

Dr. Surahma Asfi Mulasari, S.Si., M.Kes.



# BIOMEDIK 2

Mikro dan Parasit

bagi Mahasiswa Fakultas Kesehatan Masyarakat

Dr. Surahma Asti Mulasari, S.Si., M.Kes

# BIOMEDIK 2

Mikro & Parasit

**UAD**  
P R E S S

**SANKSI PELANGGARAN PASAL 113  
UNDANG-UNDANG NOMOR 28 TAHUN 2014  
TENTANG HAK CIPTA**

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

Dr. Surahma Asti Mulasari, S.Si., M.Kes

# BIOMEDIK 2

Mikro & Parasit

**UAD**  
P R E S S

**Biomedik 2 (Mikro dan Parasit)**

Copyright © 2023 Dr. Surahma Asti Mulasari, S.Si., M.Kes.

ISBN: 978-623-8449-05-7

16 x 24 cm, x + 278 hlm

Cetakan Pertama, November 2023

Penulis : Dr. Surahma Asti Mulasari, S.Si., M.Kes.

Editor : Tim UAD Press

Layout : Sukirman

Cover : Hafidz Irfana

Diterbitkan oleh:

**UAD PRESS**

(Anggota IKAPI dan APPTI)

Alamat Penerbit:

Kampus II Universitas Ahmad Dahlan

Jl. Pramuka No.42, Pandeyan, Kec. Umbulharjo,

Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta 55161

E-mail: [uadpress@uad.ac.id](mailto:uadpress@uad.ac.id)

Telp. (0274) 563515, Phone (+62) 882 3949 9820

*All right reserved.* Semua hak cipta © dilindungi undang-undang. Tidak diperkenankan memproduksi ulang, atau mengubah dalam bentuk apa pun melalui cara elektronik, mekanis, fotocopy, atau rekaman sebagian atau seluruh buku ini tanpa izin tertulis dari pemilik hak cipta.

# Prakata

Assalamualaikum wr wb.

**K**ami panjatkan puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT karena dengan ijinnya buku ajar Biomedik 2 ini dapat diselesaikan dan dapat untuk menambah wawasan dan pemahaman mahasiswa Fakultas Kesehatan Masyarakat, masyarakat umum, peneliti dll.

Secara garis besar buku ini merupakan buku yang berisi tentang keilmuan mikrobiologi dan parasitologi dasar yang dibutuhkan mahasiswa kesehatan masyarakat dalam memahami vektor penyebab penyakit, cara penularannya, dan cara pencegahannya.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih dan menunggu saran serta masukan dari seluruh pihak untuk perbaikan buku ajar ini kedepannya. Akhir kata kami ucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu tersusunya buku ini.

Walaikumsalam wr.wb.

Penulis



# Daftar Isi

PRAKATA — *v*

DAFTAR ISI — *vii*

## **BAGIAN 1 MIKROBIOLOGI**

BAB 1	GOLONGAN MIKROBIOLOGI — 2
	A. Mikrobiologi Kesehatan — 2
	B. Golongan Mikroorganisme — 3
	1. Klasifikasi Mikroorganisme — 3
	2. Jenis-Jenis Mikroorganisme — 4
	3. Jenis-Jenis Mikrobiologi Pangan — 7
	4. Jenis-jenis Bakteri Industri — 14
	5. Jenis-jenis Bakteri Kedokteran — 14
	6. Jenis-jenis Mikrobiologi Lingkungan — 20
	7. Jenis-jenis Mikroorganisme Pertanian — 20
	8. Bakteriologi Peternakan — 22
	C. Bakteri, Jamur, Protozoa dan Virus — 30
	1. Bakteri — 30
	2. Jamur (Fungi) — 44
	3. Virus — 52
	4. Protozoa — 53
	Soal — 63
BAB 2	PENGENALAN ALAT DAN STERILISASI — 67
	A. Pengenalan Alat dan Fungsinya — 67
	1. Mencegah Timbulnya Aerosol Terkontaminasi — 68

2. Penggunaan Disinfektan —70
  3. Petugas Laboratorium —71
  4. Peralatan Laboratorium —74
- B. Pengertian Sterilisasi — 77
- C. Manfaat Sterilisasi — 77
- D. Metode-metode Sterilisasi — 78
1. Pengendalian Mikroorganisme Secara Fisik —78
  2. Pengendalian Mikroorganisme dengan Bahan Kimia —88
  2. Antibiotik dan Zat Kemoterapeutik Lain —98
- Soal — 110

**BAB 3** MEDIA PERBENIHAN DAN PERTUMBUHAN BAKTERI — 113

- A. Media Perbenihan — 113
- B. Jenis-jenis Media Pertumbuhan Bakteri — 114
1. Media Sintetik —114
  2. Media Kompleks —115
  3. Media Anaerob —115

Soal — 122

**BAB 4** TEKNIK PEWARNAAN BAKTERI DAN IDENTIFIKASI BAKTERI — 125

- A. Penggolongan Bakteri Berdasarkan Cara Pewarnaan — 128
- B. Jenis-jenis Pewarnaan Bakteri — 129
1. Pewarnaan Gram —129
  2. Pewarnaan Tahan Asam —130
  3. Pewarnaan Spesifik —131
- C. Cara Identifikasi Bakteri Secara Kasat Mata — 131

Soal — 143

**BAB 5** PERTUMBUHAN BAKTERI — 147

- A. Penjelasan Pertumbuhan Bakteri — 147
1. Bentuk, Ukuran, dan Pembelahan —147
  2. Pertumbuhan Tanpa Pembelahan —148
  3. Tolok Ukur Pertumbuhan Bakteri —148
  4. Cara Menghitung Bakteri —149

- B. Grafik Pertumbuhan Koloni — 152  
Soal — 165
- BAB 6      ANGKA KUMAN UDARA — 169
- A. Angka Kuman Udara — 169
- B. Cara Pengambilan Angka Kuman Udara — 173
- C. Pemeriksaan Jumlah Kuman — 174
- Soal — 178
- BAB 7      ANGKA KUMAN ALAT MAKAN — 181
- A. Angka Kuman — 181
- B. Cara Pengambilan Angka Kuman Alat Makan Metode Plate — 184
- C. Pemeriksaan Jumlah Kuman — 185
- Soal — 188

## **BAGIAN 2**

### **PARASITOLOGI**

- BAB 8      PARASITOLOGI — 192
- A. Pencegahan Akibat Nyamuk — 193
- B. Pencegahan Penyakit Akibat Nematode — 195
- C. Pencegahan Penyakit Akibat Cacing — 199
- Soal — 201
- Essay — 204
- BAB 9      PENYAKIT YANG DISEBABKAN OLEH GIGITAN NYAMUK — 205
- A. Malaria — 205
- B. Demam Berdarah — 211
- C. Demam Chikungunya — 212
- D. Demam Penyakit Kuning — 215
- E. Kaki Gajah atau Filariasis — 216
- Soal — 219

BAB 10	PENYAKIT YANG DISEBABKAN OLEH NEMATODA — 224
	A. Struktur dan Klasifikasi Nematoda — 225
	B. Ciri morfologi nematode — 225
	C. Penyakit yang Disebabkan oleh Parasit Cacing — 226
	Soal — 234
	DAFTAR PUSTAKA — 239
	DAFTAR ISTILAH — 243
	INDEKS — 247
	BIODATA PENULIS — 249

**Bagian 1**

# **Mikrobiologi**

BAB

# 1

# Golongan Mikrobiologi

**Tujuan Instruksional Umum:**

Mahasiswa mampu menjelaskan tentang ilmu mikrobiologi, makhluk hidup yang masuk dalam golongan mikroorganisme.

**Tujuan Instruksional Khusus:**

Menjelaskan pengantar mikrobiologi kesehatan, golongan mikroorganisme bakteri, jamur, protozoa, dan virus.

## A. Mikrobiologi Kesehatan

Mikroorganisme, yang terdiri dari bakteri, fungi, protozoa, alga, dan virus, adalah makhluk hidup yang sangat kecil yang hanya dapat diamati melalui penggunaan mikroskop. Menjaga keseimbangan ekosistem dan komposisi kimia lingkungan sangat penting untuk kesejahteraan orang di seluruh dunia. Sebagai contoh, mikroorganisme di tanah berpartisipasi dalam proses dekomposisi sampah dan mengubah nitrogen atmosfer menjadi senyawa organik yang dapat didaur ulang oleh unsur kimia yang ada di atmosfer, air, dan tanah. Selain itu, mikroorganisme juga memainkan peran penting dalam proses fotosintesis, yang memastikan bahwa manusia dan hewan lain tetap hidup di Bumi. Mikroorganisme juga sangat menguntungkan dalam hal bisnis.

## **Daur Ulang Unsur-unsur Penting**

Bakteri dapat mendaur ulang unsur-unsur penting, pertama kali ditemukan oleh Martinus Beijerinck dan Sergei Winogradsky. Penemuan ini terjadi pada tahun 1880 dan terkait dengan mikroorganisme di tanah dan udara. Penemuan ini menunjukkan betapa pentingnya mikroorganisme untuk lingkungan. Pengetahuan tentang ekologi mikroorganisme saat ini mencakup penelitian tentang cara populasi mikroorganisme berinteraksi dengan tanaman, hewan, lingkungan, populasi air, dan zat kimia lainnya.

Salah satu unsur kimia yang sangat penting untuk kehidupan adalah karbon, nitrogen, oksigen, sulfur, dan fosfor. Mikroorganisme berperan penting dalam mengubah bahan-bahan ini menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh tumbuhan dan hewan. Biasanya, bakteri dan fungi adalah mikroorganisme yang bertanggung jawab untuk mengembalikan karbon dioksida ke atmosfer saat mereka menguraikan sampah organik, tumbuhan, dan hewan yang sudah mati. Alga, sianobakteri, dan tumbuhan tingkat tinggi kemudian menggunakan karbon dioksida ini untuk fotosintesis, yang menghasilkan karbohidrat yang menjadi sumber makanan bagi bakteri, fungi, dan hewan. Selain itu, nitrogen yang sangat banyak di atmosfer harus diubah menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh hewan dan tumbuhan. Dalam proses ini, mikroorganisme memainkan peran penting. Aksi mikroorganisme hanya dapat mengubah unsur-unsur penting ini secara alami.

## **B. Golongan Mikroorganisme**

### **1. Klasifikasi Mikroorganisme**

Klasifikasi mikroorganisme sangat penting untuk memfasilitasi pengenalan dan pemahaman sifat-sifat mereka. Pada tahun 1735,

Carolus Linnaeus, seorang ahli, membuat sistem penamaan yang dikenal sebagai “binomial”, yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi organisme. Nama organisme dibuat dengan dua kata menurut sistem ini: nama genus (huruf pertama kapital) dan nama spesies (huruf kecil). Garis bawah atau cetakan miring biasanya membedakan kedua kata ini. Nama spesies sering mengacu pada berbagai hal, seperti deskripsi bentuk organisme, penghormatan kepada penemu, atau identifikasi habitat atau tempat tinggal spesies tersebut.

Sebagai contoh, kita bisa memberi nama bakteri yang biasa ditemukan pada kulit manusia “*Staphylococcus aureus*”, di mana “staphylo” menunjukkan susunannya, “coccus” menunjukkan bentuknya yang bulat, dan “aureus” menunjukkan jenisnya..

## 2. Jenis-Jenis Mikroorganisme

### a. *Bakteri*

Bakteri adalah organisme yang cukup sederhana. Salah satu karakteristik penting yang menyebabkan kesederhanaan ini adalah bahwa materi genetik bakteri tidak dilindungi oleh membran inti; akibatnya, sel bakteri disebut sebagai sel prokariot. Sel bakteri dapat memiliki berbagai bentuk, seperti basil (batang), bulat, atau spiral. Peptidoglikan adalah kompleks karbohidrat-protein yang ditemukan di dinding sel bakteri.

Bakteri membelah diri menjadi dua sel terpisah dalam proses yang disebut pembelahan biner. Mereka mendapatkan nutrisi dari berbagai sumber organik, seperti organisme hidup atau sisa organik. Sementara beberapa bakteri dapat mensintesis makanan mereka sendiri melalui proses biosintesis, yang lain membutuhkan nutrisi organik dari sumber luar.

b. *Arkea*

Arkea adalah jenis sel prokariotik, mirip dengan bakteri. Yang membedakan arkea dari bakteri adalah bahwa peptidoglikan tidak ada dalam struktur dinding sel arkea. Arkea sering ditemukan di lingkungan ekstrem dan dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama:

1. **Metanogen:** Kelompok pertama ini mampu menghasilkan metana sebagai produk sampingan dari proses pernapasan mereka. Mereka biasanya ditemukan di lingkungan anaerobik seperti rawa-rawa, usus hewan, dan habitat ekstrim lainnya.
2. **Halofil Ekstrim:** Kelompok kedua adalah halofil ekstrim, yang dapat bertahan hidup di lingkungan dengan konsentrasi garam yang sangat tinggi. Mereka sering ditemukan di lingkungan seperti danau garam atau danau yang sangat asin.
3. **Termofil Ekstrem:** Kelompok ketiga adalah termofil ekstrim, yang dapat hidup di lingkungan dengan suhu tinggi dan kandungan belerang yang panas. Mereka dapat ditemukan di mata air panas, ventilasi laut, dan lingkungan lain yang ekstrem secara termal.

Saat ini, tidak ada bukti yang menunjukkan bahwa arkea dapat menyebabkan penyakit pada manusia. Sebagian besar arkea hidup di lingkungan ekstrem yang tidak sesuai untuk pertumbuhan bakteri atau mikroorganisme patogen. Namun, arkea memiliki peran penting dalam ekologi mikroba di lingkungan ekstrim dan berkontribusi pada siklus biogeokimia di berbagai ekosistem.

c. *Fungi*

Fungi adalah organisme eukariotik dengan membran inti sel (nukleus) yang jelas dan asli dan materi genetik dalam bentuk DNA. Dalam kerajaan fungi, jamur adalah organisme multiseluler, sementara jamur adalah organisme uniseluler. Meskipun jamur

besar dan menyerupai tumbuhan, mereka tidak mampu melakukan fotosintesis seperti tumbuhan. Kitin adalah komponen utama yang membentuk dinding sel fungi.

Tergantung pada spesiesnya, fungi dapat melakukan reproduksi seksual atau aseksual. Untuk memperoleh makanan, fungi menyerap bahan organik dari lingkungannya, seperti tanah, air, atau tumbuhan dan organisme lain. Ini dapat mencakup penguraian bahan organik mati atau bersimbiosis dengan organisme lain di lingkungannya..

d. *Protozoa*

Organisme uniseluler eukariotik yang dikenal sebagai protozoa menggunakan pseudopodia (perpanjangan sitoplasma), flagel, atau silia untuk bergerak. Organisme ini memiliki banyak bentuk dan dapat hidup sebagai parasit atau makhluk bebas. Reproduksi protozoa dapat bersifat seksual atau aseksual, tergantung pada spesiesnya. Dunia mikroorganisme sangat beragam, dan peran dan karakteristik mereka bervariasi sesuai dengan jenis dan lingkungan hidupnya.

e. *Alga*

Alga adalah organisme eukariotik yang dapat melakukan fotosintesis, memiliki berbagai bentuk, dan bereproduksi secara seksual maupun aseksual. Alga biasanya adalah hewan uniseluler dengan dinding sel yang terbuat dari selulosa, dan mereka dapat hidup dan tumbuh baik di air segar maupun tanah yang mengandung banyak garam. Mereka juga dapat bekerja sama dengan tumbuhan untuk menghasilkan hasil yang lebih baik.

Untuk menghasilkan makanan, mendukung pertumbuhan, dan menghasilkan senyawa organik, alga membutuhkan cahaya dan udara. Hewan dan organisme lain bergantung pada produk fotosintesis alga, seperti karbohidrat dan oksigen.

f. *Virus*

Virus sangat berbeda dari mikroorganisme lainnya karena ukurannya yang kecil dan hanya dapat dideteksi dengan mikroskop elektron. Struktur virus sangat sederhana, terdiri dari partikel inti yang terdiri dari satu tipe asam nukleat—bisa DNA atau RNA saja. Inti virus ini dikelilingi oleh lapisan protein, dan dalam beberapa kasus, virus juga dapat terbungkus dengan selubung membran lemak.

Virus berkembang biak dengan menggunakan nutrisi dan makromolekul sel inang dan memiliki sifat parasit yang merusak sel inangnya. Selama proses reproduksinya, virus menggunakan mesin sel inang untuk menghasilkan lebih banyak virus, sering kali merusak atau merugikan sel inang tersebut. Salah satu alasan mengapa virus dianggap dapat menyebabkan penyakit pada organisme yang mereka infeksi adalah karena ini.

### 3. Jenis-Jenis Mikrobiologi Pangan

a. Bakteri basil gram negatif, anaerobik

Jenis bakteri ini mencakup:

1. Bakteri yang ditemukan di daging, susu, dan produk susu, serta di saluran pencernaan manusia.
2. *Fusobacterium*, bakteri yang dapat menyebabkan infeksi mulut, dapat menyebar melalui ciuman dan peralatan makanan.
3. *Desulfovibrio* tumbuh pada buah-buahan dengan tingkat gizi besi yang tinggi karena memiliki kemampuan untuk mereduksi sulfat menjadi sulfida. Sulfida yang dihasilkannya dapat bereaksi dengan besi, membentuk ferosulfida yang berwarna hitam.

b. Bakteri basil dan kokobasil gram negatif

Bakteri ini berbentuk batang, tetapi beberapa bentuknya sangat pendek sehingga menjadi kokobasil (hampir bulat). *Moraxella* dan

Acinetobacter ditemukan dalam makanan, tetapi tidak mengubah rasa, tekstur, atau baunya.

c. Bakteri gram positif

Kelompok bakteri ini yaitu *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, dan *Aerococcus*.

*Micrococcus* memiliki sifat-sifat penting yang menjadikan bakteri ini penting dalam bidang pangan adalah sebagai berikut:

- 1) Beberapa spesies hanya menggunakan garam amonium atau senyawa nitrogen sederhana lainnya sebagai sumber nitrogen; sebagian besar spesies memfermentasi gula dengan menghasilkan sejumlah asam; dan beberapa spesies bersifat proteolitik asam, yang berarti mereka memecah protein dengan membentuk asam, seperti *Micrococcus*.
- 2) Beberapa spesies sangat tahan terhadap garam dan dapat tumbuh pada substrat dengan aw rendah, seperti fermentasi garam atau proses kuring daging.
- 3) Banyak spesies *Micrococcus* bersifat termodurik, artinya mereka tahan terhadap proses pasteurisasi susu. *M. Varians* adalah salah satu contohnya.
- 4) Banyak spesies mengubah warna, sehingga jika tumbuh pada makanan, warnanya berubah.
- 5) Beberapa *Micrococcus* asih tumbuh pada suhu dingin, seperti 10 derajat Celcius atau lebih rendah.

*Staphylococcus* dan *Streptococcus* adalah dua jenis bakteri yang dapat menimbulkan penyakit pada manusia:

1. *Staphylococcus*: Bakteri ini termasuk *Staphylococcus aureus*, yang dapat menyebabkan infeksi kulit, infeksi dalam, serta berbagai penyakit lainnya seperti abses, pneumonia, dan sindrom toksin syok staphylococcal (TSS). *Staphylococcus* juga dapat menghasilkan toksin yang bisa menyebabkan keracunan

makanan jika tumbuh dalam makanan yang terkontaminasi.

2. **Streptococcus:** Salah satu jenis *Streptococcus* yang paling dikenal adalah *Streptococcus pyogenes*, yang dapat menyebabkan infeksi tenggorokan (tonsilitis), infeksi kulit, demam rematik, dan penyakit lainnya. Jenis lainnya seperti *Streptococcus pneumoniae* dapat menyebabkan pneumonia dan infeksi pernapasan lainnya.

*Leuconostoc* adalah jenis bakteri yang memiliki fitur penting dalam bidang pangan, baik yang bermanfaat maupun yang tidak bermanfaat:

1. **Menguntungkan:** Beberapa spesies *Leuconostoc* digunakan dalam proses fermentasi makanan, seperti dalam pembuatan sauerkraut, dan produk susu fermentasi, seperti kefir dan yogurt. Bakteri ini membantu membuat bahan mentah lebih tahan lama dan memiliki rasa yang diinginkan.
2. **Merugikan:** Sebaliknya, *Leuconostoc* dapat menyebabkan kerusakan atau pembusukan makanan jika tumbuh dalam kondisi pangan yang tidak diinginkan, seperti dalam proses penyimpanan yang tidak tepat. Oleh karena itu, kontrol kondisi penyimpanan dan fermentasi sangat penting untuk penggunaan *Leuconostoc* dalam industri pangan.

