinis
	<i>Scedosporium</i> spp <i>Alternaria</i> spp	abses dengan gejala tergantung pada organ yang terlibat. Seperti aspergillosis; infeksi luka.
PATOGEN ENDEMIK		
Blastomycosis	<i>Blastomyces dermatitidis</i>	Lesi ulseratif; kulit, saluran urogenital, Sistem saraf pusat
Histoplasmosis	<i>Histoplasma capsulatum</i>	Infiltrat paru; ulkus mukokutan; Hepatosplenomegali
Coccidioidomycosis	<i>Coccidioides immitis</i>	Infeksi paru. Penyebaran dengan osteomielitis, radang sendi, meningitis.
Paracoccidioidomycosis	<i>Paracoccidioides brasiliensis</i>	Infeksi paru. Penyebaran ke kulit, mukosa dan kelenjar getah bening.
Penicilliosis	<i>Penicillium marneffei</i>	Luka pada kulit dan subkutan, paru-paru, limfadenitis, splenomegali.

Sumber: de Pauw, 2011

3.5 Penyakit yang Disebabkan oleh Protozoa

Protozoa adalah organisme mikroskopis bersel satu yang dapat hidup bebas atau parasit. Mereka dapat berkembang biak pada manusia, yang berkontribusi pada kelangsungan hidup mereka dan juga memungkinkan infeksi serius berkembang hanya dari satu organisme. Penularan protozoa yang hidup di usus manusia ke manusia lain biasanya terjadi melalui jalur fekal-oral (misalnya, makanan atau air yang terkontaminasi atau kontak dari orang ke orang). Protozoa yang hidup di dalam darah atau jaringan manusia ditularkan ke manusia lain oleh vektor arthropoda (misalnya, melalui gigitan nyamuk atau lalat pasir) (CDC, 2022). Penyakit yang disebabkan oleh protozoa ditampilkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Penyakit yang disebabkan oleh protozoa

Protozoa	Penyakit	Penularan
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amoebiasis	Air atau makanan yang terkontaminasi
<i>Giardia lamblia</i>	Diare	Air atau makanan yang terkontaminasi
<i>Plasmodium</i>	Malaria	Nyamuk
<i>Leishmania</i>	Penyakit visceral	Lalat pasir
<i>Trichomonas vaginalis</i>	Radang saluran urogenital	Penyakit menular seksual
<i>Trypanosoma brucei gambiense</i>	Penyakit tidur di Afrika	Lalat tsetse
<i>Cryptosporidium</i>	Diare berair	Wabah yang ditularkan melalui air
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toksoplasmosis	Menelan daging yang kurang matang

Sumber: byjus.com, 2023

3.6 Penyakit yang Disebabkan oleh Cacing

Terdapat dua filum utama cacing yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia, yaitu filum Nematelminthes (cacing gelang, termasuk nematoda usus dan jaringan) dan Platyhelminthes (cacing pipih, termasuk trematoda/cacing daun dan cestoda/ cacing pita). Keduanya merupakan agen infeksi yang paling umum pada manusia di negara-negara berkembang. Kecacingan yang paling umum terjadi pada manusia adalah yang disebabkan oleh infeksi usus oleh cacing yang ditularkan melalui tanah (*Soil transmitted helminthiasis*/ STH), yaitu *Ascarias lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, dan cacing tambang (*Necator americanus* dan *Ancylostoma duodenale*), diikuti oleh *schistosomiasis* dan limfatik filariasis (LF) (Lustigman *et al.*, 2012).

Penyakit kecacingan adalah penyakit yang sering diabaikan di masyarakat, karena tingginya prevalensi kecacingan di negara berkembang, terutama di daerah pedesaan. Padahal, jika tidak diobati, infeksi cacing kronis dapat mengakibatkan gangguan

peradangan kronis dan terkait dengan kondisi kesehatan seperti anemia, pertumbuhan terhambat, kekurangan gizi, kelelahan, dan perkembangan kognitif yang buruk. Kondisi seperti penyakit kaki gajah, yang terjadi pada individu dengan LF; gangguan penglihatan, yang terjadi pada individu dengan onchocerciasis; fibrosis periportal dan hipertensi, yang terjadi pada individu dengan schistosomiasis usus; obstruksi bilier, kolangitis, dan kolangiokarsinoma, yang terjadi pada individu dengan trematodiasis; dan obstruksi saluran kemih dan kanker kandung kemih, yang terjadi pada individu dengan schistosomiasis saluran kemih, berpotensi menjadi akibat infeksi cacing yang paling mengancam jiwa (Hotez *et al.*, 2008).

Tabel 3.5. Cacing yang penting secara klinis dan cara utama penularannya

Jenis cacing	Cara penularannya
Cacing usus Nematoda: <i>Ascaris lumbricoides</i> (cacing gelang) <i>Enterobius vermicularis</i> (cacing kremi/cacing benang) <i>Trichuris trichiura</i> (cacing cambuk) <i>Ancylostoma duodenale</i> (cacing tambang) <i>Necator americanus</i> (cacing tambang) <i>Strongyloides</i> spp. Cestoda: <i>Taenia saginata</i> , <i>Taenia solium</i> (cacing pita daging sapi/babi) <i>Diphyllobothrium latum</i> (cacing pita ikan)	Menelan telur Menelan telur Menelan telur Penetrasi larva pada kulit Penetrasi larva pada kulit Penetrasi larva pada kulit Tertelannya kista
Larva cacing Nematoda: <i>Trichinella</i> spp. (trichinosis) <i>Toksocara</i> spp. (toksokariasis) Cestoda:	Menelan kista Menelan telur

Jenis cacing	Cara penularannya
<i>Taenia solium</i> (cysticercosis) <i>Echinococcus granulosus</i> (kista hidatidosa) <i>Echinococcus multilocularis</i> (alveolar hydatid)	Menelan telur Menelan telur Menelan telur
Trematoda <i>Schistosoma</i> spp. (bilharzia) <i>Paragonimus</i> spp. (Trematoda paru) <i>Fasciolopsis buski</i> (Trematoda usus) <i>Fasciola hepatica</i> , <i>Fasciola Giganta</i> (Trematoda hati) <i>Opisthorchis sinensis</i> , <i>O. viverrini</i> (Trematoda hati)	Penetrasi serkaria pada kulit Menelan metaserkaria Menelan metaserkaria Tertelan metaserkaria Menelan metacercariae
Nematoda jaringan Larva infeksi dari: <i>Onchocerca volvulus</i> (buta sungai) <i>Loa loa</i> (loiasis, cacing mata) <i>Dracunculus medinensis</i> (cacing guinea) <i>Wuchereria bancrofti</i> , <i>Brugia malayi</i> , <i>Brugia timori</i> (filariasis limfatik)	Gigitan <i>Simulium</i> (lalat hitam) Gigitan <i>Chrysops</i> (lalat merah) Menelan larva infeksi dalam genus <i>Cyclops</i> Gigitan berbagai nyamuk

Sumber: O'Dempsey, 2010

DAFTAR PUSTAKA

- Becker-Dreps, S., González, F., & Bucardo, F. 2020. Sapovirus: an emerging cause of childhood diarrhea. *Current opinion in infectious diseases*, 33(5), 388–397. <https://doi.org/10.1097/QCO.0000000000000671>.
- bio.libretexts.org. 2023. *Viral Infections of the Gastrointestinal Tract*. Available from: https://bio.libretexts.org/Courses/Portland_Community_College/Cascade_Microbiology/20%3A_A_Acellular_Pathogens_and_Diseases/20.4%3A_Viral_Infections_of_the_Gastrointestinal_Tract.
- Boncristiani, H. F., Criado, M. F., & Arruda, E. 2009. Respiratory Viruses. *Encyclopedia of Microbiology*, 500–518. <https://doi.org/10.1016/B978-012373944-5.00314-X>.
- byjus.com. 2023. Protozoan Diseases - An Overview on Protozoal Infections. Available from: <https://byjus.com/biology/protozoan-disease/>.
- CDC. 2019. About Fungal Diseases. Available from: <https://www.cdc.gov/fungal/about-fungal-diseases.html>.
- CDC. 2021a. Urinary Tract Infection. Available from: <https://www.cdc.gov/antibiotic-use/uti.html#:~:text=UTIs%20are%20common%20infections%20that,is%20another%20type%20of%20UTI>.
- CDC. 2021b. What are VHF? Available from: <https://www.cdc.gov/vhf/about.html>.
- CDC. 2022. About Parasites. Available from: <https://www.cdc.gov/parasites/about.html>.
- CDC. 2023. *Symptoms of Norovirus*. Available from: <https://www.cdc.gov/norovirus/about/symptoms.html#:~:text=Norovirus%20causes%20inflammation%20of%20the,for%20a%20few%20days%20after>.
- De Keukeleire, S., & Reynders, M. 2015. Hepatitis E: An Underdiagnosed, Emerging Infection in Nonendemic Regions. *Journal of clinical and translational hepatology*, 3(4), 288–291.

- de Pauw B. E. 2011. What are fungal infections?. *Mediterranean journal of hematology and infectious diseases*, 3(1), e2011001. <https://doi.org/10.4084/MJHID.2011.001>.
- Doron, S., & Gorbach, S. L. 2008. Bacterial Infections: Overview. *International Encyclopedia of Public Health*, 273–282. <https://doi.org/10.1016/B978-012373960-5.00596-7>.
- Drexler, M. 2010. *What You Need to Know About Infectious Disease*. Washington (DC): National Academies Press (US). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK209710/>.
- Flores-Mireles, A. L., Walker, J. N., Caparon, M., & Hultgren, S. J. 2015. Urinary tract infections: epidemiology, mechanisms of infection and treatment options. *Nature reviews. Microbiology*, 13(5), 269–284. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3432>.
- Folster-Holst, R. 2004. *Virusexantheme*. *Der Hautarzt*, 55(9). doi:10.1007/s00105-004-0788-2.
- Garcia, M. R., Leslie, S.W., Wray, A.A. 2023. Sexually Transmitted Infections. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK560808/>.
- Graves N. S. 2013. Acute gastroenteritis. *Primary care*, 40(3), 727–741. <https://doi.org/10.1016/j.pop.2013.05.006>.
- Harper, A., Vijayakumar, V., Ouwehand, A. C., Ter Haar, J., Obis, D., Espadaler, J., Binda, S., Desiraju, S., & Day, R. 2021. Viral Infections, the Microbiome, and Probiotics. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 10, 596166. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.596166>.
- Hotez, P. J., Brindley, P. J., Bethony, J. M., King, C. H., Pearce, E. J., & Jacobson, J. 2008. Helminth infections: the great neglected tropical diseases. *The Journal of clinical investigation*, 118(4), 1311–1321. <https://doi.org/10.1172/JCI34261>.
- InformedHealth.org [Internet]. 2019. Cologne, Germany: Institute for Quality and Efficiency in Health Care (IQWiG). What are microbes?[Updated 2019 Aug 29]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279387/>.

- Jagirdhar, G. S. K., Pulakurthi, Y. S., Chigurupati, H. D., & Surani, S. 2023. Gastrointestinal tract and viral pathogens. *World journal of virology*, 12(3), 136–150. <https://doi.org/10.5501/wjv.v12.i3.136>.
- Jawetz, Melnick, & Aldelberg. 2019. *Medical Microbiology*. 28th. Ed. McGraw-Hill Education.
- Kent, B. N. 2017^a. Sexually Transmitted Bacterial and Protozoal Infections. *American Society for Clinical Laboratory Science*, 30 (2) 114-119; DOI: <https://doi.org/10.29074/ascls.30.2.114>.
- Kent, B. N. 2017^b. Sexually Transmitted Viral Infections. *American Society for Clinical Laboratory Science*, 30 (2) 120-123; DOI: <https://doi.org/10.29074/ascls.30.2.120>.
- Lustigman, S., Prichard, R. K., Gazzinelli, A., Grant, W. N., Boatin, B. A., McCarthy, J. S., & Basáñez, M. G. 2012. A research agenda for helminth diseases of humans: the problem of helminthiasis. *PLoS neglected tropical diseases*, 6(4), e1582. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001582>.
- Mangat, R., Louie T. 2023. Viral Hemorrhagic Fevers. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK560717/>.
- Maraz, K.M., & Khan, R. A. 2021. An overview on impact and application of microorganisms on human health, medicine and environment. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 14(01), 089–104.
- Murphy, K. & Weaver, C. 2017. *Janeway's Immunobiology*. 9th ed. New York: Garland Science.
- my.clevelandclinic.org. 2022^a. *Bacterial Infection*. Available from: <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/24189-bacterial-infection>.
- my.clevelandclinic.org. 2022^b. *Viral Infection*. Available from: <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/24473-viral-infection>.
- O'Dempsey, T. (2010). *Helminthic infections*. *Antibiotic and Chemotherapy*, 842–859. doi:10.1016/b978-0-7020-4064-1.00064-6.

- Pahal, P., Rajasurya, V., Sharma, S. 2023. Typical Bacterial Pneumonia. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK534295/>.
- Pezhouh, M. K., & Yang, G. Y. 2018. *Viral infections of the gastrointestinal tract. Diagnostic Histopathology*. doi:10.1016/j.mpdhp.2018.09.003.
- Phillips, M. M., Dugdale, D. C., Conaway, B. 2022. CMV - gastroenteritis/colitis. Available from: <https://medlineplus.gov/ency/article/000667.htm#:~:text=CMV%20gastroenteritis%2Fcolitis%20is%20inflammation,t he%20back%20of%20the%20eye>
- Pitt, T. L., & Barer, M. R. 2012. Classification, identification and typing of micro-organisms. *Medical Microbiology*, 24–38. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-4089-4.00018-4>.
- Rojjanadumrongkul, K., Kumthip, K., Khamrin, P., Ukarapol, N., Ushijima, H., & Maneekarn, N. (2020). Enterovirus infections in pediatric patients hospitalized with acute gastroenteritis in Chiang Mai, Thailand, 2015-2018. *PeerJ*, 8, e9645. <https://doi.org/10.7717/peerj.9645>.
- Sattar, S. B. A. & Sharma, S. 2023. Bacterial Pneumonia. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513321/>.
- Sattar, S. B. A. & Singh, S. 2023. Bacterial Gastroenteritis. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513295/>.
- Schreuder, R. M., de Groot, J. W., & Kamper, A. M. 2011. Severe gastroenteritis as presentation of a primary cytomegalovirus infection in an immunocompetent woman. *Clinics and practice*, 1(4), e119. <https://doi.org/10.4081/cp.2011.e119>.
- Strauss, J. H., & Strauss, E. G. 2008. Overview of Viruses and Virus Infection. *Viruses and Human Disease*, 1–33. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373741-0.50004-0>.
- Stulberg, D. L., Penrod, M. A., & Blatny, R. A. 2002. Common bacterial skin infections. *American family physician*, 66(1), 119–124.

- Tenaw, A. L. 2023. *Bacterial Sexually Transmitted Disease*. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.105747.
- Wells, A. I., & Coyne, C. B. 2019. Enteroviruses: A Gut-Wrenching Game of Entry, Detection, and Evasion. *Viruses*, 11(5), 460. <http://doi.org/10.3390/v11050460>.
- WHO. 2023. Rotavirus gastroenteritis. Available from: <https://www.emro.who.int/health-topics/rotavirus-gastroenteritis/disease-and-epidemiology.html>.

BAB 4

INFEKSI

Oleh Revita Permata Hati

4.1 Pendahuluan

Mikroorganisme yang mampu menyebabkan penyakit disebut patogen. Patogen mikroba bertanggung jawab atas hilangnya lebih dari 400 juta tahun kehidupan setiap tahunnya di seluruh dunia, beban tersebut lebih besar dibandingkan penyakit kanker atau penyakit kardiovaskular. Penyakit yang telah lama menjangkiti umat manusia, seperti malaria dan tuberkulosis, terus menimbulkan jumlah korban yang sangat besar. Beberapa dekade terakhir juga telah terjadi kemunculan patogen baru yang mematikan, termasuk *human immunodeficiency virus* (HIV), virus Ebola, virus corona sindrom pernapasan akut parah (*severe acute respiratory syndrome/SARS*), virus West Nile, dan virus Zika (NIH, 2007; Fitzpatrick et al., 2019).

Istilah penyakit mengacu pada kondisi yang mengganggu fungsi jaringan normal. Misalnya, fibrosis kistik, aterosklerosis, dan campak semuanya dianggap penyakit. Namun, pada dasarnya penyebab masing-masing penyakit ini berbeda-beda. Misalnya pada campak, campak merupakan penyakit menular yang terjadi diakibatkan ketika seseorang tertular agen luar, yaitu virus campak. Sementara istilah penyakit menular (*infectious disease*) adalah penyakit yang disebabkan oleh invasi suatu inang oleh agen yang aktivitasnya merusak jaringan inang (yaitu menyebabkan penyakit) dan dapat ditularkan ke individu lain (yaitu yang menular) (NIH, 2007).

Penyakit menular (*infectious disease*) dapat didefinisikan sebagai penyakit yang disebabkan oleh suatu mikroorganisme patogen (seperti bakteri, virus, dan jamur) atau produk racunnya yang masuk ke dalam tubuh, berkembang biak, dan dapat menimbulkan infeksi. Penyakit menular yang timbul melalui penularan dari orang yang terinfeksi, hewan yang terinfeksi, atau

benda mati yang terkontaminasi ke host yang rentan. Penyakit menular bertanggung jawab atas beban penyakit global yang sangat besar yang berdampak pada sistem kesehatan masyarakat dan perekonomian di seluruh dunia, dan secara tidak proporsional berdampak pada populasi rentan (van Seventer et al., 2017; CDC, 2023).

Infeksi bakteri mempunyai dampak yang besar terhadap kesehatan masyarakat. Penyakit dapat terjadi di bagian tubuh mana pun dan dapat disebabkan oleh organisme itu sendiri atau respons tubuh terhadap keberadaannya. Hanya sebagian kecil bakteri di dunia yang menyebabkan infeksi dan penyakit. Secara umum, infeksi bakteri lebih mudah diobati dibandingkan infeksi virus, karena ketersediaan agen antimikroba yang memiliki aktivitas melawan bakteri lebih luas. Namun, dibandingkan dengan penyakit menular yang disebabkan oleh virus dan parasit, resistensi bakteri terhadap antimikroba merupakan masalah yang berkembang pesat dengan konsekuensi yang berpotensi merugikan (Doron and Gorbach, 2008).

Mikroorganisme seperti bakteri ditularkan ke manusia melalui berbagai cara. Cara utama penularan infeksi bakteri adalah melalui kontak, udara, tetesan, vektor, dan vehicular. Tindakan pencegahan mempunyai dampak yang besar terhadap morbiditas dan mortalitas. Tindakan tersebut mencakup pengolahan air, imunisasi hewan dan manusia, tindakan kebersihan pribadi, dan praktik seks yang lebih aman. Resistensi bakteri terhadap antibiotik semakin mengkhawatirkan sehingga mengharuskan penggunaan antibiotik secara bijaksana (Doron and Gorbach, 2008).

Bakteri memiliki keunikan di antara prokariota karena banyak diantaranya merupakan flora normal yang berkoloni di inangnya tanpa menyebabkan infeksi. Begitu suatu individu terinfeksi, penyakit yang tampak secara klinis mungkin terlihat atau tidak, dan hanya sebagian kecil dari infeksi yang terlihat merupakan penyakit yang signifikan secara klinis. Infeksi bakteri dapat ditularkan melalui berbagai mekanisme. Agar dapat menyebar, organisme dalam jumlah yang cukup harus bertahan hidup di lingkungan dan mencapai inang yang rentan. Banyak bakteri telah beradaptasi untuk bertahan hidup di air, tanah, pangan, dan tempat

lain. Ada pula yang menginfeksi vektor seperti hewan atau serangga sebelum menular ke manusia lain (Doron and Gorbach, 2008).

4.2 Agen Infeksius

Infeksi bakteri merupakan penyebab kerugian kesehatan yang signifikan secara klinis, global serta tingginya beban infeksi yang dapat diobati terjadi pada kelompok usia yang sangat muda. Pada tahun 2019 terdapat lima patogen masing-masing menyebabkan lebih dari 500.000 kematian. Kelima patogen tersebut yaitu *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Streptococcus pneumoniae*, *Klebsiella pneumoniae*, dan *Pseudomonas aeruginosa*. Tiga sindrom menular, masing-masing menyebabkan lebih dari 1 juta kematian pada tahun 2019, mencakup lebih dari 75% kematian akibat infeksi bakteri (GBD, 2022).

Meskipun mikroorganisme-patogen penyebab penyakit sering kali mendapat perhatian paling besar, penting untuk diperhatikan bahwa sebagian besar mikroorganisme tidak menyebabkan penyakit. Faktanya, banyak mikroorganisme yang mungkin memberikan perlindungan terhadap mikroorganisme berbahaya dikarenakan mikroorganisme secara efektif bersaing dengan organisme berbahaya untuk mendapatkan sumber daya, sehingga mencegah pertumbuhannya. Ada lima jenis utama agen infeksi: bakteri, virus, jamur, protozoa, dan cacing. Selain itu, kelas agen infeksi baru yang saat ini telah dikenali yaitu prion (NIH, 2007).

Infeksi belum tentu menyebabkan penyakit. Infeksi terjadi ketika virus, bakteri, atau mikroba lain masuk ke dalam tubuh manusia dan mulai berkembang biak. Penyakit, yang biasanya terjadi pada sebagian kecil orang yang terinfeksi, terjadi ketika sel-sel dalam tubuh manusia rusak akibat infeksi, dan tanda serta gejala suatu penyakit muncul (Drexler, 2010).

Sebagai respons terhadap infeksi, sistem kekebalan manusia mulai bertindak. Sel darah putih, antibodi, dan mekanisme lain bekerja untuk membersihkan tubuh manusia dari benda asing. Memang benar kan ada banyak gejala yang membuat seseorang menderita saat terkena infeksi seperti demam, rasa tidak enak

badan, sakit kepala, ruam. Kondisi tersebut disebabkan oleh aktivitas sistem kekebalan yang berusaha menghilangkan infeksi dari tubuh (Drexler, 2010).

Agen infeksius patogen sejati yang menyebabkan penyakit pada hampir semua inang yang rentan terhadap penyakit. Sementara, patogen oportunistik merupakan agen infeksi potensial yang jarang menyebabkan penyakit pada individu dengan sistem kekebalan tubuh yang sehat. Penyakit yang disebabkan oleh patogen oportunistik biasanya ditemukan pada kelompok orang lanjut usia (yang sistem kekebalan tubuhnya melemah), pasien kanker yang menjalani kemoterapi (yang berdampak buruk pada sistem kekebalan tubuh), atau orang yang mengidap *acquired immunodeficiency syndrome* (AIDS) atau HIV-positif. Patogen tersebut dapat bersifat eksogen (didapat dari sumber lingkungan, hewan atau dari orang lain) atau endogen (dari flora normal) (NIH, 2007; Washington, 1996).

Beberapa agen infeksi mudah menular (yaitu sangat menular), namun kecil kemungkinannya menyebabkan penyakit (yaitu tidak terlalu ganas). Misalnya virus Polio, virus ini mungkin menginfeksi sebagian besar orang yang terjangkit penyakit tersebut, namun hanya sekitar 5 hingga 10 persen dari virus tersebut yang terinfeksi benar-benar mengembangkan penyakit klinis. Agen infeksi lainnya sangat ganas, namun tidak terlalu menular. Teror seputar demam berdarah Ebola didasarkan pada keganasan virus tersebut (tingkat kematian 50 hingga 90 persen di antara manusia yang terinfeksi). Namun, virus itu sendiri tidak mudah menular melalui kontak biasa. Agen infeksi yang paling mengkhawatirkan adalah agen yang sangat menular dan sangat mematikan (NIH, 2007).

Selain itu misalnya *Corynebacterium diphtheriae*. Bakteri tersebut merupakan penyebab difteri yang hanya tumbuh di permukaan hidung dan tenggorokan. Namun, racun yang dihasilkannya didistribusikan ke jaringan lain melalui sistem peredaran darah, sehingga merusak jaringan jantung, hati, dan saraf. Selanjutnya, *Streptococcus pyogenes* merupakan agen infeksi yang berhubungan dengan beberapa penyakit termasuk radang tenggorokan dan penyakit pemakan daging. Bakteri tersebut

menghasilkan beberapa enzim yang memecah penghalang antara sel-sel epitel dan menghilangkan bekuan fibrin, membantu bakteri menyerang jaringan. Beberapa contoh penyakit menular yang muncul (Emerging Infectious Diseases) tersaji pada tabel 4.1 dan contoh penyakit menular yang muncul kembali (Re-emerging Infectious Diseases) pada tabel 2 (NIH, 2007).

Tabel 4.1. Penyakit Menular yang Muncul (NIH, 2007)

Disease	Infectious Agent	Year Recognized*	Contributing Factors
Lassa fever	<i>Arenaviridae</i> family (virus)	1969	urbanization and other conditions that favor the rodent host; nosocomial transmission
Ebola hemorrhagic fever	<i>Filoviridae</i> family (virus)	1977	unknown natural reservoir; nosocomial transmission
Legionnaire disease	<i>Legionella pneumophila</i> (bacterium)	1977	cooling and plumbing systems
hemolytic uremic syndrome	<i>Escherichia coli</i> 0157:H7 (bacterium)	1982	mass food production systems
Lyme borreliosis	<i>Borrelia burgdorferi</i> (bacterium)	1982	conditions favoring the tick vector and deer, such as reforestation near homes
AIDS	human immunodeficiency virus	1983	migration to cities, global travel, transfusions, organ transplants, intravenous drug use, multiple sexual partners
gastric ulcers	<i>Helicobacter pylori</i> (bacterium)	1983	newly recognized as due to infectious agent
cholera	<i>Vibrio cholerae</i> 0139 (bacterium)	1992	evolution of new strain of bacteria combining increased virulence and long-term survival in the environment
hantavirus pulmonary syndrome	<i>Bunyaviridae</i> family (virus)	1993	environmental changes favoring contact with rodent hosts
pandemic influenza	<i>Orthomyxoviridae</i> family (virus)	new viral strains emerge periodically	pig-duck agriculture (possibly)

Tabel 4.2. Penyakit Menular yang Muncul Kembali (NIH, 2007)

Disease	Infectious Agent	Contributing Factors
cryptosporidiosis	<i>Cryptosporidium parvum</i> (protozoa)	inadequate control in water supply; international travel; increased use of child-care facilities
diphtheria	<i>Corynebacterium diphtheriae</i> (bacterium)	interruption of immunization program due to political changes
malaria	<i>Plasmodium</i> species (protozoan)	drug resistance; favorable conditions for mosquito vector
meningitis, necrotizing fasciitis (flesh-eating disease), toxic shock syndrome, and other diseases	Group A <i>Streptococcus</i> (bacterium)	uncertain
pertussis (whooping cough)	<i>Bordetella pertussis</i> (bacterium)	refusal to vaccinate based on fears the vaccine is not safe; other possible factors: decreased vaccine efficacy or waning immunity among vaccinated adults
rabies	<i>Rhabdovirus</i> group (virus)	breakdown in public health measures; changes in land use; travel
rubeola (measles)*	Morbillivirus genus (virus)	failure to vaccinate; failure to receive second dose of vaccine
schistosomiasis	<i>Schistosoma</i> species (helminth)	dam construction; ecological changes favoring snail host
tuberculosis	<i>Mycobacterium tuberculosis</i> (bacterium)	antibiotic-resistant pathogens; immunocompromised populations (malnourished, HIV-infected, poverty-stricken)
yellow fever	<i>Flavivirus</i> group (virus)	insecticide resistance; urbanization; civil strife

4.3 Mekanisme

Mekanisme infeksi mikroba merupakan gambaran mekanistik tentang langkah-langkah kunci yang terlibat dalam memahami patogenesis penyakit menular yang disebabkan oleh mikroba (bakteri, virus, jamur, protozoa, dan prion). Infeksi terjadi ketika patogen menyerang dan mulai tumbuh di dalam inang. Penyakit terjadi hanya jika dan ketika, sebagai akibat dari invasi dan pertumbuhan suatu patogen, fungsi jaringan terganggu. Tubuh manusia mempunyai mekanisme pertahanan untuk mencegah infeksi dan, jika mekanisme tersebut gagal, manusia dapat mencegah penyakit setelah infeksi terjadi (Zachary, 2017; NIH, 2007).

Tubuh manusia mempunyai beberapa mekanisme umum untuk mencegah penyakit menular. Beberapa mekanisme ini disebut sebagai pertahanan nonspesifik karena mekanisme tersebut

bekerja melawan berbagai macam patogen. Mekanisme lain disebut sebagai pertahanan spesifik karena mekanisme tersebut menargetkan patogen tertentu dan sel yang terinfeksi patogen (NIH, 2007).

Mekanisme nonspesifik merupakan pertahanan utama tubuh terhadap penyakit. Mekanisme nonspesifik meliputi hambatan anatomis terhadap serangan patogen, kondisi fisiologis terhadap patogen, dan keberadaan flora normal. Misalnya penghalang anatomi utama bagi mikroorganisme seperti lubang hidung pada sistem pernapasan. Pembukaan alami ini merupakan saluran panjang dan berbelit-belit yang ditutupi oleh selaput lendir yang memerangkap partikel-partikel di udara dan mencegah sebagian besar partikel tersebut mencapai paru-paru (NIH, 2007).

Penghalang anatomi lainnya adalah tengkorak dan tulang belakang, yang melindungi sistem saraf pusat—hanya sedikit patogen yang mampu menembus tulang. Kulit juga merupakan penghalang anatomi utama bagi mikroorganisme. Lapisan permukaan sel-sel mati dan mengeras relatif kering, dan sekresi kulit membuat permukaannya agak asam. Saat keringat menguap, garam tertinggal di kulit. Semua kondisi ini (kelembaban rendah, pH rendah, dan salinitas tinggi) mencegah sebagian besar mikroorganisme tumbuh dan berkembang biak di kulit (NIH, 2007).

Bukaan alami juga dilindungi oleh berbagai penghalang faktor fisiologis. Misalnya, air mata terus-menerus mengeluarkan kotoran dari mata. Sekresi vagina bersifat asam, lingkungan tidak bersahabat yang menghambat pertumbuhan banyak patogen. Lubang mata, mulut, dan hidung dilindungi oleh air mata, air liur, atau cairan hidung yang mengandung lisozim, suatu enzim yang memecah dinding sel bakteri. Darah, keringat, dan beberapa cairan jaringan juga mengandung lisozim (NIH, 2007).

Selain lisozim, darah memiliki banyak unsur yang melindungi tubuh dari organisme penyebab penyakit. Sel darah putih mencakup beberapa jenis sel fagositik yang mendeteksi, melacak, menelan, dan membunuh bakteri dan virus yang menyerang, serta sel inang yang terinfeksi dan sisa-sisa lainnya. Sel fagositik ini adalah bagian dari sistem kekebalan nonspesifik (NIH,

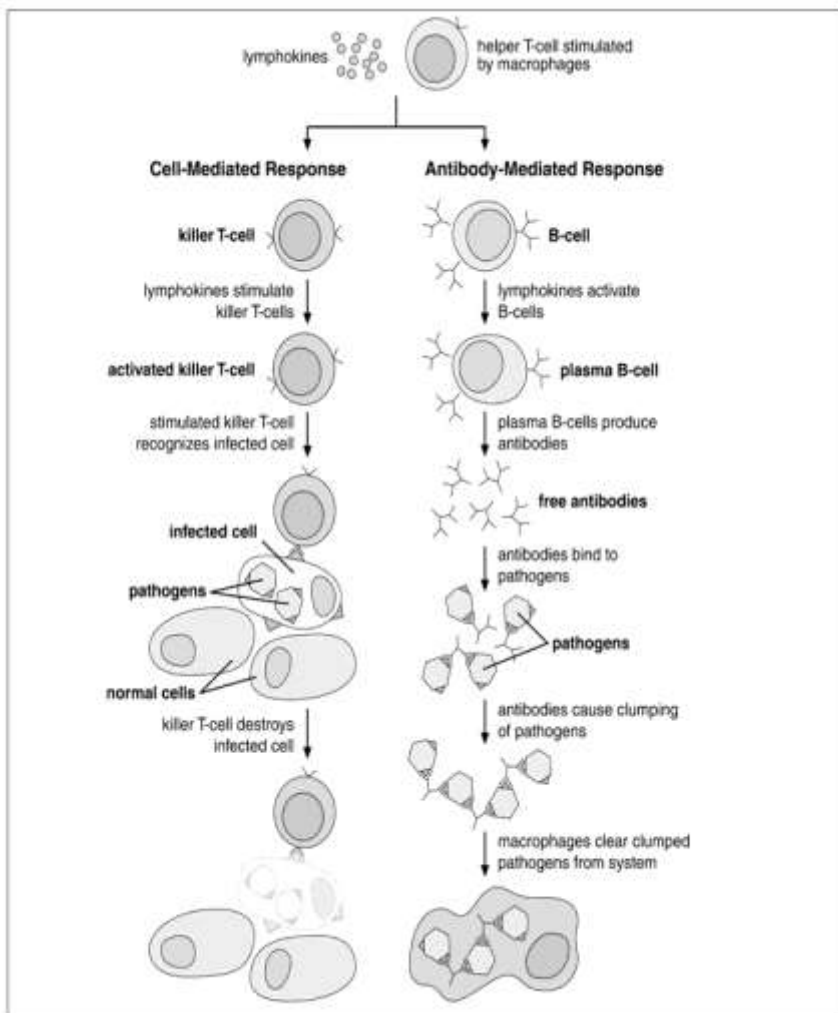
2007).

Plasma darah juga mengandung faktor pembekuan yang memulai penggumpalan di lokasi cedera, mencegah patogen menyerang tubuh lebih jauh. Terakhir, protein komplemen di dalam darah ikut serta dalam rangkaian peristiwa molekuler yang menyebabkan peradangan, pelepasan molekul yang menstimulasi sel fagositik, dan pembentukan kompleks protein yang berikatan dengan permukaan bakteri atau sel inang yang terinfeksi dan mengalami lisis pada sel-sel tersebut (NIH, 2007).