Manfaat *Leuconostoc* lainnya adalah:

- 1) Untuk pembuatan keju dalam meningkatkan citarasanya sering digunakan *L. dexatranicum* dan *L. cremoris* untuk memfermentasikan asam sitrat menjadi diasetil.
- 2) *L. mesenteroides* mempunyai sifat tahan garam, sehingga sering berperan dalam fermentasi awal produk yang mengandung garam pada sauerkraut dan pickel.
- 3) Untuk menghambat bakteri lain yang tidak diinginkan tumbuh selama fermentasi yaitu dengan memulai fermentasi dengan cepat.

- 4) *L. mesenteroides* mempunyai sifat tahan konsentrasi gula tinggi (55-60%), sehingga dapat tumbuh pada sirup, es krim, adonan kue, dan sebagainya.
- 5) Memproduksi CO<sub>2</sub> dari gula dalam jumlah banyak, sehingga jika mengkontaminasi makanan mengakibatkan hal-hal yang tidak diinginkan contohnya, pembentukan mata (lubang-lubang) pada keju yang terlalu besar, kerusakan makanan yang mengandung gula tinggi (seperti sirup dan adonan kue) dan pengembangan roti yang berlebihan.
- 6) Memproduksi lendir yang berlebihan pada makanan yang mengandung sukrosa. Sebaliknya sifat memproduksi lendir terdiri dari dektran, ini menguntungkan untuk industri dektran.

*Pediococcus cerevisiae* adalah salah satu jenis bakteri yang digunakan dalam kultur starter untuk fermentasi daging, seperti dalam pembuatan sosis. Bakteri ini dapat mengubah gula menjadi asam laktat dengan konsentrasi sekitar 0,5–0,9%, dan juga dapat tumbuh di lingkungan dengan konsentrasi garam sekitar 5,5%.

Namun, *Pediococcus halophilus* adalah bakteri yang bersifat halofilik, yang berarti mereka dapat tumbuh dengan baik dalam medium yang mengandung banyak garam. Bakteri ini biasanya ditemukan dalam makanan fermentasi yang mengandung banyak garam, seperti kecap yang terbuat dari kedelai.

Bakteri seperti *Pediococcus cerevisiae* atau *Pediococcus halophilus* adalah kultur starter yang memulai proses fermentasi yang diperlukan untuk membuat makanan seperti sosis atau kecap. Proses fermentasi ini kemudian memberikan rasa, aroma, dan karakteristik unik pada makanan.

d. Bakteri basil gram positif, tidak berspora

Kelompok bakteri ini yaitu: *Lactobacillus bulgaricus*, *L. lactis*, *L. acidophilus*, *L. thermophilus*, dan *L. delbrueckii*. Bakteri-bakteri ini memiliki beberapa sifat penting sebagai berikut:

- 1) Bakteri yang memfermentasi gula dan menghasilkan asam laktat digunakan dalam produksi makanan fermentasi, tetapi juga bisa merusak minuman anggur dan bir karena asam laktat dapat mengubah rasa dan karakteristik minuman tersebut.
- 2) Dalam pembuatan keju Swiss, *Lactobacillus heterofermentatif* (*L. fermentum*) memainkan peran penting dengan memproduksi gas dan senyawa volatil lainnya. Ini merupakan kontribusi utama dalam membentuk cita rasa khas dari keju Swiss dan makanan fermentasi lainnya.
- 3) Meskipun bakteri ini tidak dapat mensintesis vitamin yang dibutuhkan dan oleh karena itu tidak bisa tumbuh pada makanan dengan kandungan vitamin yang rendah, mereka dapat digunakan dalam analisis untuk mengukur kandungan vitamin pada bahan makanan.
- 4) Bakteri ini memiliki sifat ketahanan panas yang memungkinkannya bertahan selama proses pasteurisasi. Hal ini berbeda dari kebanyakan spesies *Lactobacillus* lainnya yang tidak dapat bertahan pada suhu tinggi selama pasteurisasi.

e. Bakteri pembentuk spora

Bakteri *Bacillus*, *Clostridium*, dan *Desulfotomaculum* yang disebutkan memiliki karakteristik dan kemampuan yang berbeda dalam hal makanan:

*Bacillus*: Beberapa jenis *Bacillus*, seperti *B. stearothermophilus* dan *B. coagulans*, bersifat termofilik dan dapat merusak makanan kaleng dengan menghasilkan asam tanpa gas, yang disebut “busuk asam tanpa gas”. Namun, ada juga jenis *Bacillus* seperti

*B. polymyxa* dan *B. macerans* yang dapat tumbuh pada makanan dan menghasilkan asam dan gas.

**Clostridium:** Bakteri *Clostridium pultrescens* tumbuh pada suhu sedang dan mampu memfermentasi asam amino karena bersifat mesofilik dan proteolitik. Hal ini dapat menghasilkan produk yang berbau busuk. Lebih serius lagi, *Clostridium pultrescens* juga dapat menghasilkan enterotoksin, yang dapat menyebabkan keracunan makanan..

*Desulfatomaaculum* adalah bakteri anaerobik yang memiliki kemampuan untuk mereduksi sulfat menjadi  $H_2S$ . Bakteri jenis ini biasanya ditemukan di air buangan yang mengandung sulfat. *D. nigrificans* dapat merusak pengalengan sayur-sayuran, terutama kapri dan jagung, dengan menimbulkan warna hitam pada produk. Ini disebabkan oleh sifatnya yang termofilik.

f. Bakteri dengan sel bercabang (bertunas)

Bakteri-bakteri yang Anda sebutkan, *Corynebacterium*, *Brevibacterium*, *Microbacterium*, *Kurthia*, *Propionibacterium*, *Streptomyces*, dan *Streptoverticillum*, memiliki banyak fungsi dan karakteristik yang berbeda di lingkungan makanan:

1. *Corynebacterium*: *Corynebacterium diphtheriae* adalah bakteri yang dapat menyebabkan penyakit difteri pada manusia, tetapi jarang ditemukan dalam makanan.
2. *Brevibacterium* dan *Microbacterium*: Bakteri ini dapat ditemukan dalam susu dan produk olahan susu, tetapi biasanya mereka tidak mengubah tekstur, rasa, atau warna susu.
3. *Propionibacterium*: *Propionibacterium* digunakan untuk meningkatkan citarasa keju Swiss, tetapi mereka juga dapat menghasilkan  $CO_2$ , yang menyebabkan lubang di keju, yang merupakan ciri khas keju Swiss.

4. *Streptomyces* dan *Streptoverticillum*: Bakteri ini biasanya ada di tanah dan berkontribusi pada proses dekomposisi materi organik di lingkungan. Namun, mereka jarang ditemukan dalam makanan.

Selain itu, juga dikenal pengelompokan bakteri pangan berdasarkan sifat pertumbuhannya pada makanan sebagai berikut:

- 1) Bakteri asam laktat (*Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Streptococcus*, dan *Pediococcus*),
- 2) Bakteri asam asetat (*Actobacter* dan *Gluconobacter*),
- 3) Bakteri asam butirat (*Clostridium*),
- 4) Bakteri asam propionat (*Propionibacterium*),
- 5) Bakteri proteolitik (*Pseudomonas*, *Proteus*, *Bacillus*, dan *Clostridium*),
- 6) Bakteri lipolitik (*Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Serratia*, dan *Micrococcus*),
- 7) Bakteri sakarolitik (*Bacillus* dan *Clostridium*),
- 8) Bakteri pektinolitik (*Erwina*, *Bacillus*, dan *Clostridium*),
- 9) Bakteri termofilik (*Lactobacillus* dan *Clostridium*),
- 10) Bakteri psikrotopik (*Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Micrococcus*, *Lactobacillus*, *Enterobacter*, dan *Arthrobacter*),
- 11) Bakteri halofilik (*Halobacteriu*, *Halococcus*, *sarcina*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Pediococcus*, dan *Alcaligenes*),
- 12) Bakteri osmofilik (*Leuconostoc*),
- 13) Bakteri berpigmen (*Flavobacterium*, *Serratia*, dan *Micrococcus*),
- 14) Bakteri pembentuk lendir (*Alcaligenes*, *Enterobacter*, *Streptococcus*, dan *Lactobacillus*), dan
- 15) Bakteri pembentuk gas (*Leuconostoc*, *Lactobacillus*, *Propionibacterium*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Proteus*, *Bacillus*, dan *Clostridium*).

#### 4. Jenis-jenis Bakteri Industri

Beberapa bakteri sangat penting untuk industri makanan dan industri lainnya. Berikut adalah ringkasan peran utama beberapa bakteri tersebut:

1. *Clostridium butyricum*: Menghasilkan asam butirat, yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri, seperti membuat bahan kimia dan bahan bakar biologis.
2. *Propionibacterium*: Ini menghasilkan asam propionat dan digunakan untuk meningkatkan citarasa keju Swiss.
3. *Acetobacter sp.*: Bakteri ini menghasilkan asam asetat dan digunakan dalam produksi cuka.
4. *Lactobacillus sp.*: Digunakan untuk membuat produk susu seperti keju, yogurt, dan mentega. Mereka juga membantu fermentasi makanan seperti kimchi dan sauerkraut.
5. *Clostridium acetobutylicum* adalah bakteri yang menghasilkan aseton dan butanol dan digunakan dalam banyak proses industri, seperti membuat senyawa kimia organik.
6. *Bacillus polymyxa* dan *Enterobacter aerogenes* menghasilkan 2,3-butanediol, yang digunakan dalam industri farmasi dan kimia.
7. *Lactobacillus debrueckii* bertanggung jawab untuk menghasilkan asam.

#### 5. Jenis-jenis Bakteri Kedokteran

Bakteri dapat menyebabkan penyakit pada manusia. Beberapa contohnya adalah penyakit bernanah yang disebabkan oleh *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Neisseria meningitidis*, dan *Neisseria gonorrhoeae*, penyakit antrax yang disebabkan oleh *Bacillus anthracis*, penyakit tetanus yang disebabkan oleh *Mycobacterium tuberculosis*, penyakit lepra yang disebabkan oleh *Mycobacterium leprae*, dan penyakit diare yang disebabkan oleh *Shigella*, Salmon Penyebab sipilis adalah

*Treponema palidum*.

a. *Clostridium perfringens*

*Clostridium perfringens* dari lima tipe (A, B, C, D, dan E) bertanggung jawab atas 60-90% *Myonekrosis clostridial*. Sebagian besar dari tipe ini menghasilkan empat toksin utama. Bakteri ini biasanya terlihat pendek, menggembung, gram positif, dengan panjang 2-4 mm dan lebar 1-1,5 mm. Panjangnya bervariasi selama tahap pertumbuhan, tetapi nutrisi dan komposisi ion mediumnya baik, pertumbuhannya cepat, tampak selalu coccid atau cubical, dan bentuknya lebih panjang pada kultur yang tua. *Clostridium perfringens* tidak bergerak dan tidak menghasilkan spora pada medium biasa. Ini ditemukan pada medium tertentu melalui hapusan spesimen luka, tetapi tidak umum dalam kultur.

b. *Clostridium tetani*

*Clostridium tetani* adalah bakteri yang menyebabkan penyakit tetanus, yang jarang terjadi di negara-negara yang telah mengalami perkembangan yang baik. Bayi dapat mengalami penyakit ini jika tali pusar atau umbilikus tidak dirawat dengan benar saat kelahiran, misalnya jika alat pemotong yang digunakan tidak steril. Penyakit ini dapat muncul pada orang dewasa setelah luka dalam dengan lubang kecil, seperti luka tusuk, dan ditandai dengan kejang otot yang parah, terutama pada otot rahang, yang menyebabkan rahang tertutup. Tingkat kematian akibat tetanus masih tinggi, terutama pada orang yang sangat muda atau sangat tua, meskipun ada banyak kemajuan dalam pengobatan.

*Clostridium tetani* memiliki sifat anaerobik, sehingga mampu menghasilkan toksin tetanus pada penderita tetanus. Antitoksin tetanus, yang telah ditunjukkan sebagai profilaksis, tetapi kurang efektif dalam terapi. Selanjutnya, toksin tetanus berubah menjadi toxoid, yang merupakan bahan untuk imunisasi, yang merupakan

cara yang efektif untuk mencegah tetanus.

c. Bakteri anaerobik yang tidak membentuk spora

1) Kelompok basil gram negatif

*Bacteroides* dibagi menjadi subspecies, yaitu: *fragilis*, *thetaiotaomicron*, *distasonis*, *vulgatus* dan *ovatus*. Pembagian spesies didasarkan kepada studi DNA-homolog. Kelompok *Bacteroides* yang berada di intestinal yaitu: *Bacteroides fragilis* pada umumnya dapat diisolasi dari infeksi, merupakan flora normal jika dalam jumlah yang relatif sedikit. *Bacteroides thetaiotaomicron* terdapat disekitar sumber kliniknya dan mudah serta lebih resisten terhadap antibiotika. *Bacteroides* yang diisolasi dari infeksi intra abdominal atau septicemia berasal dari tempat ini, meskipun *Bacteroides fragilis* dan lainnya terdapat juga di vagina dan servik di wanita yang sehat atau juga dapat diisolasi dari infeksi saluran genitalia yang serius.

2) Kelompok basil gram positif

Bakteri anaerobik yang tidak membentuk spora yang berupa basil gram positif adalah:

*Eubacterium lentum* diisolasi secara spesimen klinik non oral, kuman yang merupakan flora normal pada saluran gastrointestinal disebut *Coccobacillus*. *Eubacterium brady*, *Eubacterium timidum*, dan *Eubacterium nodatum* merupakan prevalen dalam periodontis. Kuman-kuman ini relatif tumbuh lambat dan hanya sedikit pada medium kepala dan leher. *Eubacterium* menyerupai *Actinomycetes* sehingga disebut "*Lik Actinomycetes*" diisolasi dari saluran genital atas atau bawah yang berhubungan dengan penggunaan kontrasepsi intrauterin.

Flora normal pada saluran gastrointestinal dan kulit kadang-kadang mengkontaminasi kultur yang mengandung darah, cairan cerebrospinal, tetapi jarang menyebabkan infeksi, bentuk selnya

pleomorfik adalah *Propionibacterium acnes* dan *Propionibacterium granulosum*.

Flora normal pada mulut dan saluran gastrointestinal, pada wanita *Lactobacillus* merupakan flora predominan dalam vagina. Kebanyakan spesiesnya punya potensi patogen rendah tetapi *Lactobacillus cateniforme* biasanya menyebabkan infeksi pleuropulmonari.

*Actinomyces propionica* menyebabkan actinomycosis. *Actinomyces* dan *Propionibacterium* mempunyai persamaan, tetapi dari perbedaan metabolik tertentu digunakan sebagai dasar untuk membagi genus ini.

*Mobiluncus*, merupakan kuman yang mobil, terdiri dari dua species yaitu *Mobiluncus mulieris* dan *Mobiluncus curtisii*, gram positif, tapi strain yang dibiakan berulang-ulang menunjukkan gram negatif atau gram variabel (contohnya: *Mobiluncus mulieris*). Bakteri ini dihubungkan dengan adanya bacterial vaginosis (*nonspecific vaginitis*) pada wanita, walaupun peranannya belum jelas. Kuman ini tumbuh lambat dan membentuk koloni-koloni kecil pada medium plate.

*Bifidobacteria* yaitu flora normal dalam mulut dan kadang-kadang disaluran urogenital dan sejumlah besar di saluran gastrointestinal *Bifidobacteria dentium* dapat diisolasi dari tempat tersebut.

### 3) Kelompok kokus gram positif

Kelompok bakteri anaerob yang tidak membentuk spora berupa kokus gram negatif yaitu *Peptostreptococcus* dan *Streptococcus*, merupakan kuman obligat anaerobik, gram positif, berbentuk kokus. Contoh dari *Peptostreptococcus tetradius*, *Peptostreptococcus magnum*, *Peptostreptococcus asaccharolyticus* dan *Peptostreptococcus prevotii*. Tiga spesies terakhir diklasifikasikan ke dalam genus *Peptococcus*. Sedangkan genus *Streptococcus constellatus*, tatanan kuman ini

masih kontroversi, tetapi pada umumnya dimasukkan ke dalam “Streptococcus millirei group”. Kebanyakan strain ini mampu tumbuh pada inkubator CO<sub>2</sub> dan jarang di udara. *Streptococcus morbillorum* dianggap microaerotoleran. Bakteri *Streptococcus* memproduksi asam laktat. Morfologi sel dari kokus anaerobik bervariasi tergantung dari genus, spesies, strain, pasangan (tunggal, empat), rantai, tempat flora normal (mulut, saluran gastrointestinal, dan lain-lain). Kuman-kuman ini merupakan prevalen pada infeksi seperti pleuropulmonary, abses otak, infeksi obstetrik, an ginekologik. Spesies ini susceptibel terhadap antibiotika a-laktam, dan obat yang digunakan untuk terapi infeksi anaerobik. Strain tertentu biasanya microaerotoleran atau aerotoleran (di antaranya Streptococcus), dan resisten terhadap metronidazole.

4) Kelompok kokus gram negatif

*Veillonella parvula* adalah mikroorganisme kecil yang dapat diisolasi dari sampel klinis dan ditemukan berpasangan dan berkelompok dalam flora normal mulut dan saluran gastrointestinal. Namun, peran mereka dalam menyebabkan infeksi masih belum jelas.

d. Gastroenteritis

Organisme penyebab gastroenteritis (Enterokolitis):

1) Bakteri penyebab gastroenteritis

a) Kuman gram positif

*Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*.

b) Kuman gram negatif

*Escherichia coli*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio cholerae*, *Vibrio* lain (*Vibrio vulnificus*, *Vibrio mimicus*, *Vibrio hollisae*, *Vibrio furnissi* dan, *Vibrio fluvialis*), *Shigella sp*, *Salmonella sp*, *Champulobacter jejuni*, *Yersinia enterocolitica*, *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens*, *Clostridium difficile*.

- 2) Jamur penyebab gastroenteritis  
*Candida albicans*, Blastozonidanya, Chlamydospora.
  - 3) Virus penyebab gastroenteritis  
Virus rota yang menyebabkan gastroenteritis memancar dari inti, mirip dengan pusat, dan memiliki bentuk mikroskop elektron pada pinggir luar kapsid yang mirip dengan pinggiran roda yang mengelilingi jari-jari. Partikel virus ini memiliki kapsid berkulit ganda dengan garis tengah 60 hingga 75 nanometer.
- e. Infeksi oportunistik oleh flora normal saluran cerna  
Kuman-kuman tersebut sebagai berikut:
- 1) Klebsiella  
Kuman patogen pada saluran pernafasan, saluran air kemih yaitu *Klebsiella pneumoniae*.
  - 2) Proteus  
Menginfeksi saluran kemih, sepsis, dan lain sebagainya. *Proteus morgani* dan *Proteus rettgeri* ditemukan pada infeksi-infeksi di rumah sakit.
  - 3) Pseudomonas  
Kuman berbentuk batang, gram negatif, dapat bergerak, aerob dan menghasilkan pigmen yang larut di dalam air atau dapat berdifusi di medium perbenihan.
  - 4) Enterobacter  
Mempunyai 8 spesies yang berhabitat normal di tanah, air, usus besar dari manusia dan hewan. Kuman ini patogen pada saluran kemih dan sering mengakibatkan infeksi nosokomia.
  - 5) Citrobacter  
Mempunyai 3 spesies (*Citrobacter freundii*, *Citrobacter diversus*, *Citrobacter amalonaticus*). Kuman ini menyebabkan infeksi pada saluran cerna, neonatal meningitis, dan abscess otak.

f. Flora normal manusia dan akibatnya

Populasi mikroorganisme (bakteri dan jamur) terdapat pada atau di dalam tubuh manusia yang secara normal tidak menyebabkan penyakit disebut flora normal. Flora ini terbentuk saat pasca neonatus dan flora normal berasal dari lingkungannya, ibunya, perawat, dokter, dan lain-lain. Faktor-faktor yang memengaruhi jenis/pola flora normal adalah tempat hidup organisme, umur tuan rumah, respon imun lokal, jenis diet, kondisi fisiologi, dan faktor dari flora normal itu sendiri.

## 6. Jenis-jenis Mikrobiologi Lingkungan

Jika kebocoran minyak dari pengeboran lepas pantai atau insiden kapal pengangkut minyak menyebabkan pencemaran laut, *Pseudomonas putida* dimodifikasi agar dapat mencerna minyak bumi. *Bacillus subtilis* mengalami transformasi yang memungkinkannya mengikat logam berat pada limbah industri yang mengandung banyak logam berat. *Aspergillus niger* telah dimanipulasi untuk menguraikan endosulfan dan karbofuran, antara lain pestisida..

Dalam pengolahan air limbah atau limbah cair baik pada *lagoon system* (sistem kolam), *activated sludge system* (sistem lumpur aktif), *down flow sand filter* (sistem filter pasir aliran ke bawah) dan *up flow sand filter system* (sistem filter pasir aliran ke atas) disebut Biofil (lapisan kumpulan mikroorganisme). Salah satu fungsinya adalah untuk mendekomposisi protein menjadi amonia, nitrit, dan nitrat.

## 7. Jenis-jenis Mikroorganisme Pertanian

Bakteri penyebab penyakit pada tanaman yaitu *Xanthomona citri* yang menyebabkan penyakit batang jeruk, *Agrobacterium tumefaciens* yang menyebabkan penyakit batang kopi, dan *Erwinia tracheiphilia* yang menyebabkan penyakit busuk daun labu. Dalam bidang pertanian, bakteri saprofitik merupakan bakteri pengikat nitrogen

dan bakteri nitrifikasi memiliki peranan yang sangat besar. Bakteri pengikat nitrogen yang hidup bebas di antaranya adalah *Azobacter*, *Rhodospirillum rubrum* dan *Clostridium leguminosorum*. Bakteri pengikat nitrogen yang bersifat aerob obligat yaitu *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Derxia*, *Archromobacter*, *Mycobacterium*, *Arthrobacter* dan *Bacillus*. Yang termasuk dalam anaerob obligat adalah *Clostridium*, *Chlorobium*, *Chromatium*, *Rhodomicrobium*, *Rhodopseudomonas*, *Rhodospirium*, *Desulfovibrio* dan *Methanobacterium*.

Bakteri anaerob fakultatif yaitu *Aerobacter*, *Klebsiella* dan *Pseudomonas*. Bakteri pengikat nitrogen seperti, *Clostridium pasteurianum*, *Azobacter chroococcum* dan *Azotobacter vinelandii* telah banyak diteliti karena kemampuan bakteri ini untuk mengikat nitrogen bebas walaupun dikulturkan pada medium yang bebas nitrogen. Kemampuan memfiksasi nitrogen bebas dikendalikan oleh gen *nif*, yang telah berhasil ditransfer melalui konjugasi dan transduksi dan *Klebsiella* yang satu ke *Klebsiella* mutan yang merupakan galur ukan pengfiksasi nitrogen dan juga ke *E. coli* yang bukan pengfiksasi nitrogen. Keberhasilan ini memotivasi peneliti untuk mentransfer gen *nif* bakteri ke sistem sel eukariota. Tekanan utama di balik seluruh penelitian mengenai rekombinan DNA dalam hubungannya dengan fiksasi nitrogen secara biologis adalah mengusahakan agar tanaman budi daya itu dapat mencukupi sendiri kebutuhannya akan nitrogen yang merupakan salah satu unsur kunci dalam pertumbuhan tanaman budi daya dan produksi biji. Dalam teknik rekombinasi DNA ini plasmid yang sering digunakan adalah plasmid RDI yang telah berhasil mentransfer gen *nif* dari *Klebsiella pneumoniae* ke *Agrobacterium tumefaciens*, *Rhizobium meliloti* dan *Azotobacter vinelandii*. Infeksi oleh *Agrobacterium tumefaciens* dapat menyebabkan crown gall (pertumbuhan sel secara cepat) pada banyak tanaman dikotiledon. Bakteri ini memiliki plasmid yang dapat menyebabkan crown gall dan mampu menginduksi tanaman untuk mensintesis opin yang merupakan

senyawa yang kaya nitrogen. Kemampuan untuk menyusun opin sel-sel tanaman yang diinfeksi oleh *Agrobacterium tumefaciens*. Melalui modifikasi genetik, sel-sel tanaman keturunannya akan memperoleh kemampuan membentuk crown gall dan mampu memproduksi opin. Metode lain untuk membuat rekombinan DNA adalah melibatkan virus tanaman (seperti virus mosaik) dan DNA kloroplas.

Bakteri mampu mengoksidasi senyawa belerang organik sehingga menjadi belerang anorganik yang dimanfaatkan oleh tumbuhan adalah Thiobacillus, Beggiatoa, Thiothrix dan Thioploca. Sulfat hasil oksidasi Thiobacillus akan berubah menjadi asam sulfat yang menurunkan pH tanah sehingga penambahan Thiobacillus digunakan sebagai salah satu teknik untuk membunuh *Streptococcus scabies* penyebab penyakit bopeng pada tanaman kentang dan *Streptococcus ipomoea* penyebab penyakit busuk pada tanaman kentang.

## 8. Bakteriologi Peternakan

Bakteri penyebab penyakit pada hewan yaitu:

- a. *Bacillus anthracis* menyebabkan penyakit anthrax pada sapi, kerbau, domba dan lain sebagainya. Penyakit ini memiliki tingkat keparahan yang sangat ditentukan oleh resistensi hewan terhadap kuman penyebab anthrax. Mencit dan domba adalah hewan yang boleh dikatakan tidak mempunyai resistensi sama sekali terhadap kuman penyebab anthrax. Kedua jenis hewan ini mati dengan tanda-tanda sepsis dan limpanya sangat membengkak dan hiperemik. Pada manusia infeksi anthrax melalui hewan (zoonosis) dapat terjadi pada saat menyembelih hewan atau makan sate dari daging hewan yang menderita anthrax. Pada kuda gejala klinisnya adalah demam tinggi, edema pada scrotum, bagian ventral abdomen, kepala, punggung hidung dan nafsu makan menurun. Gejala ini dapat berlangsung selama 3 hari dan jika tidak diobati hewan bisa mati.

- b. *Pasteurella multocida* menyebabkan penyakit septicaemia haemorrhagica (penyakit ngorok) pada sapi, kerbau, kambing, biri-biri, rusa dan babi. Penyakit ini memiliki gejala klinis yang terpenting yaitu busung air (edema) yang luas pada batang leher, dada bahkan hingga di antara kedua tungkai depan. Selaput lendir mulut dan lidah dapat membengkak akibat edema ini.
- c. *Haemophilus equigenitalis* menyebabkan penyakit pada kuda yaitu contagious equine metritis (CEM). Kuman ini merupakan kuman gram negatif dan kokobasil jika menginfeksi kuda betina akan menyebabkan mukopurulen pada alat kelamin (uterus, cervix, vagina, labio mayora dan labio minora dan bagian yang lain). Infeksi pada kuda jantan tidak menunjukkan gejala klinis yang nyata tetapi dapat menjadi faktor penular yang utama.
- d. *Malleomyces mallei* menyebabkan penyakit pada kuda, kelinci, dan marmut berupa penyakit Malleus (ingus jahat). Kuman ini merupakan kuman gram negatif, tidak membentuk spora dan bersifat aerob dapat menyebabkan rinitis kataral yang cepat berubah menjadi rinitis bernanah. Pada selaput hidung terlihat tukak dan erosi. Kuda dapat batuk-batuk secara menahun dan biasanya ini disebabkan oleh radang paru-paru atau alat respirasi lainnya.
- e. *Mycobacterium tuberculosis* menyebabkan penyakit TBC, yang dapat menyerang sapi, babi, kucing, anjing, dan kera serta dapat menular pada manusia (zoonosis), tetapi TBC Bovin jarang menyerang orang Indonesia mengingat kebiasaan memasak air susu terlebih dahulu sebelum diminum.
- f. *Brucella abortus* menyebabkan abortus pada hewan ternak.
- g. *Clostridium sp.*

Genus *Clostridium* terdiri dari bakteri anaerob dan berspora dalam morfologi maupun sifat pewarnaannya. Bentuk dari bakteri ini yaitu batang besar dan memiliki sifat gram positif. Penataan

dapat tunggal atau rantai panjang. Spora memiliki bentuk oval dengan ukuran melebihi sel vegetatif. Biasanya letak spora di bagian sentral, yang disebabkan oleh ciri biakan dan serologi. Gejala klinis atau lesi yang ditimbulkan seringkali bersifat patognomonis sehingga diagnostik praduga dapat segera ditegakkan.

*Clostridium* patogen berdasarkan garis presipitin yang terbentuk, dibagi menjadi 10 spesies. Bakteri ini dipisahkan menjadi 2 kelompok berdasarkan patogenesisnya. Mikroorganisme pada kelompok pertama tidak merusak dan berkembang biak dalam jaringan. Patogenesis dari kelompok pertama ini disebabkan oleh pembentukan toksin. Bakteri pada kelompok ini adalah *Clostridium tetani* dan *Clostridium botulinum*. Kelompok kedua mencakup mikroorganisme yang mempunyai kemampuan merusak, berkembang biak dalam jaringan. Biasanya mikroorganisme dalam kelompok kedua ini juga menghasilkan toksin, tetapi daya toksinnya jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan kelompok yang pertama. Bakteri kelompok kedua ini adalah *Clostridium perfringens*, *Clostridium haemolyticum*, *Clostridium novyi*, *Clostridium chauvoei*, dan *Clostridium septicum*. *Clostridium* patogen bersifat motil terkecuali *Clostridium perfringens* dan tidak berkapsul. *Clostridium perfringens* berbentuk batang besar dengan ujung tumpul dengan penataan tunggal, berantai atau filamen.

1) *Clostridium chauvoei*

Di Indonesia, penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisme ini dikenal sebagai penyakit radang paha atau disebut *blackleg*. Mikroorganisme ini berbeda dengan mikroorganisme anaerob lainnya yang terlihat pada preparat mikroskopik yang berasal dari cairan eksudat peritonum marmot. Mikroorganisme terlihat sebagai rantai pendek, sedangkan mikroorganisme anaerob lainnya yang juga dapat ditemukan pada infeksi *blackleg* terlihat sebagai

rantai panjang pada cairan eksudat peritoneum dari marmot yang telah diinokulasi. Spora pada bakteri ini berbentuk oval dan terletak suterminal, serta lebih besar dari sel vegetatif sehingga memberikan penampilan sebagai bentuk lemon.

Ada empat toksin yang dihasilkan oleh *Clostridium chauvoie* yaitu toksin alpha (hemolisin), beta (deoksiribonuklease), gama (hialurodase), dan delta (hemolisin). Jalur infeksi *Clostridium* melalui dua jalur yaitu melalui ingesti, yaitu infeksi melalui ingesti ditemukan pada ternak, dan kedua melalui luka, dimana mekanisme infeksi melalui luka.

## 2) *Clostridium septicum*

Mikroorganisme ini banyak ditemukan di tanah dan saluran. Penyakit yang ditimbulkan disebut *malignant edema*. Preparat sentuhan dari marmot yang diinokulasi memperlihatkan *Clostridium* dengan susunan rantai panjang. Penataan rantai panjang inilah yang membedakan *Clostridium septicum* dengan *Clostridium chauvoei*. Spora pada bakteri ini berbentuk oval, terletak terminal dan lebih besar dari sel vegetatif. *Clostridium septicum* tumbuh besar dalam medium umum dalam keadaan anaerobik. Ciri ini membedakannya dengan *Clostridium chauvoei* yang memerlukan medium yang lebih kompleks dan rumit. Marmot sangat peka terhadap *Clostridium septicum*. Eksudat gelatinosa yang terdapat di bawah kulit pada bekas suntikan disertai urat daging yang berwarna merah hitam. Umumnya tidak ditemukan gelembung gas di antara urat daging. Toksin yang dihasilkan oleh *Clostridium septicum* adalah toksin alpha (bersifat mematikan, merusak dan hemolitik), toksin beta deoksiribonuklease, hemosilin, dan hialuronidase, toksin gama (hialuronidase), dan toksin delta (faktor pembusuk dan hemolisis). Berbagai toksin ini menyebabkan peningkatan permeabilitas pembuluh kapiler dan mengakibatkan mionekrosis dan penyebaran infeksi.

### 3) *Clostridium haemolyticum*

*Clostridium haemolyticum* menyebabkan penyakit yang disebut *ikterohemoglobinuria*. Penyakit ini banyak terdapat di daerah dengan infeksi cacing hati. *Clostridium haemolyticum* tidak banyak ditemukan dalam tanah atau saluran pencernaan. Toksin yang dihasilkan berupa lestinase C dan bersifat mematikan, merusak, dan menyebabkan hemolisis erosit in vitro maupun in vivo.

Penyakit ini memiliki gejala utama yaitu hemoglobinuria atau air merah. Infeksi terjadi melalui ingesti. Mikroorganisme berkembang biak dalam hati disertai pembentukan toksin. Cacing hati dapat menyebabkan kerusakan pembuluh darah, sehingga *Clostridium haemolyticum* dapat berkembangbiak pada jaringan yang rusak dan bersifat anaerobik. Kematian hewan biasanya disebabkan oleh toksin yang mampu melisis eritrosit, sehingga menyebabkan anoksis. Lesitinase merombak kompleks lesitoprotein yang terdapat pada permukaan eritrosit. Toksin dalam hati akan menyebabkan hemolisis intrabaskuler dan kerusakan pembuluh kapiler. Hemoglobin dikeluarkan dalam urine. Sebagai akibat kerusakan pembuluh kapiler. Tinja berwarna merah hijau, sedangkan urine berwarna merah dan berbuih. Lesi karakteristik terlihat pada hati yang menunjukkan infark berupa jaringan nekrotik yang berwarna lebih muda dari jaringan sekitarnya. Lesi ini disebabkan trombotis pada salah satu vena portal.

Pencegahan penyakit ini dapat dilakukan dengan melaksanakan pembasmian siput yang merupakan vektor dari infeksi cacing hati. Biakan kaldu yang ditambah formalin digunakan untuk memperoleh kekebalan aktif. Kekebalan yang diperoleh lebih bersifat antibakteri dibandingkan dengan kekebalan antitoksin. Setelah 6 bulan harus dilakukan vaksinasi ulang karena kekebalan yang ditimbulkan tidak dapat bertahan lama.

4) *Clostridium novyi*

Infeksi dari *Clostridium novyi* dapat menimbulkan penyakit:

- a) Penyakit tipe A. Pada domba atau ternak lainnya dapat menyebabkan penyakit yang ditandai dengan gas gangren. *Clostridium novyi* menyebabkan penyakit kepala besar (*big head*) yang merupakan penyakit yang ditandai oleh pembengkakan pada kepala dan leher pada domba jantan. Mikroorganisme ini masuk melalui kerusakan jaringan yang disebabkan oleh benturan pada kepala. *Clostridium novyi* menghasilkan toksin yang menyebabkan penyakit ini adalah toksin alpha, gama, dan epsilon. Penyakit tipe A ini seringkali terdapat infeksi campuran dengan *Clostridium novyi* dan *Clostridium septicum*.
- b) Penyakit tipe B. Pada domba dan ternak lainnya dapat menyebabkan penyakit *black diseases*. *Clostridium novyi* menghasilkan toksin yang menyebabkan penyakit ini adalah toksin alpha dan toksin beta. Penyakit ini terdiri dari *black diseases* dan hepatitis yang bersifat nekrotik. Infeksi terjadi melalui ingesti mikroorganisme yang kemudian terbawa darah ke hati. Lokasi infeksi yang diikuti dengan pembentukan toksin dapat menyebabkan kematian karena adanya kerusakan jaringan yang disebabkan cacing hati. Kongesti pembuluh darah kulit akan menyebabkan warna hitam, sehingga penyakit ini disebut sebagai penyakit hitam (*black diseases*).
- c) Penyakit tipe C. *Clostridium novyi* yang menyebabkan osteomielitis pada kerbau, penyakit ini tidak menghasilkan toksin. Pencegahan penyakit yang disebabkan oleh *Clostridium novyi* dapat dilakukan dengan pembasmian cacing hati dan siput sebagai vektor. Bakteri yang diberi formalin dan toksoid memberikan perlindungan. Seringkali dalam penyakit tipe A terdapat bakteri ganda dalam pencegahan infeksi gas gangren.

5) *Clostridium perfringens*

Secara normal *Clostridium perfringens* tipe A ditemukan di udara, air, tanah, kotoran hewan, saluran usus manusia dan hewan. Pada saluran usus hewan jarang ditemukan Tipe B, C, D, dan E. Penyakit yang ditimbulkan disebut enterotoksinemia. *Clostridium perfringens* mempunyai 8 toksin yaitu:

- a) Toksin alpha merupakan toksin yang mematikan dan mengandung hemolisin, kolagenase, hialuronidase, dan deoksiribonuklease. Toksin ini dapat menguraikan lesitin dan kompleks protein-lesitin.
- b) Toksin beta yang dihasilkan oleh *Clostridium perfringens* Tipe C dan F, yang memiliki sifat mematikan, dapat menyebabkan peradangan usus dan enteritis.
- c) Toksin epsilon dihasilkan oleh *Clostridium perfringens* tipe B dan D, yang berupa protoksin dengan daya toksinitas yang rendah. Protoksin ini akan diubah menjadi toksin oleh enzim preteolitik seperti tripsin dan pepsin. Daya perusak dan mematikan toksin hasil perubahan ini sangat kuat.
- d) Toksin theta dihasilkan oleh *Clostridium perfringens* Tipe A, B, C, D, dan E, yang memiliki sifat hemolitik dan merusak.
- e) Toksin iota dihasilkan oleh *Clostridium perfringens* Tipe E, yang merupakan protoksin dan diaktivasikan menjadi toksin oleh enzim proteolitik.
- f) Toksin kappa merupakan enzim proteolitik yang merombak kolagen. Toksin ini menyebabkan urat daging menjadi lembek dan tidak lentur.
- g) Toksin lambda merupakan enzim proteolitik yang dihasilkan oleh *Clostridium perfringens* tipe B, E, dan beberapa galur tipe D. Daya kerja toksin ini terhadap gelatin, kasein, dan hemoglobin sangat kuat.

h) Toksin My yang mampu menghidrolisis asam hialuronat.

6) *Clostridium tetani*

Bakteri ini ditemukan dalam tanah dan dari saluran usus. Gejala dari penyakit yang ditimbulkannya sangat spesifik, sehingga mudah untuk dibedakan dari *Clostridium* lainnya. Bakteri ini memiliki bentuk batang langsing, sedangkan di dalam jaringan dan biakan memiliki bentuk batang tunggal, meskipun kadang kala terlihat sebagai filamen. Pada biakan yang tua akan terlihat spora pada ujung sel vegetatif, tetapi setelah beberapa hari berubah menjadi gram negatif. Pada agar darah *Clostridium tetani* akan terlihat koloninya bersifat hemolisis. Pada biakan gelatin terlihat pertumbuhan seperti sikat gigi, diikuti oleh likuefas dan pemilahan warna medium menjadi hitam disertai dengan pembentukan gas. Pada *cooked meat* medium, biakan *Clostridium tetani* akan tercium bau busuk karena adanya proses fermentasi yang menghasilkan asam asetat, butirat, dan asam propionat. Pada agar darah, akan terlihat koloni yang menyebar yang sangat tipis. Biakan murni diperoleh dengan memindahkan bagian pinggir koloni ini ke agar darah dalam medium agar darah miring.

7) *Clostridium botulinum*

Agent penyebab botulismus disebabkan oleh mikroorganisme preteolitik dan nonproteolitik. Mikroorganisme proteolitik dikenal sebagai *Clostridium paraotulismus*, sedangkan mikroorganisme nonproteolitik disebut *Clostridium botulinum*. Spora mikroorganisme ini sering ditemukan di tanah. Tipe *Clostridium botulinum* dapat berbeda tergantung dari daerahnya. Botulismus disebabkan oleh makanan yang tercemar tanah dengan proses sterilisasi yang tidak sempurna. Makanan ini dalam keadaan tanpa oksigen sehingga menyebabkan *Clostridium botulinum* berkembang biak

dan memproduksi toksin. Penyakit yang ditimbulkan merupakan keracunan oleh toksin dan bukan disebabkan oleh infeksi *Clostridium botulinum*. Defisiensi fosfor dapat menyebabkan ternak dan domba memakan bangkai yang membusuk sehingga mengakibatkan botulismus. Oleh karena kelumpuhan yang berkaitan dengan defisiensi fosfor, penyakit ini di Afrika Selatan disebut lamziekte yang secara harfiah berarti sakit lumpuh.

Toksin botulismus adalah protein yang bersifat protoplasmik. Kompleks nonproteolitik diaktivasikan oleh enzim proteolitik, seperti tripsin agar berdaya kerja sebagai toksin. Pembentukan toksin *Clostridium botulinum* tipe C dan D ditengahi oleh fag. Setelah dimakan toksin melewati dinding usus sehingga masuk ke eredaran darah. Hemaglutinin berfungsi untuk melindungi toksin sebelum masuk dalam peredaran darah. Toksin ini dibawa oleh darah ke sistem syaraf periferal dan berikatan dengan bagian neuromuskuler. Kelumpuhan disebabkan oleh penghambatan asetolkolin. Jika kelumpuhan ini menyerang sistem pernapasan dapat mengakibatkan kematian. Pada unggas kelumpuhan terjadi pada sayap, kaki, dan leher, sehingga penyakitnya disebut *limberneck*.