Respon inflamasi adalah mekanisme pertahanan nonspesifik lainnya yang membantu mencegah penyebaran agen infeksi di dalam tubuh. Peradangan melibatkan pembengkakan, kemerahan, suhu tinggi, dan nyeri. Sayangnya, peradangan itu sendiri seringkali menyebabkan kerusakan jaringan dan, dalam kasus yang parah, bahkan kematian (NIH, 2007).

Terakhir, peran perlindungan dari flora normal mikroorganisme yang ada di dalam tubuh tidak boleh diabaikan. Organisme ini bertahan hidup dan tumbuh di kulit dan di mulut, saluran pencernaan, dan area tubuh lainnya, namun tidak menyebabkan penyakit karena pertumbuhannya dikendalikan oleh mekanisme pertahanan tubuh dan kehadiran mikroorganisme lainnya. Organisme ini melindungi inang dengan berhasil bersaing dengan organisme penyebab penyakit, mencegah organisme penyebab menyerang jaringan inang. Ketika pertumbuhan flora normal ditekan (misalnya karena pengobatan antibiotik), agen oportunistik lain yang biasanya tidak tumbuh di dalam atau di tubuh mungkin dapat menginfeksi dan menyebabkan penyakit (NIH, 2007).

Ketika mekanisme nonspesifik ini gagal, maka tubuh memulai garis pertahanan kedua yang spesifik. Respon imun spesifik ini memungkinkan tubuh menargetkan patogen tertentu dan sel yang terinfeksi patogen untuk dimusnahkan. Hal ini bergantung pada sel darah putih khusus yang disebut limfosit dan mencakup sel T (diproduksi dari limfosit yang matang di kelenjar timus) dan sel B (diproduksi dari limfosit yang matang di sumsum tulang). Imunitas spesifik tersaji pada Gambar 1 (NIH, 2007).



Gambar 4.1. Imunitas spesifik (NIH, 2007)

Dua komponen yang saling melengkapi dari respon imun spesifik adalah respon yang dimediasi sel dan respon yang dimediasi antibodi (Gambar 4.1). Respons yang dimediasi sel melibatkan sel T dan bertanggung jawab untuk secara langsung menghancurkan sel-sel tubuh yang terinfeksi virus atau menjadi kanker, atau untuk mengaktifkan sel kekebalan lainnya agar menjadi pembunuh mikroba yang lebih efisien. Respons yang dimediasi antibodi melibatkan sel T dan sel B dan sangat penting

untuk menghancurkan patogen yang menyerang serta menghilangkan racun (NIH, 2007).

Baik respons yang dimediasi sel maupun yang dimediasi antibodi dimulai setelah jenis sel fagositik tertentu, makrofag, menelan patogen. Makrofag mencerna patogen dan kemudian menampilkan antigen dari patogen tersebut di permukaannya (Gambar 4.1). Antigen adalah molekul spesifik, seperti protein pada permukaan patogen, yang menimbulkan respons imun. Tampilan molekul spesifik ini membantu makrofag merangsang sel T pembantu tertentu untuk melepaskan molekul sinyal yang disebut limfokin. Lymphokine, pada gilirannya, menstimulasi respon yang dimediasi sel dan dimediasi antibodi (NIH, 2007).

Respons yang dimediasi sel terjadi ketika limfokin yang dilepaskan dari sel T pembantu menstimulasi tipe sel lain untuk berpartisipasi dalam respon imun. Sel T pembunuh yang distimulasi limfokin menempel pada sel yang terinfeksi patogen dan menghancurkannya, sedangkan sel fagositik yang diaktifkan limfokin menghasilkan lebih banyak molekul toksik yang dapat membunuh patogen secara langsung (NIH, 2007).

Respons yang dimediasi antibodi terjadi ketika limfokin mengaktifkan sel B spesifik untuk menghasilkan antibodi (protein yang secara spesifik mengenali dan mengikat antigen). Antibodi ini menempel pada antigen pada permukaan patogen dan memberi sinyal serangan oleh sel fagosit dan sistem komplemen. Sel B lainnya kemudian menjadi sel B memori, yang merespons dengan cepat dengan memproduksi lebih banyak antibodi pada infeksi berikutnya (NIH, 2007).

Ketika inang bertemu dengan antigen yang memicu respons imun spesifik untuk kedua kalinya atau setelahnya, limfosit memori akan mengenalinya dan dengan cepat mulai tumbuh dan membelah, serta memproduksi limfokin dan antibodi tingkat tinggi. Karena terdapat sel memori, respons ini terjadi jauh lebih cepat dibandingkan saat pertama kali bertemu dengan antigen (NIH, 2007).

Respon yang cepat ini menjelaskan mengapa inang akan kebal terhadap berkembangnya banyak penyakit untuk kedua kalinya. Respon imun terjadi begitu cepat pada pertemuan kedua

dengan patogen. Sehingga patogen tidak memiliki cukup waktu untuk bereproduksi hingga mencapai tingkat yang dapat menimbulkan penyakit, sebelum tubuh inang menghancurkannya. Respon memori juga menjelaskan efektivitas vaksinasi untuk mencegah timbulnya banyak penyakit bahkan untuk pertama kalinya (NIH, 2007).

Mekanisme sebaliknya, agar dapat timbul penyakit maka patogen harus dapat masuk ke dalam tubuh inang, menempel pada sel inang tertentu, menyerang dan menjajah jaringan inang, serta menimbulkan kerusakan pada jaringan tersebut. Pintu masuk ke inang biasanya terjadi melalui lubang alami seperti mulut, mata, atau lubang alat kelamin, atau melalui luka yang menembus penghalang kulit terhadap patogen. Meskipun beberapa patogen dapat tumbuh di lokasi awal masuknya, sebagian besar harus menyerang area tubuh di mana patogen biasanya tidak ditemukan. Patogen melakukan ini dengan menempel pada sel inang tertentu (NIH, 2007).

Beberapa patogen kemudian berkembang biak di antara sel inang atau di dalam cairan tubuh, sementara patogen lain seperti virus dan beberapa spesies bakteri memasuki sel inang dan tumbuh di sel inang. Meskipun pertumbuhan patogen mungkin cukup untuk menyebabkan kerusakan jaringan dalam beberapa kasus, kerusakan biasanya disebabkan oleh produksi racun atau enzim perusak oleh patogen tersebut (NIH, 2007).

Misalnya, jika mikroorganisme seperti spesies *Salmonella* menginfeksi inang dengan cara memasuki sel fagositik dan non-fagosit sehingga menimbulkan beragam gejala penyakit, seperti demam, gastroenteritis, bahkan kematian. Hal tersebut terjadi adanya banyak faktor yang terlibat dalam patogenesis, misalnya kapsul, enterotoksin, pulau patogenisitas *Salmonella* (*Salmonella* pathogenicity islands/SPI), dan regulator terkait. Semua faktor ini adalah protein tradisional yang terkait dengan virulensi dan regulasi. Selain itu, RNA non-coding kecil (*small non-coding ribonucleic acid/sRNA*) juga telah dilaporkan berfungsi sebagai regulator penting yang dapat mengatur ekspresi gen melalui pemasangan basa yang tidak sempurna dengan target pada tingkat pasca transkripsional. sRNA terlibat dalam beragam proses biologis,

seperti virulensi, metabolisme zat, dan adaptasi terhadap lingkungan stres. 87-nucleotide sRNA DsrA merupakan pengatur utama jaringan respons stres asam, pengatur ketahanan asam, aktivasi translasi regulator transkripsional RpoS (Shu-Kee et al., 2015; Lalaouna et al., 2015; Ryan et al., 2016; Meng et al., 2022).

Stres asam adalah salah satu stres terpenting yang harus diatasi oleh *Salmonella* agar dapat berkoloni di inangnya. *Salmonella* mungkin menghadapi lingkungan asam seperti lambung, dan paparan asam juga terjadi setelah menyerang mukosa usus. Menariknya, *Salmonella* telah mengembangkan respon tepat yang dikenal sebagai respon toleransi asam (acid tolerance response/ATR), yang meningkatkan kelangsungan hidup sel-sel yang beradaptasi dengan asam pada tingkat pH rendah. Selain itu, adanya faktor sigma alternatif RpoS, yang merupakan pengatur global ekspresi gen ketika bakteri menderita kelaparan atau kondisi stres lainnya (Shu-Kee et al., 2015; Meng et al., 2022).

Salmonella dapat menyebar melalui lalat, jari, feses, fomites (*four Fs: flies, fingers, feces, fomites*) yang secara teratur menginfeksi inang dengan memasuki lambung dan lumen usus inang setelah mengkonsumsi pangan yang terkontaminasi, menyebabkan manifestasi infeksi *Salmonella* berupa gastroenteritis, diikuti oleh bakteremia, dan demam tifoid disebut juga demam enterik. *Salmonella* harus bertahan hidup dalam lingkungan asam lambung dan menembus penghalang usus melalui sel M di bagian usus Peyer (Bhandari et al., 2022; Shu-Kee et al., 2015; Meng et al., 2022).

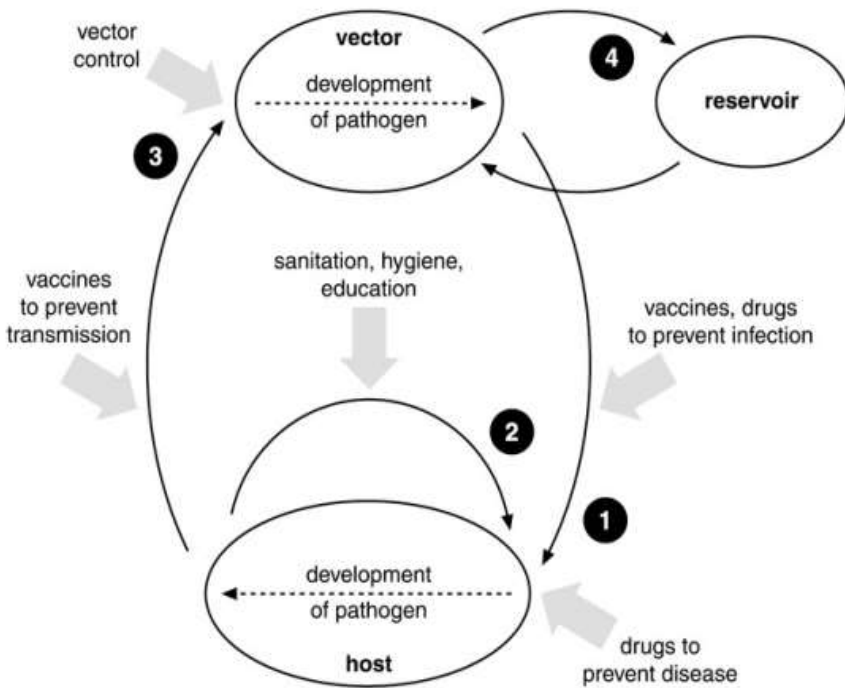
Salmonella menampilkan karakteristik yang luar biasa selama invasinya terhadap sel inang manusia yang non-fagosit, dimana *Salmonella* menginduksi fagositosisnya sendiri untuk mendapatkan akses ke sel inang. Ketika *Salmonella* tertelan ke dalam inang, *Salmonella* harus melewati lambung yang sangat asam, menyerang sel-sel epitel usus kecil untuk membentuk *Salmonella*-containing vacuole atau SCV, bertahan di dalam makrofag dan neutrofil, dan kemudian menyebar ke limpa, hati, dan situs sistemik lain di tubuh hingga menyebabkan infeksi. *Salmonella* menyerang membran sel dan membentuk vakuola yang mengandung *Salmonella* (SCV) dengan bantuan sistem sekresi Tipe III (Type III secretion system/T3SS) yang dikodekan oleh pulau patogenisitas

Salmonella (Salmonella pathogenicity islands/SPI). SPI kelompok gen yang terletak di wilayah deoxyribonucleic acid–DNA kromosom besar dan mengkode struktur yang terlibat dalam proses invasi (Shu-Kee et al., 2015; Meng et al., 2022).

Ketika Salmonella memasuki saluran pencernaan (digestive tract) melalui air atau pangan yang terkontaminasi, Salmonella cenderung menembus sel epitel yang melapisi dinding usus. SPI mengkode T3SS, protein multialuran yang memungkinkan Salmonella menyuntikkan efekturnya melintasi membran sel epitel usus ke dalam sitoplasma. Efektor bakteri kemudian mengaktifkan jalur transduksi sinyal dan memicu rekonstruksi sitoskeleton aktin sel inang, menghasilkan perluasan atau kerutan membran sel epitel ke arah luar untuk menelan bakteri. Morfologi ruffle membran menyerupai proses fagositosis (Shu-Kee et al., 2015; Meng et al., 2022).

Setelah itu, makrofag menelan bakteri dan membunuhnya untuk melawan infeksi dengan memproduksi spesies nitrogen reaktif (*reactive nitrogen species*/RNS) dan spesies oksigen reaktif (*reactive oxygen species*/ROS. Menariknya, Salmonella menggunakan strategi canggih dan cerdik untuk bertahan hidup dan bereplikasi di dalam sel fagositik dan non-fagosit, sehingga menyebabkan penyakit serius pada manusia dan hewan (Shu-Kee et al., 2015; Meng et al., 2022).

Penyakit menular dapat dicegah melalui berbagai cara. Hal tersebut tergantung pada siklus penularan penyakit tertentu. Penelitian dasar telah mengungkapkan siklus infeksi spesifik dan rincian mengenai aktivitas patogen penyebab penyakit (misalnya, sel tertentu, jika ada, yang diserang, dan racun yang dihasilkan oleh patogen yang merusak jaringan inang). Siklus infeksi secara umum tersaji pada Gambar 4.2 (NIH, 2007).



Gambar 4.2. Siklus infeksi secara umum (NIH, 2007)

Pada siklus infeksi secara umum (Gambar 4.2) terlihat dengan panah hitam, sementara panah yang diarsir menunjukkan titik-titik dimana penyakit menular dapat dicegah. Siklus dimulai melalui empat tahap yaitu pertama inang terinfeksi oleh reservoir atau vektor patogen tersebut. Kemudian individu ini dapat menginfeksi inang lain dalam suatu populasi. Selain itu individu ini dapat menginfeksi inang lain dalam suatu vektor baru. Siklus tersebut berlangsung hingga patogen juga dapat bersirkulasi antara vektor dan reservoir (NIH, 2007).

Memahami siklus penularan sangat penting untuk mengidentifikasi target yang dapat diakses untuk strategi pengendalian (Gambar 2). Misalnya, penularan langsung dari orang ke orang dapat dihambat dengan kondisi kebersihan dan sanitasi yang baik serta pendidikan. Penyakit yang ditularkan melalui vektor dapat dicegah dengan tindakan pengendalian yang dapat membunuh vektor tersebut atau mencegah kontakannya dengan manusia (NIH, 2007).

Infeksi oleh suatu patogen atau perkembangan suatu patogen dalam tubuh inang dapat dicegah dengan vaksinasi. Hingga akhirnya, obat-obatan dapat digunakan untuk mencegah infeksi atau menekan proses penyakit. Dalam beberapa kasus, alat-alat, termasuk obat-obatan, vaksin, dan metode pengendalian vektor, sudah tersedia untuk menangani penyakit-penyakit tersebut. Meskipun demikian untuk penyakit lain, metode pengendaliannya tidak memadai, belum dikembangkan, atau tidak ada sama sekali (NIH, 2007).

4.4 Epidemiologi

Epidemiologi adalah studi tentang terjadinya penyakit dalam suatu populasi. Para ahli epidemiologi tidak hanya menaruh perhatian pada penyakit menular, namun juga penyakit tidak menular seperti kanker dan aterosklerosis, serta penyakit lingkungan seperti keracunan timbal. Para profesional yang ahli epidemiologi bekerja untuk mencegah atau meminimalkan dampak penyakit pada populasi (NIH, 2007).

Pekerjaan ahli epidemiologi dapat mencakup aktivitas seperti mengidentifikasi tingginya insiden penyakit tertentu, menentukan efektivitas vaksin, dan menghitung efektivitas biaya dari berbagai cara untuk mengendalikan penularan penyakit. Kadang-kadang, ahli epidemiologi bertindak sebagai detektif yang melacak penyebab penyakit baru, menentukan reservoir dan cara penularannya, dan membantu mengatur berbagai petugas kesehatan untuk mengendalikan penyakit tersebut (NIH, 2007).

Triad epidemiologi merupakan model klasik penyebab penyakit menular. Model tersebut mengilustrasikan bahwa penyakit menular disebabkan oleh kombinasi faktor agen (patogen), inang-host yang rentan, dan lingkungan (faktor fisik, sosial, perilaku, budaya, politik, dan ekonomi). Agen penular dapat berupa parasit hidup (mikroorganisme patogen, cacing atau protozoa), jamur, atau bakteri, atau virus atau prion yang tidak hidup. Faktor lingkungan menentukan apakah inang akan terpajan salah satu agen tersebut, dan interaksi berikutnya antara agen dan inang akan menentukan hasil paparannya (van Seventer et al., 2017).

Interaksi agen dan pejamu terjadi dalam serangkaian

tahapan yang mencakup infeksi, penyakit, dan pemulihan atau kematian. Hasil potensial dari paparan host terhadap agen infeksius melalui beberapa tahap. Tahap tersebut dimulai dari setelah terpapar, agen dan host berinteraksi dalam tahapan yang dapat mengakibatkan infeksi, penyakit, dan pemulihan atau kematian. Tahap selanjutnya perkembangan kemajuan dari satu tahap ke tahap berikutnya bergantung pada sifat infektivitas, patogenisitas, dan virulensi agen, serta kerentanan host terhadap infeksi dan penyakit, yang sebagian besar disebabkan oleh efek protektif dan merugikan dari respon imun host. (van Seventer et al., 2017).

Lingkungan eksternal biasanya merupakan tempat di mana agen bakteri dan host berinteraksi dan infeksi didapat. Bakteri dapat menular ke manusia melalui udara, air, makanan, atau vektor hidup. Lingkungan makro atau mikro juga dapat dianggap berperan dalam penyebaran bakteri. Tempat tertentu seperti rumah sakit dan penjara menampung jenis organisme tertentu. Beberapa bakteri bersifat endemik di wilayah geografis tertentu dan jarang atau tidak ada sama sekali di wilayah geografis lain (Doron and Gorbach, 2008).

Sebuah reservoir infeksi adalah sumber dari mana infeksi dapat menyebar dengan memungkinkan patogen untuk bertahan hidup dan mungkin berkembang biak. Manusia, hewan, dan bahkan benda lingkungan mati dapat berfungsi sebagai reservoir infeksi. Ada banyak sumber infeksi dalam pengaturan perawatan pelayanan kesehatan. Hal tersebut termasuk pasien, petugas kesehatan, pengunjung, benda mati seperti peralatan medis, dan bahkan lingkungan rumah sakit. Reservoir manusia dapat berupa kasus yang terinfeksi, atau pembawa, yaitu orang tersebut dikolonisasi oleh patogen tertentu dan tidak hadir dengan gejala atau tanda-tanda infeksi akut. Kepatuhan terhadap praktik pengendalian infeksi standar penting karena pembawa asimtomatik ini menghadirkan risiko infeksi silang, terutama di lingkungan perawatan kesehatan (Jacob and Martina, 2023).

Sementara reservoir suatu penyakit adalah tempat dimana agen penular dapat bertahan hidup. Misalnya, manusia merupakan reservoir virus campak sebab tidak bisa menginfeksi organisme lain. Selain itu, hewan seringkali menjadi reservoir penyakit yang

menginfeksi manusia. Sumber utama *Yersinia pestis* yang merupakan bakteri penyebab wabah adalah hewan pengerat liar. Ada juga reservoir tak hidup, misalnya tanah. Tanah merupakan reservoir bagi banyak jamur patogen serta beberapa bakteri patogen seperti *Clostridium tetani* yang menjadi penyebab tetanus (NIH, 2007).

Agen infeksi dapat ditularkan melalui kontak langsung atau tidak langsung. Kontak langsung terjadi ketika seseorang tertular melalui kontak dengan reservoir. Misalnya dengan menyentuh orang yang terinfeksi, menelan daging yang terinfeksi, atau digigit oleh hewan atau serangga yang terinfeksi. Penularan melalui kontak langsung juga mencakup menghirup agen infeksi melalui tetesan yang dikeluarkan melalui bersin atau batuk dan tertular agen infeksi melalui kontak seksual yang intim. Beberapa penyakit yang ditularkan terutama melalui kontak langsung dengan reservoir antara lain kurap, AIDS, trikinosis, influenza, rabies, dan malaria (NIH, 2007).

Dapat dikatakan bahwa alur keluar adalah bagaimana patogen meninggalkan reservoirnya. Biasanya mengacu pada lokasi di mana mikroorganisme tumbuh. Lokasi umum keluar yang terkait dengan reservoir manusia termasuk kulit, selaput lendir, dan saluran pernapasan, gastrointestinal, dan genitourinary (Jacob and Martina, 2023).

Kontak tidak langsung terjadi ketika suatu patogen dapat bertahan terhadap lingkungan di luar inangnya dalam jangka waktu yang lama sebelum menginfeksi individu lain. Benda mati yang terkontaminasi melalui kontak langsung dengan reservoir (misalnya, tisu yang digunakan untuk menyeka hidung seseorang yang sedang pilek atau mainan yang dipegang oleh anak yang sakit) mungkin merupakan kontak tidak langsung bagi individu yang rentan (NIH, 2007).

Selain itu, menelan makanan dan minuman (pangan) yang terkontaminasi melalui kontak dengan reservoir penyakit adalah contoh lain penularan penyakit melalui kontak tidak langsung. Kondisi tersebut dikenal dengan penyakit bawaan pangan (*foodborne illness*). Penyakit bawaan pangan didefinisikan sebagai penyakit menular atau berbahaya yang timbul disebabkan oleh

konsumsi pangan yang terkontaminasi. Wabah penyakit bawaan pangan terjadi ketika dua atau lebih kasus penyakit bawaan makanan yang serupa terjadi setelah mengonsumsi makanan yang sama. Bakteri, virus, parasit dan jamur merupakan agen mikroba yang menyebabkan penyakit bawaan pangan. Walaupun demikian, beberapa mikroorganisme patogen yang ditularkan melalui pangan mungkin resisten terhadap antimikroba (Asfaw et al., 2022; CDC, 2023).

Pusat pengendalian dan pencegahan penyakit (*Centers for Disease Control and Prevention/CDC*) Amerika Serikat memperkirakan setiap tahunnya 48 juta orang jatuh sakit akibat penyakit bawaan pangan, 128.000 orang dirawat di rumah sakit, dan 3.000 orang meninggal. Setiap manusia berisiko terkena penyakit bawaan pangan. Diperkirakan bahwa setiap tahun, satu dari enam orang Amerika Serikat akan mengalami penyakit bawaan pangan. Namun, beberapa individu manusia mempunyai risiko lebih besar untuk mengalami penyakit yang lebih serius atau bahkan kematian jika suatu individu terkena penyakit bawaan pangan. Dampak dari patogen ini juga berbeda-beda di setiap wilayah, karena kesadaran masyarakat terhadap kebersihan makanan berbeda-beda di setiap negara. Sebagian besar patogen bawaan pangan masuk sebagai kontaminan eksogen selama penanganan, pemrosesan, dan penyiapan, bukan sebagai kontaminan endogen (Switaj et al., 2015; CDC, 2023; FSIS, 2020; Asfaw et al., 2022).

Beberapa individu yang berisiko lebih besar adalah bayi, anak kecil, wanita hamil dan bayinya yang belum lahir, orang lanjut usia, dan orang dengan sistem kekebalan tubuh yang lemah (seperti penderita HIV/AIDS, kanker, diabetes, penyakit ginjal, dan pasien transplantasi). Individu tersebut menjadi sakit setelah hanya menelan sedikit bakteri berbahaya, sedangkan individu yang lain mungkin tetap bebas gejala setelah menelan ribuan. Permulaan gejala penyakit bawaan pangan dapat terjadi dalam beberapa menit hingga minggu. Selain itu gejalanya sering kali muncul sebagai gejala mirip flu, sebab orang yang sakit mungkin mengalami gejala seperti mual, muntah, diare, atau demam. Oleh karena gejalanya sering kali mirip flu, banyak manusia mungkin tidak menyadari bahwa penyakit bawaan pangan disebabkan oleh bakteri berbahaya atau

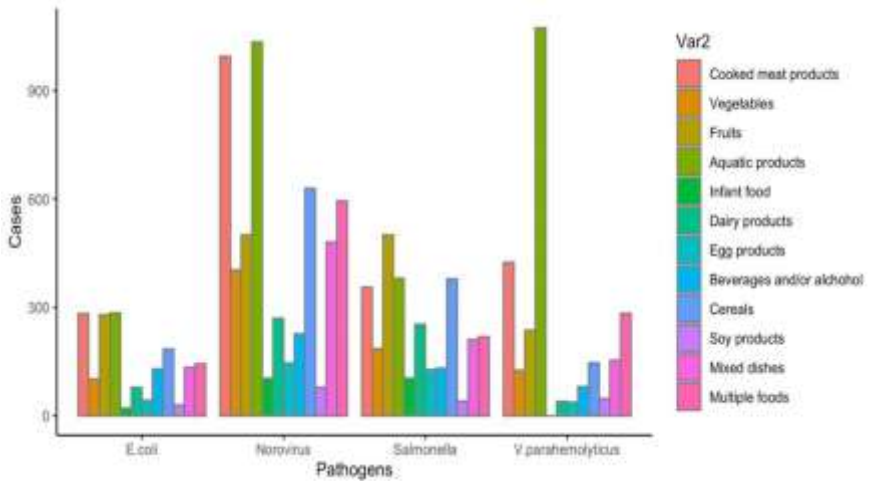
patogen lain dalam pangan (CDC, 2023; FSIS, 2020).

Diagnosis dan penatalaksanaan penyakit bawaan pangan pada individu manusia didasarkan pada riwayat dan pemeriksaan fisik. Gejala umum penyakit bawaan pangan termasuk muntah, diare (dengan atau tanpa darah), demam, kram perut, sakit kepala, dehidrasi, mialgia, dan artralgia. Diagnosis pasti hanya dapat ditegakkan melalui kultur tinja atau pemeriksaan laboratorium lebih lanjut. Namun, hasil ini tidak boleh menunda pengobatan empiris jika dicurigai adanya penyakit bawaan pangan. Perawatan empiris harus fokus pada manajemen gejala, rehidrasi jika pasien mengalami dehidrasi secara klinis, dan terapi antibiotik. Penyakit bawaan pangan harus dilaporkan ke lembaga kesehatan setempat dan negara bagian; persyaratan pelaporan bervariasi antar negara bagian (Switaj et al., 2015).

Mikroorganisme patogen mencemari pangan di semua tahap rantai pangan, mulai dari peternakan hingga meja makan. Manusia dapat tertular patogen atau infeksiya melalui konsumsi berbagai pangan dan air yang terkontaminasi, atau melalui kontak dengan ternak yang terinfeksi dan kotoran hewan lainnya. Manusia yang terinfeksi dan lingkungan juga merupakan sumber penularan. Penyebab paling umum penyakit bawaan pangan di Amerika Serikat adalah virus, seperti norovirus; bakteri, seperti *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Campylobacter*, dan *Listeria*; dan parasit, seperti *Toxoplasma gondii* dan *Giardia*. Telah diketahui ada lima mikroorganisme patogen teratas yang menyebabkan penyakit, rawat inap, dan kematian akibat penyakit bawaan pangan di Amerika Serikat. Mikroorganisme menyebabkan penyakit akibat penyakit bawaan pangan yaitu *Norovirus*, *Salmonella* (non-typhoidal), *Clostridium perfringens*, *Campylobacter* dan *Staphylococcus aureus*. Kemudian, mikroorganisme menyebabkan rawat inap akibat penyakit bawaan pangan yaitu *Salmonella* (non-typhoidal), *Norovirus*, *Campylobacter*, *Toxoplasma gondii*, dan *Escherichia coli* O157. Selanjutnya, mikroorganisme menyebabkan kematian akibat penyakit bawaan pangan yaitu *Salmonella* (non-typhoidal), *Toxoplasma gondii*, *Listeria monocytogenes*, *Norovirus*, dan *Campylobacter* (Switaj et al., 2015; Asfaw et al., 2022; CDC, 2023).

Sementara penyakit bawaan pangan selama tahun 2016 hingga 2020 di provinsi Zhejiang – China, sistem surveilans menerima 75.124 kasus dengan 4826 (6,42%) rawat inap dari 31 rumah sakit. Penyebab terbanyak adalah Norovirus sebanyak 6120 kasus (42,56%), disusul Salmonella sebanyak 3351 kasus (23,30%). Tren musiman yang signifikan diamati untuk *Vibrio parahaemolyticus*, dengan angka tertinggi selama periode musim panas, mencapai puncaknya pada bulan Agustus, 1.171 kasus (38,75%), tren serupa juga diamati pada Salmonella dan Diarrheagenic *Escherichia coli* (Qi et al., 2022).

Infeksi Norovirus menunjukkan angka tertinggi pada bulan November (904, 14,77%) dan Maret (660,10,78%), terendah pada bulan Agustus, 215 kasus (3,51%). Pasien berusia antara 19 ~ 40 tahun lebih mungkin tertular Norovirus, *V. parahaemolyticus* dan Diarrheagenic *E. coli*, pasien di bawah 1 tahun merupakan pasien dengan infeksi Salmonella tertinggi, yaitu 881 kasus (26,3%). Infeksi Norovirus, *V. parahaemolyticus* dan Diarrheagenic *E. coli* dengan tingkat deteksi positif tertinggi di antara para pekerja diamati. Jumlah kasus terbesar pada kategori pangan berasal dari infeksi produk akuatik. Rumah pribadi adalah tempat paparan yang paling umum. Ilustrasi visual empat jenis penyakit bawaan pangan disebabkan oleh vehicle pangan berdasarkan data pemantauan penyakit di Provinsi Zhejiang – Tiongkok, 2016–2020 tersaji pada Grafik (Qi et al., 2022).



Gambar 4.3. Grafik Kategori pangan di antara kasus penyakit bawaan makanan (Qi, 2022)

Penyakit bawaan pangan tersebut timbul disebabkan oleh konsumsi pangan yang terkontaminasi. Kontaminasi pangan dapat berasal dari berbagai sumber. Kontaminan termasuk air yang terkontaminasi, lalat, hewan dan hewan peliharaan, peralatan masak dan perkakas kotor, debu, dan kotoran tambahan. Kotoran, nanah, sekret pernapasan, dan limbah infeksius lainnya yang terkontaminasi dari penjamah makanan yang tidak sehat dapat mengkontaminasi pangan. Tingkat kontaminasi mikroorganisme pada pangan di Ethiopia dari berbagai sumber tersaji pada Tabel 3 (Asfaw et al., 2022).

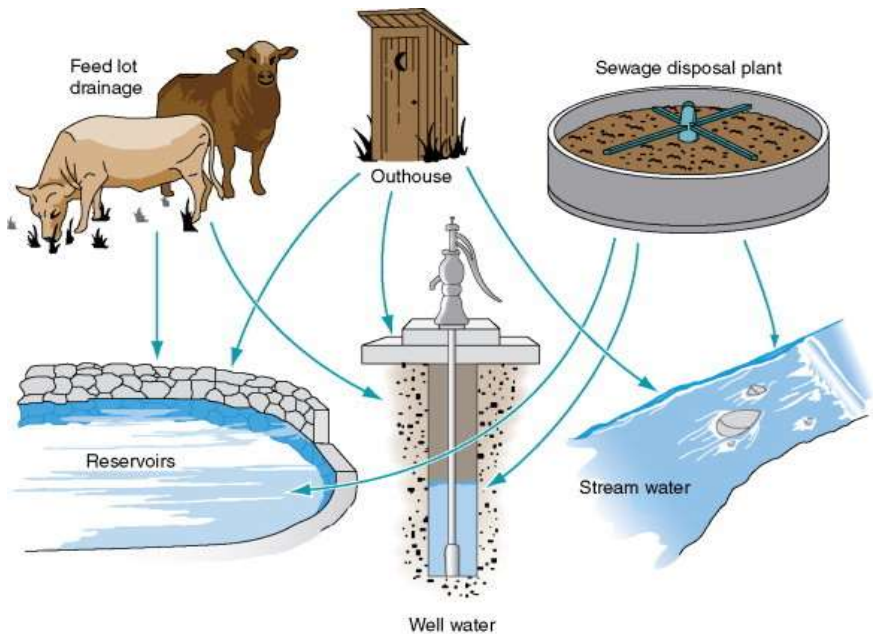
Tabel 4.3. Tingkat kontaminasi mikroorganisme pada pangan dari berbagai sumber (Asfaw et al., 2022)

Food Items	Source of Sample	Result and Isolated Bacteria
Locally prepared fresh fruit juice	Juice houses	<i>E. coli</i> and other indicator organisms (Total coliform, fecal coliform and total viable bacterial count)
Packed and fresh fruit juice (non-refrigerated)	Supermarkets and cafes	<i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , <i>Shigella</i> spp., <i>Salmonella</i> spp., <i>Klebsiella</i> spp., <i>Pseudomonas</i> spp.
Mushroom, carrot, potato, Lentil, moringa, onion, salads and others	Retrospective data food microbiology laboratory of EPHI	<i>E.coli</i> , <i>S. aureus</i> , and indicator organism (total coliform, fecal coliform, Mesophilic aerobic bacteria and yeast and mold cont.)
Orange, banana, tomato, cabbage	Local markets	<i>S. aureus</i> , <i>Salmonella</i> spp., and indicator organism (total coliform, fecal coliform, Mesophilic aerobic bacteria and yeast and mold count)
Tomato, cabbage, green pepper, carrot, lettuce	Local vendor	<i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , <i>Shigella</i> spp., <i>Salmonella</i> spp.
Avocado, guava	Juice houses	<i>Shigella</i> spp., <i>Salmonella</i> spp., and Indicator organisms (total coliform count, fecal coliform count, <i>S. aureus</i> count, Mesophilic aerobic bacteria and total yeast and mold counts)
Lettuce, cabbage, carrots	Farm and market	Indicator organisms (total aerobic mesospheric count, total coliform count, fecal coliform count and total yeast and mold counts)
Lettuce, cabbage, tomato, carrots, potato, green pepper, onion	From irrigation farm land with river	<i>S. aureus</i> , <i>Salmonella</i> spp., and indicator organism (total coliform and fecal coliform)
Mango and pineapple juice	Cafes and juice houses	<i>Citrobacter</i> spp., <i>Salmonella</i> spp., <i>E. coli</i> , <i>Enterobacter</i> spp., <i>Klebsiella</i> spp., <i>Pseudomonas</i> spp. and indicator organism
Some vegetable like lettuce	Locally produced and marketed vegetable	<i>E. coli</i> (indicator organism)
Lettuce	Irrigation (study purpose)	<i>E. coli</i> O157:H7

Penularan penyakit melalui kontak tidak langsung bisa juga melalui jalur penularan fecal-oral. Ketika air yang terkontaminasi limbah digunakan untuk minum, mencuci, atau menyiapkan pangan, merupakan bentuk penularan tidak langsung yang signifikan. Hal

tersebut terutama untuk penyakit gastrointestinal seperti kolera, infeksi rotavirus, *cryptosporidiosis*, dan giardiasis (NIH, 2007).