## **C. Bakteri, Jamur, Protozoa dan Virus**

### **1. Bakteri**

Bakteri berdasarkan selnya termasuk dalam golongan prokariot, sel prokariot memiliki struktur sel lebih sederhana dibandingkan dengan sel eukariot. Sel yang tidak memiliki membran inti sel disebut sel prokariot. Ciri-cirinya yaitu materi genetik, (DNA) sel ini tidak terstruktur dalam bentuk nukleus, tetapi dalam bentuk nukleoid yang tidak diselubungi oleh membran plasma. Glikokalis, flagela, filamen aksial, fimbria dan pili merupakan bagian-bagian penting

di permukaan sel pada struktur eksternal sel. Glikokalis (selubung gula) yaitu istilah umum untuk substansi yang menyelimuti permukaan sel. Umumnya glikokalis bakteri mengandung polisakarida dan polipeptida yang biasanya dibuat dibagian internal sel dan disekresikan ke permukaan sel. Kapsul atau selubung bakteri adalah sebutan jika terstruktur dan menempel dengan kuat di seluruh dinding sel. Pewarnaan negatif terhadap kapsul bakteri dapat menunjukkan keberadaan kapsul, di mana kapsul ini mempunyai peranan penting dalam sifat virulensi bakteri tersebut. Kapsul juga melindungi bakteri patogen dari fagositosis sel inang dan pada spesies tertentu berperan pada virulensi. Contohnya, *Bacillus anthracis* mempunyai selubung yang mengandung D-asam glutamat yang bersifat patogen.

Kuman yang tersebar luas baik di tanah, air, maupun pada organisme lain, yang memiliki tanggung jawab terhadap terjadinya dua jenis penyakit granuloma kronis yang membinasakan umat manusia yaitu tuberkulosis dan kusta disebut Mikrobakteria. Kebanyakan penyakit tuberkulosis menyerang organ-organ tubuh bagian dalam sedangkan penyakit kusta menyerang kulit dan menimbulkan kelainan yang menakutkan. Hal inilah yang menyebabkan penyakit kusta lebih banyak ditakuti dari pada penyakit tuberkulosis di mana penyakit ini lebih mudah menular dan menimbulkan kematian, sehingga diberi nama *Captain of All these Men of Death*.

Penyebab penyakit tuberkulosis belum diketahui sebelum tahun 1882 dan para ahli berlomba-lomba menemukan kuman penyebab itu. Di Wollstein tiga orang ahli yaitu Koch, Geaffky, dan Loffler membuka sejarah baru di bidang kesehatan dengan penemuannya, yaitu basil tuberkulosis. Tanggal 24 Maret 1882 Robert Koch mempresentasikan hasil kerja dan penemuannya di hadapan para ahli Perhimpunan Fisiologi Berlin. Setelah penemuan Koch maka ditemukan beberapa spesies lagi dari Mikrobakteria yang memiliki sifat patogen terhadap

manusia dan ada pula yang bersifat saprofit, oleh karena itu dilakukan identifikasi untuk membedakan kuman yang patogen dan yang saprofit dengan melakukan isolasi yang baik, pemeriksaan biokimia dan percobaan hewan serta pemeriksaan-pemeriksaan lain. Hal ini berguna bagi penderita dan bagi kepentingan epidemiologi. Sampai saat ini telah berhasil diisolasi lebih dari 40 spesies Mikrobakteria dan diberi nama oleh International Working Group of Mycobacterial Taxonomy. Selain itu telah dipublikasikan penemuan 54 spesies baru dari Mikrobakteria golongan rapid growers.

#### **a. Klasifikasi Mikrobakteria**

Menurut Pelczar (1988), Mikrobakteria dianggap sebagai bentuk transisi antara Eubakteria dan Aktinomisetes (bakteri yang mempunyai sifat seperti jamur). Hal ini dikarenakan sifat Mikrobakteria yang selain mempunyai sifat Eubakteria, ada beberapa Mikrobakteria yang membentuk percabangan seperti Aktinomisetes. Sebaliknya ada beberapa Aktinomisetes (dari genus *Nocardia*) yang mempunyai sifat tahan asam dan ada yang berbentuk pleomorfik seperti Mikobakteria. Oleh karena itu klasifikasi Mikobakteria disusun sebagai berikut.

Ordo : Actinomycetales  
Famili : Mycobacteriaceae  
Genus : Mycobacterium  
Spesies : *M. tuberculosis*  
*M. bovis*  
*M. avium*  
*M. leprae*  
*M. marinum*  
*M. kansasii*  
*M. simiae*  
*M. scrofulaceum*

M. szulgae  
M. gordonae  
M. flavescens  
M. intracellulare  
M. xenopi  
M. ulcerans  
M. terrae  
M. gastri  
M. fortuitum  
M. chelonae

Mikobakteria dikelompokkan berdasarkan virulensinya terhadap hewan percobaan, yaitu tipe Human (*M. tuberculosis*), tipe Bovin (*M. bovis*), tipe Avian (*M. avium*) dan atipik. Dikenal 4 kelompok serologik dari Mikobakteria berdasarkan analisa antigen, yaitu kelompok Mamalian (termasuk di sini kelompok Human, Bovin, dan Murin), kelompok Avian, kelompok Reptilian, dan kelompok Saprofit. Seperti yang dikutip oleh Chadwick, Kubica (1978) berhasil mengumpulkan 40 spesies Mikrobakteria dan menentukan juga patogenitasnya terhadap manusia. Sehingga dapat diketahui bahwa tidak semua Mikrobakteria patogen terhadap manusia (M), tetapi ada juga yang patogen terhadap hewan (H), ada yang oportunistik patogen (O), ada pula yang sebagai kontaminan (K) dan sebagai saprofit (S).

Empat puluh spesies Mikrobakteria menurut Kubica:

1. *M. africanum* (M)
2. *M. asiaticum* (K)
3. *M. aurum* (S)
4. *M. avium* (O)
5. *M. bovis* (M)
6. *M. chelonae* (O)
7. *M. chitae* (S)
8. *M. duvallii* (K)
9. *M. farcinogenes* (H)
10. *M. flsvescens* (K)
11. *M. fortuitum* (O)
12. *M. gadium* (K)
13. *M. gastris* (K)
14. *M. gilvum* (K)
15. *M. gordonae* (K)
16. *M. haemophilum* (O)
17. *M. intracellulare* (O)
18. *M. kansasii* (O)
19. *M. lepre* (M)
20. *M. lepreaurium* (H)
21. *M. malmoense* (O)
22. *M. marinum* (O)
23. *M. microti* (H)
24. *M. nonchromogenicum* (S)
25. *M. neoaurum* (S)
26. *M. parafortuitum* (S)
27. *M. paratuberculosis* (H)
28. *M. phlei* (S)
29. *M. scrofulaceum* (O)
30. *M. senegalense* (H)
31. *M. simiae* (O)
32. *M. smegmatis* (S)
33. *M. szulgae* (O)
34. *M. terrae* (K)
35. *M. thermoresistibile* (S)
36. *M. triviale* (K)
37. *M. tuberculosis* (M)
38. *M. ulcerans* (O)
39. *M. vaccae* (S)
40. *M. xenopi* (O)

Mikrobakteri yang dapat menimbulkan penyakit seperti *M. tuberculosis* baik di paru-paru maupun di luar paru-paru disebut Mikrobakteria atipik. Runyon pada tahun 1959 mengusulkan cara klasifikasi untuk membedakan dengan lebih jelas antara Mikrobakteria atipik yang saprofit, dengan dasar kemampuannya membuat warna koloni dan kecepatan pertumbuhan.

Menurut Runyon dalam Pelczar (1988) untuk membedakan Mikrobakteria atipik yang saprofit dengan cara klasifikasi sebagai berikut:

**Runyon I atau kelompok fotokromogen.** Mikrobakteria dalam kelompok ini mempunyai kemampuan membentuk warna koloninya apabila terkena cahaya. Koloni muda yang disinari selama satu jam dan diinkubasi kembali di tempat gelap sudah mampu membentuk warna kuning muda dalam waktu 6-24 jam. Kelompok ini tumbuh sedikit lebih cepat dari pada *M. tuberculosis* dan kebanyakan patogen terhadap manusia. Yang termasuk golongan ini misalnya: *M. marinum*, *M. kansasii* dan *M. simiae*.

**Runyon II atau kelompok skotokromogen.** Kelompok ini mampu membentuk warna kuning atau jingga pada koloninya dalam keadaan gelap dan warnanya semakin gelap bila terkena cahaya. Kelompok skotokromogen sebagian besar tidak patogen dan yang termasuk dalam kelompok ini misalnya: *M. scrofulaceum*, *M. szulgai*, *M. gordonae* dan *M. falvescens*.

**Runyon III atau kelompok nonfotokromogen.** Yang termasuk kelompok Runyon III adalah Mikrobakteria yang tidak mampu membentuk warna sekalipun terkena cahaya dan tumbuh lebih cepat dari pada kelompok terdahulu. Banyak starin dari kelompok ini yang virulen terhadap manusia. Contoh dari kelompok ini misalnya: *M. intracellulare*, *M. xenotipe*, *M. ulcerans* dan *M. gastris*.

**Runyon IV atau kelompok rapid growers.** Keistimewaan kelompok ini adalah selain tidak membentuk warna juga mempunyai kecepatan pertumbuhan yang jauh lebih cepat dari kelompok lain yaitu sekitar 3 sampai 5 hari. Kebanyakan Mikrobakteria dari kelompok ini adalah saprofit yang resisten terhadap obat anti tuberkulosis. Contoh dari kelompok ini misalnya: *M. fortuitum*, *M. chelonae*, *M. phlei* dan *M. smegmatis*.

## b. Morfologi dan Struktur

Bentuk Mikrobakteria di dalam kultur berupa kokobasil atau batang lurus ramping yang sedikit bengkok dengan ukuran panjang berkisar antara 0,8-5 mikron dan tebal antara 0,2-0,5 mikron.

Basil Tahan Asam (BTA) merupakan kuman yang sulit diwarnai, akan tetapi bila sudah terwarnai maka ia akan menahan zat warna tersebut dengan baik dan tidak dapat dilunturkan meskipun dengan asam dan alkohol. Pada dinding sel Mikobakteria terdapat zat lilin, hal inilah yang menyebabkan sulitnya untuk diwarnai dan kesulitan ini dapat diatasi bila digunakan zat warna yang dapat melarutkan lilin sambil dilakukan pemanasan. Untuk mewarnai kuman ini biasanya menggunakan zat pewarna dari Ziehl-Neelsen. Kultur Mikrobakteria yang diwarnai dengan cara Ziehl-Neelsen akan terlihat seperti kuman yang berdiri sendiri atau berpasangan. Pada strain yang virulen terdapat *Serpentine Cord* yaitu terlihatnya kelompok kuman yang membentuk rantai yang terdiri dari anyaman kuman yang sejajar satu sama lain. *Serpentine Cord* dibentuk oleh pembentuk cord yang disebut *cord factor* yaitu 6,6 *dimycolil trehalose*.

Mikrobakteria yang diwarnai dengan pewarnaan Gram, akan terlihat sebagai kuman gram positif lemah yang tidak teratur. Mikrobakteria apabila dilihat dengan mikroskop akan terlihat mempunyai dinding yang tebal dan mengandung butir glikogen dan polimetafosfat (*volutin bodies*). Butir-butir inilah yang menyebabkan mikrobakteria terwarnai secara tidak teratur pada pewarnaan Gram. Dalam pewarnaan Gram Mikobakteria, biasanya tidak membutuhkan yodium sebagai bahan penahan zat warna Gram pertama (Kristal violet).

Mikobakteria memiliki dinding sel yang mengandung bahan glikopedia, tetapi konsentrasi lemak yang tinggi (mencapai sekitar

60%) membedakannya dengan bakteri lain, seperti bakteri Gram negatif yang mempunyai konsentrasi lemak sekitar 20% dan bakteri Gram positif yang hanya mengandung lemak 1 sampai 4 persen. Mikobakteria dengan konsentrasi lemak yang tinggi menyebabkan Mikobakteria mempunyai sifat khusus, yaitu hidrofobik dan cenderung membentuk serpentine cord, tahan asam dan sukar ditembus oleh zat warna, sulit dibunuh dengan asam atau alkali, pada media artifisial pertumbuhannya lambat, karena bahan makanan sulit menembus dinding selnya, dan tahan terhadap serangan anti-bodi dan komplemen dari hospes.

*Cord factor*, glikolipid ini berperan sebagai penentu virulensi mikrobakteria. Pada *stain* yang virulen ditemukan konsentrasi *cord factor* lebih banyak dari pada kultur tua. Maka dari itu untuk menghilangkan virulensi, pada pembuatan vaksin BCG, Calmette-Guerin menanam *M. bovis* pada media yang kurang baik bagi pertumbuhan *M. bovis* yaitu media yang mengandung empedu secara berulang-ulang dalam waktu yang lama. Bila *cord factor* diekstraksi dengan eter dari *stain* virulen, maka strain tadi menjadi tidak virulen lagi. *Cord factor* dianggap sebagai bahan yang sangat toksik. Suntikan subkutan dengan bahan ini sebanyak 10 mikrogram cukup dapat mematikan seekor tikus. In vivo, *cord factor* menyebabkan pembengkakan yang diikuti kerusakan mitokondria sel hati, menghambat migrasi leukosit dan sekaligus merupakan racun bagi leukosit. **Sulfolipid**, lemak jenis ini berpengaruh sebagai penghambat pembentukan fagolisosom dan penghambat fungsi mitokondria sel hospes. **Wax D**, zat ini mengandung asam mikolat dan glikopeptida. Wax D ikut bertanggung jawab dalam timbulnya hipersensitivitas tipe lambat (*Delayed type hypersensitivity*) bersama-sama dengan tuberkuloprotein. Wax D dapat pula memperkuat reaksi kekebalan terhadap

bermacam-macam antigen bila diberikan bersama-sama dengan *Freund's incomplete adjuvant* (antigen di dalam emulsi minyak air). **Fosfatida**, ada tiga yaitu fosfatidilinositol, fosfatidil etanolamin dan kardiolipin. Fosfatida memiliki tanggung jawab atas timbulnya reaksi seluler seperti pembentukan tuberkel dan nekrosis perkejuan (Pelczar, 1988).

Kandungan protein pada mikobakteria dapat dikatakan mirip dengan kandungan protein dalam kuman Gram negatif. Protein ini memiliki tanggung jawab dalam pembentukan antibody oleh hospes.

### c. **Pertumbuhan**

Mikobakteria dengan pertumbuhan optimal pada suhu 35°C-37°C menjadikannya sebagai kuman aerob obligat karena dapat menyebabkan paru-paru sebelah kanan yang secara anatomi memiliki arteria pulmonalis lebih panjang dan memungkinkan saturasi oksigen relative lebih tinggi dari pada paru-paru kiri, sehingga menjadikannya lebih sering terserang kuman Tuberculosis.

Kehidupan dan pertumbuhan Mikobakteria memerlukan asam lemak, asam amino, berbagai senyawa nitrogen dan karbon. Untuk merangsang pertumbuhannya cukup dengan asam lemak yang berantai panjang dalam konsentrasi rendah, sebaliknya jika diberikan dalam konsentrasi tinggi akan dapat menghambat pertumbuhannya. Sehingga pada pembuatan media untuk Mikobakteria yang mengandung asam lemak berantai panjang dalam konsentrasi tinggi sering ditambahkan serum albumin untuk mengikat asam lemak tersebut agar asam lemak yang bebas hanya cukup untuk pertumbuhan Mikobakteria. Dalam media, gliserol sering digunakan sebagai sumber karbon, sedangkan garam ammonium digunakan sebagai sumber nitrogen. Untuk

mempercepat pertumbuhan kuman sering ditambahkan asparagin atau campuran asam amino ke dalam media perbenihan. Waktu yang digunakan untuk pergandaan Mikobakteria adalah 12 jam, di mana koloni yang tumbuh baru dapat dilihat dengan mata telanjang setelah diinkubasi selama 10 sampai 14 hari atau paling lama enam sampai delapan minggu.

Media perbenihan yang menggunakan bahan organik yang kompleks yaitu berupa kuning telur (media Lowenstein-Jensen, media kudoh), media semi sintesis yaitu menggunakan garam anorganik, zat organik, albumin, asam oleat, dekstrosa dan gliserol (media Middlebrook). Media cair yang sering digunakan sebagai perbenihan Mikobakteria adalah Dubos Broth dan Middlebrook 7H9. Pada Dubos Broth, Mikobakteria cenderung tumbuh mengelompok di permukaan media. Apabila ditambah detergen seperti tween 80 pada media tersebut memberi kemungkinan kuman tumbuh merata di seluruh media, karena tween 80 membasahi permukaan kuman yang semula hidrofobik.

Bahan yang sering digunakan untuk membunuh Mikobakteria, misalnya fenol 2%, kresol dengan kadar 1% dan formalin 3% yang membunuh Mikobakteria dalam waktu 4 jam dan alkohol 80% dapat membunuhnya dalam waktu 10 menit. Kebanyakan Mikobakteria resisten terhadap asam dan alkali misalnya NaOH 4%. Terhadap ultra violet dan pemanasan, Mikobakteria sama sensitifnya seperti kuman-kuman lain, tetapi terhadap kekeringan kuman ini masih lebih tahan seperti ternyata dalam dahak kering atau di tanah Mikobakteria masih mampu hidup selama 2 sampai 6 bulan.

#### d. Kekebalan Terhadap Mikobakteria

Menurut Pelczar (1988), penemuan Koch merupakan bukti timbulnya kekebalan terhadap Mikobakteria, khususnya adalah kekebalan seluler (*Cell mediated immuneresponse*). Pada infeksi pertama dengan Mikobakteria, bila hospes tidak mati, maka akan suatu kekebalan berupa kemampuan untuk membatasi perkembangan biak dan penyebaran kuman tersebut. Sehingga (terutama dimiliki oleh sel mononuclear) infeksi berikutnya akan mudah dilokalisasi dan perkembangan biak kuman dalam jaringan sangat dihambat. Selanjutnya Koch berhasil menunjukkan adanya kekebalan seperti tersebut di atas walaupun hanya digunakan filtrat dari kultur Mikobakteria sebagai bahan untuk menginfeksi. Filtrat dikenal sebagai Alt Tuberkulin dan banyak digunakan untuk uji imunologik penderita yang tersangka tuberkulosis. Kemudian Alt Tuberkulin disebut *Purified Protein Derivative* (PPD), maka orang tidak lagi menggunakan Alt Tuberkulin dalam uji imunologik. Bahkan saat ini telah berhasil diproduksi PPD yang berasal dari berbagai spesies Mikobakteria yang dipergunakan untuk uji imunologik dalam rangka menegakkan diagnosa infeksi Mikobakteria spesies tertentu. Dikenal Mikobakteria yang patogen terhadap hewan tertentu misalnya *Mycobacterium bovis* dengan hospes utamanya sapi, *Mycobacterium avium* yang patogen terhadap burung, bahkan dikenal pula *Mycobacterium atipik* yang merupakan kuman oportunistik yang tidak jarang menimbulkan penyakit pula pada manusia.

##### 1) *Mycobacterium tuberculosis*

Merupakan penyebab tuberculosis ini berbentuk batang ramping lurus atau sedikit bengkok dengan kedua ujungnya membulat.

Koloninya yang kering dengan permukaan berbentuk bunga kol dan berwarna kuning tumbuh secara lambat walaupun

dalam kondisinya optimal. Diketahui bahwa pH optimal untuk pertumbuhannya adalah antara 6,8-8,0. Untuk memelihara virulensinya harus dipertahankan kondisi pertumbuhannya pada pH 6,8. Sedangkan untuk merangsang pertumbuhannya dibutuhkan karbon dioksida dengan kadar 5 sampai 10 persen. Umumnya koloni baru nampak setelah kultur berumur 14-28 hari, tetapi biasanya harus ditunggu sampai berumur 8 minggu.

*M. tuberculosis* memproduksi katalase, tetapi ia akan berhenti memproduksi bila dipanaskan pada suhu 65°C selama 20 menit dalam dapur fosfat. *Mycobacterium tuberculosis* yang resisten terhadap obat anti tuberculosis INH, tidak memproduksi katalase.

Uji biokimia yang sering digunakan untuk membedakan *M. tuberculosis* dengan spesies lain adalah uji niasin dan nitrat. *Mycobacterium tuberculosis* memberikan hasil uji niasin positif serta ia juga mereduksi nitrat.

Marmot merupakan hewan yang peka terhadap *M. tuberculosis*, maka dari itu ia sering digunakan sebagai hewan percobaan. Bila marmot disuntik dengan kuman *M. tuberculosis*, maka 10 hari kemudian akan nampak pembengkakan di tempat suntikan diikuti pembengkakan kelenjar limfe serta penyebaran kuman ke seluruh tubuh.

## 2) *Mycobacterium bovis*

Kuman ini sulit dibedakan dari *M. tuberculosis*, bahkan untuk pertama kalinya Robert Koch mengira kedua kuman ini adalah sama. Baru pada tahun 1900 Theobald Smith berhasil membedakan kedua kuman ini dengan uji biokimia.

*Mycobacterium bovis* adalah penyebab tuberkulosis pada ternak sapi. Kuman ini sangat virulen bagi manusia dan mamalia lain. Air susu dan produk lain dari sapi yang berpenyakit tuberkulosis merupakan bahan yang dapat menularkan penyakit.

*Mycobacterium bovis* berbentuk lebih pendek dan lebih gemuk dibandingkan *M. tuberculosis*. Kuman ini tumbuh lebih lambat dari pada *M. tuberculosis*. Suhu optimal pertumbuhannya adalah 35°C. koloninya mempunyai permukaan datar berwarna putih agak basah dan mudah pecah bila disentuh. Seperti halnya *M. tuberculosis*, kuman ini membutuhkan karbon dioksida 5%-10% untuk merangsang pertumbuhannya. Derajat keasaman optimal untuk tumbuh adalah 6,5-6,8.

Pada uji biokimia ternyata *M. bovis* tidak mereduksi nitrat, uji niasinnya negative dan resisten terhadap pirazinamid.

*Mycobacterium bovis* bagi kelinci sangatlah patogen, sedangkan *M. tuberculosis* tidaklah demikian, maka dari itu pada percobaan hewan, kelinci digunakan untuk membedakan kedua jenis kuman ini.

### 3) ***Mycobacterium avium***

*Mycobacterium avium* adalah penyebab tuberkulosis pada unggas dan kandang babi, tetapi tidak patogen bagi marmot. Kuman ini dapat pula menyerang manusia dan menimbulkan penyakit yang sulit diobati, karena kuman ini dapat dikatakan resisten terhadap hampir semua jenis obat anti tuberkulosis kecuali rifampisin. Pada anak-anak, kuman ini serong menimbulkan *limfadenitis servikalis*.

Bentuk kuman ini agak lebih kecil dari *M. Tuberkulosis*. Koloninya halus berwarna putih dan tumbuh optimal pada suhu 41°C di mana spesies lain tidak dapat tumbuh.

*Mycobacterium avium* hanya memproduksi sedikit katalase. Uji niasin dan nitrat memberikan hasil negatif. Untuk membedakannya dengan spesies lain dilakukan uji telurit di mana *M. Avium* mereduksi telurit dalam waktu 3 hari.

### 4) ***Mycobacterium xenopi***

Kuman ini juga tergolong Mikobakterium nonfotokromogen dan menimbulkan penyakit paru yang mirip tuberkulosis terutama

pada orang yang tinggal dekat muara sungai atau pantai di Inggris, beberapa daratan Eropa dan Amerika Utara.

*Mycobacterium xenopi* diisolasi pertama kali pada tahun 1959 oleh Schwabachter dari kulit katak di Afrika Selatan, *Xenopus laevis*. Kuman ini hidup optimal pada suhu 42°C dan membentuk koloni kecil dengan sedikit sekali pigmentasi. Bila dikultur pada media Middlebrook 7H10, koloninya membentuk percabangan hingga mirip sarang burung.

Hampir semua uji biokimia memberikan hasil negatif. Sedang uji resistensi menunjukkan kepekaan terhadap INH. Rupanya kuman ini merupakan satu-satunya Mikobakterium atipik yang peka terhadap anti tuberkulosis INH.

#### 5) ***Mycobacterium ulcerans***

Mikobakterium ini merupakan penyebab tuberkulosis kulit menahun yang sering ditemukan di daerah tropik. Sampai saat ini belum jelas bagaimana penularan penyakit yang disebabkan oleh kuman ini, tetapi telah diketahui bahwa infeksi biasanya melalui aberasi atau lesi kecil pada kulit.

Kuman ini tumbuh optimal pada suhu 32°C dan membentuk koloni yang hampir tidak berwarna dengan diameter tidak lebih dari 3 mm.

Pada percobaan hewan, telapak kakik tikus digunakan sebagai tempat inokulasi, karena kuman ini tidak patogen terhadap kelinci dan marmot.

#### 6) ***Mycobacterium fortuitum***

Pada orang yang mempunyai daya tahan rendah, kuman ini sering menimbulkan penyakit paru seperti tuberkulosis dan bahkan sering menimbulkan asbes pada tempat infeksi.

*M. fortuitum* dan *M. Chelonae* termasuk Mikobakteria golongan *rapid growers* (Runyon IV). Sesuai nama golonganannya, kuman ini

tumbuh cepat pada media Lowenstein-Jensen (dalam waktu 3 sampai 5 hari) dan membentuk koloni seperti *M. Tuberculosis*.

*M. fortuitum* memberikan reaksi positif pada uji arilsulfatase. Kuman inipun dapat tumbuh pada media sederhana seperti media Mac Conkey.

Terhadap INH, PAS dan streptomisin kuman ini resisten, tetapi cukup sensitif terhadap antibiotika lain seperti tetrasiklin.

#### 7) ***Mycobacteria chelonae***

Kuman ini dianggap lebih patogen dari *M. fortuitum* dan dapat menimbulkan abses pada manusia.

Dikenal dua subspecies yaitu *M. chelonae* dan *M. chelonae* subspecies absesus. *M. chelonae* dianggap saprofit dan tidak tumbuh pada media yang mengandung 5% NaCl, sedangkan *M. chelonae* subspecies absesus adalah subspecies yang patogen serta dapat tumbuh pada media yang mengandung 5% NaCl.

Kuman ini umumnya sensitif terhadap eritromisin, streptomisin, dan rifampisin.

Suatu hal yang menarik dari rapid growers (termasuk kuman ini) yaitu sebagian besar tidak dapat diwarnai dengan pewarnaan fluorokrom.

#### 8) ***Mycobacterium leprae***

Kuman kusta ditemukan pertama kali oleh A. Hansen pada tahun 1868 (14 tahun sebelum kuman tuberkulosis ditemukan) dari seorang penderita kusta.

## 2. Jamur (Fungi)

Organisme heterotrofik yang memerlukan senyawa organik untuk nutrisinya disebut fungi atau cendawan. Organisme yang hidup dari benda organik mati yang terlarut disebut saprofit, yang dapat menghancurkan sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang kompleks,

menguraikannya menjadi zat-zat kimia yang lebih sederhana, yang kemudian dikembalikan ke dalam tanah, dan selanjutnya meningkatkan kesuburannya.

Cendawa saprofitik memiliki peran penting fermentasi industri, misalnya dalam pembuatan bir, minuman anggur, dan produksi antibiotik seperti penisilin.

Fungi saprofitik, dapat menyerang inang yang hidup dan tumbuh dengan subur sebagai *parasit*, yang dapat menimbulkan penyakit pada tumbuhan dan hewan, termasuk manusia. Cendawa memiliki sekitar 500.000 spesies cendawa, dan hanya kurang lebih 100 yang patogenik terhadapnya. Infeksi yang disebabkan oleh cendawan dapat mengakibatkan kematian yang tinggi kecuali penyakit kulit.

Ukuran sel khamir lebih besar dari pada bakteri, tetapi khamir yang paling kecil tidak sebesar bakteri yang paling besar. Ukuran khamir sangat beragam, lebarnya berkisar antara 1 sampai 5  $\mu\text{m}$  dan panjangnya dari 5 sampai 30  $\mu\text{m}$  atau lebih. Memiliki bentuk telur yang memanjang atau berbentuk bola.

Secara alamiah cendawan berkembang biak dengan berbagai cara, yaitu secara aseksual dengan pembelahan, penguncupan, atau pembentukan spora, dapat pula secara seksual dengan peleburan nukleus dari dua sel induknya. Pada pembelahan, suatu sel membagi diri untuk membentuk dua sel anak yang serupa. Pada penguncupan, suatu sel anak tumbuh dari penonjolan kecil pada sel inangnya.

Spora aseksual, yang berfungsi untuk menyebarkan spesies dibentuk dalam jumlah besar. Ada banyak macam spora aseksual:

- *Konidiospora* atau *konidium*. Konidium yang kecil dan bersel satu disebut mikrokonidium. Konidium yang besar lagi bersel banyak dinamakan makrokonidium. Konidium dibentuk di ujung atau di sisi suatu hifa.

- *Sporangiospora*. Spora bersel satu ini terbentuk dalam kantung yang disebut *Sporangium* di ujung hifa khusus (sporangiosfor).
- *Oidium* atau *artrospora*. Spora bersel satu ini terbentuk karena terputusnya sel-sel hifa.
- *Klamidospora*. Spora bersel satu yang berdinding tebal ini sangat resistensi terhadap keadaan yang buruk, berbentuk dari sel-sel hifa somatik.
- *Blastospora*. Tunas atau kuncup pada sel-sel khamir disebut blastospora.

Spora seksual, hasil dari peleburan dua nukleus, memiliki bentuk lebih jarang, dan dalam jumlah yang lebih sedikit dibandingkan dengan spora aseksual. Ada beberapa tipe spora seksual:

- *Askospora*. Spora bersel satu ini terbentuk di dalam pundi atau kantung yang dinamakan *askus*. Biasanya terdapat delapan askospora di dalam setiap askus.
- *Basidospora*. Spora bersel satu ini terbentuk di atas struktur berbentuk gada yang dinamakan *basidium*.
- *Zigospora*. Zigospora adalah spora besar berdinding tebal yang terbentuk apabila ujung-ujung dua hifa yang secara seksual serasi, disebut juga gametangia pada beberapa cendawa melebur.
- *Oospora*. Spora ini terbentuk di dalam struktur betina khusus yang disebut *oogonium*. Pembuahan telur, atau *oosfer*, oleh gamet jantan yang terbentuk di dalam *anteredium* menghasilkan oospora. Dalam setiap oogonium dapat ada satu atau beberapa oosfer.

#### **a. Fisiologi Jamur/Fungi/Cendawan**

Cendawan lebih mampu bertahan di keadaan alam sekitar yang tidak menguntungkan dibandingkan dengan jasad-jasad renik lainnya. Sebagai contoh, khamir dan kapang dapat tumbuh dalam suatu substrat atau medium yang berisi konsentrasi gula yang dapat menghambat. Khamir dan kapang juga dapat bertahan

dalam keadaan yang lebih asam daripada kebanyakan mikroba lainnya.

### **b. Klasifikasi Jamur/Fungi/Cendawan**

Cendawan yang diketahui tingkat seksualnya disebut cendawan perfek/sempurna. Meskipun demikian, banyak cendawan membentuk spora seksual dan tubuh buah hanya dalam keadaan lingkungan tertentu. Jadi daur hidup lengkap dengan tingkat seksual, bagi banyak cendawan masih belum diketahui. Cendawan yang belum diketahui tingkat seksualnya dinamakan *cendawan imprek* untuk klasifikasinya harus digunakan ciri-ciri lain di luar tingkat seksual. Ciri-ciri itu mencakup morfologi spora aseksual dan miseliumnya. Selama belum diketahui tingkat perfeknya, cendawa tertentu akan digolongkan dalam suatu kelas kusus, yaitu kelas Deutaromycetes atau Fungi Imperfektif sampai ditemukan tingkat seksualnya. Kemudian mereka dapat diklasifikasikan kembali dan ditaruh di dalam salah satu kelas yang lain. Oleh karena itu berdasarkan pada cara dan ciri reproduksinya terdapat empat kelas cendawan sejati atau berfilamen di dalam dunia Fungi: Ascomycetes, Basidiomycetes dan Deuteromycetes.

Kelas Phycomycetes. Anggota kelas ini seringkali disebut sebagai cendawan tingkat rendah karena pada umumnya dianggap “primitif” dalam skala evolusi. Kelas mikroorganisme ini demikian besar lagi heterogen sehingga beberapa ahli taksonomi membagi kelas Phycomycetes menjadi enam kelas terpisah. Ciri yang dipunyai bersama di antara mereka ialah tidak adanya septum di dalam hifa, ciri-ciri ini membedakan dari anggota-anggota ketiga kelas yang lainnya, yaitu Ascomycetes, Basidiomycetes dan Deuteromycetes di dalam skema taksonomi.

Kelas *Ascomycetes*, yang dicirikan dengan pembentukan askus yang merupakan tempat dihasilkan askospora. Spesies

Ascomycetes kebanyakan hidup sebagai saprofit diantara spesies yang parasitik dan beberapa yang lainnya merupakan penyebab penyakit tumbuhan yaitu “potato blight” dan karat gandum.

Kelas *Basidiomycetes*, yang dicirikan dengan adanya basidiospora yang terbentuk di luar pada ujung atau sisi basidium. Basidiomycetes yang banyak dikenal yaitu jamur, cendawan papan pada pepohonan, cendawan karat serta cendawan gosong yang menghancurkan serealia.

Kelas *Deuteromycetes*. Kelas ini meliputi cendawan yang tingkat reproduksi perfek atau seksualnya belum ditemukan. Namun demikian, hal memudahkan dalam membedakannya dengan kelas yang lain karena tingkat konidiumnya begitu jelas dan tidak asing lagi, banyak spesies masih dianggap tergolong ke dalam kelas ini meskipun tingkat seksualnya sudah diketahui dengan baik.

Contohnya pada penelitian yang dilakukan oleh Ade (2013), dari hasil isolasi dan potensi jamur-jamur pendegradasi empelur sagu, diperoleh 4 jenis isolat jamur yang mampu mendegradasi empelur sagu yang ditemukan pada mediu ATB. Selanjutnya isolat jamur di murnikan pada medium MEA untuk diidentifikasi sesuai dengan buku acuan Samson dan van Reenen-Hoekstra tahun 1988. Setelah proses pengidentifikasian dilakukan, didapatkanlah hasil sebagai berikut:

1) *Aspergillus niger*

Dari pengamatan secara makroskopis pada medium MEA dalam 7 hari masa inkubasi, terlihat bahwa koloni jamur umumnya berwarna hitam dengan konidiofor berwarna hitam dan bagian dasarnya berwarna putih. Jenis ini memiliki karakteristiknya yang khas yaitu adanya lapisan konidiofor yang rapat dan padat berwarna coklat gelap hingga kehitaman dengan daerah basal berwarna putih atau kuning. Pengamatan secara mikroskopis

memperlihatkan kepala konidia yang menyebar (radiate). Hal ini sesuai dengan karakteristik yang dikemukakan Samson dan van Reenen Hoekstra bahwa kepala konidia yang radiate, konidiofor berdinding halus, filid terbentuk pada metulae dan konidia yang berbentuk bulat, dengan ornamen berbentuk duri.

Klasifikasi dari *Aspergillus niger* menurut Alexopoulos and Mims dalam penelitian Ade (2013) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Myceteae
Divisi	: Mycota
Kelas	: Deuteromycetes
Ordo	: Moniliales
Famili	: Moniliaceae
Genus	: <i>Aspergillus</i>
Spesies	: <i>Aspergillus niger</i> Van Tieghem

2) *Geotrichum sp.*

Secara makroskopis terlihat bahwa koloni jamur pada medium hingga hari ketujuh inkubasi berwarna putih seperti kapas. Pengamatan secara mikroskopis tidak memperlihatkan adanya bentuk konidiofor, melainkan hanya berupa hifa-hifa yang tumbuh memanjang yang semakin lama tumbuh semakin rapat dan bercabang. Hal ini sesuai dengan karakteristik yang dikemukakan Samson dan van Reenen-Hoekstra pada tahun 1988 bahwa koloni berwarna putih, lembut, mempunyai percabangan hifa yang dikotom (terbagi menjadi dua cabang) dan tumbuh tegak.

Klasifikasi dari *Geotrichum sp.* Menurut Alexopoulos and Mims dalam penelitian Ade adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Myceteae
Divisi	: Amastigomycota
Kelas	: Deuteromycetes
Ordo	: Moniliales

Famili : Moniliaceae  
Genus : Geotrichum  
Spesies : Geotrichum sp

3) *Aspergillus oryzae*

Dari pengamatan secara makros kopis, pada medium MEA dalam 7 hari masa inkubasi terlihat bahwa koloni jamur berwarna kunin kehijauan. Pengamatan secara mikroskopis memperlihatkan kepala konidia yang menyebar (radiate), konidia berwarna kuning kehijauan, vesikel berbentuk setengah lingkaran. Hal ini sesuai dengan karakteristik yang dikemukakan Samson dan van Reenen Hoekstra pada tahun 1988 bahwa kepala konidia yang radiate.

Klasifikasi dari *Aspergillus oryzae* menurut Alexopoulus and Mims dalam penelitian Ade (2013) adalah sebagai berikut:

Kingdom : Myceteae  
Divisi : Mycota  
Kelas : Deuteromycetes  
Ordo : Moniliales  
Famili : Moniliaceae  
Genus : Aspergillus  
Spesies : *Aspergillus oryzae* Ahlburg Cohn

4) *Rhizopus oryzae*

Pengamatan secara makroskopis memperlihatkan koloni jamur pada medium setelah tujuh hari masa inkubasi berwarna putih sampai abu-abu. Pengamatan secara mikroskopis memperlihatkan rhizoid berwarna coklat dan bercabang, stolon licin dan berwarna coklat kekuningan. Spora yang dimiliki bulat atau setengah bulat dengan dinding berwarna coklat tua. Hal ini sesuai dengan karakteristik yang dikemukakan Samson dan van Reenen-Hoekstra pada tahun 1988 bahwa *R. Oryzae* mempunyai koloni yang berwarna putih sampai abu-abu, rhizoid berwarna coklat dan bercabang,

stolon licin dan berwarna coklat kekuningan dan spora yang dimiliki bulat atau setengah bulat dengan dinding berwarna coklat tua.

Klasifikasi dari *Rhizopus oryzae* menurut Alexopoulos and Mims dalam penelitian Ade (2013) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Myceteae
Divisi	: Zygomycota
Kelas	: Zygomycetes
Ordo	: Mucorales
Famili	: Mucoraceae
Genus	: <i>Rhizopus</i>
Spesies	: <i>Rhizopus oryzae</i> Went & Prinsen Geerlings

### c. **Kapang Lendir**

Sekumpulan mikroorganisme yang heterogen disebut kapang lendir. Kapang lendir memiliki ciri-ciri seperti hewan dan tumbuhan. Dikatakan seperti binatang karena pada fase vegetatif atau somatik yang aseluler dan merayap sehingga struktur dan fisiologinya seperti binatang, sedangkan dikatakan tumbuhan karena struktur reproduktifnya menghasilkan spora yang terbungkus dinding yang nyata. Gabungan fase inilah yang dalam satu daur hidup merupakan ciri pembeda kapang lendir.

Kapang lendir memiliki empat tipe yang berbeda dalam struktur dan fisiologinya yaitu *kapang lendir sejati* (Myxomycetes), *kapang lendir endoparasit* (Plasmodiophoromycetes), kapang lendir jaring (Labyrinthulales) dan kapang lendir selular (Acraciales) dan masing-masing tipe ini mempunyai daur hidup yang khas.

### 3. Virus

*Bakteriophage* (atau sederhanya fage) yaitu virus yang menginfeksi bakteri. *Bakteriophage* yang berarti “pemakan bakteri”. Hal ini dikarenakan virus, yang bersifat parasitik bagi bakteri.

#### a. Ciri-ciri Umum Virus

Fage ada pada sebagian besar bakteri. Bakteriophage terdiri dari inti asam nukleat yang dikelilingi oleh selubung protein, seperti semua virus. Virus bakteri terdiri dari dua jenis utama: litik atau virulen, dan tenang (lisogenik) atau avirulen. Pada infeksi tenang, daur litik terjadi ketika fage litik menginfeksi sel dan menghasilkan virus baru dalam jumlah besar. Kemudian, pada akhir masa inkubasi, sel inang pecah atau lisis, melepaskan fage litik baru untuk menginfeksi sel inang yang lain. Namun, fage tenang ini dapat secara mendadak menjadi virulen pada suatu generasi berikutnya, menyebabkan lisis sel inang.

#### a. Morfologi dan Struktur

Inti asam nukleat setiap virus ditutupi oleh selubung protein yang disebut kapsid. Kapsid ini terdiri dari subunit-subunit morfologis yang disebut kapsomer, yang terdiri dari sejumlah protomer atau subunit protein.

Virus bakteri dapat dikelompokkan ke dalam enam tipe morfologis:

- a. Tipe yang paling rumit ini mempunyai kepala heksagonal, ekor yang kaku dengan seludang kontraktile dan serabut ekor.
- b. Tipe ini mempunyai kepala heksagonal. Tetapi, tidak mempunyai seludang kontraktile, ekornya kaku dan mengenai serabut ekor ada yang mempunyai dan ada yang tidak.
- c. Tipe ini dicirikan oleh sebuah kepala heksagoni dan sebuah ekor yang lebih pendek daripada kepalanya. Ekornya itu tidak mempunyai seludang kontraktile dan mengenai serabut ekor,

ada yang mempunyai dan ada yang tidak.

- d. Tipe ini mempunyai sebuah kepala tanpa ekor dan kepalanya tersusun dari kapsomer-kapsomer besar.
- e. Tipe ini mempunyai sebuah kepala tanpa ekor dan kepalanya tersusun dari kapsomer-kapsomer kecil.
- f. Tipe ini berbentuk filamen.