Air umumnya menjadi sumber infeksi bila terkontaminasi oleh mikroba tanah, atau kotoran hewan atau manusia. Limbah mentah dapat mencemari air minum saat terjadi badai atau banjir ketika sistem pembuangan limbah kewalahan, atau jika tidak diolah secara memadai dan dibuang ke perairan setempat. Ada juga kekhawatiran mengenai potensi teroris menggunakan air sebagai reservoir patogen bioterorisme. Skema sumber pencemaran air tersaji pada gambar 3 (Doron and Gorbach, 2008).

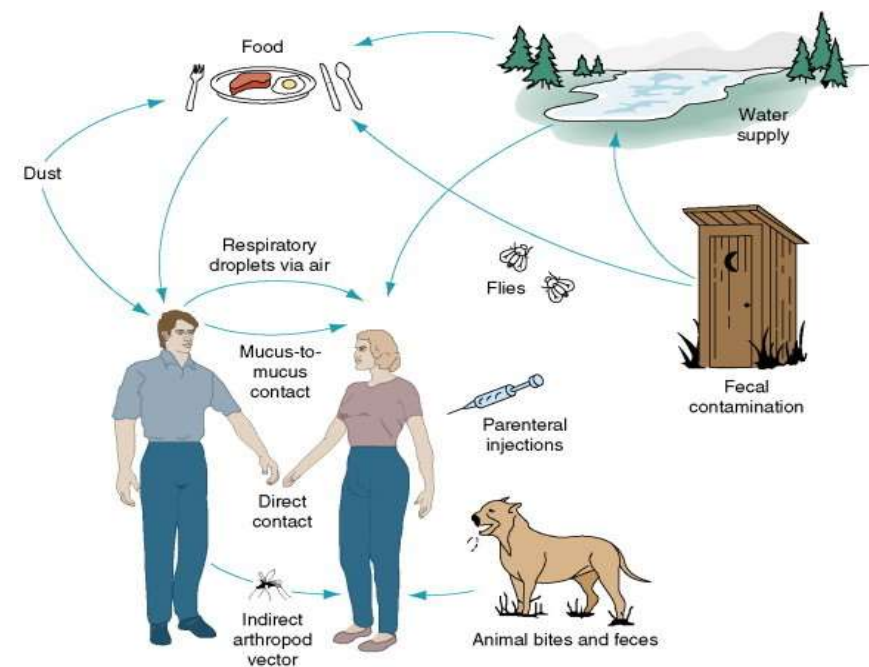


Gambar 4.3. Sumber pencemaran air (Doron and Gorbach, 2008)

Cara penularan adalah rute penyebaran infeksi. Patogen tertentu dapat menggunakan lebih dari satu rute penularan dari reservoir ke inang. Cara penularan ini merupakan contoh penularan horizontal karena agen penular ditularkan dari orang ke orang dalam suatu kelompok. Beberapa penyakit juga ditularkan secara vertikal; artinya, penyakit ini ditularkan dari orang tua ke anak selama proses reproduksi (melalui sperma atau sel telur),

perkembangan janin, atau kelahiran. Penyakit yang menular secara vertikal antara lain AIDS dan herpes encephalitis (yang terjadi ketika bayi tertular virus herpes simpleks tipe II saat melahirkan melalui vagina) (Jacob and Martina, 2023; NIH, 2007).

Cara utama penularan infeksi bakteri ada lima yaitu kontak, melalui udara, tetesan, vektor, dan kendaraan (benda mati yang terkontaminasi seperti makanan, air, dan benda). Sementara, hal yang menyebabkan agar agen infeksi menyebar hingga menyebabkan penyakit, kondisi tertentu harus ada. Proses ini disebut rantai infeksi, yang terdiri dari enam tahap. Tahap dimulai dari Agen penyebab; Reservoir infeksi; Jalur keluar; Mode transmisi; Jalur masuk; dan Host yang rentan. Infeksi dapat terjadi ketika semua enam link penuh utuh. Dengan memutus rantai ini, penyebaran infeksi dapat dihentikan. Skema cara penularan penyakit tersaji pada gambar 4 (Doron and Gorbach, 2008; Jacob and Martina, 2023).

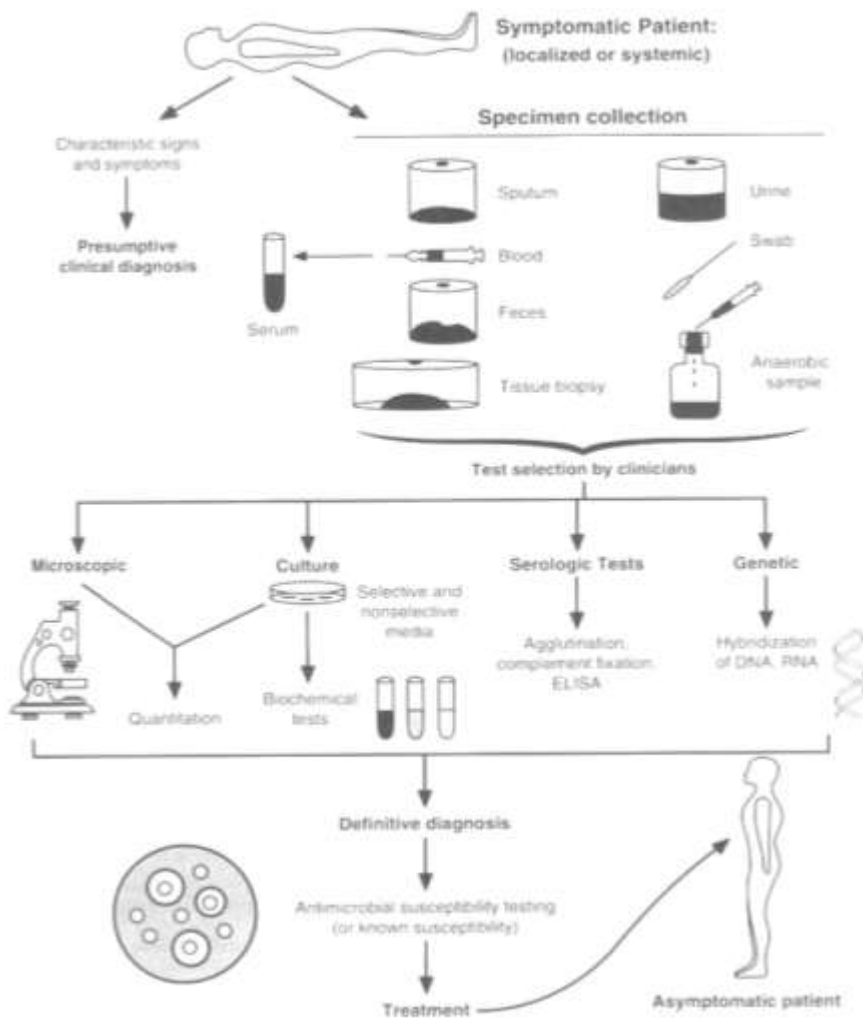


Gambar 4.5. Cara penularan penyakit (Doron and Gorbach, 2008)

4.5 Tes Diagnostik

Gambaran klinis suatu penyakit menular mencerminkan interaksi antara inang dan mikroorganisme. Interaksi ini dipengaruhi oleh status kekebalan tubuh dan faktor virulensi mikroba. Tanda dan gejala bervariasi menurut lokasi dan tingkat keparahan infeksi. Diagnosis memerlukan gabungan informasi, termasuk riwayat, pemeriksaan fisik, temuan radiografi, dan data laboratorium (Washington, 1996).

Oleh karena itu, seringkali perlu menggunakan metode laboratorium mikrobiologi untuk mengidentifikasi agen etiologi tertentu. Mikrobiologi medis diagnostik adalah disiplin ilmu yang mengidentifikasi agen etiologi penyakit. Tugas laboratorium mikrobiologi klinis adalah menguji spesimen dari pasien untuk mencari mikroorganisme yang merupakan, atau mungkin menjadi, penyebab penyakit dan memberikan informasi (jika diperlukan) tentang aktivitas *in vitro* obat antimikroba terhadap mikroorganisme yang teridentifikasi. Prosedur laboratorium yang digunakan untuk memastikan diagnosis klinis penyakit menular dengan etiologi bakteri tersaji pada Gambar 5 (Washington, 1996).



Gambar 4.6. Prosedur laboratorium diagnosis klinis penyakit menular dengan etiologi bakteri (Washington, 1996)

Pada laboratorium tes atau uji diagnostik dapat dilakukan dengan beberapa cara. Misalnya, pewarnaan diterapkan pada spesimen yang telah difiksasi pada slide mikroskop. Biasanya, tes pertama yang dilakukan untuk mendiagnosis kemungkinan infeksi bakteri adalah dengan pewarnaan Gram. Dinding sel terbuat dari gula dan asam amino, dan pada bakteri Gram positif dinding ini

tebal, terletak di luar membran sel, dan mengandung makromolekul lain, sedangkan pada bakteri Gram negatif dindingnya tipis dan dilapisi oleh lapisan selaput luar. Ketika dilakukan prosedur pewarnaan Gram, organisme Gram positif, seperti *Staphylococcus*, mempertahankan warna ungu, sedangkan organisme Gram negatif tidak. Pewarnaan kedua kemudian ditambahkan untuk memungkinkan visualisasi organisme Gram-negatif, seperti *Escherichia coli*, yang tampak berwarna merah muda atau merah di bawah mikroskop (Doron and Gorbach, 2008).

Mengidentifikasi agen penyebab infeksi di bawah mikroskop sebagai Gram-positif atau Gram-negatif dapat memungkinkan dokter dan atau klinisi untuk memprediksi dengan lebih akurat antibiotik yang mungkin efektif. Morfologi bakteri di bawah mikroskop (pendek vs. panjang, bulat vs. tipis, bercabang vs. lurus) memberikan petunjuk lain mengenai identitas organisme. Beberapa organisme seperti *Mycobacteria* termasuk tuberkulosis, tidak mudah menyerap pewarnaan Gram dan memerlukan pewarnaan khusus untuk divisualisasikan. Pewarnaan lain yang lebih jarang digunakan mengandung antiserum berlabel imunofluoresen spesifik dan memberikan diagnosis organisme seperti *Streptococcus hemolitik grup A*, wabah, dan sifilis. Meskipun diagnosis pada tingkat spesies tidak mungkin dilakukan dengan metode ini, metode ini membantu mengkategorikan jenis infeksi dengan cepat dan memandu pengobatan awal (Doron and Gorbach, 2008).

Pengujian juga dilakukan dengan mikroskop medan gelap (*dark field microscopy*) adalah teknik yang melibatkan adaptasi mikroskop sehingga organisme dilihat dengan latar belakang gelap, bukan terang, dengan sumber cahaya menerangi bakteri dari samping, bukan dari belakang organisme. *Spirochetes*, bakteri tipis yang termasuk agen sifilis dan *frambusia*, divisualisasikan dengan cara ini. Mikroskop fluoresen (*fluorescent microscopy*), dengan atau tanpa pewarna khusus, merupakan teknik yang memanfaatkan sumber sinar UV dan dapat digunakan untuk memvisualisasikan *Mycobacteria* seperti tuberkulosis (Doron and Gorbach, 2008).

Peralatan komersial digunakan untuk mengidentifikasi berbagai organisme dari spesimen cairan tubuh. Penyakit Legionnaire di diagnosis dari sampel urin, meningitis meningokokus

atau pneumokokus dari cairan serebrospinal, dan *Streptococcus pyogenes* dari usap tenggorokan. Selain itu terdapat peralatan komersial untuk mendeteksi antigen *Helicobacter pylori* dalam tinja telah dikembangkan, yang memiliki sensitivitas dan spesifisitas lebih besar dibandingkan deteksi antibodi terhadap organisme tersebut. Keuntungan dari pendekatan deteksi antigen ini adalah kecepatannya (Doron and Gorbach, 2008).

Probe adalah molekul yang mengidentifikasi keberadaan gen tertentu yang diketahui dalam suatu spesimen tanpa memerlukan kultur. Pemeriksaan racun *Escherichia coli* atau kolera dapat dilakukan langsung pada tinja. Pemeriksaan untuk gonore dan klamidia dilakukan pada cairan genital atau urin. Reaksi berantai polimerase (*polymerase chain reaction/PCR*) digunakan untuk memperkuat sejumlah kecil DNA dari beberapa bakteri untuk menghasilkan jutaan salinan dalam beberapa jam. Bakteri yang berguna dalam teknik ini termasuk *Helicobacter pylori*, penyebab penyakit tukak lambung, dan *Mycoplasma pneumoniae*, yang menyebabkan pneumonia berjalan (Doron and Gorbach, 2008).

Laboratorium mikrobiologi dasar umumnya mampu membiakkan kultur bakteri dari darah, dahak, dan urin, namun dengan bahan yang tepat cairan atau jaringan tubuh apa pun dapat diproses untuk dibiakkan dalam kultur. Spesimen yang dicurigai terinfeksi bakteri disebarkan pada media kultur padat kaya nutrisi atau diinokulasi ke dalam media kaldu kultur. Pada media kultur padat, ribuan bakteri tumbuh dan menghasilkan koloni yang terdiri dari sel-sel. Koloni dari spesies yang berbeda memiliki penampilan dan bau khas yang membantu identifikasinya. Dalam media kaldu kultur, pertumbuhan dideteksi dengan adanya kekeruhan dan kemudian kaldu tersebut disubkultur ke media padat untuk diidentifikasi (Doron and Gorbach, 2008).

Ketika koloni bakteri terdapat pada media kultur padat, koloni tersebut dapat diidentifikasi dengan mengklasifikasikannya berdasarkan kemampuannya untuk tumbuh dalam kondisi aerobik atau anaerobik, dengan mengamati penampakkannya pada pewarnaan Gram, dengan menguji kemampuannya menghasilkan enzim dan melakukan metabolisme gula yang dideteksi oleh tes

sederhana, dan kemampuannya memanfaatkan berbagai substrat untuk pertumbuhan. Setelah organisme diidentifikasi, kerentanannya terhadap berbagai antibiotik harus ditentukan untuk memandu terapi. Organisme tersebut diinkubasi dengan berbagai antibiotik uji untuk menentukan apakah organisme tersebut akan tumbuh jika ada (Doron and Gorbach, 2008).

Pengujian interaksi antigen-antibodi dapat menjadi cara yang berguna untuk menentukan adanya infeksi bakteri, khususnya dalam kasus organisme yang sulit tumbuh di laboratorium. Pengujian serologis dalam banyak kasus terbatas karena perlunya waktu beberapa minggu agar tubuh dapat mengembangkan respons imun terhadap infeksi. Serologi sangat berguna untuk infeksi bakteri seperti sifilis dan brucellosis, yang tidak mudah untuk ditumbuhkan dalam kultur. Memang terkadang satu-satunya cara untuk menilai keefektifan perlakuan suatu infeksi adalah dengan mengikuti hasil serologis (Doron and Gorbach, 2008).

4.6 Perspektif Masa Depan

Pembangunan sistem kesehatan yang lebih kuat dengan infrastruktur diagnostik yang lebih kuat, peningkatan pencitraan diagnostik dan kapasitas mikrobiologi, serta alur kerja yang terstandarisasi merupakan langkah-langkah penting untuk mengatasi beban besar infeksius ini, bersamaan dengan penerapan pengendalian infeksi dan tindakan penanganan antimikroba yang tepat (GBD, 2022).

Selain itu, kemajuan lebih lanjut akan mendorong penerapan laboratorium mikrobiologi keliling secara luas di daerah terpencil, baik di wilayah dengan sumber daya terbatas maupun kaya sumber daya dalam waktu dekat meskipun masih terdapat tantangan. Ahli mikrobiologi klinis, sebagai ahli yang menjembatani praktik laboratorium dan klinis dalam penyakit menular, harus didorong untuk mengambil peran utama dalam validasi, pertimbangan, penerapan dan pengendalian mutu, serta penggunaan laboratorium mikrobiologi keliling (Sanguinetti et al., 2019).

Strategi pencegahan yang penting mencakup peningkatan akses terhadap air minum yang aman dan fasilitas sanitasi, peningkatan tingkat vaksinasi, pengembangan vaksin baru, dan

peningkatan akses terhadap antibiotik yang tepat untuk suatu infeksi. Ada kebutuhan untuk menyelaraskan hak atas akses antimikroba dengan penggunaan yang tidak bijaksana, khususnya yang berkaitan dengan antimikroba generasi baru yang mahal. Pemodelan matematis prediktif dan kemajuan lebih lanjut dalam epidemiologi infeksi genom akan meningkatkan wawasan di tingkat global untuk memahami evolusi, epidemiologi, dan patogenesis patogen, dan akan memberikan informasi yang lebih baik untuk pendekatan di masa depan (GBD, 2022).

4.7 Rangkuman

Mikroorganisme yang mampu menyebabkan penyakit disebut patogen. Istilah penyakit mengacu pada kondisi yang mengganggu fungsi jaringan normal. Penyakit menular (*infectious disease*) merupakan penyakit yang disebabkan oleh suatu mikroorganisme patogen (seperti bakteri, virus, dan jamur) atau produk racunnya yang masuk ke dalam tubuh, berkembang biak, dan dapat menimbulkan infeksi. Agen infeksi menyebar hingga menyebabkan penyakit, kondisi tertentu harus ada melalui rantai infeksi, yang terdiri dari enam tahap. Tahap dimulai dari Agen penyebab; Reservoir infeksi; Jalur keluar; Mode transmisi; Jalur masuk; dan Host yang rentan. Infeksi dapat terjadi ketika semua enam link penuh utuh. Dengan memutus rantai ini, penyebaran infeksi dapat dihentikan.

Tugas Dan Evaluasi

- 1) Apa yang saudara ketahui mengenai infeksi?

DAFTAR PUSTAKA

- Fitzpatrick, M.C., Bauch, C.T., Townsend, J.P. et al. Modelling microbial infection to address global health challenges. *Nat Microbiol* 4, 1612–1619 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41564-019-0565-8>
- [NIH] National Institutes of Health (US); Biological Sciences Curriculum Study. NIH Curriculum Supplement Series [Internet]. Bethesda (MD): National Institutes of Health (US); 2007. Understanding Emerging and Re-emerging Infectious Diseases. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK20370/>
- Doron S, Gorbach SL. Bacterial Infections: Overview. *International Encyclopedia of Public Health*. 2008:273–82. doi: 10.1016/B978-012373960-5.00596-7. Epub 2008 Aug 26. PMID: PMC7149789.
- Zachary JF. Mechanisms of Microbial Infections. *Pathologic Basis of Veterinary Disease*. 2017:132–241.e1. doi: 10.1016/B978-0-323-35775-3.00004-7. Epub 2017 Feb 17. PMID: PMC7158295.
- Jacob, George, and Martina N Cummins, 'The Concept of Chain of Infection and Infection Control Principles', in Cheuk Yan William Tong, Caryn Rosmarin, and Armine Sefton (eds), *Tutorial Topics in Infection for the Combined Infection Training Programme* (Oxford, 2019; online edn, Oxford Academic, 12 Nov. 2020), <https://doi.org/10.1093/oso/9780198801740.003.0027>
- Drexler M; Institute of Medicine (US). What You Need to Know About Infectious Disease. Washington (DC): National Academies Press (US); 2010. I, How Infection Works. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK209710/>
- Washington JA. Principles of Diagnosis. In: Baron S, editor. *Medical Microbiology*. 4th edition. Galveston (TX): University of Texas Medical Branch at Galveston; 1996. Chapter 10. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK8014/>

- [GBD] Global Burden of Disease. 2022. GBD 2019 Antimicrobial Resistance Collaborators. Global mortality associated with 33 bacterial pathogens in 2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2022 Dec 17;400(10369):2221-2248. doi: 10.1016/S0140-6736(22)02185-7. Epub 2022 Nov 21. PMID: 36423648; PMCID: PMC9763654.
- Sanguinetti, M., Seme, K., & Poljak, M. (2019). Mobile microbiology: an evolving concept in diagnosis of infectious diseases. *Clinical Microbiology and Infection*. doi:10.1016/j.cmi.2019.12.016
- Asfaw T, Genetu D, Shenkute D, Shenkutie TT, Amare YE, Yitayew B. Foodborne Pathogens and Antimicrobial Resistance in Ethiopia: An Urgent Call for Action on “One Health”. *Infect Drug Resist*. 2022;15:5265-5274. <https://doi.org/10.2147/IDR.S375043>
- [CDC] Centers for Disease Control and Prevention. 2023. Foodborne illnesses and germs. (2023, August 9). Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/foodsafety/foodborne-germs.html>
- [FSIS] Food Safety and Inspection Service. 2020. Foodborne Illness and Disease: Oct 21, 2020. <https://www.fsis.usda.gov/food-safety/foodborne-illness-and-disease>
- Switaj TL, Winter KJ, Christensen SR. Diagnosis and Management of Foodborne Illness. *Am Fam Physician*. 2015 Sep 1;92(5):358-65. PMID: 26371569.
- Qi, X., Alifu, X., Chen, J. et al. Descriptive study of foodborne disease using disease monitoring data in Zhejiang Province, China, 2016–2020. *BMC Public Health* 22, 1831 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12889-022-14226-1>
- Ryan, D., Ojha, U. K., & Jaiswal, S. (2016). The Small RNA DsrA Influences the Acid Tolerance Response and Virulence of *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium. *Frontiers in Microbiology*, 7. doi:10.3389/fmicb.2016.00599

- Lalaouna D, Morissette A, Carrier MC, Massé E. DsrA regulatory RNA represses both hns and rbsD mRNAs through distinct mechanisms in *Escherichia coli*. *Mol Microbiol*. 2015 Oct;98(2):357-69. doi: 10.1111/mmi.13129. Epub 2015 Sep 4. PMID: 26175201.
- Bhandari J, Thada PK, DeVos E. Typhoid Fever. [Updated 2022 Aug 10]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557513/>
- Shu-Kee Eng, Priyia Pusparajah, Nurul-Syakima Ab Mutalib, Hooi-Leng Ser, Kok-Gan Chan & Learn-Han Lee (2015) *Salmonella*: A review on pathogenesis, epidemiology and antibiotic resistance, *Frontiers in Life Science*, 8:3, 284-293, DOI: 10.1080/21553769.2015.1051243
- Meng X, He M, Xia P, Wang J, Wang H, Zhu G. Functions of Small Non-Coding RNAs in *Salmonella*-Host Interactions. *Biology*. 2022; 11(9):1283. <https://doi.org/10.3390/biology11091283>
- van Seventer JM, Hochberg NS. Principles of Infectious Diseases: Transmission, Diagnosis, Prevention, and Control. *International Encyclopedia of Public Health*. 2017:22-39. doi: 10.1016/B978-0-12-803678-5.00516-6. Epub 2016 Oct 24. PMCID: PMC7150340.

BAB 5

PATOGENITAS

Oleh Ani Umar

5.1 Pendahuluan

Patogen merupakan Mikroorganisme yang mampu menginfeksi inang dan menghasilkan penyakit. Infeksi dan penyakit tidak selalu terjadi bersamaan. (Bhatia and Lal Ichhpujani, 2008). Bakteri bisa menyebabkan banyak infeksi yang berbeda, mulai dari tingkat keparahan yang tidak terlihat hingga parah. Kapasitas organisme untuk menyebabkan penyakit mencerminkan kemampuan patogenitasnya (Bhatia & Lal Ichhpujani, 2008).

Patogenitas digunakan untuk mengkarakterisasi suatu hal tertentu spesies dan virulensi digunakan untuk menggambarkan jumlah penyebab penyakit, sifat-sifat suatu populasi (strain) dan suatu spesies patogen. (Kayser F.H et al., 2005) Patogenitas dan virulensi pada mikroorganisme berhubungan dengan kerentanan suatu spesies inang dan disposisi dalam organisme inang tertentu, sehingga seseorang mungkin memiliki kecenderungan yang sangat tinggi hingga yang resisten (Kayser F.H et al., 2005).

5.2 Mikroorganisme Patogenik

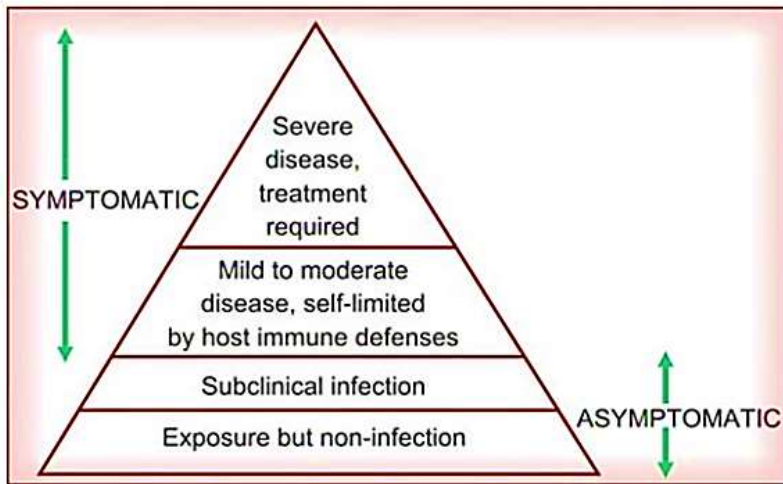
Bakteri dikelompokkan menjadi 3 kelompok besar yaitu Patogen Frank, Patogen Oportunistik, Non Patogen (Bhatia & Lal Ichhpujani, 2008).

5.2.1 Patogen Frank

Ketika diisolasi dari pasien, patogen yang terang-terangan muncul dianggap sebagai kemungkinan agen suatu penyakit, misalnya, *Salmonella typhi*, *Neisseria gonorrhoeae* dan *Yersinia pestis* (Bhatia & Lal Ichhpujani, 2008).

5.2.2 Patogen Oportunistik

Mikroorganisme yang dapat ditemukan dan dapat menyebabkan penyakit dapat ditemukan seperti pada rizosfer yaitu bakteri patogen manusia yang sejati dan oportunistik(Mendes et al., 2013). Selain itu dapat diisolasi dari pasien yang mekanisme pertahanannya terganggu, misalnya Infeksi *Staphylococcus Epidermidis*(Brown & Smith, 2012).



Gambar 5.1. Infeksi respon host
(Sumber: (Bhatia & Lal Ichhpujani, 2008)

5.2.3 Non Patogen

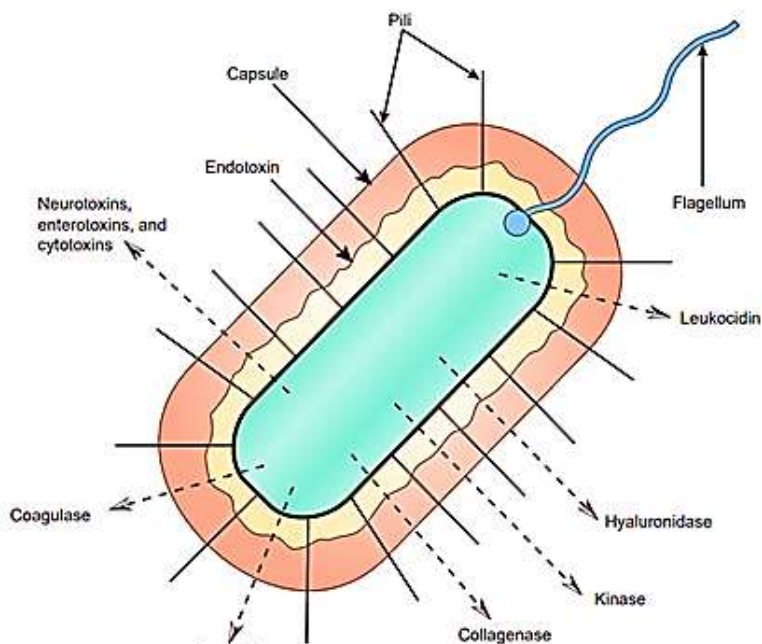
Penyakit ini jarang atau tidak pernah menyebabkan penyakit pada manusia. *Basil subtilis* adalah contoh mikroorganisme nonpatogenik. Penyakit yang muncul karena penyakit yang diderita sang inang pertemuan dengan patogen bergantung pada keduanya kondisi inang dan karakteristik tertentu mikroorganisme, karakteristik yang berkontribusi dengan kemampuan suatu mikroba untuk menghasilkan penyakit disebut sebagai faktor virulensi.(Bhatia & Lal Ichhpujani, 2008)

5.3 Faktor Virulensi Mikroorganisme

Virulensi adalah ukuran atau derajat patogenitas. Meskipun semua patogen menyebabkan penyakit, ada pula yang lebih ganas daripada yang lain yaitu mereka lebih mampu menyebabkan penyakit. misalnya, dibutuhkan lebih sedikit sel *Shigella* buat menyebabkan shigellosis (penyakit diare akibat bakteri) dibandingkan dengan *Salmonella* sel menyebabkan salmonellosis (diare bakteri lainnya penyakit). oleh karena itu, *Shigella* dianggap lebih ganas daripada *Salmonella*. dalam beberapa kasus, strain tertentu dari spesies tertentu lebih ganas dibandingkan strain lainnya (Engelkirk & Duben-Engelkirk, 2008).

Faktor virulensi secara garis besar dapat dibagi menjadi: sifat invasif yaitu kemampuan untuk memasuki jaringan inang, berkembang biak, dan menyebar, sedangkan toksigenisitas merupakan kemampuan menghasilkan zat beracun dan ekspresi fenotipik yang dimediasi plasmid (Bhatia & Lal Ichhpujani, 2008). Sebagian besar patogen mempunyai banyak faktor seperti itu dan meskipun beberapa telah teridentifikasi, namun faktor tersebut masih tetap tidak diketahui secara pasti bagaimana masing-masing faktor dalam semua kasus berfungsi dalam produksi penyakit. (Bhatia & Lal Ichhpujani, 2008). residu antimikroba memberikan tekanan seleksi yang mempengaruhi perolehan resistensi antimikroba dan gen virulensi dalam populasi mikroba yang beragam (Wyrsh et al., 2016), dengan menguji virulensi penghapusan mutan dengan menunjukkan apabila kurang dari setengah kromosom cukup dapat menyebabkan penyakit selain dapat menentukan stratifikasi versi patogenitas yang lebih kecil (Li et al., 2020).

Sifat patogen memungkinkan mereka untuk menempel pada sel inang, menghindari kehancuran berbagai mekanisme pertahanan tubuh, atau menyebabkan penyakit disebut faktor virulensi, Faktor virulensi bersifat karakteristik fenotipik adalah ditentukan oleh genotipe organisme (Engelkirk & Duben-Engelkirk, 2008). Racun merupakan faktor virulensi yang jelas, namun faktor virulensi lainnya tidak begitu jelas. Beberapa faktor virulensi dapat dilihat pada gambar berikut ini (Bhatia & Lal Ichhpujani, 2008)



Gambar 5.2. Faktor Virulensi. Panah padat menunjukkan struktur seluler. Panah putus-putus menunjukkan produk seluler dilepaskan dari sel.

(Sumber : (Engelkirk & Duben-Engelkirk, 2008))

5.4 Penentu Patogenitas dan Virulensi Bakteri

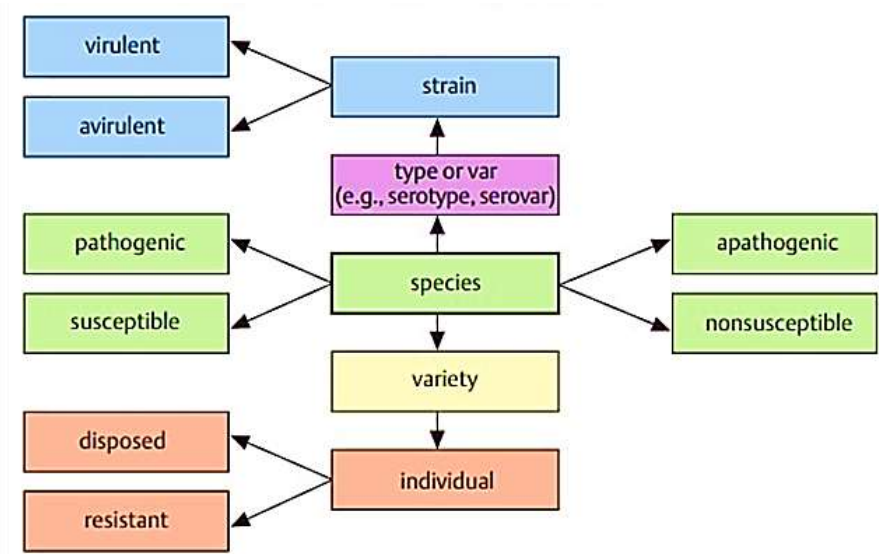
Faktor-faktor yang menentukan patogenitas dan virulensi mikroorganisme, dan sebagian besar yang diketahui berkaitan dengan mekanisme bakteri penyebab penyakit seperti saprofit, parasit, komensal, mikroorganisme, patogen, oportunistis atau mikroorganisme patogen secara fakultatif, patogenitas, keracunan, masa inkubasi, spektrum infeksi, cara infeksi, dan lain-lain (Kayser F.H et al., 2005).

Tabel 5.1. Istilah (terminologi) Dasar Infeksi (Patogen)

Istilah	Deskripsi
Saprofit	Mikroorganisme ini bersifat nonpatogenik; milik mereka habitat aslinya adalah bahan organik mati
Parasit	Organisme uniseluler atau metazoa yang hidup di dalam atau di atasnya suatu organisme dari spesies lain (inang) dengan mengorbankan inangnya
Komensal	Penduduk normal pada kulit dan mukosa; flora normal dengan demikian merupakan total populasi komensal
Mikroorganisme patogen	Patogen penyebab penyakit klasik
Oportunis atau secara Fakultatif patogen mikroorganisme	dapat menyebabkan penyakit pada individu dengan sistem kekebalan tubuh yang lemah Jika berada dalam situasi yang “tepat”; ini adalah sering kali kuman dari flora normal atau kadang dari lingkungan sekitar, hewan, atau pembawa kuman lainnya
Patogenitas	Kapasitas suatu spesies patogen untuk menyebabkan penyakit
Keracunan	Jumlah sifat penyebab penyakit dari suatu strain dari spesies yang patogen
Masa inkubasi	waktu antara infeksi dan manifestasi gejala penyakit; karakteristik penyakit spesifik ini dapat diukur dalam hitungan jam, hari, minggu, atau bahkan bertahun-tahun

Istilah	Deskripsi
Kesiapsiagaan	istilah parasitologis: waktu antara infeksi dan kemunculan pertama produk reproduksi seksual patogen tersebut (misalnya telur cacing di dalam tubuh tinja tuan rumah yang menderita kecacingan)
Spektrum infeksi	Totalitas spesies inang yg “rentan” terhadap infeksi oleh patogen tertentu
Dosis infeksi minimum	Jumlah patogen terkecil yang cukup untuk menyebabkan suatu infeksi
Cara infeksi	Metode atau jalur yang digunakan patogen untuk menyerang tuan rumah

(Sumber: (Kayser F.H et al., 2005).



Gambar 5.3. Virulensi, Patogenitas, Kerentanan, Disposisi
(Sumber : (Kayser F.H et al., 2005).

5.5 Genetika Patogenitas

Kemajuan Teknologi dalam genetika telah memperluas studi tentang fungsi PI pada mikroba patogen. (Lev et al., 2021). pada umumnya para ilmuwan melakukan pendekatan PCR dengan menggunakan rRNA untuk mengidentifikasi mikroorganisme patogen. (Caroll K et al., 2016). Gen virulensi bakteri patogen sering kali merupakan komponen elemen genetik bergerak seperti plasmid, genom bakteriofag, atau transposon konjugatif. Hal ini menyebabkan transfer lateral gen-gen antar sel bakteri, daerah yang menunjukkan frekuensi gen virulensi yg tinggi pada kromosom bakteri disebut pulau patogenisitas (PI) (Kayser F.H et al., 2005).

PI ditemukan pada bakteri gram positif dan gram negatif. Ini merupakan wilayah DNA hingga 200 kb yang sering kali mengandung beberapa gen virulensi berbeda dan memiliki urutan spesifik yang terletak di ujungnya, misalnya elemen IS yang memfasilitasi translokasi lateral pulau antar sel bakteri (Kayser F.H et al., 2005). peran yg dimainkan oleh perpindahan lateral pulau-pulau ini dalam proses evolusi selanjutnya digaris bawahi oleh fakta bahwa kandungan GC dalam PI seringkali berbeda dari kandungan dalam DNA kromosom (Kayser F.H et al., 2005).

5.5.1 Pertahanan terhadap Infeksi

Pertahanan terhadap Infeksi Makroorganisme memanifestasikan reaksi defensif terhadap invasi mikroorganisme dalam dua bentuk sebagai imunitas spesifik yang didapat dan sebagai imunitas nonspesifik (Kayser F.H et al., 2005)

5.5.2 Mekanisme Pertahanan Non Spesifik

Resistensi bawaan mekanisme Pertahanan Nonspesifik serta Pertahanan primer, Faktor utama dalam garis pertahanan pertama terhadap infeksi bersifat mekanis disertai beberapa faktor humoral dan seluler. Pertahanan ini merupakan upaya organisme inang untuk mencegah mikroorganisme berkolonisasi pada kulit dan mukosa sehingga mencegah infeksi

Tabel 5.2. Mekanisme Paling Penting dalam Pertahanan Nonspesifik Terhadap Infeksi

Sumber: (Kayser F.H et al., 2005)

Faktor Mekanis	Faktor Humoral	Faktor seluler
Struktur anatomi kulit dan mukosa	efek mikrobisida dari mantel asam dermal, asam laktat dari kelenjar keringat, asam klorida di lambung, dan asam lemak tidak jenuh yang disekresikan oleh kelenjar sebaceous	Normal flora of skin and mucosa
Sekresi lendir dan aliran lendir dari mukosa	Lisozim dalam air liur dan cairan air mata: pemecahan murein bakteri	Natural killer cells (large, granulated lymphocytes; null cells)
pergerakan mukosiliar epitel bersilia pada saluran pernafasan bagian bawah	Komplemen (jalur aktivasi alternatif	Fagosit profesional: mikrofag (sit granulo neutrofil dan eosinofilik); fagosit mononuklear (makrofag, monosit, dll
Peristaltik saluran pencernaan	Protein serum yang dikenal sebagai reaktan fase akut, misalnya protein C-reaktif, haptoglobin, serum amiloid A,	

Faktor Mekanis	Faktor Humoral	Faktor seluler
	fibrinogen, dan transferin (protein pengikat besi)	
Aliran urin di saluran urogenital	Fibronectin (opsonin nonspesifik); interferon antivirus	

1. Pertahanan primer

Faktor utama dalam garis pertahanan pertama terhadap infeksi bersifat mekanis, disertai beberapa faktor humoral dan seluler. Pertahanan ini merupakan upaya organisme inang untuk mencegah mikroorganisme berkolonisasi pada kulit dan mukosa sehingga mencegah infeksi invasi umum (Kayser F.H et al., 2005)

2. Pertahanan Sekunder

Garis pertahanan kedua terdiri dari humoral serta faktor seluler dalam darah dan jaringan, yang paling penting adalah fagosit profesional

3. Fagositosis

Fagositosis diwujudkan oleh granulosit eosinofilik polimorfon bening, neutrofil, dan eosinofilik jua dikenal menjadi mikrofag dan oleh fagosit mononuklear (makrofag). serta berperan krusial pada presentasi antigen(Kayser F.H et al., 2005). Fagosit mampu menelan kedua materi partikulat (fagositosis) dan zat terlarut (pinositosis). Reseptor pada membran fagosit memulai kontak Partikel yang menempel pada membran ditelan, dicerna, dan disimpan dalam vakuola yang terikat membran, yang disebut beberapa fago kemudian menyatu dengan lisosom untuk membentuk fagolisosom dan Bakteri dibunuh oleh kombinasi faktor lisosom.(Kayser F.H et al., 2005)

4. Mekanisme Pertahanan Khusus

Imunitas spesifik, berdasarkan antibodi dan sel limfosit T reaktif spesifik diperoleh melalui proses stimulasi sistem imun oleh antigen mikroba yang bersangkutan. Imunitas humoral didasarkan pada antitoksin, opsonin, antibodi mikrobisida, antibodi penetral, dll. Imunitas seluler didasarkan pada limfosit T sitotoksik (sel T pembunuh) dan sel T helper. Cacat Pada pertahanan Kekebalan Tubuh (Kayser F.H et al., 2005)

Individu yang memiliki kelainan pada pertahanan imun spesifik dan nonspesifik rentan terhadap infeksi. cacat primer efek bawaan pada sistem fagositosis yang bergantung pada komplemen jarang terjadi, begitu pula dengan defek limfosit B dan T sedangkan cacat sekunder merupakan efek yang sering diperoleh, misalnya malnutrisi orang yang sangat tua dan sangat muda, gangguan tabular (diabetes, alkoholisme), penyakit autoimun, penyakit ganas (terutama limfoma dan leukemia), infeksi sistem kekebalan tubuh (HIV). Penyakit primer yang parah pada organ parenkim, cedera pada kulit atau mukosa, terapi immunosupresif dengan kortikosteroid, sitostatika dan penekan imuno, dan radioterapi (Kayser F.H et al., 2005)

salah satu hasil kemajuan pengobatan modern adalah meningkatnya jumlah pasien dengan kelainan imun sekunder yang kini menerima perawatan di rumah sakit, seperti itu sering kali terinfeksi oleh bakteri oportunistik yang tidak akan menimbulkan ancaman serius terhadap pertahanan kekebalan normal (Kayser F.H et al., 2005)

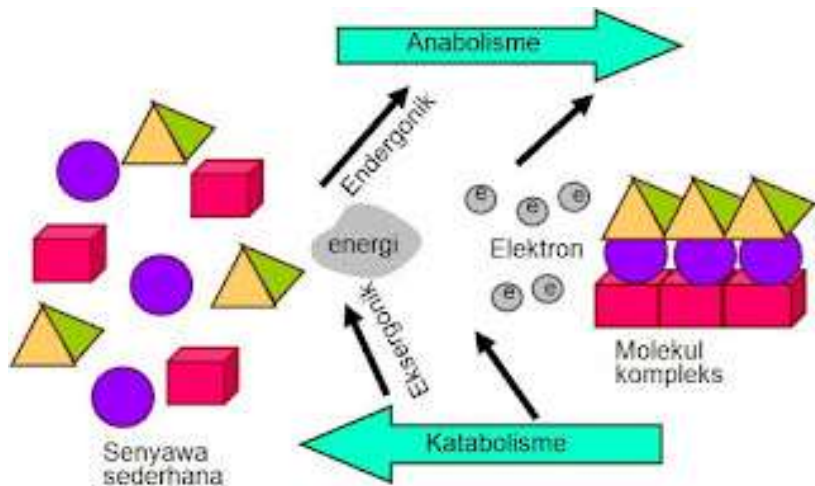
DAFTAR PUSTAKA

- Bhatia, R., & Lal Ichhpujani, R. 2008. *Essentials of Medical Microbiology*.
- Brown, A. E. (Emeritus professor of microbiology), & Smith, H. (College teacher). 2012. *Benson's microbiological applications: laboratory manual in general microbiology: short version* (Thirteenth).
- Caroll K, Butel J, Morse S, & Mietzner T. 2016. *Jawetz-Melnick-Adelbergs-Medical-Microbiology-27-edition*.
- Engelkirk, P. G., & Duben-Engelkirk, J. 2008. *LABORATORY DIAGNOSIS OF INFECTIOUS DISEASES: Essentials of Diagnostic Microbiology*. <http://avaxhome.ws/blogs/ChrisRedfield>
- Kayser F.H, Bienz K.A, Eckert J, & Zinkernagel R.M. 2005. *Medical Mikrobiology*.
- Lev, S., Bowring, B., Desmarini, D., & Djordjevic, J. T. 2021. Inositol polyphosphate–protein interactions: Implications for microbial pathogenicity. In *Cellular Microbiology* (Vol. 23, Issue 6). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/cmi.13325>
- Li, J., Fokkens, L., Conneely, L. J., & Rep, M. 2020. Partial pathogenicity chromosomes in *Fusarium oxysporum* are sufficient to cause disease and can be horizontally transferred. *Environmental Microbiology*, 22(12), 4985–5004. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15095>
- Mendes, R., Garbeva, P., & Raaijmakers, J. M. 2013. The rhizosphere microbiome: Significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. In *FEMS Microbiology Reviews* (Vol. 37, Issue 5, pp. 634–663). <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12028>
- Wyrsh, E. R., Chowdhury, P. R., Chapman, T. A., Charles, I. G., Hammond, J. M., & Djordjevic, S. P. 2016. Genomic microbial epidemiology is needed to comprehend the global problem of antibiotic resistance and to improve pathogen diagnosis. In *Frontiers in Microbiology* (Vol. 7, Issue JUN). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00843>

BAB 6

METABOLISME BAKTERI

Oleh Nurmasita



6.1 Pendahuluan

Setiap makhluk hidup membutuhkan energi untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Contoh aktivitas yang dilakukan manusia seperti berjalan, berlari, duduk, berdiri, dan lain sebagainya. Pada hewan pun juga demikian, banyak aktivitas sama yang dilakukan manusia dan hewan. Sedangkan pada tumbuhan, aktivitas yang dilakukan seperti melakukan pengolahan makanan dari air dan mineral menjadi bahan makanan yang dibutuhkan tumbuhan sebuah proses yang sering disebut sebagai proses fotosintesis. Berbagai aktivitas tersebut dapat terjadi karena adanya metabolisme.

Menurut Hefzi et al. (2016) dalam Asriati et al. (2021) bahwa salah satu proses paling penting yang terjadi pada makhluk hidup adalah metabolisme. Para proses metabolisme terjadi berbagai reaksi secara bersamaan dan menghasilkan energi yang diperlukan untuk kelangsungan makhluk hidup. Oleh karena itu, pemahaman

tentang metabolisme terus berkembang karena pentingnya proses ini (Asriati et al., 2021).

Menurut Wali et al (2021) dalam Henggu dan Nurdiansyah (2021) bahwa metabolisme secara biokimia berdampak terhadap pembentukan maupun penguraian dari makromolekul organik seperti karbohidrat, lemak, protein maupun asam nukleat (Henggu and Nurdiansyah, 2021)

Seperti makhluk hidup pada umumnya, mikroorganisme seperti bakteri juga selalu membutuhkan energi untuk memenuhi berbagai kebutuhan selnya, termasuk transportasi zat dari luar ke dalam atau keluar dari sel, melakukan pergerakan atau motilitas sel, dan sintesis bagian-bagian penyusun sel. Energi yang dibutuhkan sel bakteri berasal dari aktivitas metabolisme sel. Metabolisme adalah semua reaksi kimiawi yang dilakukan oleh sel agar dapat menghasilkan energi untuk membuat komponen sel dan melakukan pergerakan atau aktivitas. Reaksi kimia yang menggunakan energi untuk sintesis dan fungsi sel lainnya disebut asimilasi atau reaksi anabolisme. Sebaliknya, reaksi kimia yang membebaskan energi disebut reaksi disimilasi atau reaksi katabolisme. Substrat diuraikan menjadi bagian yang lebih sederhana selama proses katabolisme untuk menghasilkan energi. Dalam hal ini energi disimpan dalam bentuk ATP (*Adenosin tri phospat*) yang juga dilepaskan selama proses penguraian (Boleng, 2015).

Proses oksidasi-reduksi memungkinkan mikroorganisme untuk menghasilkan energi. Hal ini karena elektron tidak dapat berada dalam bentuk bebas, setiap reaksi reduksi mengikuti reaksi oksidasi. Energi dapat dihasilkan sebagai hasil dari reaksi oksidasi (Hafsan, 2011).

Mikroorganisme fototrof mendapatkan energi dari cahaya, sedangkan kemotrof mendapatkan energi dari zat kimia. Autotrof hanya membutuhkan zat anorganik seperti CO₂ sebagai sumber karbon, sedangkan heterotrof membutuhkan setidaknya satu nutrisi organik seperti glukosa untuk menghasilkan senyawa organik lainnya (Prayitno and Hidayati, 2017)

Pada bab ini, kita akan mempelajari lebih mendalam mengenai metabolisme yang terdiri dari katabolisme dan anabolisme yang dilakukan oleh mikroorganisme.

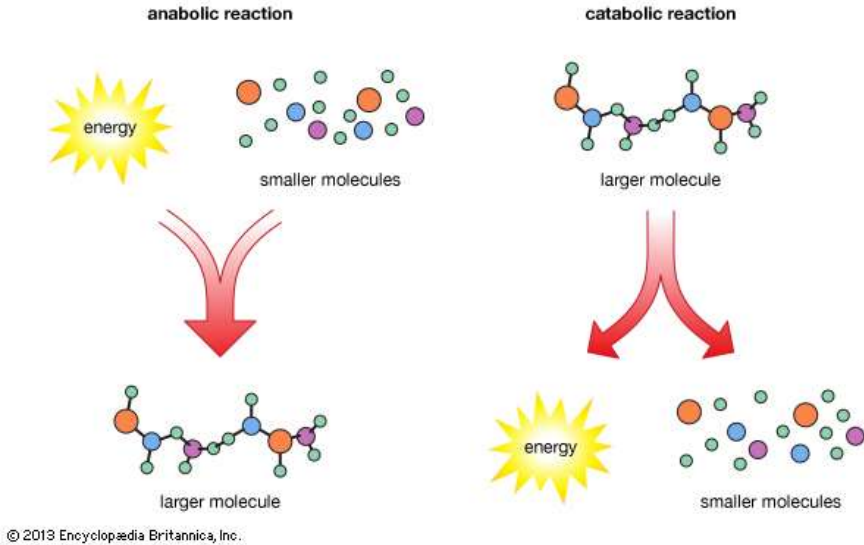
6.2 Pembagian Metabolisme

Metabolisme diartikan sebagai rangkaian reaksi kimia yang berlangsung pada sel yang menggambarkan perubahan makro molekul khususnya pada senyawa organik akibat interkonversi kimiawi secara biologis. Menurut Hefzi *et al.* (2016) dalam Asriati *et al.* (2021) menyatakan bahwa selain melibatkan berbagai reaksi, metabolisme juga dapat menghasilkan energi yang dibutuhkan untuk kelangsungan hidup organisme. Oleh karena itu, pemahaman tentang metabolisme terus berkembang dengan berbagai penelitian serta percobaan. Metabolisme sendiri terbagi menjadi dua reaksi, yaitu anabolisme dan katabolisme.

6.2.1 Katabolisme

Katabolisme adalah proses perombakan nutrisi yang disertai dengan pelepasan sejumlah energi. Dalam proses ini terjadi penguraian bahan-bahan organik menjadi bagian-bagian yang lebih sederhana dan terjadi pelepasan sejumlah energi. Energi yang dibebaskan tersebut tersimpan dalam bentuk *Adenosin Tri Phosphat* (ATP). Salah satu tahapan dalam reaksi katabolisme adalah oksidasi, yang berarti hilangnya elektron dari suatu molekul, atau juga disebut dehidrogenasi. Selama proses oksidasi, energi dilepaskan dan terbentuk ikatan energi tinggi seperti ATP. Proses lainnya dalam katabolisme adalah reduksi, yang berarti memperoleh elektron dari suatu molekul. Reduktan, atau bahan pereduksi, mendonasikan elektron, sehingga menjadi teroksidasi, sedangkan oksigen, atau bahan pengoksidasi, menerima elektron, sehingga menjadi tereduksi (Boleng, 2015).

Metabolism



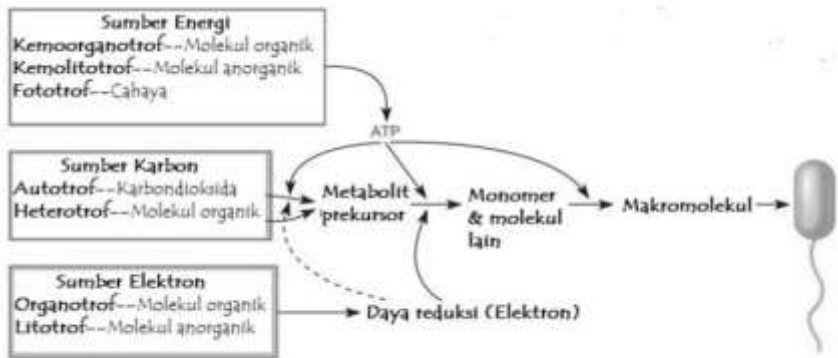
Gambar 6.1. Pembagian proses metabolisme (Sumber : Suryani, 2022)

6.2.2 Anabolisme

Istilah "anabolisme" mengacu pada reaksi asimilasi di mana energi digunakan untuk sintesis dan fungsi sel lainnya (Suryani, 2022). Anabolisme dan katabolisme tidak sama dalam beberapa situasi. Anabolicisme adalah reaksi yang membutuhkan energi, sedangkan katabolisme melepaskan energi. Anabolicisme adalah reaksi reduksi, sedangkan katabolisme adalah reaksi oksidasi. Hasil akhir dari anabolisme berfungsi sebagai prekursor untuk proses katabolisme (Yuniritha & Sulistyowati, 2021).

Mikroba menghasilkan Adenosin Trifosfat (ATP) melalui berbagai proses kimia, yang kemudian dipecah menjadi Adenosin Difosfat (ADP) dan fosfat anorganik. Selanjutnya, sejumlah energi dilepaskan, yang akan digunakan untuk pertumbuhan, reproduksi, dan kelangsungan hidup sel bakteri (Prayitno dan Hidayati, 2017). Reaksi anabolisme adalah proses pembuatan senyawa organik dalam tubuh bakteri yang memerlukan energi. Pada tahap anabolisme, energi digunakan untuk sintesis makromolekul yang

membentuk bagian dan struktur tubuh sel bakteri seperti dinding sel, membran sel, organel sel, dan komponen lainnya (Boleng, 2015).



Gambar 6.2. Keragaman sumber energi mikroba (willey et al. (2009) dalam (Prayitno and Hidayati, 2017)

Tingkat adaptasi mikroorganisme paling tinggi karena kemampuan mereka untuk hidup dalam berbagai kondisi lingkungan. Sebagian mikroorganisme dapat mengubah nutrisi yang mereka peroleh dari lingkungan menjadi Adenosin Tri Fosfat (ATP).

Anabolisme merupakan reaksi asimilasi dimana terjadi penggunaan energi untuk sintesis dan fungsi-fungsi sel lainnya. Reaksi asimilasi pada penggunaan energi dalam proses anabolisme dikelompokkan menjadi 3, yaitu:

1. Produksi panas

Suhu badan mikroorganisme meningkat karena panas yang dihasilkan oleh aktivitas metabolik normalnya. Enzim ATPase bertanggung jawab atas pembentukan panas; peran enzim ini belum diketahui, tetapi mungkin bertanggung jawab atas pembuangan ATP yang berlebihan, yang mengatur metabolisme energi sel.

2. Pergerakan (motilitas)

10% dari energi yang digunakan mikroorganisme dipakai untuk pergerakan flagella atau silia. Hasil penelitian sitokimiawi

pada bakteri motil adalah *ATPase* bergabung dengan Mg pada situs-situs membran tempat munculnya flagella.

3. Pengangkutan nutrien

Pengangkutan nutrien terdiri dari :

a. Difusi sederhana

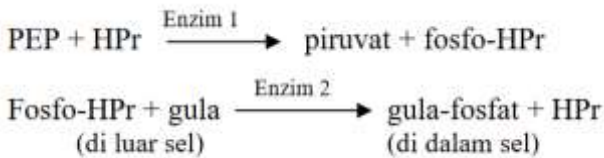
Dalam difusi sederhana, zat terlarut bergerak melalui membran semipermeabel secara acak dan tidak berinteraksi dengan zat lain pada membran..

b. Difusi dipermudah

Difusi dipermudah mengubah konsentrasi zat terlarut dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Dalam proses ini, kompleks zat terlarut dan protein khusus bergabung dengan molekul penghantar protein khusus pada membran, sehingga mereka dapat bergerak dari luar ke dalam membran dan akhirnya melepaskan molekul zat terlarut yang baru. Selain itu, proses ini tidak menghasilkan gradien elektrokimiawi dan osmotik dan tidak membutuhkan energi metabolik.

c. Translokasi kelompok

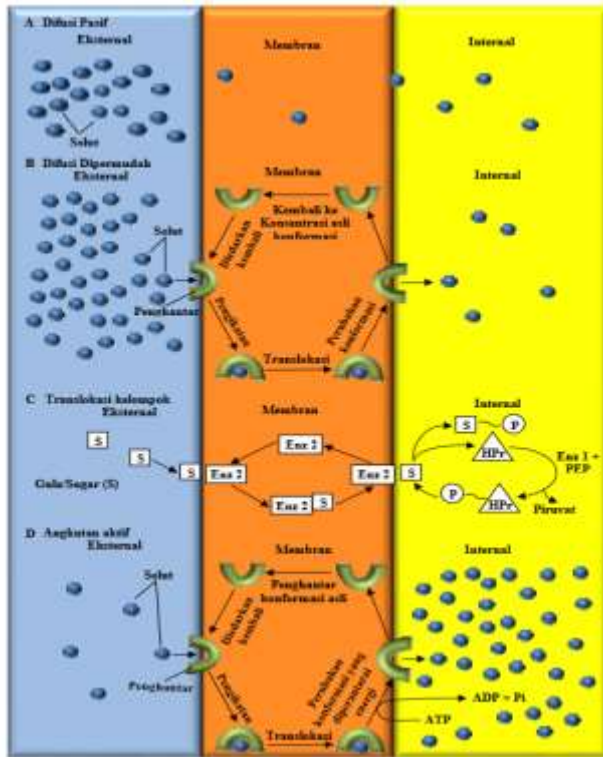
Pengangkutan senyawa-senyawa (glukosa, fruktosa, mannos) ke dalam sel-sel bakteri. Proses reaksi yang terjadi sebagai berikut:



HPr dan enzim 1 adalah protein sitoplasmik terlarut, sedangkan PEP atau fosfoenol piruvat yang berenergi tinggi.

d. Transpor aktif

Hampir semua zat-zat terlarut seperti gula, asam amino, peptida, nukleotida, dan ion-ion diambil sel melalui angkutan aktif.



Gambar 6.3. Mekanisme pengangkutan nutrisi ke dalam sel (sumber : Pelczar et al (1986); Suyani (2022))

Proses oksidasi-reduksi adalah cara bakteri mendapatkan energi. Proses oksidasi melepaskan elektron, sedangkan proses reduksi mengambil elektron. Karena elektron tidak ada dalam bentuk bebas, setiap reaksi reduksi selalu diikuti oleh reaksi oksidasi. Produksi energi dihasilkan melalui manifestasi reaksi oksidasi. (Hafsan, 2011).

Enzim dehidrogenase mengkatalisis reaksi oksidasi dengan mengirimkan elektron dan proton yang kemudian ditangkap oleh NAD⁺ dan NADP menjadi NADH dan NADPH. Fosforilasi oksidasi terjadi ketika elektron dengan energi tinggi ditransfer melalui berbagai transportasi elektron sampai akhirnya ditangkap oleh oksigen atau oksidan anorganik lainnya sebagai akseptor elektron, yang kemudian direduksi menjadi H₂O.

Pada umumnya makhluk hidup menggunakan energi yang berasal dari dua sumber, yaitu sinar matahari dan oksidasi senyawa kimia. Organisme yang menggunakan energi dari sinar matahari disebut organisme fototrofik, sedangkan organisme yang menggunakan energi dari oksidasi senyawa kimia disebut organisme kemotrofik atau autotrofik.

Reaksi fotosintesis pada mikroorganisme adalah bagian dari proses anabolisme, seperti yang terlihat pada tumbuhan tingkat tinggi. Fotosintesis pada mikroorganisme seperti bakteri terbagi menjadi dua macam, yaitu :

1. Fotosintesis tipe I (Cyanobacteria)

Fotosintesis jenis ini mirip dengan fotosintesis tumbuhan tingkat tinggi; fotosistem I dan II ada, dan elektron mengalir dari fotosistem I ke fotosistem II, mengubah NADP⁺ menjadi NADPH..

2. Fotosintesis tipe II (non-Cyanobacteria)

Berdasarkan tipe reduktan dan pigmen fotosintesisnya, mikroorganisme bakteri dengan fotosintesis tipe II (fotosintesis tipe II) terbagi menjadi 3, yaitu : Fotosintesis tipe ini tidak memiliki fotosistem II untuk memfotolisis H₂O, sehingga H₂O tidak diperlukan dalam proses fotosintesis, dan O₂ juga tidak dihasilkan dari fotosintesis tipe II ini :

- a. Chlorobiceae

Disebut juga dengan *green-sulfur bacteria*. Bakteri ini juga menggunakan hidrogen dan beberapa senyawa mengandung sulfat sebagai reduktannya.

- b. Chromaticeae

Pada prinsipnya sama dengan chromaticeae tetapi pigmen yang dimilikinya tidak hijau melainkan merah-jingga disebut dengan purple-sulfur-bacteria.

- c. Rhodospirillaceae

Bakteri ini reduktan dengan hydrogen dan berbagai senyawa organik. Bakteri ini hanya dapat fotosintesis dalam kondisi anaerob. Namun, beberapa anggota Rhodospirillaceae dapat menghasilkan pertumbuhan

non-fotosintetik ketika media memiliki nutrisi yang cukup untuk pertumbuhan.
(Hafsan, 2011)

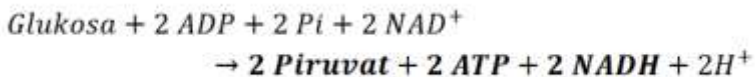
6.3 Respirasi Anerobik

6.3.1 Penguraian glukosa menjadi piruvat (Glikolisis)

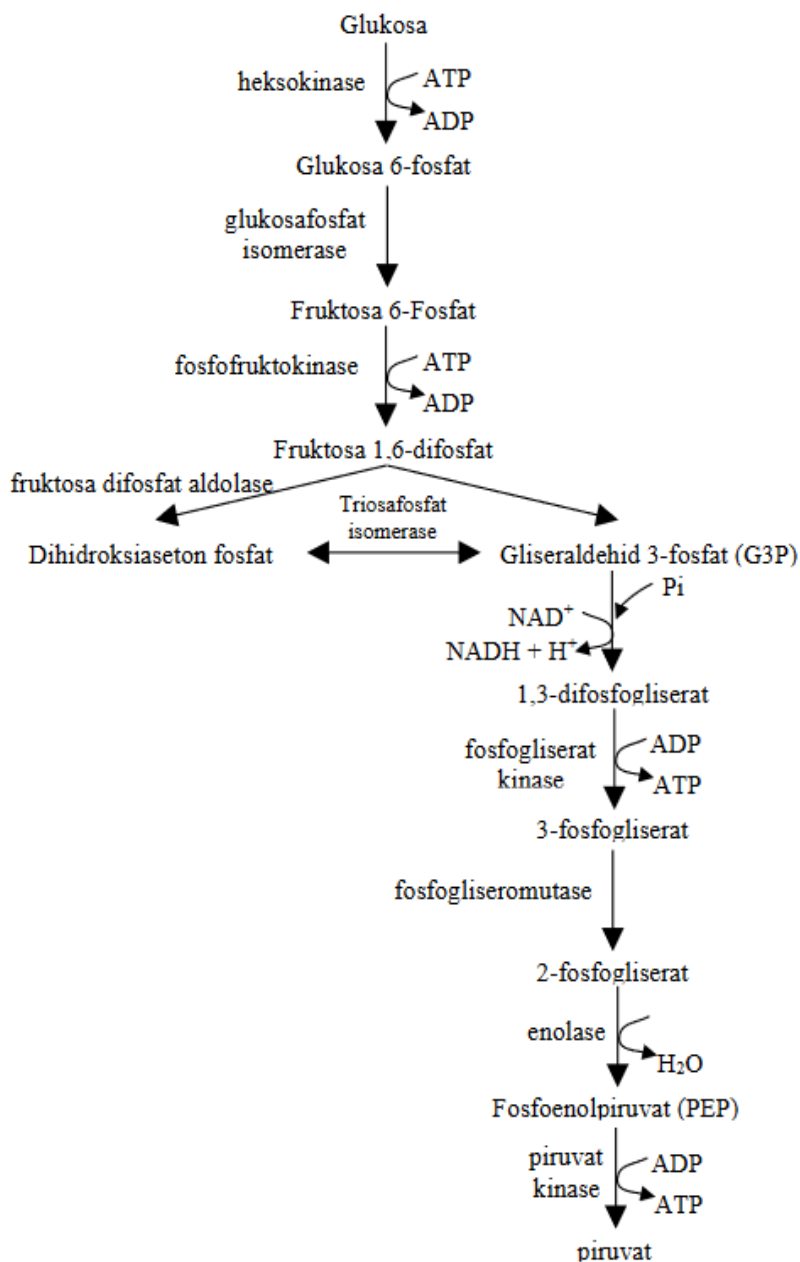
Dalam proses perubahan glukosa menjadi piruvat, terdapat tiga jalur metabolik yang digunakan oleh mikroorganisme, yaitu :

Jalur Embden-Meyerhof

Jalur Embden-Meyerhof merupakan jalur yang paling umum digunakan dalam proses katabolisme glukosa serta gula lainnya. Sebagian besar mikroorganisme yang melangsungkan respirasi secara aerobik menggunakan jalur ini untuk memecah glukosa menjadi piruvat. Jalur ini berlangsung di sitoplasma dan sangat penting dalam penyediaan bahan baku metabolit. Beberapa bakteri yang menggunakan jalur Embden-Meyerhof antara lain *Enterobacteriaceae*, *Lactobacillaceae*, *Saccharolytic elostridia*. Berikut adalah persamaan dalam jalur Embden-Meyerhof.