Virus dapat menyebabkan penyakit. Salah satu contohnya adalah penelitian Ikawati dkk. (2014) yang menemukan bahwa virus west nile (WN) dapat menyebabkan penyakit yang ditularkan melalui nyamuk. Secara epidemiologi, virus mungkin menyebar melalui *Culex* sp., vektor nyamuk utama, dan *Aedes* sp., vektor sekunder. Virus juga ada di burung dan unggas. Virus menyebar melalui gigitan nyamuk yang terinfeksi yang dapat menular ke manusia dan hewan. Genom virus West Nile, yang termasuk dalam famili Flaviviridae dan genus Flavivirus, terdiri dari satu singlestranded (ss) RNA yang dikelilingi oleh nucleocapsid isometric atau icosahedral. Genom virus West Nile memiliki 11.029 nukleotida panjang. Perlindungan terhadap infeksi virus WN dapat dicapai dengan mengontrol populasi nyamuk, mengurangi jumlah nyamuk yang menggigit, dan melakukan pemeriksaan rutin pada unggas dan burung utamanya.

#### **4. Protozoa**

Protozoa adalah protista eukariotik dengan sel tunggal dan dapat dibedakan dari protista eukariotik lainnya karena tidak memiliki dinding sel dan dapat beralih tempat pada tingkat tertentu dalam daur hidupnya. Istilah “protozoa” berasal dari kata Yunani “pro-to”, yang berarti “binatang pertama”. Makhluk ini membentuk koloni dan hanya berukuran mikroskopis. Gerak alih, atau lokomosi, adalah faktor penting dalam membedakan kelas protozoa. Pseudopodia, tonjolan

berbentuk jari, yang dikeluarkan oleh ameba saat bergerak. Siliata (rambut yang sangat kecil) di sekitar sel membantu beralih tempat. sementara flagela pada ujung sel membantu flagelata bergerak. Sporozoa sendiri bergerak dengan meluncur. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa sporozoa tidak memiliki organel eksternal untuk gerak alih.

Protozoa berfungsi sebagai rantai makanan penting bagi komunitas di lingkungan akuatik. Protozoa saprofitik dan pemakan bakteri memiliki kemampuan untuk memanfaatkan zat yang dibuat oleh organisme-organisme yang terlihat pada tingkat akhir dekomposisi bahan organik.

Protozoa hidup sebagai parasit obligat dan dapat menyebabkan penyakit pada manusia dan binatang. Amebiasis usus, penyakit tidur Afrika, dan malaria adalah beberapa penyakit manusia yang kronis atau akut.

Satu nukleus terdiri dari sel protozoa. Pada siklus hidup siliata, satu makronukleus besar bertanggung jawab atas proses metabolisme, pertumbuhan, dan regenerasi, sedangkan mikronukleus bertanggung jawab atas kegiatan reproduksi.

Membran sitoplasma sel disebut pelikel, yang tebal dan memiliki berbagai struktur dan lekukan. Kerangka yang memberikan kekakuan sel dibuat oleh banyak protozoa.

#### **a. Reproduksi Protozoa**

Berkembang biak protozoa dapat terjadi melalui berbagai proses, baik aseksual maupun seksual. Reproduksi aseksual terjadi melalui pembelahan sel atau pembagian sel. Jika ada dua sel anak, pembelahan biner terjadi, dan pembelahan bahurangkap terjadi ketika banyak sel anak terbentuk. Pembelahan sel dapat terjadi secara membujur atau melintang. bertunas (berkuncup) dan bereproduksi secara aseksual.

## **b. Fisiologi Protozoa**

Stadium vegetatif atau trofik protozoa dapat hidup bebas di setiap lingkungan akuatik, pasir, tanah, dan lahan organik yang membusuk, bahkan di perairan hangat sumber air panas (30–56oC). Namun, kebanyakan protozoa membutuhkan suhu antara 16 dan 25oC, dengan suhu tertinggi adalah 36–40oC.

Beberapa protozoa, seperti bakteri, mendapatkan nutrien organik terlarut melalui membran sitoplasma. Sebagian besar protozoa adalah holozoik. Artinya, makanan mereka ditelan dalam bentuk partikel padat melalui rongga mulut mereka. Bakteri, ganggang, atau protozoa biasanya menjadi bahan makanan yang ditelan.

## **c. Klasifikasi Protozoa**

### 1) Flagelata

Flagelata terdiri dari dua kelompok: fitoflagelata (tumbuh-tumbuhan) dan zooflagelata (hewan). Fitoflagelata mengandung klorofil dan bersifat fotosintetik, sedangkan zooflagelata adalah heterotrof.

### 2) Ameba

Ameba memiliki nama Yunani *amoie*, yang berarti “berubah” karena bentuknya yang selalu berubah. Pseudopodia, yang merupakan perluasan protoplasma, digunakan oleh ameba untuk menelan partikel makanan.

### 3) Siliata

Siliata berasal dari dua kelompok: yang pertama memiliki silia di beberapa bagian sel, dan yang kedua tersebar rata di seluruh sel. Silia sendiri dapat bergerak di sekitar alur mulut atau rongga mulut, membantu pusaran air mengumpulkan makanan. Mayoritas siliata membagi diri melalui pembelahan biner melintang. Konjugasi dua sel memungkinkan reproduksi seksual.

Kebanyakan siliata hidup bebas. *Balantidium coli* adalah parasit yang merupakan satu-satunya spesies yang menyebabkan penyakit pada manusia yaitu diare berdarah.

#### 4) Sporozoa

Sporozoa hidup sebagai parasit pada satu atau lebih spesies hewan. Sporozoa dewasa tidak memiliki organ untuk bergerak, tetapi dapat meluncur.

Malaria adalah salah satu penyakit manusia yang disebabkan oleh protozoa. *Toxoplasma gondii* adalah penyebab penyakit toksoplasmosis yang menyebabkan malaria. Penyakit ini memiliki gejala yang sangat berbeda-beda tergantung pada lokasi parasit di tubuh manusia. Parasit ini dapat meniru gejala hepatitis dan meningitis. Adanya sporozoa, genus *Plasmodium*, yang menginfeksi hati dan sel darah merah manusia, menyebabkan penyakit asal nyamuk yang disebut malaria. Reproduksi seksual parasit terjadi dalam inang akhir nyamuk anoflin betina. Empat spesies *Plasmodium* menimbulkan bentuk-bentuk malaria pada manusia sebagai berikut:

- a) *P. vivax*: malaria tersiana tidak ganas (dengan gejala panas dingin berganti-ganti pada interval 48 jam, atau setiap dua hari).
- b) *P. ovale*: malaria tersiana tidak ganas (gejalanya sama seperti untuk *P. vivax*).
- c) *P. malariae*: malaria kuartana tidak ganas (dengan gejala panas dingin pada interval 72 jam atau setiap hari ketiga).
- d) *P. falciparum*: malaria tersiana ganas, (dengan gejala panas dingin tak beraturan, jika tidak diobati acapkali fatal).

Tentang penelitian yang dilakukan oleh Susilowati dan Listyawati (2001) yang berlangsung selama satu bulan di Sub-lab Biologi di Laboratorium MIPA Pusat Universitas Sebelas

Maret Surakarta. Penelitian ini mengamati morfologi koloni mikroorganisme yang mengkontaminasi kultur *in vitro* cendawan *C. versicolor* dan *S. commune*. Kultur murni *in vitro* cendawan perusak kayu *Coriolus versicolor* dan *Schizophyllum commune* berasal dari Jurusan Biologi FMIPA UNS dan disimpan di Sub-lab Biologi di Laboratorium MIPA Pusat UNS. Peremajaan dilakukan secara berkala agar kondisi kultur selalu optimal. Menginokulasikan biakan ke medium taoge sukrosa untuk meremajakannya secara aseptik. Semua kegiatan dilakukan dalam kabinet laminar *air flow* yang telah dibersihkan dengan alkohol 70% dan disinari dengan lampu UV selama 1-2 jam. Namun, setelah masa inkubasi tiga hari, kontaminasi masih terjadi. Mikroorganisme kontaminan berasal dari enam genus cendawan: *Saccharomyces*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Dictyostelium*, dan *Mucor*.

#### **d. Klasifikasi *Mucor***

Divisi : Amastigomycota  
Subdivisi : Zygomucotina  
Kelas : Zygomycetes  
Ordo : Mucorales  
Familia : Mucoraceae  
Genus : *Mucor*

Ciri mikroskopis: hifa tanpa sekat, dengan sporangium dan sporangiospora. Ciri morfologi koloni: hifa menyerupai benang putih, dan sporangium dan sporangiospora terlihat pada bagian tertentu seperti titik-titik hitam seperti jarum pentul..

#### **e. Klasifikasi *Rhizopus***

Divisi : Amastigomycota  
Subdivisi : Zygomycotina  
Kelas : Zygomycetes  
Ordo : Mucorales

Familia : Mucoraceae

Genus : Rhizopus

Ciri mikroskopis koloni: hifa tanpa sekat, dengan rizoid dan sporangiospora; bagian tertentu memiliki sporangium dan sporangiospora dengan titik-titik hitam seperti jarum pentul. Mucor dan Rhizopus ditemukan dalam penelitian ini di hampir semua kultur in vitro yang terkontaminasi. Miseliumnya tumbuh sangat lebat dan mendominasi media kultur.

Kedua cendawan di atas menyerang hampir 80% kultur in vitro yang diamati dalam penelitian ini.

**f. Klasifikasi Aspergillus**

Divisi : Amastigomycota

Subdivisi : Deuteromycotina

Kelas : Deuteromycetes

Subkelas : Hyphomycetidae

Ordo : Moniliales

Familia : Moniliaceae

Genus : Aspergillus

Merkmale morfologi koloni termasuk miselium berbentuk benang halus dan koloni berwarna hijau kebiruan dengan area permukaan kuning sulfur. Ciri-ciri mikroskopis: terdapat konidiofor; sel kaki dan kepala berkonidium terdiri dari gelembung, fialid, dan kadang-kadang metula dan konidium; fialid dapat dibentuk langsung pada gelembung uniseriat atau metula biseriat; kepala konidium berbentuk kolumnar atau radial. Karena koloninya yang cepat berkembang, Aspergillus adalah cendawan yang paling sering mengontaminasi.

**g. Klasifikasi Cladosporium**

Divisi : Amastigomycota

Subdivisi : Deuteromycotina

Kelas : Deuteromycetes  
Subkelas : Hyphomycetidae  
Ordo : Moniliales  
Familia : Dematiaceae  
Genus : Cladosporium

Koloni memiliki ciri-ciri morfologi seperti warna hijau kehitaman, struktur tipis seperti beludru, dan pertumbuhan yang relatif lambat.

Aspergillus dan Cladosporium adalah jenis bendawan Deuteromycetes yang ditemukan dalam penelitian ini. Aspergillus kontaminasi kultur lebih sering daripada Cladosporium, tetapi masih lebih sedikit daripada Mucor dan Rhizopus. Cendawan Aspergillus dan Cladosporium banyak menyerang tumbuhan parasit (parasit) dan ditemukan pada produk pasca panen (Setyawati, 1989 dalam Susilowati dan Listyawati, 2001).

#### **h. Klasifikasi Saccharomyces**

Divisi : Amastigomycota  
Subdivisi : Ascomycotina  
Kelas : Ascomycetes  
Subkelas : Hemiascomycetidae  
Ordo : Endomycetales  
Familia : Saccharomycetaceae  
Genus : Saccharomyces

Ciri morfologi koloni: mereka tidak membentuk miselium, memiliki lendir berwarna putih, dan permukaan licin. Ciri mikroskopis: ada tunas di satu sel berbentuk bulat sampai lonjong.

Saccharomyces, atau khamir, adalah jenis endemik Ascomycetes yang ditemukan dalam penelitian ini.

Tidak sering terjadi pada kultur yang terkontaminasi. Penyebarannya terjadi di tanah atau bahan penelitian tumbuhan

yang terkena parasit. Oleh karena itu, menjaga kebersihan ruang kultur sangat penting untuk menekan tingkat kontaminasi ini di khamir.

### **i. Klasifikasi Dictyostelium**

Kelas : Acraciales

Genus : Dictyostelium

Ciri morfologi koloni: terdapat agregasi yang merupakan pusat struktur seluler pertama yang bersifat amoeboid. Termasuk kapang lendir seluler.

Kapang lendir terdiri dari berbagai jenis mikroorganisme. Ada karakteristik tumbuhan dan hewan. Fase vegetatif atau somatik yang aseluler dan merayap jelas memiliki fisiologi dan struktur seperti binatang; struktur reproduksinya, yaitu menghasilkan spora yang terbungkus dinding yang nyata, mirip dengan tumbuhan. Ciri pembeda kapang lendir adalah kombinasi fase seperti binatang dan tumbuhan dalam daur hidup ini.

Ada empat tipe kapang lendir berdasarkan perbedaan struktur, fisiologi dan daur hidupnya. Keempatnya ialah kapang lendir sejati (*Myxomycetes*), kapang lendir endoparasit (*Plasmodiophoromycetes*), kapang lendir jaring (*Labyrinthulales*) dan kapang lendir selular (*Acraciales*).

Kapang lendir diklasifikasikan dengan susah payah dan sulit dideskripsikan. Mereka kadang-kadang dianggap sebagai filum tersendiri dalam dunia Protista, tetapi kadang-kadang juga dimasukkan ke dalam dunia Fungi. Dalam klasifikasi yang berbeda, *Myxomycetes* dan *Plasmodiophoromycetes* dianggap memiliki status taksonomi sejajar dengan cendawan sejati, sedangkan *Acraciales* dan *Labyrinthulales* dianggap sebagai filum tersendiri karena hubungan keturunannya tidak jelas.

Kapang lendir seluler tidak memiliki plasmodium multinuklear dan hidup bebas. Daur hidupnya menarik, menghasilkan tanah untuk bakteri yang menjadi makanannya. Genus *Dictyostelium* adalah kapang lendir seluler yang ditemukan dalam penelitian ini. Plasodium tersebar di seluruh permukaan medium kultur yang terkontaminasi, yang menunjukkan morfologi koloni. Agregat berupa benang miselium yang sangat halus muncul di pusat koloni plasmodium ini seiring berjalannya waktu. Setelah munculnya papila apikal, kolum silindris berubah menjadi bentuk siput, kemudian topi sombrero, tangkai, dan akhirnya tubuh buah (Alexopoulos dan Bold, 1967 dalam Susilowati dan Listyawati, 2001).

Frekuensi ditemukannya *Dictyostelium* relatif jarang. Sumber *Dictyostelium* adalah tanah atau debu (Pelczar dan Chan, 1988 dalam Susilowati dan Listyawati, 2001), sehingga untuk menghindarinya harus diperhatikan masalah kebersihan ruangan.

## Rangkuman

Mikroorganisme, makhluk hidup yang sangat kecil, tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi dengan mikroskop. Mereka dapat ditemukan di hampir setiap tempat. Mikroorganisme terdiri dari bakteri, arkea, fungi, protozoa, alga, dan virus.

**Bakteri** adalah organisme uniseluler yang cukup sederhana. Sel bakteri yang tidak diselubungi selaput membran inti disebut sebagai sel prokariot. Sel bakteri biasanya berbentuk basil, batang, bulat, atau spiral. Peptidoglika adalah kompleks karbohidrat-protein di dinding sel bakteri. Dalam kebanyakan kasus, bakteri membelah menjadi dua sel berukuran sama. Proses ini disebut pembelahan biner. Bakteri biasanya menggunakan bahan kimia organik, yang dapat diperoleh dari organisme hidup atau sudah mati.

**Arkea** Meskipun arkea adalah sel prokariot, dinding sel mereka biasanya tidak mengandung peptidoglikan. Arkea terbagi menjadi tiga kelompok berdasarkan kondisinya yang ekstrim. Kelompok pertama adalah metanogen, yang menghasilkan metana sebagai produk buangan dari proses respirasi. Kelompok kedua adalah halofil ekstrim, yang hidup di lingkungan yang sangat garam. Kelompok ketiga adalah termofil ekstrim, yang hidup dalam air yang mengandung belerang yang panas.

**Fungi** adalah organisme eukariot dengan sel-sel yang memiliki nukleus (inti sel) yang jelas atau sejati dan materi genetik (DNA) yang dikelilingi oleh membran inti sel. Fungi dapat berupa organisme uniseluler (khamir) atau multiseluler (jamur). Kitin, substansi, adalah bagian penting dari dinding sel fungi. Fungi dapat bereproduksi secara seksual atau aseksual. Makanan organisme ini diperoleh dengan menyerap zat organik dari lingkungan hidupnya, seperti tanah, air, atau tumbuhan dan tanaman yang mereka tumpangi.

**Protozoa** adalah organisme eukariot uniseluler yang menggunakan pseupodia (perpanjangan dari sitoplasma organisme, flagel, atau silia) untuk bergerak. Protozoa memiliki berbagai bentuk dan hidup sebagai parasit yang menyerap senyawa organik dari lingkungannya. Reproduksi protozoa terjadi secara seksual dan aseksual.

**Alga** adalah makhluk eukariotik yang dapat berfotosintesis, memiliki berbagai bentuk, dan dapat bereproduksi secara seksual atau aseksual. Alga biasanya tidak memiliki sel. Mayoritas selulosa ada di dinding sel alga. Alga tumbuh dengan baik di tanah yang mengandung banyak garam dan air segar. Mereka juga dapat tumbuh bersama tumbuhan. Untuk tumbuh dan memproduksi makanan, alga membutuhkan cahaya dan udara dalam proses fotosintesis, tetapi biasanya tidak membutuhkan senyawa organik dari lingkungan.

**Virus** Karena ukurannya yang sangat kecil dan hanya dapat diamati melalui mikroskop elektron, virus sangat berbeda dengan mikroorganisme lain. Struktur virus sangat sederhana, yaitu hanya terdiri dari partikel virus yang terdiri dari satu jenis asam nukleat—DNA atau RNA saja. Inti dikelilingi oleh lapisan protein yang terkadang ditutupi oleh membran lemak. Virus hanya dapat bereproduksi melalui nutrisi dan makromolekul sel inang dan bertindak sebagai parasit yang merusak sel inang.

### Soal Pilihan Ganda

1. Berikut nama-nama bakteri pangan yang digunakan dalam pangan, kecuali....
  - a. Bakteri basil gram negatif
  - b. Bakteri basil dan kkobasil gram negatif
  - c. Bakteri gram positif
  - d. Bakteri basil gram negatif, berspora
  - e. Bakteri basil gram positif, berspora
2. Salah satu penyebab produksi keju menjadi berlubang-lubang merupakan akibat dari jenis bakteri....
  - a. *Propionibacterium*
  - b. *Microbacterium*
  - c. *Kurthia*
  - d. *Corynebacterium*
  - e. *Streptomyces*
3. Yang merupakan bakteri penghasil asam glutamat yaitu....
  - a. *Brevibacterium sp.*
  - b. *Enterobacter aerogenes*
  - c. *Acetobacter sp.*
  - d. *Micrococcus glutamicus*
  - e. *Propioni bacterium*

4. Penyakit tetanus merupakan salah satu infeksi yang terjadi akibat tidak sterilnya alat pemotong pada tali pusar bayi, penyebab agen tersebut adalah....
  - a. *Vibrio cholerae*
  - b. *Salmonella sp.*
  - c. *Neisseria gonorrhoeae*
  - d. *Clostridium tetani*
  - e. *Clostridium perfringens*
5. Virus penyebab gastroenteritis mempunyai kapsid berkulit ganda dan garis tengah berkisar antara....
  - a. 100-110 nm
  - b. 75-85 nm
  - c. 50-55 nm
  - d. 60-75 nm
  - e. 45-55 nm
6. Genus *Citrobacter* mempunyai 3 species, antara lain....
  - a. *Citrobacter pneumoniae*, *Citrobacter rettgeri*, *Citrobacter amalonaticus*
  - b. *Citrobacter freundii*, *Citrobacter diversus*, *Citrobacter amalonaticus*
  - c. *Citrobacter freundii*, *Citrobacter pneumoniae*, *Citrobacter morgani*
  - d. *Citrobacter freundii*, *Citrobacter pneumoniae*, *Citrobacter amalonaticus*
  - e. *Citrobacter putida*, *Citrobacter diversus*, *Citrobacter amalonaticus*
7. Bakteri lingkungan yang mempunyai kemampuan untuk mengimobilisasi logam berat pada limbah-limbah industri yaitu bakteri....
  - a. *Aspergillus niger*
  - b. *Pseudomonas niger*
  - c. *Pseudomonas putida*
  - d. *Bacillus putida*
  - e. *Bacillus subtilis*

8. Berikut bakteri yang termasuk pengikat nitrogen, antara lain....
  - a. *Agrobacterium tumefaciens*, *Azobacter chroococcum* dan *Azotobacter vinelandii*
  - b. *Agrobacterium tumefaciens*, *Azobacter chroococcum* dan *Rhizobium meliloti*
  - c. *Clostridium pasteurianum*, *Azobacter chroococcum* dan *Azotobacter vinelandii*
  - d. *Clostridium pasteurianum*, *Klebsiel pneumoniae* dan *Azotobacter vinelandii*
  - e. *Clostridium pasteurianum*, *Klebsiel pneumoniae* dan *Rhizobium meliloti*
9. Salah satu ciri gejala anthrax yang dialami hewan kuda antara lain....
  - a. Diare 5 hari, demam berkepanjangan
  - b. Nafsu makan menurun, edema pada lapisan kulit
  - c. Demam tinggi berlangsung 7 hari, ngorok
  - d. Edema pada leher hingga perut
  - e. Demam tinggi, edema pada scrotum, dan nafsu makan menurun
10. Penyakit yang disebabkan oleh mikroorganismenya ini disebut *blackleg* dan di Indonesia disebabkan oleh bakteri....
  - a. *Clostridium novyi*
  - b. *Clostridium perfringens*
  - c. *Clostridium septicum*
  - d. *Clostridium chauvoei*
  - e. *Clostridium haemolyticum*

**Esai**

1. Sebutkan kelompok kedua Clostridium yang mampu menghasilkan toksin!
2. Sebutkan dan jelaskan penyakit yang ditimbulkan oleh infeksi Clostridium novyi!
3. Sebutkan sifat-sifat penting dari *Micrococcus* yang menjadikan bakteri penting dalam bidang pangan!
4. Apa saja kuman-kuman yang hidup dalam gastrointestinal?
5. Jelaskan sifat dari bakteri *Desulfatoculum*!