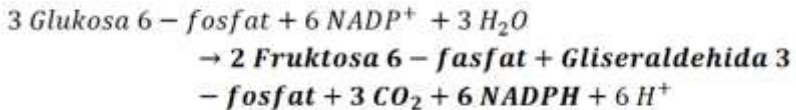
Jalur EMP menghasilkan 2 ATP dan 2 NADH + H⁺ yang digunakan dalam biosintesis dan donor hidrogen untuk pemecahan piruvat. Piruvat yang dihasilkan tersebut digunakan oleh kebanyakan mikroorganisme anaerobik untuk siklus asam sitrat. Sedangkan NADH dapat dioksidasi lebih lanjut pada keadaan respirasi maupun fermentasi.



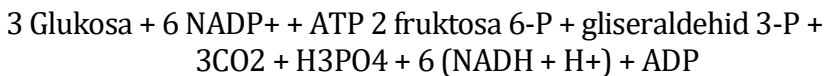
Gambar 6.4. Jalur Embden Meyerhof Parnas (EMP) (Sumber : Doelle 1975 ; Suryani, 2022).

Jalur Pentosa-Fosfat

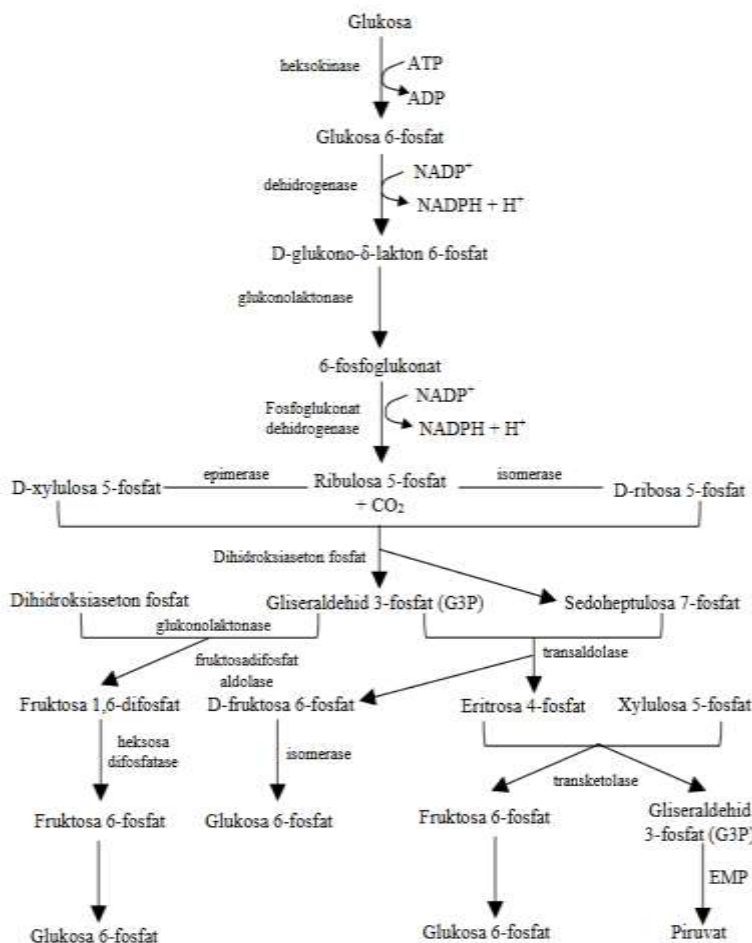
Jalur pentosa-fosfat merupakan jalur metabolik dalam proses anabolisme dan katabolisme yang dapat berlangsung baik secara aerobik maupun anaerobik. Jalur ini mengurai glukosa menjadi gula fosfat berkarbon 6 (heksosa monofosfat). Jalur pentosa-Berikut merupakan persamaan jalur pentosa-fosfat :



Jalur pentosa-fosfat bukan jalur utama untuk menghasilkan energi pada mikroorganisme. Jalur pentosa-fosfat berlangsung pada organisme prokariot maupun eukariot. Mikroorganisme oksidatif dapat merombak glukosa pada jalur HMP secara tidak utuh untuk memperoleh energi melalui piruvat dan siklus TCA dengan reaksi berikut :



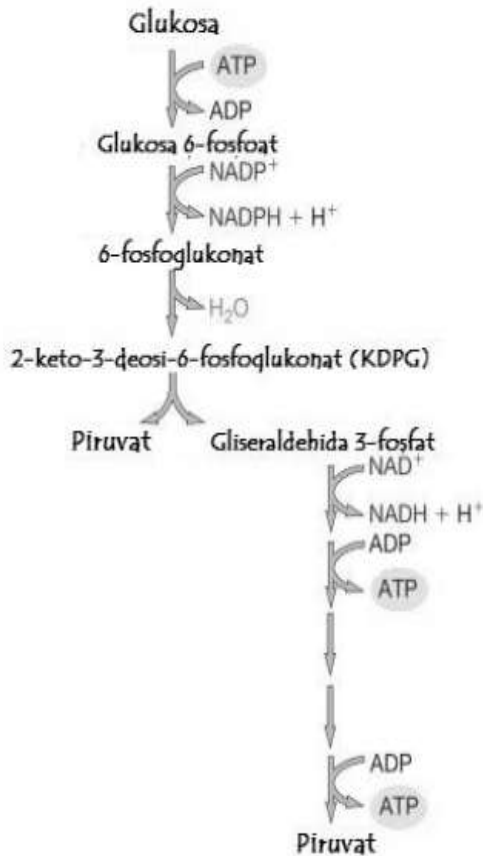
Rantai respirasi mengoksidasi NADPH menjadi 36 mol ATP, yang merupakan jalur awal siklus pentosa fosfat dalam biosintesis, bukan metabolisme energi oksidatif. Hasil jalur HMP dapat digunakan untuk mengurangi daya pada reaksi biosintesis, yaitu NADPH. Untuk biosintesis purin, ribosa 5-fosfat, dan asam amino aromatik, eritrosa 4-fosfat, jalur HMP melalui xylulosa 5-fosfat juga dapat menghasilkan asetil fosfat sebelum memasuki siklus asam sitrat dengan asetil KoA.



Gambar 6.5. Jalur Pentosa-fosfat (Sumber : Willey et al, 2009 dalam Prayitno and Hidayati, 2017).

Jalur Entner-Doudoroff

Beberapa mikroba tanah menggunakan jalur Entner-Doudoroff dalam proses metabolisme seperti; *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Azotobacter*, dan *Agrobacterium*, serta beberapa bakteri gram negatif lainnya. Pada bakteri gram positif jalur Entner-Doudoroff sangat jarang digunakan (Prayitno and Hidayati, 2017).



Gambar 6.6. Jalur Entner-Douroff (Sumber : Willey et al, 2009 dalam (Prayitno and Hidayati, 2017)

6.3.2 Fermentasi

Fermentasi merupakan proses pemecahan glukosa menjadi asam piruvat serta asam lainnya seperti etanol (alkohol) yang terjadi dengan kondisi tanpa ketersediaan oksigen (anaerob). Pada mikroorganisme anaerob energi dihasilkan melalui serangkaian reaksi fermentasi dengan menggunakan bahan organik sebagai donor atau akseptor elektron (Suryani, 2022).

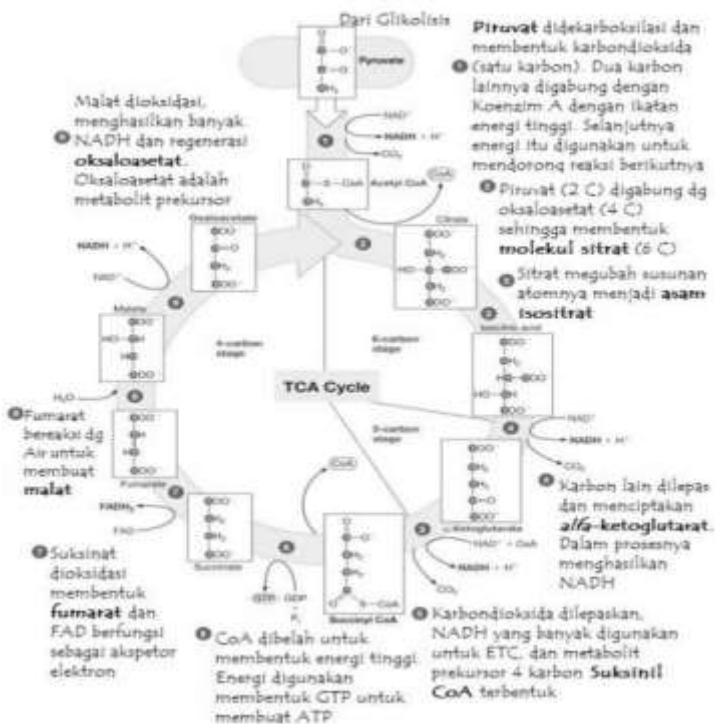


Gambar 6.7. Jenis-jenis fermentasi berdasarkan reaksinya
(Sumber : Prayitno & Hidayati, 2017)

6.4 Respirasi Aerobik

6.4.1 Siklus Krebs

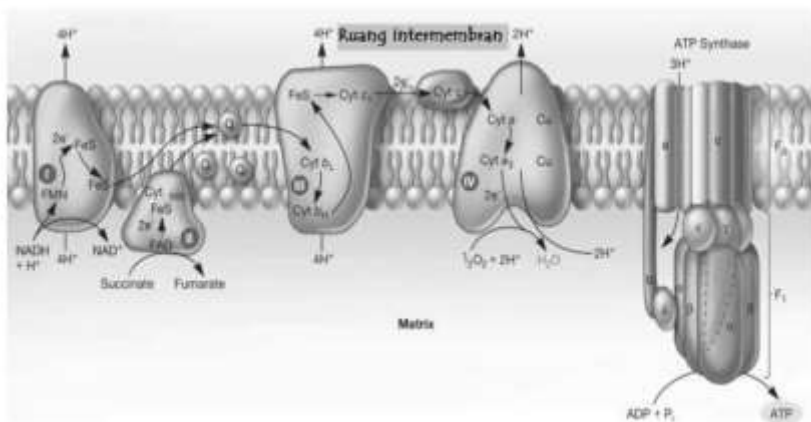
Piruvat yang dihasilkan dari pemecahan glukosa kemudian mengalami oksidasi membentuk asetil-koenzim A (asetil-KoA) yang merupakan molekul yang kaya energi dan CO₂. Asetil-KoA kemudian memasuki siklus asam sitrat. Pada mikroorganisme enzim siklus TCA tersebar secara luas. Pada prokariotik, enzim-enzim itu berada di sitoplasma. Sedangkan pada eukariotik, enzim-enzim TCA terletak di matriks mitokondria.



Gambar 6.8. Siklus Krebs (Sumber : Willey et al, 2009 dalam Prayitno & Hidayati, 2017)

6.4.2 Rantai Transfer Elektron

Rantai transfer elektron merupakan proses perpindahan elektron dari potensial reduksi yang lebih negatif ke potensial reduksi yang lebih positif yang kemudian ditangkap oleh oksigen dan hidrogen membentuk H_2O . Adanya perbedaan potensial reduksi yang cukup besar dalam rantai elektron merupakan sumber energi dalam pembentukan ATP. Pada organisme eukariotik, rantai transfer elektron berlangsung di membran plasma yang terdiri dari empat kompleks (Prayitno & Hidayati, 2017).



Gambar 6.9. Rantai Transpor Elektron pada Eukariotik (Sumber : Prayitno & Hidayati 2017)

DAFTAR PUSTAKA

- Asriati, Hasan, H., Rahayu Muji, Irnawati, 2021. Biokimia Dasar, 1st ed. Eureka Media Aksara, Jawa Tengah.
- Boleng, D.T., 2015. Bakteriologi Konsep-konsep Dasar, 1st ed, Bakteriologi Konsep-konsep Dasa. Universitas Muhammadiyah Malang Press, Malang.
- Hafsan, 2011. Mikrobiologi Umum, in: Mustami, M.K. (Ed.), Mikrobiologi Umum. Alauddin University Press, Makassar, pp. 1–111.
- Henggu, K.U. & Nurdiansyah, Y., 2021. Review dari Metabolisme Karbohidrat, Lipid, Protein, dan Asam Nukleat. Quimica : Jurnal Kimia Sains dan Terapan 3, 1–9.
- Prayitno, T.A. & Hidayati, N., 2017. Pengantar Mikrobiologi, 1st ed. Media Nusa Creativ, Malang.
- Suryani, Y., 2022. Fisiologi Mikroba, 1st ed. Gunung Djati Publishing, Bandung.
- Yuniritha, E. & Sulistyowati, Y., 2021. Metabolisme Zat Gizi. Kementrian Kesehatan. Jakarta.

BAB 7

PEMAHAMAN DIGNOSTIK : CARA PEMERIKSAAN MIKROBIOLOGIS

Oleh Adriani

7.1 Pendahuluan

Mikrobiologi merupakan cabang ilmu yang mempelajari tentang mikroorganisme seperti bakteri, jamur, virus, dan protozoa. Keberadaan mikroorganisme di alam penting bagi kehidupan karena memiliki peranan yang cukup besar bagi kelangsungan hidup manusia. Dalam rantai makanan, mikroorganisme seperti bakteri dan jamur berperan sebagai saprofit, yaitu pengurai makhluk hidup yang telah mati. Dalam bidang pangan, mikroorganisme banyak dimanfaatkan untuk menghasilkan produk pangan seperti tempe, tape, kecap, asam cuka, keju dan kimchi. Dalam dunia medis, mikroorganisme dikenal sebagai penghasil bahan obat seperti antibiotik, antidiabetes, antimalaria, antioksidan dan antikanker. Selain itu, mikroorganisme juga terbukti membantu pertumbuhan tanaman melalui mekanisme penyediaan nutrisi, produksi hormon dan proteksi terhadap stres lingkungan. Peran lain mikroorganisme adalah membantu menguraikan limbah minyak yang tumpah di perairan. Meskipun memiliki banyak manfaat, namun mikroorganisme juga dapat merugikan manusia.

Mikroorganisme dapat menjadi agen infeksi penyebab penyakit dan sumber kontaminasi bahan pangan. Contoh mikroorganisme patogen yaitu *Salmonella typhi* menyebabkan penyakit demam typhoid, *Mycobacterium tuberculosis* menyebabkan penyakit tuberculosis (TBC), *Vibrio cholera* menyebabkan penyakit kolera, *Escherichia coli* menyebabkan diare. Mikroorganisme pada bahan pangan menyebabkan kerusakan sehingga pangan tersebut tidak bisa dikonsumsi. Sebagai contoh, tomat yang membusuk akibat jamur menyebabkan terjadinya perubahan fisik, rasa dan bau sehingga tidak layak untuk dikonsumsi. Beberapa jenis jamur

diketahui menghasilkan mikotoksin selama hidup pada bahan pangan. Apabila mikotoksin tersebut termakan oleh manusia dapat menyebabkan penyakit yang berujung pada kematian. Oleh karena itu penting untuk senantiasa menjaga kebersihan baik diri sendiri, lingkungan dan bahan pangan yang akan dikonsumsi. Salah satu cara untuk mengetahui keberadaan mikroorganisme dalam suatu sampel adalah dengan melakukan pemeriksaan mikrobiologi. Tujuan pemeriksaan mikrobiologi adalah mengetahui penyebab suatu penyakit infeksi ataupun menganalisis sejauh mana kerusakan yang terjadi pada sampel yang terinfeksi oleh mikroorganisme. Selain itu, melalui pemeriksaan mikrobiologi, akan memudahkan langkah preventif dan kuratif dari suatu penyakit.

7.2 Jenis Dan Kriteria Sampel Untuk Pemeriksaan Mikrobiologi

Untuk melakukan pemeriksaan mikrobiologi diperlukan bahan/sampel/spesimen untuk proses analisis. Sampel umum yang digunakan untuk pemeriksaan mikrobiologi klinis berasal dari pasien dan umumnya berupa darah, urine, bilasan bronkus, feses, sputum, jaringan, dan kerokan kulit. Terdapat beberapa kriteria yang harus dipenuhi oleh sampel ketika akan dilakukan pemeriksaan mikrobiologi. Kriteria tersebut meliputi (Ibrahim dkk, 2017):

1. Jenis sampel sesuai dengan lokasi dugaan sumber infeksi
2. Sampel diambil ketika pasien sedang sakit dan belum diberikan antibiotik
3. Wadah penyimpanan sampel steril, bersih dan tidak mudah bocor/pecah
4. Sampel yang diperoleh dengan cara swab memerlukan medium transpor
5. Wadah sampel harus memuat label yang mencantumkan nama pasien, nomor rekam medik, waktu dan tanggal pengambilan sampel serta jenis sampel
6. Volume sampel cukup untuk pemeriksaan

7. Pengiriman sampel dilakukan pada suhu yang sesuai, dan diupayakan sampai ke laboratorium dengan cepat untuk mencegah kerusakan sampel.

7.3 Jenis Pemeriksaan Mikrobiologi Klinis

Berikut adalah beberapa jenis pemeriksaan yang umum dilakukan pada sampel klinis baik di rumah sakit maupun laboratorium kesehatan, yaitu :

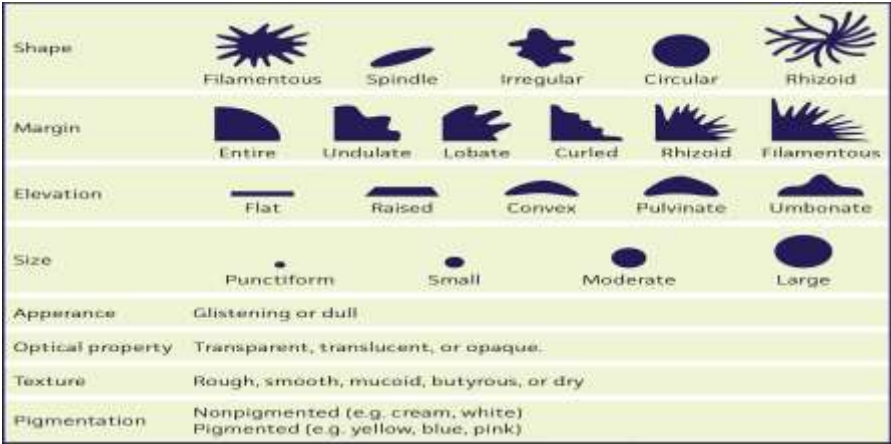
1. Pemeriksaan Makroskopis
2. Pemeriksaan mikroskopis
3. Uji Biokimia
4. Analisis 16S rRNA : PCR

Pemeriksaan makroskopis

Pemeriksaan makroskopik terhadap agen infeksi mikrobiologis bertujuan untuk mengidentifikasi jenis mikroba (bakteri/jamur) penyebab penyakit berdasarkan hasil pengamatan morfologi mikroba. Pemeriksaan makroskopis sendiri dilakukan setelah spesimen (cairan tubuh, urine, feces maupun darah) diinokulasi pada medium agar padat selama $\pm$ 24 jam. Koloni mikroba tersebut selanjutnya diamati dari segi morfologi yang meliputi:

1. Bentuk. Koloni bakteri memiliki bentuk bulat, *irregular*, lonjong, filament atau rhizoid
2. Ukuran.. Bakteri memiliki ukuran yang bervariasi yaitu seperti titik (*punctiform*), kecil, sedang dan besar
3. Warna. Secara umum, koloni bakteri ada menghasilkan pigmen (kuning, biru, pink), namun ada juga yang tidak menghasilkan pigmen (putih dan krem).
4. Elevasi. Secara umum elevasi koloni bakteri ada yang rata, *raised*, cembung, bentuk bantal (*pulvinate*) dan cembung di bagian tengah (*umbonate*)
5. Tepi. Secara umum koloni bakteri memiliki tepi yang rata (*entire*), bergelombang (*undulate*), berlekuk (*lobate*), melengkung (*curled*), bergerigi (*rhizoid*, *serrate*), *irregular*, rhizoid, atau filamentous

6. Tampilan koloni. Tampilan koloni meliputi penampilan morfologi seperti mengkilap, kusam atau berawan
7. Tekstur. Koloni bakteri memiliki tekstur mukoid/bergetah/kental, kering atau rapuh



Gambar 7.1. Struktur morfologi koloni bakteri pada permukaan medium agar (<https://delivery-files.atcc.org/api/public/content/164496-Colony-Morphology.png>)

7.4 Pemeriksaan mikroskopis

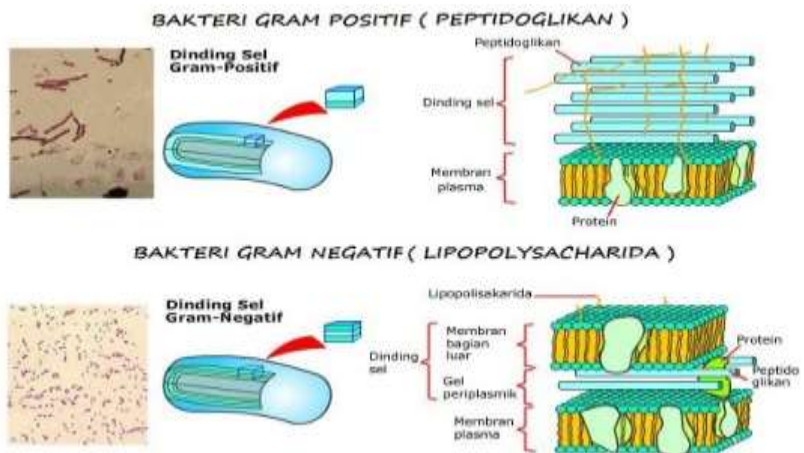
Pemeriksaan mikroskopis bertujuan untuk mengidentifikasi mikroba berdasarkan hasil pengamatan sel menggunakan mikroskop. Terdapat beberapa metode identikasi mikroskopik yang dapat dilakukan, seperti pengecatan gram dan pewarnaan BTA.

7.4.1 Pengecatan gram

Pengecatan/pewarnaan gram pertama kali dikembangkan oleh ahli histologi yaitu Christian Gram (1884). Pewarnaan gram termasuk pengecatan diferensial untuk membedakan antara bakteri gram positif dan bakteri gram negatif berdasarkan komponen dinding sel bakteri.

1. Bakteri gram positif adalah bakteri yang dinding selnya mengandung lapisan peptidoglikan yang tebal sehingga mampu mengikat pewarna utama (kristal violet) dengan kuat.

2. Bakteri gram negatif adalah bakteri yang dinding selnya mengandung lapisan peptidoglikan yang sedikit sehingga tidak mampu mengikat pewarna utama dengan kuat. Ketika dilunturkan maka pewarna utama akan hilang sehingga bakteri dapat mengikat zat warna penutup (safranin). Struktur dinding sel bakteri gram positif dan bakteri gram negatif dapat diamati pada gambar di bawah ini:



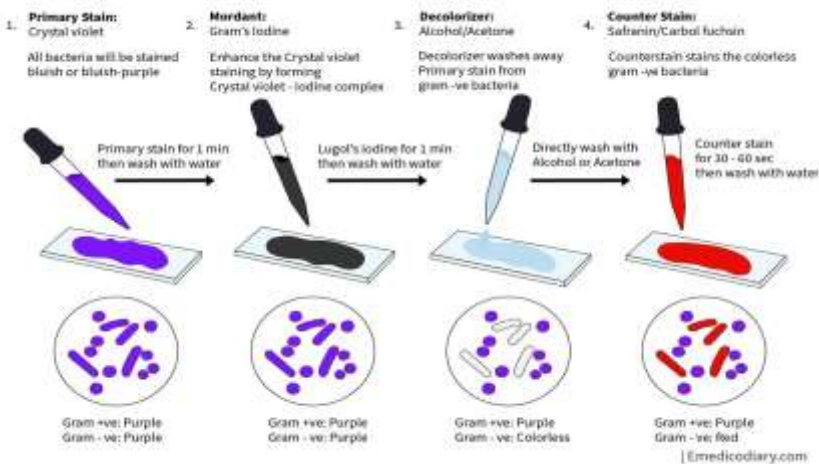
Gambar 7.2. Dinding sel bakteri Gram positif dan Gram negative (<https://aguskrisnoblog.files.wordpress.com/2011/01/bakteri-gram-negatif.jpg?w=640>)

Sampel yang digunakan dalam pewarnaan gram berupa biakan bakteri yang telah diinokulasi pada medium agar maupun medium cair. Bakteri tersebut diperoleh dari cairan tubuh pasien, baik berupa darah, urine maupun bilasan bronkus maupun cairan tubuh lainnya. Dalam pelaksanaan pewarnaan gram, diperlukan 4 tahap yaitu :

1. Pemberian pewarna utama berupa kristal violet/larutan A (warna ungu). Tujuan pemberian kristal violet adalah mewarnai dinding sel bakteri yang memiliki kemampuan menyerap zat warna kation.
2. Pengintensifan pewarna bakteri utama dengan penambahan larutan mordant/larutan gram B Mordant berfungsi untuk meningkatkan afinitas antara kristal violet dengan sel

bakteri melalui pengikatan kristal violet agar tidak larut dalam air.

3. Pencucian/dekolorisasi menggunakan larutan alkohol (larutan gram C). Fungsi alkohol adalah untuk meluruhkan zat warna utama (kristal violet) yang terdapat pada dinding sel bakteri.
4. Pemberian warna penutup menggunakan larutan gram D /safranin (warna merah). Pemberian safranin menyebabkan sel bakteri gram negatif berwarna merah. Hal ini disebabkan karena persenyawaan kompleks antara kristal violet-yodium-dinding sel sehingga terjadi penyerapan zat warna yang kedua (safranin). Ketika dilakukan pewarnaan gram, bakteri yang tergolong gram positif akan mempertahankan zat pewarna kristal violet dan tidak luntur meskipun telah dilakukan pencucian menggunakan alkohol. Dengan demikian ketika dilakukan pengamatan di bawah mikroskop, sel bakteri akan berwarna ungu. Adapun bakteri gram negatif akan kehilangan zat pewarna kristal violet setelah pencucian dengan alkohol. Ketika diberi pewarna safranin maka sel bakteri akan berwarna merah.



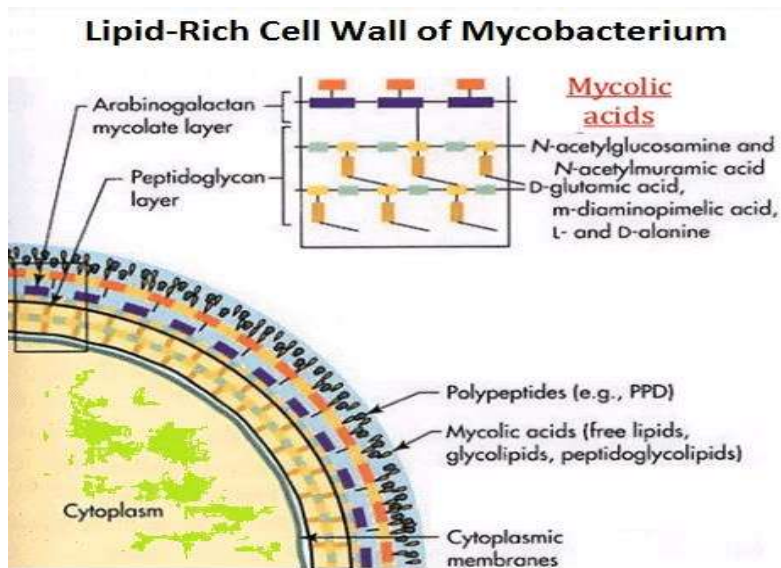
Gambar 7.3. Prosedur pewarnaan gram pada bakteri

(<https://emedicodiary.com/files/bf8d1fad395c9b780970e6193f6e4acf.jpg>)

Beberapa faktor yang mempengaruhi hasil pewarnaan yaitu komponen dinding sel, faktor cat/pewarna, umur biakan bakteri dan proses pewarnaan yang dilakukan. Struktur dinding sel bakteri sangat berpengaruh terhadap hasil pewarnaan. Komposisi dinding sel yang berbeda menyebabkan hasil pewarnaan yang berbeda antara bakteri gram positif dan bakteri gram negatif. Pewarna yang digunakan sebaiknya masih *fresh*, dan bukan cat pewarna yang sudah tersimpan lama. Penggunaan cat pewarna yang sudah tersimpan lama akan mempengaruhi validitas pembacaan hasil dan peluang menghasilkan *positif false* cukup tinggi. Umur biakan bakteri yang akan digunakan untuk pewarnaan sebaiknya tidak tua tua (lebih dari 24 jam). Hal ini disebabkan karena biakan yang sudah tua lebih mudah terdecolorisasi dibandingkan biakan yang masih muda (umur 24 jam) sehingga menimbulkan hasil *positif false*. Sebagai contoh, biakan bakteri gram positif yang sudah tua, dapat terlihat seperti bakteri gram negatif setelah dilakukan pewarnaan. Yang terakhir adalah proses pewarnaan harus sesuai dengan prosedur dan pemberian cat pewarna dilakukan secara berurutan.

7.4.2 Pewarnaan BTA

Pewarnaan basil tahan asam (BTA) atau pewarnaan Ziehl-Neelsen merupakan pewarnaan diferensial untuk mengidentifikasi bakteri dari spesies *Mycobacterium tuberculosis*, *Mycobacterium leprae*, dan *Nocardia*. Pewarnaan tahan asam pertama kali dilakukan oleh Franz Ziehl (1859-1926), seorang pakar bakteri dan Friederich Neelsen (1854-1894), pakar patologi. Pada saat itu pewarnaan BTA digunakan untuk membedakan antara bakteri tahan asam dan bakteri tidak tahan asam. Saat ini pemeriksaan BTA memegang peranan penting dalam mendiagnosis penyakit tuberkulosis (TB) dan telah direkomendasikan oleh WHO sebagai alat diagnostik TB yang cepat dan mudah dilakukan dibandingkan kultur sel. Kelebihan pewarnaan BTA adalah memberikan *background* berwarna biru yang kontras dengan bakteri basil *Mycobacterium* (berwarna merah) sehingga memudahkan proses pengamatan. Perbedaan warna yang dihasilkan berkaitan dengan komposisi dinding sel *Mycobacterium* yang berbeda dengan dinding sel bakteri lainnya.



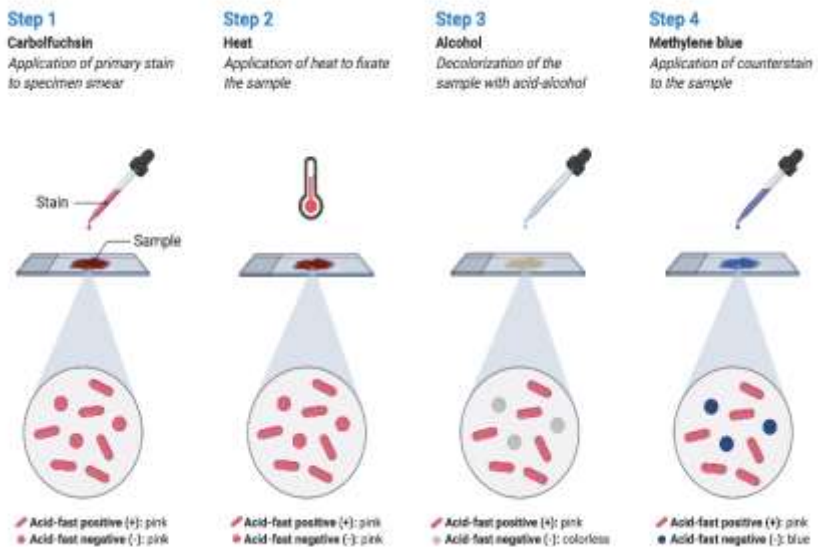
Gambar 7.4. Struktur dinding sel Mycobacterium

(<https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/File:Location-and-structure-of-the-Mycobacterium-tuberculosis-cord-factor.png>)

Dinding sel Mycobacterium tebal karena mengandung wax dari lipid dan asam mikolat yang menyebabkan bakteri ini sulit diwarnai dengan pengecatan biasa. Dinding sel yang tebal pada Mycobacterium kemungkinan berkaitan dengan mekanisme *self defence* bakteri dan merupakan faktor virulensi. Literature lain menyebutkan bahwa dinding sel Mycobacteria terdiri atas kompleks mikolil-arabinogalaktan-peptidoglikan (mAGP) yang membedakannya dengan bakteri yang lain. Peptidoglikan pada Mycobacteria membentuk lapisan basal kompleks mAGP dan terdiri dari N-asetilglukosamin (GlcNAc) bergantian serta residu asam muramat (Mur) yang dimodifikasi (Alderwick *et al.*, 2015). Struktur dinding sel Mycobacteria dapat dilihat pada gambar 2.

Dinding sel Mycobacterium yang tebal membutuhkan tehnik tersendiri untuk bisa ditembus oleh zat pewarna dalam proses pewarnaan BTA. Penggunaan larutan fenol yang mengandung karbol fuchsin(1%) dikombinasikan dengan pemanasan mampu membuka lapisan lemak yang tebal pada dinding sel

Mycobacterium. Dengan demikian pewarna karbol fuchsin (merah) berpenetrasi dan menuju sitoplasma. Karbol fuchsin akan berikatan kuat dengan dengan sel Mycobacterium sehingga tidak mudah luntur ketika dilakukan dekolorisasi menggunakan asam alkohol (3% HCl dan 95% ethanol). Setelah decolorisasi, Selanjutnya dilakukan pemberian metilen blue 0,1% sebagai *counterstain*. Bakteri yang tidak tahan asam akan menyerap metylen blue sehingga berwarna biru, sedangkan bakteri tahan asam akan berwarna merah karena mempertahankan warna karbol fuchsin. Prosedur pewarnaan BTA diperlihatkan pada Gambar 7.5.



Gambar 7.5. Prosedur pewarnaan BTA. [https://assets-](https://assets-global.website-)

[files.com/621e95f9ac30687a56e4297e/64a8d53d994b58201f18537e_V2_1625686812724_abcaf270-c962-4dd5-a572-c38a9dd7ce35.png](https://assets-global.website-files.com/621e95f9ac30687a56e4297e/64a8d53d994b58201f18537e_V2_1625686812724_abcaf270-c962-4dd5-a572-c38a9dd7ce35.png)

Sampel yang digunakan untuk pemeriksaan BTA berupa sputum (pasien tuberculosis) dan kerokan kulit (pasien lepra). Sputum yang diambil dari pasien adalah sputum sewaktu-pagi-sewaktu (SPS), selanjutnya dilakukan pewarnaan BTA. Apabila

sampel BTA dinyatakan positif maka dilanjutkan dengan kultur pada medium Loweinstein Jensen atau middle brook. Setelah dilakukan pewarnaan BTA maka tahapan berikutnya adalah interpretasi hasil berdasarkan *International Union Against Tuberculosis Lung Disease* (IUATLD). Interpretasi BTA berdasarkan IUATLD adalah sebagai berikut :

Tabel 7.1. Interpretasi BTA berdasarkan IUATLD

Negatif	Apabila tidak ditemukan BTA dalam 100 lapang pandang
1+	Apabila ditemukan 10-99 BTA dalam 100 lapang pandang
2+	Apabila ditemukan 1-10 BTA setiap 1 lapang pandang
3+	Apabila ditemukan > 10 BTA dalam 1 lapang pandang

7.5 Uji biokimia

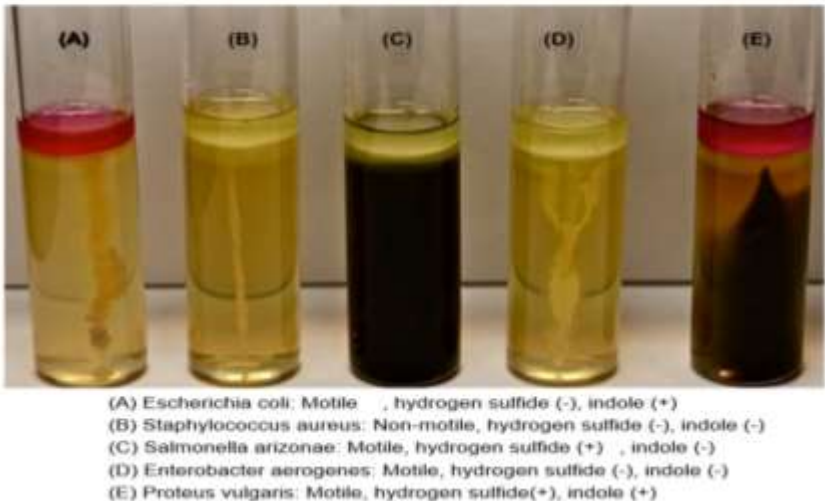
Uji biokimia terutama pada bakteri bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat fisiologi koloni bakteri yang berhasil diisolasi dari spesimen. Seperti yang kita ketahui bersama bahwa jumlah spesies bakteri cukup banyak di alam semesta, dan semuanya memiliki sifat fisiologi yang berbeda-beda. Oleh karena itu penting untuk melakukan uji biokimia untuk mengetahui sifat fisiologis dari masing-masing bakteri sehingga memudahkan proses identifikasi. Secara umum uji biokimia berkaitan dengan metabolisme sel bakteri, dengan demikian jenis pengujian yang dilakukan lebih banyak berkaitan dengan produk yang dihasilkan oleh bakteri selama proses metabolisme. Jenis uji biokimia bakteri meliputi :

7.5.1 Uji SIM (*Sulfide indole motility*)

Uji SIM bertujuan untuk melihat kemampuan bakteri dalam menghasilkan sulfur (H_2S), produksi indol dan motilitas dalam media agar. Umumnya uji SIM digunakan untuk membedakan bakteri dari golongan Enterobacteriaceae. Untuk menumbuhkan bakteri digunakan medium differensial yaitu medium SIM yang bersifat semisolid. Komposisi media SIM adalah pepton, tripton, ferrous ammonium sulfat, sodium thiosulfate dan agar. Apabila

setelah inkubasi bakteri uji selama $\pm$ 24 jam pada media SIM terbentuk warna hitam, maka bakteri uji mampu menghasilkan H_2S . Apabila medium ditetesi reagen Kovac's dan terbentuk warna merah pada permukaan medium, maka bakteri yang diuji menghasilkan senyawa indol. Motilitas bakteri uji ditandai dengan pertumbuhan koloni bakteri di sekitar bekas tusukan ose. Apabila terdapat pertumbuhan koloni yang menyebar maupun tidak menyebar maka dikatakan motilitas positif. Namun jika tidak terjadi pertumbuhan koloni maka dikatakan motilitas negative. Hasil uji SIM diperlihatkan oleh Gambar 6.

SIM Medium (H_2S , Indole, Motility) Test

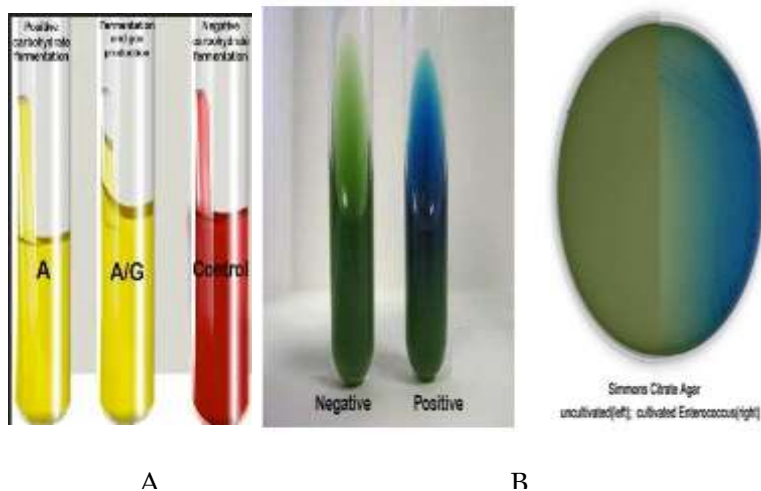


Gambar 7.6. Hasil uji SIM yang positif (https://4.bp.blogspot.com/-nfltQ27sAtE/WCQBg2mBBmI/AAAAAAAAAG0/H7Cy3eDjtj5Y9qV1RGtGkAGKqjKljxfwZgCLcB/s1600/slide_43.jpg)

7.5.2 Uji Fermentasi karbohidrat

Tujuan dari uji fermentasi karbohidrat adalah melihat kemampuan bakteri dalam menggunakan karbohidrat sebagai sumber energinya. Jenis karbohidrat yang digunakan adalah glukosa, laktosa, mannitol, maltose dan sukrosa. Setiap karbohidrat masing-masing diletakkan dalam tabung reaksi yang berbeda,

dimana setiap tabung mengandung 1% pepton. Penambahan fenol red atau BTB pada tabung reaksi menyebabkan perubahan warna pada media. Apabila ditambahkan dengan fenol red maka media akan berwarna merah dan apabila ditambahkan BTB maka medium akan berwarna biru. Selain itu medium juga dilengkapi dengan tabung durham, dengan tujuan melihat pembentukan gas yang dilakukan oleh bakteri uji. Apabila terjadi perubahan warna pada medium menjadi kuning setelah inkubasi, maka dapat dikatakan bahwa bakteri uji mampu memfermentasi karbohidrat. Apabila terbentuk gelembung udara di dalam tabung durham maka dipastikan bakteri uji menghasilkan gas.



Gambar 7.7. Hasil fermentasi karbohidrat (A) dan sitrat (B) oleh bakteri ([https://i0.wp.com/microbeonline.com](https://i0.wp.com/microbeonline.com;);

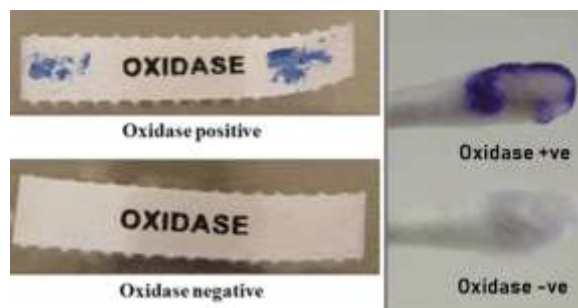
7.5.3 Uji sitrat

Tidak semua mikroorganisme mampu menggunakan sitrat sebagai sumber energi. Contoh mikroba yang mampu memfermentasi sitrat adalah *Aspergillus niger* dan beberapa bakteri enterobacteriaceae (Kusiyanto dkk., 2019). Untuk melihat kemampuan m dalam menggunakan sitrat maka bakteri diinokulasi pada medium Simmons Citrate Agar (SCA). Medium ini mengandung natrium sitrat (sumber karbon), ammonium posfat

(sumber nitrogen) dan indikator warna bromtyhmol blue. Bakteri yang mampu memfermentasi sitrat akan menyebabkan pH media meningkat dari 6,9 menjadi 7,6. ditandai dengan perubahan warna pada medium dari hijau menjadi biru (Gambar 7.7B)

7.5.4 Uji oksidase

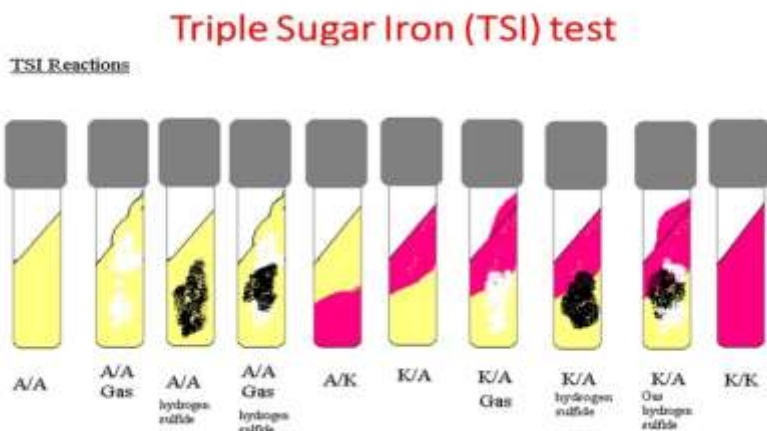
Uji oksidase digunakan untuk mengidentifikasi bakteri yang mampu menghasilkan enzim sitokrom C oksidase. Enzim sitokrom C terlibat dalam metabolisme sel bakteri dan bertindak sebagai pentransfer elektron dari donor (rantai transpor) ke akseptor elektron terakhir (O_2). Secara umum uji oksidase digunakan untuk membedakan antara *Pseudomonaceae* (oksidase positif) dan *Enterobacteriaceae* (oksidase negatif) (Ridhwan dkk, 2023). Beberapa contoh bakteri dengan hasil uji oksidase positif adalah *Neisseria*, *Actinobacillus*, *Camphylobacter*, *Bacillus anthrax*, *Pseudomonas spp* dan *Bordetella pertussis*. Untuk melakukan uji oksidase diperlukan kertas saring kecil, larutan kovac's dan biakan bakteri (berumur 18-24 jam). Kertas saring direndam terlebih dahulu dalam larutan kovac's 1% dan dibiarkan mengering. Sebanyak 1 ose biakan bakteri diambil dan digores pada permukaan kertas saring yang telah kering. Hasil positif ditandai dengan koloni bakteri yang berubah warna menjadi ungu gelap dalam waktu 5-10 detik. Sampel dinyatakan negatif apabila koloni bakteri tidak berubah warna setelah lebih dari 2 menit.



Gambar 7.8. Hasil uji oksidase pada sampel
<https://www.onlinebiologynotes.com/wp-content/uploads/2018/02/oxidase-test.png>

7.5.5 Uji TSIA

Uji *triple sugar iron agar* (TSIA) digunakan untuk membedakan bakteri enterik gram negative berdasarkan kemampuannya dalam memfermentasi 3 jenis karbohidrat (glukosa, laktosa dan karbohidrat) dan menghasilkan gas (H_2S) dan asam sebagai produk samping. Media TSIA termasuk medium diferensial yang dilengkapi dengan indikator pH (fenol red) dan Fe. Fenol red memberikan warna merah apabila berada pada pH basa dan berwarna kuning apabila berada pada lingkungan yang asam. Apabila medium mengalami pecah/retak menunjukkan bahwa bakteri uji menghasilkan gas. Apabila bakteri mampu membentuk senyawa $FeSO_4$ maka akan terbentuk endapan hitam pada medium. Terdapat 2 bagian media TSIA yaitu dasar (*butt*) dan lereng (*slant*). Apabila bakteri uji mampu memfermentasi glukosa maka *butt* media berwarna kuning (kondisi asam) sedangkan bagian *slant* berwarna merah (kondisi basa). Apabila bakteri uji mampu memfermentasi semua karbohidrat, maka *butt* dan *slant* berwarna kuning. Jika tidak terjadi fermentasi, maka *butt* dan *slant* akan berwarna merah (Idroes dkk., 2019)

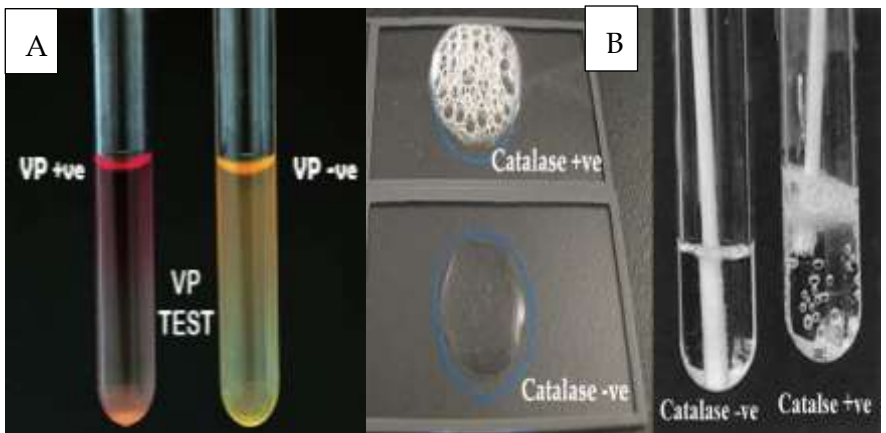


Gambar 7.9. Interpretasi hasil uji TSIA

(<https://microbenotes.com/triple-sugar-iron-agar-tsia-test/>)

7.5.6 Uji Voges Proskauer

Uji biokimia Voges Proskauer (VP) bertujuan untuk mengetahui kemampuan bakteri dalam menghasilkan asimetil karbinol yang merupakan produk akhir dari fermentasi glukosa. Reagen yang digunakan dalam pengujian VP ada 2 yaitu reagen barrit A (mengandung α -naftol 5%, dan etanol) dan reagen barrit B (mengandung potassium hidroksida dan air deionisasi). Dalam prosedur pengujian, kultur cair bakteri uji ditetesi dengan reagen barrit A dan barrit B dan dilakukan pengamatan terhadap perubahan warna yang terjadi. Apabila terbentuk warna merah jambu-merah setelah penetesan reagen maka bakteri uji bersifat positif terhadap uji VP (Gambar 7.10A). Namun jika tidak terjadi perubahan warna pada medium, maka dapat dinyatakan bahwa bakteri uji negative terhadap uji VP.



Gambar 7.10. Interpretasi hasil uji VG (A) dan uji katalase (B)
<https://microbiologyinfo.com/>

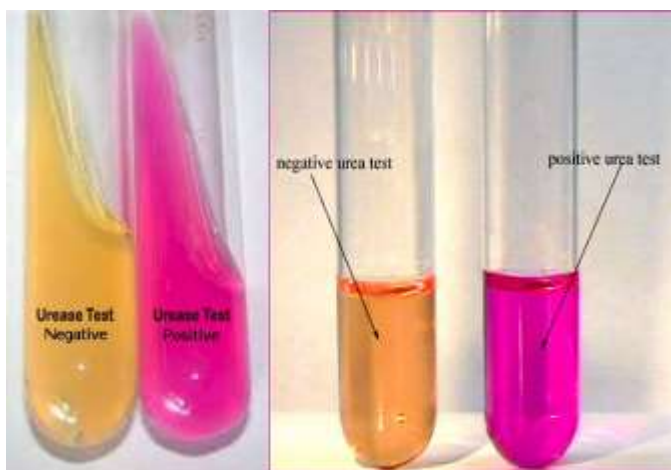
7.5.7 Uji katalase

Uji katalase termasuk uji diferensial untuk membedakan antara bakteri *Staphylococcus sp* dan *Streptococcus sp*. prinsip kerja uji katalase adalah membedakan spesies bakteri berdasarkan kemampuannya dalam menghasilkan enzim katalase untuk mengubah H_2O_2 menjadi H_2O dan O_2 . *Staphylococcus sp* mampu menghasilkan enzim katalase ditandai dengan terbentuknya

gelembung gas (O_2) ketika ditetesi dengan peroksida (H_2O_2). Berbeda dengan *Streptococcus sp* yang tidak membentuk gelembung gas ketika ditetesi dengan H_2O_2 . Dengan demikian dapat dikatakan bahwa *Streptococcus sp* bersifat negative terhadap uji katalase. Interpretasi hasil uji katalase diperlihatkan pada gambar 7.10B.

7.5.8 Uji urease

Uji urease bertujuan untuk melihat kemampuan mikroorganisme patogen (bakteri dan khamir) dalam mengubah urea menjadi amoniak. Medium yang digunakan untuk uji urease adalah urea base agar dengan komposisi berupa pepton, glukosa, NaCl, KH_2PO_4 , *fenol red* dan agar. Hasil pengujian dinyatakan positif apabila terjadi perubahan warna pada media inokulasi mikroorganisme dari kuning menjadi merah muda. Hal ini menunjukkan bahwa enzim urease menghidrolisis atau memutus ikatan karbon dan nitrogen pada urea untuk menghasilkan amoniak. Keberadaan amoniak menyebabkan medium bersifat basa sehingga phenol red berubah menjadi merah muda.(Antriana, 2014). Contoh bakteri yang bersifat positif terhadap uji urease adalah *Staphylococcus sp*, *Heliobacter sp*, *Mycobacterium sp*, dan *Clostridium perfringers* (Konieczna et al., 2012)



Gambar 7.11. Interpretasi hasil uji urease
(<https://microbiologyinfo.com/urease-test-principle-media-procedure-and-result/>)

7.6 Analisis 16S rRNA : PCR

Tren pemeriksaan mikrobiologi saat ini sudah mengarah kepada identifikasi secara molekuler. Hal ini disebabkan karena identifikasi molekuler mikroba memberikan hasil yang spesifik, akurat dan cepat dalam menegakkan diagnosis (Khairir dkk, 2020; Wulandari dkk, 2021). Salah satu teknologi yang umum digunakan adalah *polymerase chain reaction* (PCR), untuk mendeteksi keberadaan materi genetik (DNA/RNA) dari bakteri, jamur maupun virus. Saat ini PCR telah banyak dimanfaatkan untuk mengidentifikasi penyakit akibat genetik, penyakit infeksi akibat mikroorganisme, diagnosis dini penyakit tertentu, *profiling-genetic* pada bidang forensik, studi epidemiologi, menentukan keragaman makhluk hidup dan biologi evolusi serta mendeteksi mutasi pada gen (Fatchiyah, 2013; Kusnadi, 2020). Prinsip kerja PCR adalah memperbanyak jumlah DNA/RNA mikroorganisme secara enzimatis dan *invitro* menggunakan primer spesifik.

Metode PCR untuk bakteri dikenal juga sebagai analisis 16S rRNA (*ribosomal ribonucleid acid*). Hal ini disebabkan karena bakteri memiliki gen pengkode ribosom 16S (Svedberg) yang sifatnya lestari dan dimiliki oleh bakteri lain yang berkerabat dekat. Apabila suatu bakteri memiliki homologi sekuen 16Sr-RNA di atas 98% dengan spesies bakteri lain maka dapat dikatakan bahwa kedua spesies bakteri tersebut memiliki hubungan kekerabatan yang dekat (satu genus/spesies). Namun sebaliknya, jika homologi sekuen 16Sr-RNA yang dimiliki kurang dari 97,5% maka kedua bakteri tersebut berbeda spesies (Rinanda, 2011; Akihary, 2020). Dengan alasan demikian, maka 16S rRNA dijadikan sebagai primer universal dan merupakan komponen penting dalam analisis PCR.

Komponen penting lain yang dibutuhkan untuk analisis PCR adalah template DNA, enzim taq DNA polymerase, PCR buffer, nucleotide (dNTPs) dan mesin PCR.

1. DNA *template*

Untuk mendapatkan DNA *template*, terlebih dahulu dilakukan ekstraksi DNA bakteri. Proses ekstraksi dapat dilakukan secara manual/konvensional maupun menggunakan *kit extraction*. Kelebihan ekstraksi DNA secara konvensional adalah jumlah DNA yang diperoleh

dapat lebih banyak dibandingkan menggunakan *kit extraction*. Kelebihan menggunakan kit adalah proses pengerjaan yang lebih cepat dibandingkan metode ekstraksi konvensional. Setelah DNA bakteri diperoleh dilanjutkan dengan analisis nanodrop untuk mengetahui kemurnian DNA. Suatu DNA dinyatakan murni apabila memiliki nilai absorbansi $\lambda_{260/280}$ antara 1,8-2,0. Semakin murni DNA hasil ekstraksi maka visualisasi elektroforesis gel semakin jelas.

2. Enzim taq DNA polymerase

Enzim taq DNA polymerase pertama kali diisolasi dari bakteri *Thermo aquaticus* yang hidup pada sumber air panas ($>80^{\circ}\text{C}$). Dalam analisis PCR, Enzim taq DNA polymerase berperan sebagai katalisator dan terlibat dalam pemanjangan DNA pada untai cetakan.

3. PCR buffer

Keberadaan PCR buffer penting dalam analisis PCR, karena berperan dalam menyediakan kondisi yang sesuai untuk aktivitas enzimatik PCR. Dalam hal ini menjaga pH medium agar reaksi enzimatik tetap berlangsung.

4. Nucleotide (dNTPs)

Dalam analisis PCR, dNTPs berperan sebagai komponen penyusun untai DNA yang baru. Komponen dNTPs adalah dATP (deoksiadenosin trifosfat), dTTP (deoksitimin triposfat), dCTP (deoksositidin triposfat) dan dGTP (deoksiguanosin triposfat)

5. Mesin PCR

Adapun tahapan dalam proses PCR adalah (Kusnadi, 2020; Yanuhar: 2023):

1. Denaturasi

Denaturasi merupakan proses pemanasan untai DNA *double helix* menggunakan suhu tinggi ($90-95^{\circ}\text{C}$, selama 30 detik). Denaturasi menyebabkan rantai DNA *double helix* terbuka dan membentuk *single strand* DNA.

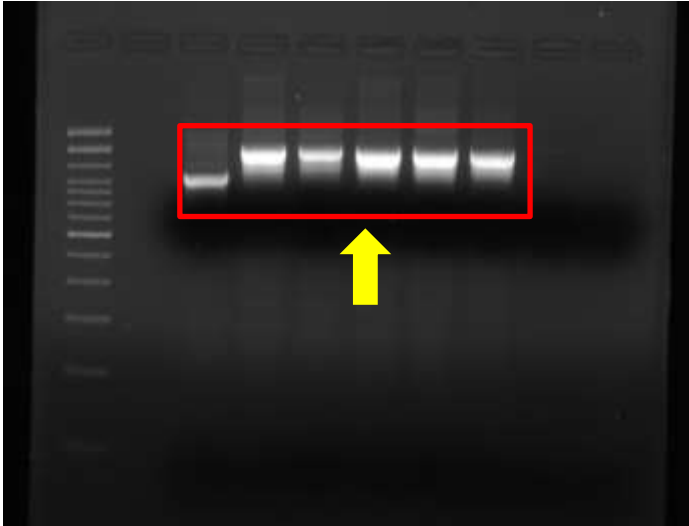
2. *Annealing*

Setelah denaturasi selesai, maka tahapan berikutnya adalah *annealing* (penempelan) pasangan primer pada untai DNA. Suhu yang digunakan untuk proses *annealing* berkisar antara 37°C-60°C selama 30-45 detik.

3. *Extension*

Pada tahap *extension* terjadi pemanjangan untai DNA yang baru. Proses ini dimulai dari posisi primer yang telah berikatan dengan urutan basa nukleotida DNA target dan berjalan dari ujung 5' menuju 3' dari *single strand* DNA. Suhu yang digunakan untuk proses *extension* adalah 70-72°C selama 30 detik tergantung dari panjang fragmen DNA yang diamplifikasi. Setelah ketiga tahapan ini selesai, maka tahapan ini diulangi kembali selama beberapa kali untuk mendapatkan *copy* DNA sesuai yang diharapkan.

Setelah proses PCR selesai, maka dilanjutkan dengan analisis DNA pada agar elektroforesis. Prinsip kerja elektroforesis adalah memisahkan fragmen DNA berdasarkan berat molekul yang dimiliki pada medium gel yang dialiri medan listrik. Visualisasi hasil elektroforesis dilakukan menggunakan alat khusus yang disebut dengan *gel documentation system (geldoc)* transilluminator. Prinsip kerja *geldoc transilluminator* adalah memancarkan sinar UV dan akan dipancarkan oleh ethidium bromide (EtBr) yang berikatan dengan DNA. Dengan demikian DNA dapat diamati. DNA hasil elektroforesis akan terlihat seperti band/pita berwarna putih seperti pada Gambar 12.



Gambar 7.12. Visualisasi hasil elektroforesis gel. DNA ditunjukkan dengan tanda panah
(sumber : Dokumen pribadi)

DAFTAR PUSTAKA

- Akihary, C. V., & Kolondam, B. J. 2020. Pemanfaatan gen 16s rRNA sebagai perangkat identifikasi bakteri untuk penelitian-penelitian di Indonesia. *pharmakon*, 9(1), 16-22.
- Alderwick, L. J., Harrison, J., Lloyd, G. S., & Birch, H. L. 2015. The mycobacterial cell wall—peptidoglycan and arabinogalactan. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 5(8).
- Antriana, N. 2014. Isolasi bakteri asal saluran pencernaan rayap pekerja (*Macrotermes* spp.). *saintifika*, 16(1).
- Fatchiyah, 2013. Dasar Teknik Amplifikasi DNA. Brawijaya University. <http://fatchiyah.lecture.ub.ac.id/teaching-responsibility/general/bbbb/>. (akses tanggal 18 November 2023)
- Ibrahim, R. F., Sjahrurachman, A., Yasmon, A., Budianti, A., Karuniawati, A., Kusumaningrum, A., ... & Sudiro, T. M. 2017. Buku Penanganan Spesimen Untuk Pemeriksaan Mikrobiologi.
- Idroes, R., Nurisma, N. W., Mawaddah, N., & Pradysta, R. R. G. 2019. *Skrining Aktivitas Tumbuhan yang Berpotensi sebagai Bahan Anti Mikroba di Kawasan Ie Brôk (Upflow Geothermal Zone) Aceh Besar*. Syiah Kuala University Press.
- Khariri, K., Amalia, N., Nursufiah, S., Muna, F., Rukminiati, Y., & Mursinah, M. 2020. Akankah Perkembangan Metode Deteksi Biomolekuler Era 4.0 Mampu Menggantikan Pemeriksaan Laboratorium Bakteri Secara Konvensional?. In *Seminar Nasional Riset Kedokteran* (Vol. 1, No. 1).
- Konieczna, I., Zarnowiec, P., Kwinkowski, M., Kolesinska, B., Fraczyk, J., Kaminski, Z., & Kaca, W. 2012. Bacterial urease and its role in long-lasting human diseases. *Current protein and peptide science*, 13(8), 789-806.
- Kusiyanto, G., Purwatiningsih, Kahar, M., 2019. Skrining dan Identifikasi Bakteri Pektinolitik Endosimbion dalam Sistem Pencernaan Serangga Penggerek Kopi (*Hypothenemus hampei* Ferr). *Biotropika : Jurnal of Tropikal Biology*, Vol.7 No, 2. 44-51

- Kusnadi, J., & Arumingtyas, E. L. 2020. *Polymerase chain reaction (PCR): teknik dan fungsi*. Universitas Brawijaya Press.
- Ridhwan, M., Umarudin, U., Kurniawan, F. B., AK, M. D., Hansur, L., Asrinawaty, A. N., ... & Hartati, R. 2023. *Mikrobiologi dan Parasitologi*. Global Eksekutif Teknologi.
- Rinanda, T. 2011. Analisis sekuensing 16S rRNA di bidang mikrobiologi. *Jurnal Kedokteran Syiah Kuala*, 11(3), 172-177.
- Wulandari, K. K., Rodja, H. A., Urjiyah, U. G., Fibriani, E., & Putri, F. A. 2021. Teknik Diagnostik Konvensional Dan Lanjutan Untuk Infeksi Bakteri Dan Resistensi Antibakteri Di Indonesia. *Jurnal Widya Biologi*, 12(02), 98-116.
- Yanuhar, U., & Caesar, N. R. 2023. *Bioteknologi Lingkungan Perairan*. Universitas Brawijaya Press.

BAB 8

REKAYASA GENETIKA MOLEKULER MIKRO

Oleh Made Gayatri Anggarkasih

8.1 Pendahuluan

Perkembangan biologi molekuler secara umum mencakup manipulasi *Deoxyribonucleic Acid* (DNA) dan *Ribonucleic Acid* (RNA) yang pemanfaatannya sudah sangat luas. Sebagai contoh, aplikasi manipulasi biologi molekuler di bidang kesehatan adalah melalui teknologi dapat dihasilkan hormon insulin bagi penderita diabetes. Dengan berkembangnya teknologi DNA rekombinan, insulin manusia rekombinan tersedia dalam jumlah besar melalui biosintesis pada mikroorganisme (*Escherichia coli*, khamir) yang menyediakan pasokan hormon dengan harga lebih terjangkau. Insulin manusia rekombinan adalah salah satu produk bioteknologi pertama. Kemurnian dan kualitas farmasetikal dari insulin rekombinan manusia terbukti lebih unggul dibandingkan insulin hewani dan semisintetik, dan pasien diabetes dapat dengan aman dan efektif dipindahkan dari insulin hewan atau insulin manusia semisintetik ke insulin manusia rekombinan tanpa perubahan dosis insulin yang diharapkan (Landgraf dan Sandow, 2016).

Perkembangan rekayasa genetika tidak lepas dari berbagai penemuan terdahulu sebelum terciptanya teknologi DNA seperti penemuan enzim restriksi (enzim pemotong molekul DNA), enzim ligase (enzim penyambung molekul DNA) serta berbagai proses biokimia lainnya (Muladno, 2010). Rekayasa genetika dapat pula diterapkan pada bidang pertanian seperti pembuatan tanaman transgenik. Melalui penggunaan transgenik, seseorang dapat menghasilkan tanaman dengan sifat-sifat yang diinginkan dan bahkan meningkatkan hasil panen. Tujuan menyisipkan kombinasi gen tanaman untuk meningkatkan produktifitas. Proses rekombinan ini memberikan keuntungan seperti meningkatkan umur simpan,

yield lebih tinggi, meningkatkan mutu, tahan hama, toleran terhadap panas, dingin dan kekeringan, serta mampu bertahan dari berbagai cekaman biotik dan abiotik. Tanaman transgenik juga dapat diproduksi sedemikian rupa sehingga dapat mengekspresikan protein asing yang memiliki nilai industri dan farmasi (Rani dan Usha, 2013). Selain pada tanaman, rekayasa genetika juga diaplikasikan pada produk hewani. Penggunaan PCR (*Polymerase Chain Reaction*) sudah digunakan untuk mendeteksi dan mengkuantifikasi adanya cemaran babi pada sampel olahan pangan berdasarkan keberadaan residu DNA babi. Hal ini dapat bermanfaat dalam menentukan status kehalalan suatu produk/bahan berbasis hewani, terutama di Indonesia dimana mayoritas penduduknya merupakan muslim.

Produk-produk rekayasa genetika hingga saat ini masih terus berkembang, seperti produksi obat-obatan dan vaksin, makanan dan bahan makanan, pakan dan serat. Menemukan gen yang memiliki sifat-sifat penting seperti gen yang memberikan ketahanan terhadap serangan atau nutrisi yang diinginkan, merupakan salah satu hambatan dalam proses rekayasa. Selain itu, membangkitkan kepercayaan konsumen terhadap produk rekayasa genetika menjadi suatu persoalan. Masyarakat masih banyak yang meragukan, apakah produk rekayasa genetika aman untuk dikonsumsi.

8.2 Asam Nukleat

Selain protein, lipid, dan karbohidrat kompleks (polisakarida), asam nukleat adalah salah satu dari empat jenis makromolekul utama yang penting untuk semua bentuk kehidupan yang diketahui. Asam nukleat terdiri dari dua makromolekul utama yaitu asam deoksi-ribonukleat (DNA) dan asam ribonukleat (RNA) yang membawa informasi genetik untuk pengembangan, fungsi, pertumbuhan, dan reproduksi semua organisme dan virus. Keduanya terdiri dari polimer '*backbone*' gula-fosfat-gula dengan basa heterosiklik organik yang melekat pada gula. Gula dalam DNA adalah deoksiribosa sedangkan pada RNA adalah ribosa. DNA mengandung empat basa, sitosin dan timin (basa pirimidin) serta guanin dan adenin (basa purin). DNA terdiri dari dua untai

antiparalel yang terjalin untuk membentuk *double helix* DNA. Sedangkan RNA, beruntai tunggal tetapi dapat mengadopsi banyak konformasi sekunder dan tersier yang mirip dengan protein (Ngili, 2017). Perbedaan DNA dan RNA dapat dilihat pada Tabel dan Gambar 8.1.