BAB  
**2**

# Pengenalan Alat dan Sterilisasi

**Tujuan Instruksional Umum:**

Mahasiswa mampu mengenal dan menjelaskan alat yang digunakan dalam praktik mikrobiologi dan pengetahuan teoretis tentang metode sterilisasi.

**Tujuan Instruksional Khusus:**

Menjelaskan pengenalan alat dan fungsinya, pengertian sterilisasi, manfaat sterilisasi dan metode metode sterilisasi.

## **A. Pengenalan Alat dan Fungsinya**

Alat yang digunakan dalam mikrobiologi adalah sebagai berikut.

1. Ose tusuk hanya dapat membawa bakteri dari media cair ke media padat, sedangkan ose tumpul dan tusuk dapat membawa bakteri dari media cair ke media padat..
2. Gas dalam tabung Durham digunakan untuk menunjukkan aktivitas bakteri.
3. Petridish digunakan untuk menyusun media.
4. Sampel air disimpan dalam botol sampel. Botol sampel dengan pemberat digunakan untuk sampel air yang dalam dan sulit dijangkau, seperti air sumur. Sementara itu, botol sampel tanpa pemberat digunakan untuk sampel air yang dangkal dan mudah diakses oleh manusia.
5. Lampu Bunsen digunakan untuk membersihkan instrumen sebelum dan setelah digunakan.

6. Kruistang digunakan untuk sterilisasi dan menggenggam alat yang panas.
7. Sendok penyus sangat bermanfaat untuk mengambil bahan atau alat kecil yang sulit dijangkau dengan tangan.
8. Timbangan analitik digunakan untuk mengukur bahan-bahan.
9. Tabung reaksi yang panas dipegang oleh penjepit tabung, yang dapat terbuat dari besi atau kayu.
10. Kolony counter digunakan untuk menghitung jumlah koloni kuman atau bakteri, seringkali dilengkapi dengan kaca pembesar untuk memudahkan perhitungan.
11. Mortir digunakan untuk menghaluskan bahan atau media tahan panas pada suhu 160–180 derajat Celcius.
12. Bakteri diinkubasi dan dibiak dalam inkubator.
13. Autoclave digunakan untuk sterilisasi tekanan dalam lingkungan basah.

Sebagian besar penyakit yang disebabkan oleh Mikobakteria ditularkan melalui udara di mana kuman ini dapat hidup sampai beberapa hari dan sewaktu-waktu siap menginfeksi manusia. Mikobakteria merupakan kuman yang tahan terhadap beberapa jenis disinfektan, bahkan tidak sedikit yang resisten terhadap obat anti tuberkulosis. Pemilihan dan penggunaan disinfektan secara tepat dalam usaha untuk mencegah timbulnya pencemaran oleh Mikobakteria perlu mendapat perhatian yang serius dari seluruh petugas laboratorium.

### **1. Mencegah Timbulnya Aerosol Terkontaminasi**

Aerosol adalah partikel zat cair yang tersuspensi atau terapung di udara. Partikel zat cair tersebut dapat mengandung bahan lain, seperti bakteri atau jasad renik lainnya. Ini menunjukkan bahwa aerosol yang dihasilkan dari bahan pemeriksaan untuk mikobakteria mungkin juga

mengandung kuman mikobakteria. Aerosol dapat dihasilkan dari berbagai tindakan, seperti memecah permukaan zat cair, menetes atau menghisap cairan dengan pipet, mengocokkan cairan, menyuntikan, dan melakukan operasi pada hewan percobaan.

Aerosol berasal dari spesimen pemeriksaan; yang berukuran besar akan jatuh ke bawah karena gravitasi, sementara yang lebih halus akan tetap di udara. Cairan dalam aerosol ini segera menguap ketika mengapung di udara, meninggalkan kuman yang sebelumnya terperangkap dalam partikel cair. Kuman ini dapat menyebarkan infeksi ke manusia. Oleh karena itu, aerosol yang tercemar adalah masalah utama di laboratorium Mikobakteria.

Dibutuhkan ruang khusus untuk mengisolasi dan mengidentifikasi mikobakteria untuk mencegah aerosol terkontaminasi mengontaminasi udara laboratorium. Untuk mencegah aliran udara dari ruangan lain, yang mungkin mengandung aerosol terkontaminasi, ruangan isolasi harus memiliki tekanan udara negatif. Selain itu, aliran udara yang searah harus dimiliki, yang berarti udara bersih masuk ke ruangan dan keluar darinya melalui jalur yang ditetapkan menuju udara terbuka. Meskipun penggunaan *exhaust fan* dapat membantu, jangan gunakan kipas angin di ruang pemeriksaan.

Lemari pengaman juga dikenal sebagai lemari keamanan biologi, harus disediakan untuk mengurangi kontaminasi udara di dalam ruangan isolasi. Lemari pengaman ini memiliki *exhaust fan* yang mengalirkan udara dari dalam ke luar. Tindakan harus dilakukan di dalam lemari pengaman selama bekerja dengan bahan pemeriksaan. Namun, saat bekerja, lampu ultraviolet di dalam lemari pengaman tidak boleh digunakan. Ini karena dapat merusak retina mata dan membunuh mikobakteria yang akan diisolasi. Setelah digunakan, lemari pengaman harus dibersihkan dengan disinfektan yang melawan mikobakteria dan lampu ultraviolet harus diaktifkan. Sebelum

dibersihkan, lemari pengaman harus dibersihkan secara teratur dan diberi uap formalin untuk difumigasi..

Alat yang sering digunakan di laboratorium bakteriologi adalah sengkeli. Sebelum digunakan untuk mengambil bahan pemeriksaan, sengkeli harus dibakar hingga membara di atas nyala api. Setelah digunakan, tidak boleh dibakar langsung di atas nyala api; sebaliknya, masukkan sengkeli ke dalam bejana yang berisi pasir dan alkohol sebanyak 70%, kresol sebanyak 5%, atau formalin alkohol sebanyak 5%. Dengan cara ini, aerosol tidak akan terkontaminasi saat dibakar.

Aerosol dapat tercemar saat pewarnaan bahan pemeriksaan, terutama saat fiksasi. Akibatnya, pulasan bahan pemeriksaan pada gelas objek yang akan diperiksa secara mikroskopik harus dikeringkan di udara sebelum difiksasi di atas nyala api. Perlu diingat bahwa fiksasi tidak mematikan kuman.

Selain itu, pemusingan dan pengocokan bahan pemeriksaan dapat menyebabkan aerosol. Mesin pengocok dan pemusing (*centrifuge*) tidak boleh digunakan di dalam lemari pengaman. Oleh karena itu, untuk mencegah timbulnya aerosol di ruangan isolasi, alat-alat ini harus digunakan sesuai dengan prosedur yang benar dan teliti. Hindari pemusingan yang tidak seimbang karena dapat menyebabkan pecahnya tabung pemusing. Setiap kali digunakan, alat-alat ini juga harus dibersihkan.

Ruangan isolasi adalah tempat yang sangat berbahaya, dan tidak ada orang yang diperbolehkan masuk atau keluar tanpa alasan yang jelas. Seorang petugas harus tinggal di dalam ruang isolasi hingga semua tugas selesai, kecuali jika ia membutuhkan bantuan orang lain.

## **2. Penggunaan Disinfektan**

Semua objek yang mungkin terkontaminasi oleh mikrobakteria harus dibersihkan, baik melalui pembakaran, perebusan, sinar

ultraviolet, atau penggunaan disinfektan. Penting untuk diingat bahwa beberapa jenis disinfektan tidak efektif melawan Mikrobakteria. Ini termasuk disinfektan yang tidak efektif karena kelompok senyawa ammonium kuarternya. Di sini, disinfektan yang sering digunakan termasuk fenol 5 persen, kresol 1 persen, formalin 3 hingga 8 persen, alkohol 70 persen, dan natrium hipoklorit 0,1 hingga 0,5 persen. Selain itu, disinfektan harus diganti setiap hari dan diencerkan dengan benar pada hari penggunaan. Oleh karena itu, disinfektan yang telah diencerkan sebaiknya tidak disimpan; sebaliknya, simpan dalam keadaan konsentrat.

Bejana disiapkan untuk mengandung disinfektan sebagai wadah untuk alat-alat kecil yang telah digunakan, seperti gelas objek, pipet, tabung reaksi, aplikator, dan sejenisnya. Selain itu, ada satu wadah khusus yang berisi campuran pasir dan disinfektan untuk membersihkan sengkeli sebelum dioksidasi di atas nyala api. Bejana lain digunakan untuk mengandung disinfektan sebagai tempat pembuangan material dan cairan lain yang telah terkontaminasi.

Peralatan yang terkontaminasi, seperti tabung reaksi, cawan petri, dan tabung untuk kultur, harus disterilkan melalui autoklaf sebelum dicuci. Sementara itu, bahan atau media lain yang telah terkontaminasi dan tidak akan digunakan lagi sebaiknya dibakar dalam insenerator. Hal yang paling penting adalah membersihkan semua peralatan, termasuk meja kerja, lemari pengaman, dan lantai ruang kerja dengan menggunakan disinfektan. Ini sebaiknya dilakukan sebagai kebiasaan rutin setelah selesai bekerja.

### **3. Petugas Laboratorium**

Saat bekerja dengan mikrobakteria, petugas laboratorium, termasuk petugas tata usaha dan penerima bahan pemeriksaan, harus memenuhi beberapa persyaratan kesehatan sebelum diperbolehkan

bekerja di laboratorium mikobakteria. Untuk memastikan bahwa mereka dalam keadaan sehat, mereka harus menjalani pemeriksaan fisik dan foto rontgen.

Petugas laboratorium juga perlu menjalani uji tuberkulin. Sebelum mereka diizinkan untuk bekerja, mereka harus divaksinasi BCG jika hasil tes tuberkulin menunjukkan hasil negatif. Setelah itu, pemeriksaan fisik dan tes tuberkulin harus dilakukan setiap tahun sekali untuk mendeteksi gejala tuberkulosis sejak dini. Hanya jika ada indikasi atau gejala infeksi mikobakteria, pemeriksaan rontgen dada dilakukan.

Pantangan yang harus diikuti dengan sungguh-sungguh saat berada di laboratorium termasuk tidak melakukan aktivitas seperti makan, minum, merokok, atau berbicara di ruang kerja. Sebelum memasuki ruang kerja di laboratorium, penting untuk mengenakan masker dan sarung tangan. Sebaiknya, hindari penggunaan perhiasan seperti gelang, cincin, dan jam tangan saat bekerja di dalam lemari pengaman untuk menghindari potensi kontaminasi perhiasan selama proses kerja. Semua tindakan harus dilakukan dengan hati-hati khusus untuk mencegah infeksi baik pada diri sendiri maupun orang lain.

Pelatihan berkala tentang keselamatan kerja, termasuk peraturan umum yang berlaku di laboratorium, perlu diberikan kepada semua petugas laboratorium, baik yang telah berpengalaman maupun yang baru bergabung. Selain itu, menjaga kebersihan pribadi juga harus dilakukan dengan penuh tanggung jawab. Petugas yang tidak memenuhi syarat atau mengabaikan prinsip keselamatan kerja di laboratorium sebaiknya tidak dipekerjakan, karena perilaku mereka dapat membahayakan tidak hanya untuk diri mereka sendiri, tetapi juga untuk orang lain.

Sangat penting untuk melakukan pemantapan mutu setiap hari untuk menjamin kualitas pemeriksaan mikobakteria. Kelangsungan laboratorium bergantung pada kepercayaan klinis pada hasil

pemeriksaan. Oleh karena itu, seluruh staf laboratorium bertanggung jawab untuk menjaga kualitas. Kesalahan dapat terjadi dari saat bahan pemeriksaan diterima hingga saat peminta pemeriksaan menerima hasilnya. Meskipun peralatan, reagen, dan media yang digunakan dapat menyebabkan kesalahan ini, kesalahan manusia adalah yang paling umum. Peralatan, reagen, media, dan petugas laboratorium diuji secara berkala untuk mengurangi kesalahan. Pelatihan karyawan, tata kerja laboratorium yang efektif, dokumentasi yang cermat, perawatan dan kalibrasi peralatan, optimalisasi reagen, dan pengaturan laboratorium yang sesuai adalah semua upaya untuk mengurangi kesalahan.

Pemeriksaan mikroskopik, pelaksanaan uji biokimia dan imunologi, dan kualitas bahan pemeriksaan adalah masalah umum di laboratorium mikrobakteria. Jadi, pemantapan kualitas ditunjukkan terutama untuk mencegah masalah di atas. Tidak mengherankan bahwa kesalahan yang paling sering terjadi di laboratorium berasal dari petugas laboratorium itu sendiri karena manusia selalu salah. Pertama, faktor keselamatan kerja di laboratorium harus diperhatikan. Selanjutnya adalah catatan dan laporan. Karena lupa adalah hal yang normal bagi manusia, catatan dan laporan harus dilakukan secara teratur, teliti, dan lengkap untuk memastikan bahwa kualitas dipertahankan.

Laporan dan catatan harus disimpan selama setidaknya dua tahun. Ini karena catatan atau laporan seringkali diperlukan kembali untuk mengevaluasi hasil, pembakuan, analisis, atau untuk menemukan kesalahan. Selain catatan dan laporan, prosedur kerja juga sangat bermanfaat, terutama untuk petugas laboratorium yang sering lupa. Setiap saat, prosedur kerja ini harus tersedia di meja kerja. Ini mencakup semua prosedur dan tata cara kerja laboratorium yang harus dilakukan oleh semua karyawan. Metode ini didasarkan pada

karya pengarang terkenal dalam mikrobiologi. Laboratorium harus memiliki prosedur baru di meja kerja sebelum prosedur lama dihapus. Menyediakan prosedur kerja di meja kerja sangat penting.

#### **4. Peralatan Laboratorium**

Menurut Pelczar (1988) bahwa pemeliharaan dan kalibrasi peralatan merupakan suatu usaha untuk mencegah kesalahan yang terjadi di laboratorium. Upaya ini merupakan usaha dalam pemantapan kualitas interna.

##### **a. Alat pemusing**

Alat ini harus dikalibrasi untuk menentukan ketepatan kecepatan perputarannya. Alat yang digunakan untuk kalibrasi adalah takhometer. Demi keselamatan kerja, alat ini harus pula dibersihkan dan didisinfeksi. Selanjutnya untuk pemiliharaannya ikuti petunjuk dari pabriknya.

##### **b. Autoklaf**

Dicatat suhu setiap kali alat ini dipakai. Diguunakan indikator (indikator kertas, suspensi kuman) bila menggunakan alat ini untuk sterilisasi. Untuk pemeliharaan alat ini ikuti petunjuk yang diberikan oleh pabriknya.

##### **c. Fotometer**

Pemeriksaan Mikrobakteria alat banyak digunakan pada pemeriksaan ELISA, alat ini harus sering dikalibrasi baik mengenai panjang gelombang yang dihasilkan, linearitasnya dan juga kalibrasi terhadap *stray light*. Kalibrasi panjang gelombang dapat dilakukan dengan menggunakan filter khusus misalnya filter dimium atau filter holmium. Pada filter tersebut telah ditetapkan panjang gelombang yang ditimbulkan serta absorbennya. Dengan memasang filter tersebut pada fotometer dan melihat absorbennya maka dapat segera diketahui apakah panjang

gelombang yang ditimbulkan oleh fotometer tadi sudah betul. Kalibrasi linearitas digunakan untuk mengetahui fungsi foto sel dari fotometer. Untuk melakukan kalibrasi linearitas digunakan larutan  $K_2Cr_2O_7$  atau  $CUSO_4$  dengan berbagai konsentrasi. Kemudian diukur absorben larutan tersebut untuk selanjutnya digambar pada suatu lembar kertas grafik. Grafik yang terbentuk harus linear bila fotometer tersebut masih baik. Petunjuk kalibrasi fotometer biasanya disediakan oleh pabrik pembuat alat itu dalam buku petunjuknya.

**d. Inkubator**

Digunakan termometer untuk mengkalibrasi suhu yang diciptakannya. Dicatat suhu setiap hari pada secarik kertas dan tempelkan kertas tadi pada pintu inkubator.

Periksa catatan dan suhunya setiap hari. Dicairkan bunga es yang terjadi dan bersihkan setiap 3 bulan sekali.

**e. Lemari pengaman**

Gunakan anemometer untuk mengukur aliran udara yang diciptakan alat ini. Diperiksa filter pada alat ini dan bila perlu harus segera diganti. Periksa pula lampu ultra violet yang ada di dalam alat ini. Bila memungkinkan ukur intensitas cahayanya, terutama bila lampu ini telah digunakan lebih dari 100 jam.

**f. Mikroskop**

Selalu dibersihkan minyak imersi yang melekat pada lensa rendam minyak yang dipakai. Hal ini untuk mencegah timbulnya positif palsu. Dibersihkan mikroskop setiap habis dipakai dan simpan di tempat yang baik.

**g. pH meter**

Alat ini harus sering dikalibrasi. Digunakan larutan dapar pH 6 dan pH 8 untuk mengkalibrasinya. Bila alat ini tidak dipergunakan usahakan agar elektrodanya selalu terendam dalam larutan 4M

KCl. Bila alat ini sudah lama tidak dipakai, untuk mengaktifkan kembali elektrodanya, rendamlah dalam larutan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  10 % selama semalam.

#### **h. Pipet dan alat gelas lain**

Pipet perlu dikalibrasi dan hasil kalibrasi harus selalu dicatat untuk setiap pipet yang dipakai yang menggunakan lagi pipet atau alat ukur yang cacat. Alat gelas yang diperlukan dalam keadaan steril, perlu diperiksa sterilitasnya. Jangan menyimpan alat gelas steril lebih dari 3 minggu. Gunakan kertas aluminium untuk membungkusnya.

#### **i. Timbangan**

Timbangan elektronik atau neraca elektronik harus dikalibrasi dengan mempergunakan anak timbangan yang telah ditera. Ikuti prosedur yang dianjurkan oleh pabriknya bila menggunakan alat ini, demikian juga cara pemeliharannya.

#### **j. Washer**

Alat ini digunakan pada pemeriksaan dengan metode ELISA dimana pencucian merupakan hal yang kritis pada ELISA. Karenanya *washer* harus dikalibrasi dengan benar. Dalam pemeriksaan dengan metode ELISA yang menggunakan *microplate*, maka *washer* yang digunakan harus dapat memancarkan cairan pencuci dengan volume 300  $\mu\text{l}$  dan pada saat penghisapan, residual yang tertinggal tidak boleh lebih dari 5  $\mu\text{l}$ . *Washer* harus dikalibrasi dengan ketentuan seperti tersebut di atas.

#### **k. Water bath**

Periksalah suhu yang diciptakannya sebelum dan selama memakainya. Dibersihkan setiap bulan.

## **B. Pengertian Sterilisasi**

Sterilisasi menghapus semua bentuk kehidupan. Dalam mikrobiologi, “steril” berarti bebas dari mikroorganisme hidup. Suatu item atau substansi hanya dapat bersifat steril atau tidak steril; tidak ada istilah “setengah steril” atau “hampir steril”.