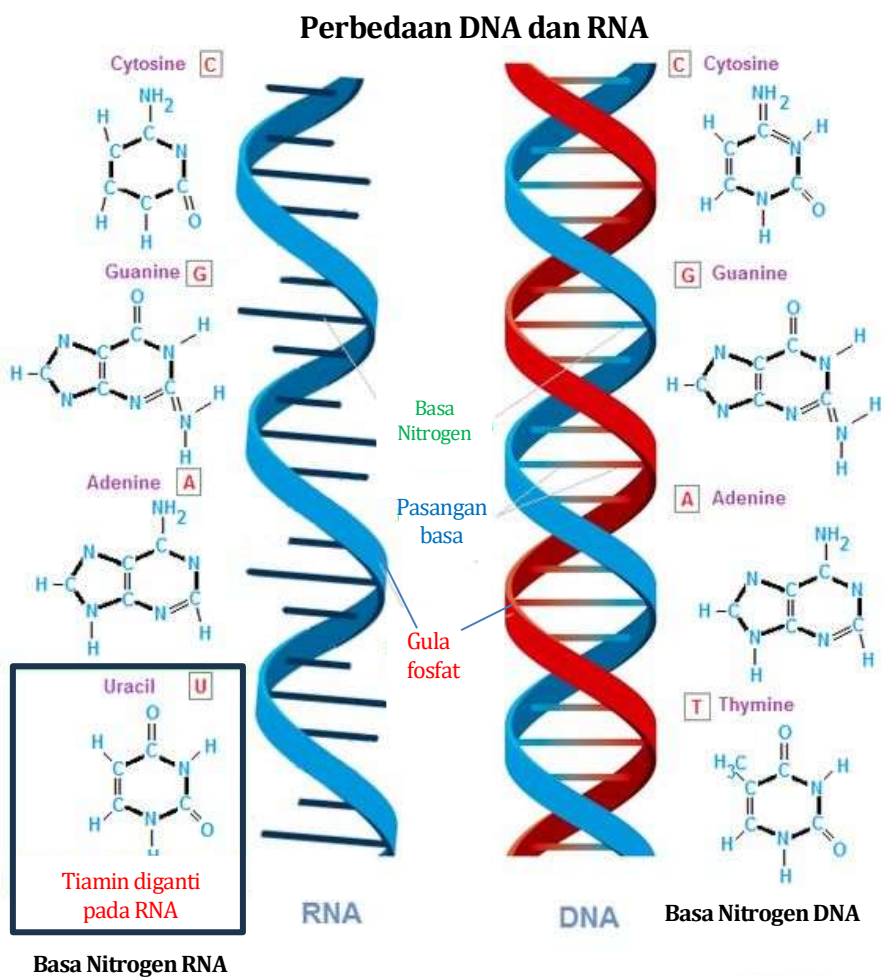
Tabel 8.1. Rangkuman Perbedaan DNA dan RNA

No.	Pembeda	DNA	RNA
1	Letak	Nukleus, yaitu di dalam kromosom, mitokondria, plastid dan sentriol	Sitoplasma, ribosom, dan nukeus
2	Struktur	Double Helix, rantai panjang	Single Helix, rantai pendek
3	Komponen gula	Deoksiribosa	Ribosa
4	Basa Nitrogen	Purin: A, G Pirimidin: T, C	Purin: A, G Pirimidin: U, C
5	Fungsi	Membawa informasi genetik	Sintesis protein
6	Ukuran	Lebih besar dari protein	Sebanding dengan protein

Sumber: Ngili, 2017

DNA (dan RNA) yang terhidrolisis secara sempurna oleh asam akan membagi molekul tersebut menjadi campuran basa nitrogen yaitu cincin heterosiklik purin dan pirimidin. Purin diturunkan dari pirimidin dengan penambahan gugus imidazol. Basa pirimidin terdiri atas timin (5-metil-2,4-dihidroksipirimidin), sitosin (2-okso-4-aminopirimidin), dan urasil (2,4-dihidroksi pirimidin). Sedangkan basa purin terdiri dari adenin (6-aminopurin) dan guanin (2-amino-6-oksipurin) (Blanco dan Blanco, 2022). Di dalam struktur asam nukleat, pirimidin dan purin akan berikatan dengan gula pentosa membentuk suatu nukelosida. Penamaan nukleosida yang berikatan dengan robosa yaitu adenosin, uridin, guanosin. Sedangkan yang berikatan dengan deoksiribosa yaitu

deoksiganosin, deoksicitidin, dan deoksithymidin. Nukleosida yang berikatan pada posisi C-5' dengan fosfat disebut sebagai Nukleotida.



Gambar 8.1. Perbedaan DNA dan RNA (Diterjemahkan)
(Sumber: <https://id.pinterest.com/pin/591238257302894123/>)

Nukleotida yang mengandung deoksiribosa disebut *deoksiribo-nukleotida*, sedangkan yang mengandung ribose disebut *ribo-nukleotida*. Adenosin 5'-fosfat disebut adenosin monofosfat (AMP) atau asam adenilat. Namun, jika gula deoksiribosa diganti

menjadi gula ribose maka disebut asam deoksiadenilat (dAMP). Penulisan satu unit nukleotida dapat dilihat pada Tabel 8.2.

Tabel 8.2. Aturan Penulisan Satu Unit Nukleotida

Basa	Nukleosida	Nukleotida	Singkatan untuk	
			DNA	RNA
Adenin (A)	Adenosin	Asam adenilat	AMP	dAMP
Guanin (G)	Guanosin	Asam guanilat	GMP	dGMP
Cytosin (C)	Cytidin	Asam cytidilat	CMP	dCMP
Thymin (T)	Thymidin	Asam thymidilat	-	dTMP
Urasil (U)	Uridin	Asam uridilat	UMP	-

Sumber: Muladno, 2010

Kombinasi monomer nukleotida yang dihubungkan satu sama lain melalui ikatan kovalen disebut polinukleotida. Molekul poli-nukleotida tunggal terdiri dari 14 atau lebih monomer nukleotida dalam struktur rantai. DNA dan RNA adalah contoh polinukleotida. Pada DNA terdapat dua rantai spiral polinukleotida yang tersusun dalam bentuk heliks, sedangkan RNA merupakan molekul beruntai Tunggal (Noreen *et al.*, 2020). DNA berperan penting dalam menjaga keberlangsungan spesies dari generasi ke generasi. DNA, melalui urutan basa nitrogennya, membawa kode informasi genetik yang spesifik untuk setiap individu atau spesies tertentu. Informasi genetik yang terkandung dalam DNA akan ditranskripsi menjadi RNA dan kemudian RNA akan ditranslasi menjadi protein (Mushlih, 2019). Namun tidak semua informasi genetik disimpan sebagai DNA, seperti retrovirus yang menyimpan materi genetiknya dalam RNA yang kemudian diubah menjadi DNA.

8.3 Gen dan Kromosom

Istilah gen mulai diciptakan pada awal tahun 1900-an untuk menggambarkan unit dasar hereditas. Gen merupakan lokus-lokus berbeda yang tersusun secara linier pada kromosom. Gen adalah segmen asam deoksiribonukleat (DNA) yang berisi kode protein spesifik yang berfungsi pada satu atau lebih jenis sel dalam tubuh atau kode molekul asam ribonukleat (RNA) fungsional. Kromosom adalah struktur di dalam sel yang mengandung gen seseorang (Padiath, 2023). Manusia memiliki sekitar 20.000 hingga 23.000 gen. Gen terdiri dari DNA yang berisi kode atau cetak biru yang digunakan untuk mensintesis protein atau RNA. Ukuran gen juga bervariasi, tergantung pada ukuran protein atau RNA yang dikodekannya. Baik gen maupun kromosom memainkan peran yang sama pentingnya dalam menyimpan informasi. Kromosom memiliki banyak gen dan gen menyimpan informasi untuk membentuk protein yang spesifik. Beberapa perbedaan gen dan kromosom dapat dilihat pada Tabel 8.3.

Tabel 8.3. Perbedaan Gen dan Kromosom

No	Gen	Kromosom
1	Gen terletak pada kromosom	Kromosom adalah struktur DNA yang dikemas dengan protein
2	Gen tidak terlihat di bawah mikroskop	Kromosom terlihat di bawah mikroskop
3	Gen tunggal adalah lokus pada kromosom	Satu kromosom terdiri dari banyak gen
4	Gen terdiri dari DNA atau RNA	Kromosom terdiri dari DNA, histon, dan RNA
5	Mutasi gen kecil	Mutasi kromosom relatif besar

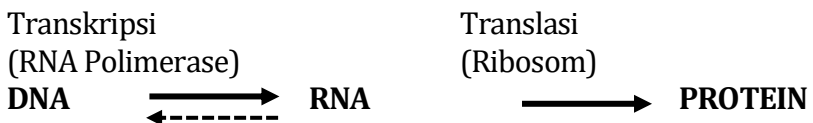
Sumber: *Difference between Gene and Chromosome- Overview* (byjus.com)

Percobaan pemuliaan lalat buah *Drosophila* mendukung pandangan bahwa jika dua gen terletak berdekatan pada sebuah kromosom, maka kemungkinan besar keduanya akan diwariskan

secara bersamaan. Pengamatan bahwa mutasi pada gen dapat menimbulkan perubahan fenotipe yang memunculkan hipotesis '*satu gen satu polipeptida*'. Setelah jelas bahwa gen terbuat dari DNA, apa yang disebut sebagai dogma utama biologi molekuler pun diciptakan. Hal ini menggambarkan dua langkah proses di mana gen pada DNA ditranskripsi menjadi RNA dan kemudian diterjemahkan menjadi rangkaian asam amino yang membentuk protein (Minchin dan Lodge, 2019).

8.4 Aliran Informasi Genetik

Aliran dasar informasi genetik dalam sistem biologis sering digambarkan dalam skema yang dikenal sebagai "sentral dogma". Skema ini menyatakan bahwa informasi yang dikodekan dalam DNA mengalir ke RNA melalui transkripsi dan akhirnya ke protein melalui translasi. DNA dalam genom tidak mengarahkan sintesis protein itu sendiri, melainkan menggunakan RNA sebagai molekul perantara. Ketika sel membutuhkan protein tertentu, urutan nukleotida dari bagian yang sesuai dari molekul DNA yang sangat panjang dalam kromosom pertama-tama disalin ke dalam RNA (transkripsi). Salinan RNA dari segmen DNA inilah yang digunakan langsung sebagai cetakan untuk mengarahkan sintesis protein (translasi). Oleh karena itu, aliran informasi genetik dalam sel dimulai dari DNA, RNA, hingga protein (Gambar 8.2). Semua sel, mulai dari bakteri hingga manusia, mengekspresikan informasi genetiknya dengan cara ini sehingga disebut sebagai dogma utama biologi molekuler.



Gambar 8.2. Aliran Informasi Genetik (Diterjemahkan)
(Sumber: Minchin & Lodge, 2019)

8.4.1 Replikasi

Sintesis perbanyakkan bahan genetik seperti DNA, dimulai dari proses replikasi. Proses replikasi merupakan reaksi kimia

merupakan proses perbanyakan senyawa baru yang sama. Hanya asam nukleat, DNA, dan RNA yang dapat melakukan proses replikasi. Pada sel, proses replikasi DNA terjadi sebelum pembelahan sel dengan memanfaatkan enzim DNA polimerase. Enzim polimerase membantu pembentukan ikatan antara nukleotida-nukleotida penyusun polimer DNA. Pada setiap proses mitosis, tiap sel akan menghasilkan 2 sel anak yang memiliki DNA lengkap persis dengan induknya. Berdasarkan struktur *double helix* DNA, terdapat tiga pola replikasi DNA, yaitu (Fifendy M, 2017):

1. Semi-konservatif

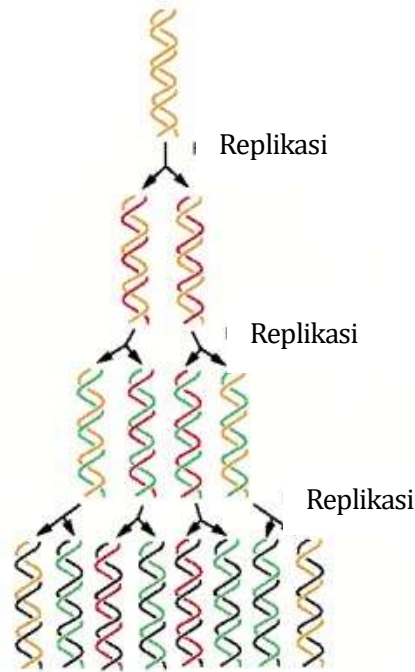
Menurut teori semi konservatif, setiap utas DNA menjadi cetakan bagi pembentukan utas baru, sehingga di akhir proses replikasi akan ditemukan dua utas ganda yang mengandung satu utas baru dan satu utas lama.

2. Konservatif

Pada teori konservatif, rantai polinukleotida induk tidak berpisah melainkan dua utas ganda DNA Bersama-sama membentuk dua utas baru sehingga akan dihasilkan dua utas ganda baru dan dua utas ganda lama.

3. Dispersif

Dalam teori dispersif rantai polinukleotida induk akan terputus-putus kemudian memisah dan akan membentuk rangkaian baru yang terdiri dari campuran potongan dari pasangan nukleotida lama dan potongan dari polinukleotida yang baru disintesis.



Gambar 8.3. Replikasi Semi Konservatif
(Sumber: Albert *et al.*, 2002)

Dari ketiga pola replikasi, model yang paling sesuai adalah semi konservatif baik untuk eukariyot maupun prokaryot. Selama replikasi DNA di dalam sel, masing-masing dari dua untai DNA lama berfungsi sebagai cetakan untuk pembentukan untai baru. Karena masing-masing dari dua anak sel yang membelah mewarisi heliks ganda DNA baru yang mengandung satu untai lama dan satu untai baru (Gambar 8.3). Dalam satu putaran replikasi, masing-masing dua untai DNA digunakan sebagai cetakan untuk pembentukan untai DNA komplementer. Oleh karena itu, untai asli tetap utuh melalui banyak generasi sel (Albert *et al.*, 2002).

Terdapat beberapa syarat dalam proses replikasi DNA (Fifendy, 2017) yaitu:

1. DNA harus memiliki titik *ori* (*origin of replication*). DNA yang tidak memiliki titik *ori* tidak dapat bereplikasi.
2. Asam nukleat harus beruntai ganda. Setiap untai akan menjadi model bagi untai pasangannya.

3. Replikasi mengikuti pola semi konservatif.
4. Dalam proses sintesis DNA, nukleotida bergabung satu dengan yang lain dengan cara merangkaikan C5 yang mengandung fosfat dari satu nukleotida kepada C3 yang mengandung ion OH dari nukleotida lain kemudian membentuk ikatan 5'---- 3' fosfodiester.
5. Replikasi terjadi dalam dua proses. Pertama, pelepasan *double helix* menjadi untai tunggal dan membentuk cabang replikasi oleh DNA polimerase. Kedua, pembentukan rantai baru dengan menggunakan rantai tunggal sebagai model. Dalam proses pelepasan rantai ganda menjadi tunggal akan terbentuk struktur "Y" dimana persimpangannya merupakan titik tumbuh. Proses replikasi bergerak urut dari titik tumbuh. Situs awal dan titik tumbuh terikat pada membrane sel dan pada saat inilah kedua utasan diduplikasi. Masing-masing utas memiliki urutan basa seperti utasan DNA awal.
6. Utasan-utas yang direplikasi dalam bentuk segmen-segmen kecil yang disebut fragmen Okazaki dengan arah 5' ke 3' yang kemudian digabungkan mejadi satu oleh DNA ligase. Pengawalan replikasi memerlukan suatu "pancingan" berupa potongan pendek RNA yang disintesis oleh RNA polymerase dan komplementer terhadap DNA. Melalui proses ini, DNA polymerase dapat memulai sistesis deoksi-ribonukleotida.

8.4.2 Transkripsi

Transkripsi adalah langkah pertama dalam ekspresi gen, dimana informasi dari suatu gen digunakan untuk membentuk protein. Tujuan transkripsi adalah membuat salinan RNA dari urutan DNA suatu gen. Untuk gen pengkode protein, salinan atau transkrip RNA membawa informasi yang diperlukan untuk membangun polipeptida (protein atau subunit protein). Transkrip eukariotik perlu melalui beberapa langkah pemrosesan sebelum diterjemahkan menjadi protein. Enzim utama yang terlibat dalam transkripsi adalah RNA polimerase, yang menggunakan cetakan DNA untai tunggal untuk mensintesis untai RNA komplementer.

Secara khusus, RNA polimerase membangun untai RNA dalam arah 5' ke 3', menambahkan setiap nukleotida baru ke ujung 3' untai. Transkripsi suatu gen terjadi dalam tiga tahap: inisiasi, elongasi, dan terminasi.

1. Inisiasi

RNA polimerase berikatan dengan rangkaian DNA promotor, ditemukan di dekat awal gen. Setiap gen (atau kelompok gen yang ditranskripsikan bersama, pada bakteri) memiliki promotornya sendiri. Setelah terikat, RNA polimerase memisahkan untai DNA, menyediakan cetakan untai tunggal yang diperlukan untuk transkripsi.

2. Elongasi

Salah satu untai DNA bertindak sebagai cetakan untuk RNA polimerase. Saat RNA Polimerase "membaca" cetakan basa ini satu per satu, polimerase membangun molekul RNA dari nukleotida komplementer, membuat rantai yang terbentuk dari 5' ke 3'. Transkrip RNA membawa informasi yang sama dengan untai DNA non-templat yang mengandung basa urasil (U), bukan timin (T).

3. Terminasi

Urutan yang disebut terminator memberi sinyal bahwa transkrip RNA telah selesai. Pada titik ini, enzim berhenti menambahkan nukleotida ke rantai RNA yang sedang tumbuh, melepaskan produk jadi, dan berdisosiasi dari cetakan DNA.

8.4.3 Translasi

Translasi pesan RNA menjadi suatu polipeptida terdiri atas empat tahap yaitu aktivasi, inisiasi, elongasi dan terminasi (Chavan, 2022). Proses transkripsi dan translasi dapat dilihat pada Gambar 8.4.

1. Aktivasi

Kode mRNA digunakan untuk membentuk protein tertentu melalui proses Translasi. Pada prosesnya, ribosom menerjemahkan mRNA yang dihasilkan dari DNA menjadi rantai asam amino tertentu yang melibatkan pengisian tRNA.

2. Inisiasi

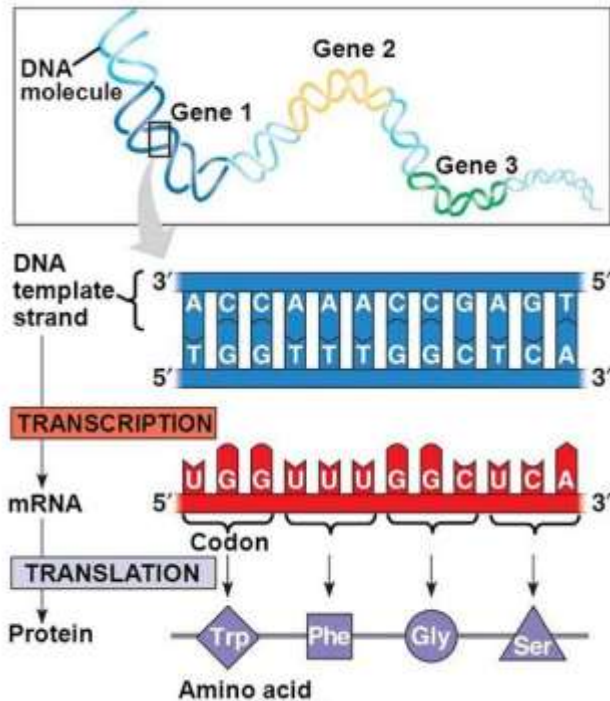
Proses ini melibatkan pengenalan kodon awal dan kemudian pengikatan sub-unit ribosom ke mRNA sambil membentuk kompleks inisiasi dengan Met-tRNA di sisi P (sisi peptidyl). Untuk inisiasi, ribosom berikatan dengan mRNA pada kodon awal (AUG) yang hanya dikenali oleh tRNA inisiator.

3. Elongasi

Pemanjangan terjadi melalui pembentukan ikatan Peptida dan pertumbuhan rantai polipeptida. Ribosom melanjutkan ke fase pemanjangan sintesis protein. Pada tahap ini, kompleks asam amino yang berikatan dengan tRNA, secara berurutan berikatan dengan kodon yang sesuai dalam mRNA dengan membentuk pasangan basa komplementer dengan antikodon tRNA. Ribosom berpindah dari kodon ke kodon sepanjang asam amino ditambahkan satu per satu, diterjemahkan ke dalam urutan polipeptida yang ditentukan oleh DNA dan diwakili oleh mRNA.

4. Terminasi

Untuk penghentian proses transisi, kodon stop memasuki situs A yang kemudian mengakibatkan penghentian proses. Jadi pada akhirnya, faktor pelepasan berikatan dengan kodon stop, menghentikan translasi dan melepaskan polipeptida lengkap dari ribosom.



Gambar 8.4. Proses Transkripsi dan Translasi

(Sumber: <https://botanystudies.com/gene-nature-and-properties-of-the-gene/>)

8.5 Teknologi DNA Rekombinan

Bioteknologi merupakan semua teknologi yang memanfaatkan makhluk hidup sebagai komponen utamanya. Teknologi rekayasa genetika termasuk di dalamnya. Manipulasi dapat dilakukan pada molekul DNA makhluk hidup. Proses memindahkan atau menggabungkan DNA dari sumber yang berbeda membentuk DNA baru disebut sebagai teknologi DNA rekombinan. Tujuan teknologi DNA rekombinan seperti cloning atau pemindahan gen-gen penyandi adalah mendapatkan sifat-sifat tertentu yang menguntungkan seperti hewan ternak unggul atau tanaman yang tahan terhadap serangan hama.

Keunggulan rekayasa genetika adalah mampu memindahkan materi genetik dari berbagai ragam sumber dengan ketepatan tinggi dan terkontrol serta dapat dilakukan dalam waktu yang cenderung

lebih singkat. Melalui proses rekayasa genetika, banyak produk atau organisme yang telah berhasil dikembangkan dan menguntungkan bagi kehidupan manusia (Sutarno, 2016). Teknologi DNA rekombinan melibatkan penggunaan enzim dan berbagai teknik laboratorium untuk memanipulasi dan mengisolasi segmen DNA yang diinginkan. Metode ini dapat digunakan untuk menggabungkan (atau menyambung) DNA dari spesies berbeda atau untuk membuat gen dengan fungsi baru. Salinan yang dihasilkan sering disebut sebagai DNA rekombinan. Proses ini melibatkan perbanyakan DNA rekombinan dalam sel bakteri atau khamir, yang mesin selulernya menyalin DNA hasil rekayasa tersebut bersama dengan DNA miliknya sendiri (Wetterstrand, 2023). Teknologi DNA rekombinan telah berhasil diterapkan untuk membuat protein penting yang digunakan dalam bidang kesehatan dan pertanian.

Proses rekombinasi DNA memerlukan paling sedikit dua jenis enzim yaitu endonuclease restriksi dan enzim ligase. Enzim endonuclease restriksi berfungsi untuk memotong molekul DNA, sedangkan enzim ligase digunakan untuk menggabungkan molekul DNA yang sudah dipotong ke DNA lain (Muladno, 2010). Proses rekombinan DNA dilakukan pada beberapa tahap kompleks yaitu:

1. Isolasi Materi Genetik

Langkah awal dalam teknologi DNA Rekombinan adalah mengisolasi DNA yang diinginkan dalam bentuk murni yang bebas dari makromolekul lain.

2. Memotong gen di lokasi pengenalan.

Enzim restriksi berperan besar dalam menentukan lokasi di mana gen yang diinginkan dimasukkan ke dalam genom vektor. Endonuklease restriksi berperan dalam memotong gen.

3. Memperkuat salinan gen melalui reaksi berantai *Polymerase* (PCR).

Proses menggandakan jumlah molekul DNA pada target tertentu dengan cara sintesis molekul DNA baru yang berkomplemen dengan DNA target melalui bantuan enzim dan oligonukleotida sebagai primer dalam suatu *thermocycler*. Proses PCR terdiri atas denaturasi (denaturasi DNA menjadi

- untai tunggal), penempelan primer (*annealing*) dan pemanjangan primer (*extension*) dibantu *Taq polymerase*.
4. Penggabungan Molekul DNA
Dalam langkah Ligasi ini, terjadi penggabungan dua bagian atau potongan fragmen DNA dan vektor bersama-sama dengan bantuan enzim DNA ligase.
 5. Penyisipan DNA Rekombinan ke dalam Inang
Pada langkah ini, DNA rekombinan dimasukkan ke dalam sel inang penerima. Proses ini disebut sebagai Transformasi. Setelah DNA rekombinan dimasukkan ke dalam sel inang, DNA tersebut akan berkembang biak dan diekspresikan dalam bentuk protein yang diproduksi dalam kondisi optimal.

8.6 Aplikasi Teknologi Rekombinan DNA

Teknologi rekombinan DNA dapat diterapkan pada multidisiplin ilmu dan berpotensi menangani aspek-aspek penting kehidupan, seperti meningkatkan ketahanan tanaman, produksi hewan ternak, dan sumber daya pangan. Teknologi rekombinana DNA juga bermanfaat pada bidang kesehatan hingga keperluan forensik.

8.6.1 Bidang Kesehatan

Dalam industri farmasi, metode DNA rekombinan merupakan hal yang umum digunakan dalam penemuan dan pengembangan obat-obatan. Teknik rekombinan DNA ini membantu menemukan dan menjelaskan interaksi antara senyawa terapeutik dan makromolekul target seperti protein atau RNA. Efek potensial pada fisiologi seluler, secara toksikologi, serta mekanisme kerja senyawa dan profil resistensi dapat diuji dengan metodologi genetik molekuler atau biokimia. Terapi produk alami yang berasal dari metabolit sekunder mikroba, dapat dioptimalkan dengan metode rekombinan untuk meningkatkan hasil atau mengubah struktur kimia (Khan *et al.*, 2016).

Industri bioteknologi lain yang menggunakan DNA rekombinan adalah produksi hormon seperti hormon insulin bagi penderita diabetes. Pembuiatan hormon insulin diawali dengan pengambilan gen insulin manusia di laboratorium. Kemudian plasmid DNA bakteri dikeluarkan dan gen insulin manusia ke dalam

plasmid. Selanjutnya plasmid ke bakteri dikembalikan. Bakteri “rekombinan” kemudian dimasukan ke dalam tangki fermentasi besar. Di sana, bakteri rekombinan menggunakan gen tersebut untuk mulai memproduksi insulin manusia. Insulin dari bakteri dipanen dan dimurnikan untuk digunakan sebagai obat bagi manusia. Bakteri yang dapat digunakan untuk menghasilkan insulin salah satunya adalah *E. coli 20 strain* (Zielinski *et al.*, 2019).

Teknologi DNA rekombinan juga dapat menghasilkan vaksin yang hanya mengandung antigen terisolasi dan tidak mengandung komponen bakteri atau virus lain yang sering kali menimbulkan efek samping yang merugikan. Vaksin tradisional cenderung memiliki catatan keamanan yang buruk, dan cacat dalam proses produksi sehingga berpotensi menjadi sumber wabah penyakit. Sedangkan vaksin generasi baru seperti vaksin DNA plasmid lebih aman dibandingkan vaksin tradisional tertentu, karena menghindari masuknya virus hidup. DNA plasmid cenderung lebih stabil dibandingkan protein, virus, atau mRNA, juga dapat dibekukan dan disimpan dalam jangka panjang. Produksi vaksin ini lebih mudah dan hemat biaya (Bouazzaoui *et al.*, 2021).

8.6.2 Bidang Pangan dan Pertanian

Teknologi DNA rekombinan memiliki kegunaan besar yang memungkinkan pembuatan enzim baru yang sesuai dalam kondisi pengolahan makanan tertentu. Beberapa enzim penting seperti lipase dan amilase tersedia untuk produksi tertentu karena peran keduanya di industri pangan. Produksi strain mikroba merupakan pencapaian besar lainnya yang dapat dicapai dengan bantuan teknologi DNA rekombinan. Sejumlah strain mikroba telah dikembangkan yang menghasilkan enzim melalui rekayasa khusus untuk memproduksi protease. Lisozim merupakan agen yang efektif untuk membasmi bakteri pada industri makanan. Lisozim mampu mencegah kolonisasi mikroba sehingga cocok diaplikasikan dalam penyimpanan makanan termasuk buah-buahan, sayuran, keju, dan daging karena dapat meningkatkan umur simpannya. Aplikasi lisozim pada gel gelatin kulit ikan meningkatkan umur simpan produk makanan dan menghambat pertumbuhan bakteri perusak makanan (Lian *et al.*, 2012). Biofilm yang berhubungan dengan

industri makanan dapat dihilangkan dengan menggabungkan aktivitas serin protease dan amilase (Torres *et al.*, 2011). Mikroorganisme seperti *S. aureus*, *Salmonella infantis*, *Clostridium perfringens*, *B. cereus*, *Campylobacter jejuni*, *L. monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, dan beberapa mikroorganisme pembusuk makanan lainnya dapat dihambat oleh glukosa oksidase. Enzim ini termasuk penting di dalam industri makanan untuk membunuh berbagai macam patogen bawaan makanan (Thallinger *et al.*, 2013).

Aplikasi DNA rekombinan pada tanaman yang telah ada yaitu tanaman transgenik. Pada tanaman transgenik telah disisipkan gen tertentu seperti gen yang secara alami menghasilkan zat racun bagi serangga sehingga tanaman tersebut dapat tahan terhadap serangan hama tertentu. Tanaman transgenik menurunkan penggunaan insektisida, sehingga lebih ramah lingkungan, biaya produksi dapat ditekan dan produktivitasnya lebih tinggi (Muladno, 2010). Varietas padi dengan protein kinase yang dikenal sebagai PSTOL1 (toleransi kekurangan fosfor 1) membantu meningkatkan pertumbuhan akar pada tahap awal dan mentolerir kekurangan fosfor. Ekspresi berlebih dari enzim ini memungkinkan akar menyerap nutrisi dalam jumlah yang cukup di tanah yang kekurangan fosfor yang pada akhirnya meningkatkan hasil biji-bijian (Hiruma *et al.*, 2016). Penyisipan gen γ -tmt ke dalam genom kloroplas menghasilkan pembentukan banyak lapisan pada selubung kloroplas bagian dalam. Pengenalan gen likopen β -siklase ke dalam genom plastid tomat meningkatkan konversi likopen menjadi provitamin A (Apel *et al.*, 2009). Prospek masa depan juga dalam peningkatan efisiensi penggunaan nitrogen atau *nitrogen use efficiency* (NUE) pada tanaman pangan (Labedev *et al.*, 2021). Hal ini sangat penting sbagi pengembangan pertanian berkelanjutan karena Ketersediaan nitrogen yang rendah merupakan salah satu faktor pembatas utama pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberts B, Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts, and Peter Walter. 2002. *Molecular Biology of the Cell, 4th edition, How Cells Read the Genome: From DNA to Protein*. New York: Garland Science.
- Apel W, Bock R. 2009. Enhancement Of Carotenoid Biosynthesis in Transplastomic Tomatoes by Induced Lycopene-To-Provitamin A Conversion. *Plant Physiology* 151, 59–66. <https://doi.org/10.1104/pp.109.140533>
- Blanco A and G Blanco. 2022. *Medical Biochemistry (Second Edition): Chapter 6-Nucleic acids*. Academic Press an Imprint of Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91599-1.00022-5>
- Bouazzaoui A, Ahmed A. H. Abdellatif, Faisal A. Al-Allaf, Neda M, Saied Al-Dehlawi, and Sameer HQ. 2021. Strategies for Vaccination: Conventional Vaccine Approaches Versus New-Generation Strategies in Combination with Adjuvants. *Pharmaceutics* 13, 140. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13020140>
- Chavan S. 2022. *Inhibitors of Transcription and Translation Notes*. Dilihat 25 Oktober 2023. <[PDF] Inhibitors Of Transcription And Translation Notes (biologywala.com)>
- Fifendy Mades. 2017. *Mikrobiologi*. Depok: Kencana.
- Hiruma K, Nina Garlach, Soledad Sacristán, Ryohei Thomas Nakano, Stéphane Hacquard, Barbara Kracher, Ulla Neumann, Diana Ramírez, Marcel Bucher, Richard J O'Connell, Paul Schulze-Lefert. 2016. Root Endophyte Colletotrichum Tofieldiae Confers Plant Fitness Benefits that are Phosphate Status Dependent. *Cell* 165, 464–474. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2016.02.028>
- Khan Suliman, Muhammad Wajid Ullah, Rabeea Siddique, Ghulam Nabi, Sehrish Manan, Muhammad Yousaf, and Hongwei Hou. 2016. Role of Recombinant DNA Technology to Improve Life. *International Journal of Genomic*, 2405954. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5178364/>

- Labedev Vadim G, Anna A. Popova and Konstantin A. Shestibratov. 2021. Genetic Engineering and Genome Editing for Improving Nitrogen Use Efficiency in Plants. *Cells* 10, 3303. <https://doi.org/10.3390/cells10123303>
- Landgraf Wolfgang and Juergen Sandow. 2016. Recombinant Human Insulins – Clinical Efficacy and Safety in Diabetes Therapy. *European Endocrinology* 12(1), 12–17. <http://doi.org/10.17925/EE.2016.12.01.12>
- Lian ZX, Ma ZS, Wei J, Liu H. 2012. Preparation And Characterization of Immobilized Lysozyme and Evaluation of its Application in Edible Coatings. *Process Biochemistry* 47(2), 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.10.031>
- Minchin S and J Lodge. 2019. Understanding Biochemistry: Structure and Function of Nucleic Acids. *Essays in Biochemistry* 63, 433–456. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6822018>
- Muladno. 2010. *Teknologi Rekayasa Genetika (Edisi Kedua)*. Bogor: IPB Press.
- Mushlih M. 2019. *Buku Ajar Mata Kuliah Biologi Molekuler: Aplikasi Dasar di Dunia Kesehatan*. Sidoarjo: UMSIDA Press.
- Ngili Yohanis. 2017. *Asam Nukleat: Struktur, Replikasi, Transkripsi, Transalasi dan Aplikasinya*. Bandung: Rekayasa Sains.
- Noreen A, Salma Sultana, Tayyaba Sultana, Shazia Tabasum, Khalid Mahmood Zia, Zaeema Muzammil, Mudassir Jabeen, Ansab Zaeem Lodhi, Sitwat Sultana. 2020. Natural Polymers as Constituents of Bionanocomposites. *Bionanocomposites*, 55–85. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816751-9.00003-9>
- Padiath QS. 2023. *Genes and Chromosomes*, University of Pittsburgh, MSD Manual Consumer Version, Dilihat 15 Oktober 2023. <<https://www.msdmanuals.com/home/fundamentals/genetics/genes-and-chromosomes>>
- Rani SJ and R Usha. 2013. Transgenic Plants: Types, Benefits, Public Concerns and Future. *Journal of Pharmacy Research* 6(8), 879–883. <https://doi.org/10.1016/j.jopr.2013.08.008>

- Sutarno. 2016. Rekayasa Genetik Dan Perkembangan Bioteknologi di Bidang Peternakan. *Proceeding Biology Education Conference 13*(1). Surakarta: 6 Agustus 2016, hal 23-27, ISSN: 2528-5742.
<https://jurnal.uns.ac.id/prosbi/article/viewFile/5642/5010>
- Thallinger B, Prasetyo EN, Nyanhongo GS, Guebitz GM. 2013. Antimicrobial enzymes: an emerging strategy to fight microbes and microbial biofilms. *Biotechnology Journal* 8 (1), 97–109. <https://doi.org/10.1002/biot.201200313>
- Torres CE, Lenon G, Craperi D, Wilting R, Blanco Á. 2011. Enzymatic Treatment For Preventing Biofilm Formation in The Paper Industry. *Applied Microbiology and Biotechnology* 92(1), 95–103. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21559828/>
- Wetterstrand KA. 2023. *Recombinant DNA Technology*, National Human Genome Research Institute. Diakses 28 Oktober 2023. <<https://www.genome.gov/genetics-glossary/Recombinant-DNA-Technology>>.
- Zielinski M, Agnieszka Romanik-Chruścielewska, Diana Mikiewicz, Natalia Łukasiewicz, Iwona Sokołowska, Jarosław Antosik, Agnieszka Sobolewska-Ruta, Anna Bierczyńska-Krzysik, Piotr Zaleski, Andrzej Płucienniczak. 2019. Expression and Purification of Recombinant Human Insulin From *E. coli* 20 Strain. *Protein Expression and Purification* 157, 63-69. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2019.02.002>

BAB 9

PROSES REKOMBINAN ATAU TRANSGENIK

Oleh Etin-Diah Permanasari

9.1 Pengertian

Proses rekombinan atau teknik transgenik merujuk pada suatu metode dalam bioteknologi di mana gen-gen dari satu organisme diperkenalkan atau dimasukkan ke dalam organisme lain (Jara and Velander, 2021). Tujuannya ialah untuk menghasilkan organisme yang memiliki sifat atau karakteristik baru yang diimpor dari organisme lain, termasuk organisme dari spesies yang berbeda. Proses ini melibatkan manipulasi genetik dan rekayasa genetika untuk menciptakan organisme transgenik yang mengandung gen atau DNA tambahan yang tidak ditemukan dalam organisme tersebut secara alami.

Proses rekombinan atau teknik transgenik umumnya melibatkan beberapa langkah, seperti identifikasi gen yang diinginkan, isolasi gen tersebut, penggabungan gen ke dalam vektor ke organisme target, seleksi dan kultivasi organisme yang telah dimodifikasi, serta analisis hasilnya. Aplikasi proses rekombinan atau teknik transgenik dapat sangat bervariasi termasuk pengembangan tanaman transgenik yang tahan terhadap hama, produksi obat-obatan dengan bantuan mikroorganisme yang dimodifikasi secara genetik, dan penciptaan hewan transgenik untuk riset ilmiah. Teknik ini telah membawa dampak besar dalam berbagai bidang, tetapi juga menghadapi peradaban etis dan isu-isu seputar lingkungan terkait dengan penggunaannya. Oleh karena itu, regulasi yang ketat sering diterapkan untuk mengawasi dan mengendalikan penggunaan teknik rekombinan ini.

9.2 Langkah dalam Proses Rekombinan atau Transgenik

Berikut langkah-langkah umum dalam proses rekombinan atau transgenik: (Qiang *et al.*, 2020).

9.2.1 Identifikasi Gen yang dibutuhkan

Identifikasi gen yang dibutuhkan merupakan langkah awal dalam proses rekombinan atau teknik transgenik. Tujuan dari langkah ini ialah menemukan gen atau sekuens DNA yang ingin dimasukkan ke dalam organisme target untuk mencapai tujuan. Langkah pertama, menentukan tujuan spesifik dari proyek rekombinan atau transgenik. Apa yang ingin dicapai dengan memasukkan gen baru ke dalam organisme target? Misalnya, apakah ingin meningkatkan ketahanan tanaman terhadap hama, memproduksi obat-obatan, atau menciptakan organisme dengan sifat khusus?.

Menelusuri literatur ilmiah terkait dengan tujuan. Mengidentifikasi penelitian sebelumnya yang telah mengidentifikasi gen-gen yang relevan untuk tujuan dengan melibatkan penelusuran artikel ilmiah, basis data genetika, dan sumber informasi lainnya. Jika memiliki latar belakang dalam genetika atau ilmu terkait, konsultasikan dengan ahli atau peneliti yang memiliki pengetahuan dalam bidang tersebut. Dapat memberikan panduan yang berharga dalam menentukan gen yang paling sesuai untuk tercapainya tujuan. Setelah mengidentifikasi beberapa calon gen, mempelajari lebih lanjut tentang fungsi masing-masing gen tersebut. Mempertimbangkan apakah gen tersebut telah memenuhi persyaratan yang diinginkan dan apakah mengubahnya dalam organisme target akan mencapai tujuan.

Memilih gen atau sekuens DNA yang memiliki pengaruh terbesar terhadap karakteristik atau sifat yang dituju. Gen tersebut harus memiliki peran penting dalam proses biologis yang relevan dengan tujuan. Mempertimbangkan risiko dan isu etika terkait dengan penggunaan gen yang dipilih. Memperhatikan dampak potensial pada organisme target, lingkungan, dan masyarakat. Sebelum melanjutkan ke langkah berikutnya dalam proses rekombinan, perlu mengonfirmasi bahwa gen yang dipilih berfungsi seperti yang diharapkan melalui eksperimen *in vitro* atau *in vivo*.

Selama seluruh proses rekombinan, perlu dipastikan untuk mendokumentasikan langkah-langkah dan hasil penelitian dengan cermat. Konsultasikan dengan kolega atau ahli lainnya untuk memastikan bahwa telah memilih gen yang paling sesuai dengan tujuan.

9.2.2 Pemotongan dan Isolasi Gen

Pemotongan dan isolasi gen merupakan langkah penting dalam proses rekombinan atau teknik transgenik (You *et al.*, 2018). Berikut langkah-langkah umum yang dibutuhkan dalam pemotongan dan isolasi gen:

1. Mengidentifikasi Gen Target

Sebelum pemotongan dan isolasi dapat dimulai, harus memiliki pengetahuan tentang lokasi gen target dalam genom organisme. Hal ini biasanya melibatkan penelitian literatur dan analisis data genomik.

2. Ekstraksi DNA

Isolasi dimulai dengan ekstraksi DNA dari organisme yang memiliki gen target. Metode ekstraksi DNA yang umum digunakan melibatkan pemecahan dinding sel dan selulosa dengan enzim atau deterjen, diikuti oleh pengendapan DNA dengan etanol atau isopropanol.

3. Pemotongan Gen

Setelah isolasi DNA, langkah selanjutnya ialah pemotongan gen target dari DNA utuh. Biasanya dilakukan dengan menggunakan enzim pemotong DNA yang disebut juga dengan enzim restriksi. Enzim ini akan memotong DNA pada urutan yang spesifik yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil pemotongan adalah fragmen DNA yang mengandung gen target.

4. Elektroforesis Gel

Fragmen DNA yang dihasilkan dari pemotongan gen kemudian dianalisis dengan menggunakan teknik elektroforesis gel. Hal ini merupakan metode yang memisahkan fragmen DNA berdasarkan ukuran. Gen target dapat diidentifikasi oleh posisi mereka dalam gel elektroforesis.

5. Ekstraksi Fragmen Gen

Setelah identifikasi gen target dalam gel elektroforesis, fragmen gen tersebut diekstraksi dari gel menggunakan teknik ekstraksi gel untuk mengisolasi fragmen gen yang diinginkan.
6. Pembersihan dan Amplifikasi

Fragmen gen yang telah diisolasi biasanya perlu dibersihkan dari kontaminan dan kemudian dapat diamplifikasi (direplikasi) menggunakan teknik PCR (Reaksi Rantai Polimerase) untuk menghasilkan salinan fragmen gen.
7. Verifikasi Sekuens Gen

Hasil isolasi dan amplifikasi harus diverifikasi untuk memastikan bahwa fragmen gen yang diinginkan telah berhasil diisolasi. Dapat melibatkan analisis sekuen DNA menggunakan metode sekuensing DNA.

9.2.3 Vektor

Dalam konteks bioteknologi dan rekombinan genetik, istilah ‘vektor’ merujuk pada suatu molekul DNA yang digunakan untuk mengangkut gen atau sekuens DNA tertentu ke dalam organisme target. Miao-mia, (2014), vektor adalah alat atau kendaraan yang memungkinkan gen yang dibutuhkan untuk diintroduksi ke dalam organisme, sehingga gen tersebut dapat diintegrasikan atau diekspresikan dalam organisme tersebut.

Tabel 9.1. Jenis vektor yang digunakan dalam rekombinan genetik

Jenis Vektor	Jenis Molekul DNA	Ukuran Molekul DNA	Organisme Target	Fungsi Utama
Plasmid	Cincin (Circular)	Kecil hingga Sedang	Bakteri, Tanaman	Memindahkan dan mereplikasi gen-gen kecil
Virus	Beragam (Linear)	Beragam	Manusia, Hewan, Tanaman	Menginfeksi sel target dan mengintegrasikan gen
Fosmid	Cincin (Circular)	Sedang hingga	Bakteri	Mengangkut sekuens DNA

Jenis Vektor	Jenis Molekul DNA	Ukuran Molekul DNA	Organisme Target	Fungsi Utama
		Besar		besar
BAC (Bacterial Artificial Chromosome)	Cincin (Circular)	Besar	Bakteri	Mengangkut sekuens DNA besar
Cosmid	Cincin (Circular)	Sedang hingga Besar	Bakteri	Mengangkut sekuens DNA besar
Transposon	Cincin (Circular)	Kecil hingga Sedang	Bakteri, Tanaman	Memindahkan gen dalam genom
Artificial Chromosome (YAC, HAC)	Linear dan Besar	Sangat Besar	Manusia, Hewan, Tanaman	Mengangkut sekuens DNA besar

9.2.4 Transformasi

Proses transformasi melibatkan pengenalan DNA rekombinan dalam vektor ke dalam sel organisme target. Hal ini merupakan langkah penting dalam rekombinan genetik dan teknik transgenik. Dalam metode elektroporasi, sel organisme target ditempatkan dalam larutan yang mengandung DNA rekombinan, dan kemudian terkena pulsing listrik singkat. Pulsing listrik menciptakan sementara pori-pori dalam membran sel, memungkinkan DNA untuk memasuki sel. Setelah transformasi, sel disimpan dalam kondisi yang mendukung pemulihan dan replikasi DNA.

Dalam metode mikroinjeksi, DNA rekombinan dalam vektor disuntikkan secara langsung ke dalam inti sel organisme target menggunakan jarum halus. Teknik ini sering digunakan untuk menghasilkan organisme transgenik, seperti menciptakan hewan transgenik. *Agrobacterium tumefaciens* adalah bakteri yang dapat menginfeksi tanaman dan mengintegrasikan DNA rekombinan ke dalam genom tanaman. Dalam pendekatan ini, DNA rekombinan dimasukkan ke dalam vektor yang disebut T-DNA dan kemudian diinfeksi ke dalam tanaman melalui *agrobacterium*. Metode ini

umum digunakan dalam rekayasa genetika tanaman. Beberapa eksperimen menggunakan virus sebagai vektor untuk mengantarkan DNA rekombinan ke dalam sel target. Virus yang dimodifikasi secara genetika digunakan untuk menginfeksi sel target dan memasukkan DNA rekombinan ke dalam genom sel target.

9.2.5 Seleksi dan Kultivasi

Setelah transformasi DNA rekombinan ke dalam sel organisme target, langkah selanjutnya dalam rekombinan genetika adalah seleksi dan kultivasi. Dalam tahap ini, sel-sel yang telah mengambil DNA rekombinan akan diperlakukan lebih lanjut untuk memastikan bahwa sel-sel yang diinginkan yang tumbuh dan berkembang.

Seleksi

1. Setelah transformasi, sel-sel yang terlibat dalam proses harus dipisahkan dari sel-sel yang tidak terpengaruh oleh transformasi. Dilakukan dengan cara memasukkan agen seleksi yang akan membunuh atau menghambat pertumbuhan sel-sel yang tidak mengandung DNA rekombinan. Agen seleksi ini seringkali berupa antibiotik yang resisten terhadap sel-sel yang telah diubah genetika.
2. Sel-sel yang mengandung DNA rekombinan dan resisten terhadap seleksi akan tetap hidup dan berkembang. Langkah ini memastikan bahwa hanya sel-sel yang diubah genetika yang akan melanjutkan pertumbuhan.

Kultivasi

1. Sel-sel yang telah terpilih selanjutnya akan dibiakkan dalam kondisi yang sesuai mencakup pertumbuhan dalam media kultur yang tepat dengan suhu, pH, dan kondisi lainnya yang diperlukan untuk pertumbuhan sel target.
2. Sel-sel ini akan dibiakkan dalam jumlah besar untuk menghasilkan populasi yang cukup besar dari organisme yang dimodifikasi secara genetika.

Analisis dan Pemisahan

1. Setelah kultivasi, sel-sel yang dimodifikasi secara genetik dapat dianalisis lebih lanjut untuk memastikan bahwa DNA rekombinan telah diintegrasikan dengan benar dan bahwa sifat atau karakteristik baru yang diinginkan telah muncul. Analisis ini dapat mencakup teknik seperti PCR, sekuensing DNA, atau analisis fenotip.
2. Jika perlu, sel-sel yang telah mengalami transformasi dapat dipisahkan berdasarkan karakteristik genetik atau fenotip, misalnya sel-sel yang menghasilkan protein tertentu dan yang tidak, dapat dipisahkan (*'Genetically Modified Organisms (GMOs): Transgenic Crops and Recombinant DNA Technology'*, 2012).

9.2.6 Analisis dan Karakterisasi

Analisis dan karakterisasi merupakan tahap penting dalam rekombinan genetik untuk memastikan bahwa organisme yang telah dimodifikasi secara genetik memenuhi tujuan eksperimen. Selama tahap ini, organisme yang dimodifikasi akan dianalisis dengan hati-hati untuk memeriksa ekspresi gen, fungsi genetik, serta karakteristik dan sifat lain yang diinginkan.

Analisis Genetik

1. PCR (Reaksi Rantai Polimerase): Teknik ini digunakan untuk mengamplifikasi sekuens DNA yang terkait dengan gen yang dimasukkan. Memungkinkan pengujian keberadaan dan integritas gen target.
2. Sekuensing DNA: Untuk memverifikasi urutan DNA yang dimasukkan dan memastikan bahwa tidak ada mutasi yang tidak diinginkan.

Ekspresi Gen

1. Analisis RNA: Pengukuran tingkat transkripsi gen yang dimasukkan ke dalam organisme. Teknik seperti RT-PCR (*Reverse Transcription-PCR*) digunakan untuk mengukur tingkat mRNA.
2. Analisis Protein: Pengekspresian dan analisis protein yang dihasilkan oleh gen yang dimasukkan, misalnya melalui

Western blot atau analisis aktivitas enzim.

Analisis Fenotip

1. Pemeriksaan karakteristik fenotipik seperti tampilan fisik, pertumbuhan, perilaku, dan sifat lain yang diharapkan berubah sebagai hasil dari modifikasi genetik.
2. Kinerja fungsional: Untuk organisme yang dimodifikasi secara genetik dalam aplikasi seperti produksi obat-obatan, evaluasi kinerja produk yang dihasilkan.

Studi Terkait Kesehatan dan Keselamatan

Penilaian dampak kesehatan dan keselamatan dari organisme yang dimodifikasi secara genetik terhadap organisme, manusia, dan lingkungan termasuk evaluasi risiko potensial. Organisme yang dimodifikasi secara genetik sering dibandingkan dengan organisme kontrol yang tidak dimodifikasi untuk memahami perbedaan yang dihasilkan oleh rekombinan genetik.

9.2.7 Penggunaan

Organisme yang telah dimodifikasi secara genetik memiliki berbagai potensi penggunaan dalam berbagai bidang (You *et al.*, 2017). Penggunaan organisme yang dimodifikasi secara genetik, antara lain:

1. **Produksi Obat-Obatan**
Organisme yang dimodifikasi secara genetik, seperti bakteri atau sel-sel kultur hewan, dapat digunakan untuk memproduksi obat-obatan yang kompleks, seperti insulin, hormon pertumbuhan, atau vaksin rekombinan.
2. **Peningkatan Hasil Tanaman**
Tanaman dapat dimodifikasi secara genetik untuk meningkatkan hasil pertanian, ketahanan terhadap hama dan penyakit, ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim, atau sifat lain yang dapat meningkatkan kualitas dan produktivitas pertanian.
3. **Pengembangan Organisme Transgenik**
Organisme transgenik, seperti hewan atau tanaman transgenik, diciptakan untuk tujuan riset ilmiah. Dapat

- digunakan untuk memahami fungsi genetik, mengidentifikasi jalur-jalur biologis, atau menguji hipotesis ilmiah.
4. **Rekayasa Mikroba**
Organisme mikroba yang dimodifikasi secara genetik dapat digunakan dalam berbagai aplikasi bioteknologi, termasuk pembuatan produk kimia, bioremediasi (membersihkan polutan), atau produksi bahan bakar bio.
 5. **Terapi Genetik**
Organisme yang dimodifikasi secara genetik dapat digunakan dalam terapi genetik untuk mengobati penyakit genetik termasuk penggunaan virus vektor yang dimodifikasi untuk mengirimkan gen yang benar ke sel target dalam tubuh manusia.
 6. **Konservasi dan Lingkungan**
Organisme yang dimodifikasi secara genetik dapat digunakan dalam upaya konservasi untuk menyelamatkan spesies yang terancam punah atau untuk memulihkan ekosistem yang terganggu.
 7. **Industri Makanan**
Organisme yang dimodifikasi secara genetik dapat digunakan dalam produksi makanan, seperti bakteri yang memproduksi enzim yang digunakan dalam pengolahan makanan atau tanaman yang menghasilkan karakteristik yang diinginkan, seperti buah yang tahan lama.
 8. **Pengembangan Produk dan Teknologi**
Organisme yang dimodifikasi secara genetik dapat digunakan dalam pengembangan produk dan teknologi baru, termasuk bioplastik, bahan bakar bio, atau sumber energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- 'Genetically Modified Organisms (GMOs): Transgenic Crops and Recombinant DNA Technology' (2012).
- Jara, C. P. and Velander, W. 2021. 'Visão geral do desenvolvimento biofarmacêutico de proteínas recombinantes usando o leite de animais transgênicos', *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 45(4), pp. 608–619. doi: 10.21451/1809-3000.rbra2021.081.
- Miao-mia, B. 2014. 'Application of gateway technology in construction of recombinant transgenic vector pRP.EX3d-EF1A-LRP16-His-IRES-eGFP', *Academic Journal of Chinese PLA Medical School*.
- Qiang, W. *et al.* 2020. 'Molecular pharming of the recombinant protein hegf-hegf concatenated with oleosin using transgenic arabidopsis', *Genes*, 11(9), pp. 1–13. doi: 10.3390/genes11090959.
- You, Z. *et al.* 2017. 'Transgenic silkworms secrete the recombinant glycosylated MRJP1 protein of Chinese honeybee, *Apis cerana cerana*.', *Transgenic research*, 26(5), pp. 653–663. doi: 10.1007/s11248-017-0034-1.
- You, Z. *et al.* 2018. 'Extraordinary Mechanical Properties of Composite Silk Through Hereditary Transgenic Silkworm Expressing Recombinant Major Ampullate Spidroin', *Scientific Reports*, 8(1), pp. 1–14. doi: 10.1038/s41598-018-34150-y.

BIODATA PENULIS



Almira Ulimaz, S.Si., M.Pd.

Dosen Program Studi Diploma III Agroindustri dan Program Studi Sarjana Terapan (Diploma IV) Pengembangan Produk Agroindustri (PPA), Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Politeknik Negeri Tanah Laut, Kalimantan Selatan

Penulis lahir di kota Banjarmasin Provinsi Kalimantan Selatan pada tanggal 25 Februari 1988. Penulis adalah dosen tetap PNS yang pada awalnya ditempatkan di Program Studi Diploma III Agroindustri dan kemudian dipindah *homebasenya* ke Program Studi Sarjana Terapan (Diploma IV) Pengembangan Produk Agroindustri, Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Politeknik Negeri Tanah Laut. Setelah lulus SMA pada tahun 2006, penulis menyelesaikan Pendidikan S1 pada Program Studi Biologi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lambung Mangkurat pada tahun 2010. Kemudian melanjutkan pendidikan pada tahun 2010 di perguruan tinggi yang sama dan berhasil menyelesaikan S2 pada Program Studi Magister Pendidikan Biologi PPs (Program Pascasarjana) Universitas Lambung Mangkurat (ULM) pada 25 Februari tahun 2013.

Penulis mulai bekerja pada September 2013 sebagai guru atau tutor mata pelajaran Biologi dan IPA (Ilmu Pengetahuan Alam) di Bimbingan Belajar berskala nasional yakni Primagama sampai dengan Juni 2019. Selain itu, penulis juga menjadi dosen

tetap Yayasan (DTY) di program studi S1 Pendidikan Biologi di Sekolah Tinggi Keguruan dan Ilmu Pendidikan (STKIP) Persatuan Guru Republik Indonesia (PGRI) Banjarmasin sampai dengan Januari tahun 2019. Pada Januari tahun 2014 sampai dengan Juli 2015, penulis menjadi guru honorer di Sekolah Menengah Atas (SMA) Islam Sabilal Muhtadin Banjarmasin sebagai guru mata pelajaran Biologi. Kemudian pada Januari 2017 sampai dengan Januari 2018 menjadi dosen luar biasa pada Program Studi Diploma III Budidaya Tanaman Perkebunan di Politeknik Hasnur yang berlokasi di Kabupaten Barito Kuala. Selanjutnya pada Maret 2019, penulis diangkat menjadi Calon Pegawai Negeri Sipil (CPNS) dosen Asisten Ahli dan mulai aktif mengajar pada Juni 2019 sebagai dosen tetap pada Program Program Studi Diploma III Agroindustri. Kemudian pada bulan September tahun 2023, penulis juga ditugaskan untuk mengajar di program studi sarjana terapan (setara S1) atau Diploma IV Pengembangan Produk Agroindustri yang masih di bawah Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Politeknik Negeri Tanah Laut hingga saat ini.

Selain kegiatan mengajar, meneliti, dan mengabdikan, tugas lain yang pernah dilaksanakan dan diselesaikan oleh penulis di satuan kerja adalah sebagai pengelola jurnal Konstruktivisme yang diterbitkan oleh kampus Universitas Islam Balitar (anggota tim *section editor* jurnal) dan sebagai pengelola jurnal Humaniora Teknologi (ketua dewan redaksi jurnal) yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) kampus Politeknik Negeri Tanah Laut. Penulis juga pernah menjadi koordinator Praktik Kerja Lapangan (PKL) selama satu tahun (dari 2022 sampai dengan 2023) dan koordinator Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) selama 4 tahun berturut-turut dari 2020 sampai dengan 2023 untuk prodi Agroindustri. Penulis juga pernah menjadi pembina Himpunan Mahasiswa Agroindustri selama satu semester dan penulis juga pernah menjadi pengelola sosial media prodi (Instagram prodi @agroindustri_politala) selama dua tahun.

BIODATA PENULIS



Angriani Fusvita, S.Si., M.Si

Staf Dosen Program Studi Teknologi Laboratorium Medis

Penulis lahir di Kendari tanggal 28 Juli 1987. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Laboratorium Medis Politeknik Bina Husada Kendari. Penulis Menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Biologi di Universitas Halu Oleo dan S2 pada Program Studi Mikrobiologi Medik di Institut Pertanian Bogor. Penulis mengampuh mata kuliah mikrobiologi, mikologi, dan virologi. Penulis adalah anggota Perhimpunan Biologi Indonesia (PBI). Penulis aktif melakukan penelitian dan menulis jurnal dalam bidang mikrobiologi dan parasitologi. Beberapa buku Referensi yang telah di terbitkan diantaranya Mikrobiologi Farmasi dan Parasitologi, Parasitologi Medik Dasar, Mikologi Kesehatan dan Mikrobiologi Dasar

BIODATA PENULIS



Ni Ketut Yuliana Sari, S.ST., M.Si., M.Imun

Dosen Program Studi Teknologi Laboratorium Medis
Poltekkes Kemenkes Kupang

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA negeri 3 Palu, Sulawesi Tengah pada tahun 2008. Penulis memiliki ketertarikan di bidang kesehatan dan melanjutkan pendidikan Diploma III Analis Kesehatan di Akademi Manggala Yogyakarta. Setelah menyelesaikan pendidikan Diploma III pada tahun 2011. Penulis melanjutkan pendidikan Diploma IV di Poltekkes Kemenkes Yogyakarta pada Tahun 2012 hingga 2013. Selain tertarik pada bidang kesehatan, Penulis juga menyukai bidang pengajaran. Selama menempuh pendidikan Diploma IV, penulis mengajar di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Kesehatan Bantul Yogyakarta. Selanjutnya pada tahun 2013 hingga 2015, Penulis bekerja sebagai guru di SMK Kesehatan Bali Khresna Medika, Badung, Bali. Tahun 2015, Penulis bergabung di Poltekkes Kemenkes Kupang dan bekerja hingga saat ini sebagai Dosen di Prodi Teknologi Laboratorium Medis. Penulis menyelesaikan pendidikan Pascasarjana Program Studi Magister Biologi di Universitas Udayana, Bali dan mendapat gelar magister sains pada tahun 2019. Pada tahun 2020, Penulis mendapatkan gelar magister imunologi setelah menyelesaikan pendidikan di Sekolah Pascasarjana Program Studi Magister Imunologi Universitas Airlangga, Surabaya.

BIODATA PENULIS



Revita Permata Hati, STP, Msi

Dosen Sarjana Teknologi Pangan (STP), Gugus Kendali Mutu (GKM)
Fakultas Teknologi dan Bisnis (FTB), Universitas Bakti Tunas
Husada (BTH) Tasikmalaya

Penulis bernama Revita Permata Hati, STP, Msi yang dilahirkan pada September 25, 1992 di Bogor, Jawa Barat. Penulis adalah Dosen Sarjana Teknologi Pangan (STP), Gugus Kendali Mutu (GKM) Fakultas Teknologi dan Bisnis (FTB), Universitas Bakti Tunas Husada (BTH) Tasikmalaya. Penulis diberi kepercayaan Pada tahun akademik 2014/2015–2017/2018 menjadi Asisten Dosen di Program Diploma Tiga (D3) Supervisor Jaminan Mutu Pangan (SJMP), Institut Pertanian Bogor (IPB), Bogor-16151 dan Pada tahun 2013/2014 penulis diberi kepercayaan menjadi Staff Research and Development - Asisten Manager (R&D) di PT Sentral Multimitra Gemilang (SMG Food), Bogor-16310. Penulis memperoleh Gelar Sarjana Teknologi Pangan dari Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Sahid Jakarta (USAHID) dan Magister Ilmu Pangan dari Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University. Penulis melakukan penelitian dan fokus studi di bidang mikrobiologi dan keamanan pangan. Penulis aktif berperan dan berpartisipasi dalam berbagai aktivitas pelatihan, seminar nasional dan internasional. Penulis aktif menulis dan beberapa tulisannya telah diterbitkan. Penulis telah mempublikasikan hasil penelitiannya dalam journal nasional dan internasional. Pembaca dapat mengirimkan pesan digital dengan penulis melalui alamat

email (revita.p.h@gmail.com) serta dapat mengikuti google scholar penulis (<https://s.id/RevitaPermataHati>).

BIODATA PENULIS



Ani Umar, S.ST.,M.Kes

Staf Dosen Program Studi Teknologi Laboratorium Medis

Penulis lahir di Kabaena Sulawesi Tenggara 7 Juni 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Laboratorium Medis Politeknik Bina Husada Kendari. Penulis Menyelesaikan pendidikan D3 Jurusan Analis Kesehatan di Universitas Indonesia Timur , D4 di Poltekkes Kemenkes Surabaya dan S2 pada Program Studi Kesehatan Masyarakat di Universitas Halu Oleo. Penulis mengampuh mata kuliah Flebotomi, Bakteriologi, dan Urinalisa dan Cairan Tubuh. Penulis adalah anggota Persatuan Ahli Teknologi Laboratorium Medis DPW SULTRA di bidang pendidikan dan Pengembangan SDM.

BIODATA PENULIS



Nurmasita, S.Si., M.Kes.

Dosen Program Studi Keperawatan
Akademik Keperawatan Yapenas 21 Maros

Penulis lahir di Makassar tanggal 4 Mei 1987. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Keperawatan kampus Akademik Keperawatan Yapenas 21 yang terletak di Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan. Menyelesaikan Pendidikan S1 pada Jurusan Biologi di Universitas Negeri Makassar dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu Biomedik di Universitas Hasanuddin Makassar.

Ketertarikan penulis dalam dunia pendidikan dimulai sejak tahun 2009 saat masih berstatus mahasiswa S1 dengan membuka sekolah gratis yang diberi nama “Sekolah Rakyat” untuk membantu anak-anak dari ekonomi kurang mampu agar bisa melanjutkan pendidikan ke jenjang Menengah Pertama (SMP). Selain itu penulis juga aktif dalam sebuah Lembaga Muslim Cerdas yang fokus pada bidang sosial dan kemanusiaan dan sebagai terapis bekam bersertifikat.

BIODATA PENULIS.



Dr. Adriani S.Si, M.Kes

Dosen Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Patempo Makassar

Penulis lahir di Kota Ujung Pandang pada tanggal 4 Juni 1984. Penulis adalah dosen di jurusan Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Pendidikan (FKIP) Universitas Patempo Makasar. Menyelesaikan Pendidikan S1 di Jurusan Biologi FMIPA UNHAS (tahun 2007), S2 di Jurusan Biomedik Fakultas Kedokteran UNHAS (Tahun 2010) dan mendapatkan. gelar Doktor dari Program Studi Ilmu Kedokteran di Universitas Brawijaya (Tahun 2022). Saat ini beliau tercatat sebagai dosen tetap dengan bidang keilmuan Mikrobiologi di FKIP Universitas Patempo Makasar. Penulis menekuni bidang penelitian mikrobiologi dan ilmu biologi lainnya. Beberapa penelitian yang telah berhasil dipublikasikan yaitu

1. (2019) Molecular Docking Study from Lunacridine, Scopoletin and Skimmianine as Antidiabetes through α -Glucosidase Inhibitor (Publikasi pada Journal of Physics :IOP Proceeding Conference)
2. (2022) Non-targeted screening with LC-HRMS and In-Silico Study on Diabetic activity of ethyl acetate extract of Sanrego (Lunasia amara Blanco) (Publikasi pada Research Journal Pharmacy and Technology, Scopu3 Q3)
3. (2022) Isolation and screening endophytic bacteria producing α -glucosidase inhibitor from Sanrego plant

(Lunasia amara Blanco) (Publikasi pada AIP Proceeding Conference, Scopus Q4)

4. (2022) Penapisan Virtual Basis Data Senyawa Tanaman Afrodisiak Asal Family Rutaceae Sebagai Inhibitor α -Amylase (Publikasi pada Journal Syifa Sciences and Clinical Research 4(2), sinta 5)

BIODATA PENULIS



Made Gayatri Anggarkasih, S.T.P., M.Si.

Dosen Program Studi Supervisor Jaminan Mutu Pangan
Sekolah Vokasi IPB University

Penulis lahir di Jakarta, tanggal 6 Januari 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Supervisor Jaminan Mutu Pangan, Sekolah Vokasi, Institut Pertanian Bogor. Penulis menyelesaikan pendidikan D3 pada Jurusan Supervisor Jaminan Mutu Pangan, Sekolah Vokasi IPB, kemudian melanjutkan studi S1 di Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya. Gelar S2 diraih penulis pada tahun 2015 pada Program Studi Ilmu Pangan, Sekolah Pasca Sarjana, IPB University. Penulis merupakan pengampu dari beberapa mata kuliah terkait mikrobiologi, diantaranya Mikrobiologi Pangan, Analisis Mutu Mikrobiologi Pangan, Analisis Mutu Mikrobiologi Pangan, Teknologi Fermentasi, serta Aplikasi HACCP dan Keamanan Pangan.

BIODATA PENULIS



apt. Etin Diah Permanasari, M.Eng., Ph.D

Dosen Magister Ilmu Farmasi
Sekolah Pascasarjana UHAMKA

Penulis lahir di Kendal tanggal 18 September. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Magister Ilmu Farmasi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Muhammadiyah Prof DR HAMKA. Menyelesaikan pendidikan S1 dan Profesi Apoteker pada Sekolah Farmasi Institut Teknologi Bandung di 2008, melanjutkan S2 dan S3 pada Program Studi Bioteknologi Molekular Osaka University, Jepang pada 2015. Penulis menekuni bidang studi molekular senyawa bahan alam, isolasi protein dan identifikasi molekular bakteri endofit. Penulis juga menekuni bidang autentikasi halal berbasis DNA dengan *Polymerase Chain Reaction* (PCR).