## **C. Manfaat Sterilisasi**

Mengontrol mikroorganisme adalah tujuan utama sterilisasi, dan ada beberapa metode untuk mencapainya. Berikut ini adalah beberapa alasan utama di balik tindakan ini:

1. **Pencegahan Penyebaran Penyakit dan Infeksi:** Sterilisasi digunakan untuk menghentikan penyebaran penyakit dan infeksi yang dapat disebabkan oleh mikroorganisme patogen.
2. **Penghapusan Mikroorganisme pada Inang yang Terinfeksi:** Terkadang, sterilisasi digunakan untuk menghilangkan mikroorganisme dari inang yang terinfeksi untuk menyembuhkan atau mencegah penyebaran infeksi.
3. **Mencegah Pembusukan dan Perusakan Bahan oleh Mikroorganisme:** Mikroorganisme yang dapat merusak produk atau materi dapat mencegah pembusukan dan perusakan bahan melalui sterilisasi.
4. **Sterilisasi adalah proses yang mencakup penghilangan, penghambatan, atau pembunuhan mikroorganisme melalui penggunaan berbagai metode fisik atau bahan kimia.**

Ada banyak metode dan alat yang tersedia untuk mencapai proses ini, masing-masing dengan kelebihan dan kekurangan.

## **D. Metode-metode Sterilisasi**

Menurut Sandjaja (1992) metode sterilisasi terdiri dari:

### **1. Pengendalian Mikroorganisme Secara Fisik**

Dengan menggunakan berbagai proses atau sarana fisik, mikroorganisme dapat dikendalikan, dihambat, atau dihilangkan dari lingkungan.

#### **a. Suhu Tinggi**

Untuk menghentikan pertumbuhan mikroorganisme, kombinasi suhu tinggi dan kelembapan tinggi adalah metode yang paling efektif. Suhu tinggi juga dapat dicapai melalui teknik panas kering. Kedua pendekatan tersebut berbeda secara signifikan satu sama lain. Panas lembap dapat membunuh mikroorganisme dengan mengkoagulasi protein mereka.

Panas lembap membunuh mikroorganisme lebih cepat dan efektif daripada panas kering, yang menghancurkan mikroorganisme dengan mengoksidasi bagian kimianya. Sebagai contoh, dengan menggunakan panas lembap pada suhu 120°C, spora *Clostridium botulinum*, yang menghasilkan racun yang mematikan dan menyebabkan keracunan makanan yang seringkali fatal, dapat dimatikan dalam waktu 4 hingga 20 menit. Untuk menggunakan panas kering pada suhu yang sama, diperlukan dua jam.

##### **1) Waktu kematian termal dan waktu pengurangan desimal**

Waktu Kematian Termal (kematian termal) dan Waktu Pengurangan Desimal (pengurangan desimal) adalah istilah untuk resistensi bakteri terhadap panas. Waktu Kematian Termal adalah waktu terpendek yang dibutuhkan untuk membunuh suspensi bakteri (atau spora) pada suhu tertentu dalam kondisi tertentu. Waktu Pengurangan Desimal adalah waktu tertentu dalam menit

yang diperlukan untuk mengurangi populasi bakteri sebesar 95%.

a) Penerapan suhu tinggi untuk mematikan mikroorganisme

1. Panas Lembap

a. Uap Bertekanan

Sterilisasi dengan uap jenuh bertekanan adalah metode yang paling efektif dan dapat diandalkan. Sterilisasi uap bertekanan cepat dan efektif karena dapat mencapai suhu di atas titik didih air. Kemampuan penetrasi yang tinggi dan produksi kelembapan yang melimpah adalah beberapa keunggulan tambahan metode ini. Semua ini membantu mikroba koagulasi protein. Autoklaf sebenarnya adalah ruang berdinding ganda yang diisi dengan uap jenuh bebas udara yang disimpan pada suhu dan tekanan tertentu selama waktu tertentu.

b. Sterilisasi bertahap

Beberapa bahan kimia dan media bakteriologi tidak dapat bertahan pada suhu lebih tinggi dari 100 derajat Celcius tanpa rusak. Namun, sterilisasi bertahap dapat dilakukan jika bahan-bahan tersebut mampu bertahan pada suhu uap bebas (100°C). Dalam proses ini, bahan dipanaskan selama tiga hari berturut-turut pada suhu 100°C, dengan periode inkubasi di antaranya. Selama masa inkubasi, sel sporadik yang tahan akan mulai berkecambah, memungkinkan penghancuran sel vegetatif ini pada pemanasan berikutnya.

c. Air mendidih

Saat terendam dalam air mendidih, sel-sel vegetatif mikroorganisme akan mati dalam waktu sepuluh menit, tetapi beberapa spora dapat bertahan selama berjam-jam. Untuk disinfeksi, rebus peralatan dalam air mendidih dalam waktu yang singkat lebih baik daripada sterilisasi. Oleh karena itu,

air mendidih tidak dapat digunakan untuk sterilisasi.

d. **Pasteurisasi**

Susu, rum (cream), dan beberapa minuman yang mengandung alkohol (bir dan anggur) biasanya diberi perlakuan panas terkendali untuk mematikan tipe-tipe mikroorganisme tertentu tetapi tidak mematikan yang lain. Susu yang dipasteurisasi bukanlah susu steril. Suhu yang ditentukan untuk pasteurisasi berdasarkan pada waktu kematian termal bagi tipe patogen yang paling resisten untuk dibasmi. Dipanaskannya susu pada suhu yang terlampaui tinggi tidak dikehendaki karena menghasilkan cita rasa yang kurang sedap.

2. **Panas Kering**

a. **Sterilisasi dengan udara panas**

Ketika penggunaan uap bertekanan tidak diinginkan atau tidak memungkinkan kontak antara uap bertekanan dengan benda yang akan disterilkan, sterilisasi dengan panas kering atau udara panas adalah pilihan terbaik. Ini berlaku untuk peralatan laboratorium seperti pipet, minyak, serbuk, cawan petri, dan lainnya. Untuk peralatan yang pecah, benda-benda ini dapat dibersihkan dalam oven listrik atau gas pada suhu 160 derajat Celcius selama dua jam.

b. **Pembakaran**

Membakar bahan-bahan yang mengandung mikroorganisme juga berarti mengeluarkan mikroorganisme tersebut dari bahan tersebut. Jenazah, hewan penelitian yang terinfeksi, dan bahan terinfeksi lainnya dibakar dalam proses pembakaran. Sterilisasi jarum pindah (yang diletakkan di atas nyala api dari pembakaran bunsen) adalah prosedur umum di laboratorium.

Pada situasi seperti ini, penting untuk mengingat peringatan berikut. Selama proses sterilisasi dengan memindahkan jarum, pastikan untuk menghindari percikan karena beberapa percikan dapat mengandung mikroorganisme yang masih hidup. Mengeringkan jarum di bagian yang dingin dari kerucut api di luar nyala api dapat mengurangi atau bahkan menghilangkan percikan. Saat ini, ada juga alat pembakaran listrik yang dibuat khusus untuk mengurangi kemungkinan percikan karena panas dari kumparan listrik.

c. Suhu Rendah

3. Pendinginan

Beberapa bakteri, khamir, dan kapang yang dibiakkan pada media agar dalam tabung reaksi dapat tetap bertahan hidup selama berbulan-bulan pada suhu lemari es, yaitu sekitar 4 hingga 7°C. Metode ini efektif untuk mengawetkan biakan beberapa jenis mikroorganisme, tetapi tidak semua mikroorganisme dapat bertahan dengan cara ini.

4. Suhu di bawah titik nol

Bakteri dan virus dapat bertahan hidup pada suhu yang sangat rendah, seperti -20 °C (suhu freezer mekanis), -70 °C (suhu es kering yang mengandung CO<sub>2</sub> beku), atau bahkan -195 °C (suhu nitrogen cair). Sebenarnya, nitrogen cair sering digunakan untuk mengawetkan berbagai virus dan mikroorganisme, serta persediaan sel-sel jaringan mamalia yang digunakan dalam penelitian virologi hewan dan berbagai jenis penelitian lainnya. Semua prosedur ini mungkin menghasilkan pendinginan awal yang dapat membunuh beberapa sel, tetapi lebih banyak sel yang dapat bertahan dan tetap hidup untuk waktu yang lama..

Ini menunjukkan bahwa suhu rendah, apapun ekstremnya, tidak dapat diandalkan untuk disinfeksi atau sterilisasi. Karena suhu rendah tidak cukup untuk menghancurkannya, mikroorganisme yang disimpan pada suhu beku atau di bawahnya dianggap dalam kondisi dorman. Akibatnya, mereka tidak dapat dirawat untuk tujuan pengawetan.

#### 5. Pengeringan

Secara umum, lamanya bertahan hidup mikroorganisme setelah pengeringan sel mikroba dan lingkungannya dapat sangat berkurang atau bahkan menghentikan aktivitas metabolik, yang kemudian mengakibatkan kematian sejumlah sel:

- a. Jenis mikroorganisme
- b. Materi pengering mikroorganisme
- c. Tingkat keberhasilan dalam proses pengeringan
- d. Faktor-faktor fisik yang memengaruhi mikroorganisme yang dikeringkan.

Spora kokus gram negatif, seperti *Neisseria gonorrhoeae* dan *Neisseria meningitidis*, sangat rentan terhadap kekeringan, yang menyebabkan mereka mati dalam beberapa jam. Beberapa streptokokus dapat bertahan berminggu-minggu setelah dikeringkan, karena mereka jauh lebih tahan. *Bacillus tuberculosis* yang dikeringkan dengan dahak dapat bertahan lebih lama. Spora mikroorganisme yang dikeringkan juga dapat bertahan lebih lama. Kondisi umum yang disebutkan sebelumnya berlaku untuk pengeringan dengan udara.

#### 6. Tekanan osmotik

Difusi terjadi melalui membran semipermeabel, yang dikenal sebagai osmosis. Menyamakan konsentrasi solut di membran adalah tujuan utama osmosis. Untuk ilustrasi,

bayangkan sejumlah sel bakteri terlarut dalam larutan dengan konsentrasi natrium klorida yang tinggi sebesar 20%. Air akan mengalir melalui membran sitoplasma yang semipermeabel ke dalam larutan di sekitar sel dari area dengan konsentrasi solut yang lebih rendah (di dalam sel dengan konsentrasi garam yang lebih rendah). Akibatnya, sel akan membengkak dan menyerap air, efek yang sebanding dengan pengembunan atau pengembangan sel. Plasmolisis adalah nama proses ini. Dengan demikian, sel hewan yang tidak memiliki dinding sel yang kuat menunjukkan penyusutan sel.

Jika bakteri dimasukkan ke dalam larutan yang mengandung natrium kloride kurang dari 1%, misalnya 0,01%, maka aliran air akan berubah dan masuk ke dalam sel. Proses seperti itu disebut plasmoptisis. Akibat akumulasi air di dalam sel, terbentuk tekanan osmotik. Tekanan kana dapat menyebabkan pembengkakan dan bahkan pecahnya sel jika membran sel elastik, seperti sel darah merah. Bakteri plasmolisis atau plasmoptisis biasanya tidak menunjukkan perubahan bentuk atau ukuran karena dinding bakteri yang kaku dapat menahan perubahan tekanan osmotik.

## 7. Radiasi

Beberapa jenis radiasi yang dapat merusak sel mikroba dan mikroorganisme lain adalah sinar katode (elektron berkecepatan tinggi) dan spektrum elektromagnetik (sinar X, gama, dan ultraviolet).

### a. Cahaya Ultraviolet

Karena ozon, awan, dan polutan atmosfer (asap) menyerap sebagian besar panjang gelombang sinar ultraviolet, radiasi ultraviolet terbatas pada rentang 280–390 nm di permukaan bumi, dan panjang gelombang sekitar 265 nm memiliki

efisiensi bakterisidal tertinggi. Ini terjadi meskipun cahaya ultraviolet merupakan sebagian besar energi pancaran sinar matahari. Ini menunjukkan bahwa meskipun dalam kondisi tertentu, sinar matahari memiliki kapasitas mikrobisidal..

Lampu germisidal, yang memiliki rentang 260–270 nm dan memancarkan sinar ultraviolet dengan konsentrasi tinggi, banyak digunakan untuk mengurangi populasi mikroba di ruang aseptik untuk pegisian obat-obatan; industri farmasi; tempat produk steril dimasukkan ke dalam ampul atau tabung kecil dengan pipet; dan di tempat lain di mana permukaan yang terkontaminasi dibersihkan.

Saat menggunakan sinar ultraviolet untuk membunuh mikroorganisme, faktor yang paling penting untuk diingat adalah daya tembusnya yang kecil. Bahkan selapis kaca tipis dapat menahan sebagian besar sinar. Akibatnya, hanya mikroorganisme yang tumbuh di permukaan benda yang terkena sinar ultraviolet yang dapat membunuh yang. Meskipun banyak bahan selular menyerap sinar ultraviolet, asam nukleat adalah yang paling banyak menyerapnya.

#### b. Sinar X

Sinar X dapat membunuh mikroorganisme dan bentuk kehidupan yang lebih tinggi karena energi dan daya tembusnya yang tinggi. Akibatnya, melindungi penggunaannya menjadi sulit. Namun, sinar X tidak praktis untuk digunakan secara teratur dalam mengendalikan populasi mikroba. Selain itu, penggunaannya yang efektif untuk membuat mutan mikroba juga menjadi masalah yang sulit.

#### c. Sinar Gama

Beberapa radioisotop tertentu, seperti  $^{60}\text{Co}$ , berperan sebagai sumber radiasi gama, yang bahkan lebih berenergi

daripada sinar X. Isotop-isotop ini memancarkan radiasi gama sebagai hasil sampingan dari pemecahan atom yang terjadi selama program riset nuklir. Karena panjang gelombangnya yang lebih pendek daripada sinar X, sinar gama lebih baik digunakan untuk membersihkan bahan yang tebal dan berat, seperti kemasan medis atau bahan makanan. Ini karena daya tembusnya yang besar, efek mikrobisidalnya, dan efisiensi.

d. Sinar Katode (radiasi berkas elektron)

Berkas elektron atau sinar katode dapat menghasilkan elektron. Elektron-elektron ini memiliki intensitas tinggi dan dipacu dengan kecepatan tinggi. Berkas elektron berkecepatan tinggi dan kuat ini bersifat mikrobisidal dan berdampak pada bahan biologis dan non biologis.

Sekarang, peralatan bedah, obat-obatan, dan benda lain dibersihkan dengan pemacu elektron, suatu alat yang menghasilkan berkas elektron bertegangan tinggi. Salah satu keuntungan proses ini, seperti perlakuan dengan sinar gama, adalah bahwa objek dapat dibersihkan pada suhu kamar dalam keadaan terbungkus. Meskipun radiasi berkas elektron memiliki daya tembus terbatas, sterilisasi dapat dicapai dalam waktu singkat.

**b. Filtrasi (Penyaringan)**

Panas dapat membuat beberapa bahan, terutama cairan biologis seperti serum hewan, larutan zat seperti enzim, vitamin, atau antibiotik, terbakar dengan mudah. Sama halnya, teknik fisik seperti radiasi dapat merusak bahan-bahan ini atau, dalam beberapa kasus, tidak dapat membersihkannya dengan benar. Oleh karena itu, satu-satunya cara untuk membersihkannya adalah dengan menggunakan proses filtrasi.

### 1) Filter bakteriologis

Selama bertahun-tahun telah tersedia berbagai macam filter bakteriologis yang dapat dimanfaatkan oleh para mikrobiolog. Bahan filter tersebut merupakan suatu lapisan yang relatif tebal terbuat dari asbes, tanah diatomea, porselen atau kaca berpori (sintered glass). Ditahannya, mikroorganismepada lapisan filter bukanlah hanya disebabkan oleh kombinasi ukuran pori, sifat jaringan bahan berserat atau partikulat penyusun lapisan saringan, dan muatan listrik bahan-bahan tersebut.

Suatu jenis saringan baru untuk menyingkirkan organisme baru-baru ini dikembangkan dan digunakan secara luas. Filter ini terbuat dari ester selulose atau bahan polimerik lain yang memiliki pori-pori yang tepat dan seragam. Filter atau saringan jenis ini dapat dibuat dengan diameter pori yang diinginkan, mulai dari 0,01 hingga 10  $\mu\text{m}$ . Lapisan saringannya sangat tipis, dengan ketebalan sekitar 150  $\mu\text{m}$ . Karena itu, filter membran disebut.

Untuk digunakan, filter diletakkan pada suatu alas penyangga di dalam unit filter. Filter membran ini banyak digunakan di industri atau Laboratorium untuk membersihkan fluida. Selain itu, telah digunakan dalam prosedur mikrobiologis untuk mengidentifikasi mikroorganismepada dalam air dan bahan-bahan lain.

### 2) Filter udara

Saat ini, sistem aliran udara laminar, atau aliran udara laminar, digunakan secara luas untuk menyediakan udara yang bebas debu dan bakteri. Filter udara berisikan partikel berefisiensi tinggi, atau filter HEPA, memungkinkan udara bersih (bebas debu) masuk ke dalam ruang tertutup. Filter udara digunakan di ruang transfer mikrobiologis untuk mencegah infeksi menyebar. Ini juga berlaku di tempat di mana partikel halus dapat merusak peralatan elektronik kecil; bakteri dapat merusak bagian penting dari peralatan.

### 3) Pelindung muka

Pelindung muka, yang terbuat dari kain kasa yang diikat dengan tali atau pita untuk menutupi mulut dan hidung, sering digunakan oleh ahli bedah selama operasi untuk mencegah kontaminasi mikroorganisme saat mereka bernapas sehingga tidak mencemari ruang bedah. Petugas rumah sakit juga menggunakan pelindung muka untuk melindungi diri dari pasien yang menderita penyakit menular karena mereka menyaring mikroorganisme saat mereka bernapas.

## c. Pembersihan Fisik

### 1) Ultrasonik

Gelombang suara berfrekuensi tinggi digunakan untuk menghancurkan sel-sel mikroba dan membersihkan mikroba dari peralatan, terutama selama prosedur pembedahan dan diagnosis. Penggunaan gelombang suara berfrekuensi tinggi dalam pembersih ultrasonik adalah komponen penting dalam pengendalian mikroorganisme. Perangkat ini berisi cairan dan terkena gelombang suara berfrekuensi tinggi selama proses pembersihan. Ketika gelombang suara berfrekuensi tinggi bergerak melalui cairan, terbentuk sejumlah besar gelombang kecil yang kemudian menghilang dengan cepat. Fenomena ini disebut dengan istilah “kavitasi” atau “cavitasi”. Proses kavitasi menghasilkan tenaga yang cukup besar untuk menghilangkan partikel, debu, dan mikroorganisme dari permukaan benda yang tenggelam dalam cairan. Pembersih ultrasonik telah terbukti lebih efektif daripada metode penyikatan mekanis dalam membersihkan bahan organik dari peralatan.

### 2) Pencucian

Gelombang suara berfrekuensi tinggi menghancurkan sel-sel mikroba dan membersihkan mikroba dari peralatan, terutama

selama prosedur diagnosis dan pembedahan.

## **2. Pengendalian Mikroorganisme dengan Bahan Kimia**

Baik logam berat seperti perak dan tembaga maupun molekul organik kompleks seperti senyawa amonium kuarterner memiliki kemampuan untuk menghentikan atau membunuh mikroorganisme. akibat antimikrobiaalnya terhadap berbagai jenis mikroorganisme ditunjukkan oleh sejumlah bahan ini dengan berbagai cara. Mereka juga bervariasi terhadap permukaan benda atau materi; beberapa berfungsi dengan baik, sedangkan yang lain merusak. Karena perbedaan ini dan variabel lain yang memengaruhi, sangat penting untuk memahami perilaku suatu zat kimia sebelum menggunakannya dalam aplikasi tertentu di dunia nyata.

### **a. Ciri-ciri Suatu Disinfektan yang Ideal**

Tidak ada senyawa kimia yang benar-benar memenuhi kebutuhan Anda. Ini tidak mengherankan mengingat berbagai kondisi yang diperlukan untuk menggunakannya, berbagai cara kerjanya, dan banyaknya jenis sel mikroba yang harus dihancurkan. Sebuah zat harus memiliki beberapa karakteristik yang luar biasa untuk dianggap sebagai disinfektan yang ideal. Sifat-sifat ini tidak ada dalam senyawa apa pun. Namun demikian, spesifikasi yang disebutkan di bawah ini dapat digunakan dalam pembuatan bahan antimikroba baru, dan harus dipertimbangkan saat menilai disinfektan yang digunakan secara umum.

- 1) **Kemampuan untuk melawan mikroba.** Sebuah substansi harus memiliki kemampuan untuk membunuh mikroorganisme sebagai syarat pertama. Zat tersebut harus memiliki kemampuan antimikrobia yang luas pada konsentrasi rendah, yang berarti bahwa itu mampu membunuh berbagai jenis mikroba.

- 2) Substansi harus larut dalam air atau pelarut lainnya hingga tingkat yang diperlukan untuk penggunaan yang tepat.
- 3) Stabil. Jika substansi dibiarkan dalam jangka waktu yang lama, sifat antimikrobialnya tidak boleh hilang secara signifikan.
- 4) Tidak berbahaya bagi hewan. Senyawa tersebut idealnya harus membunuh mikroorganisme tanpa mengganggu manusia atau hewan lain.
- 5) Keseragaman, juga disebut homogenitas. Sehingga bahan aktifnya selalu ada di setiap aplikasi, komposisinya harus seragam. Meskipun bahan kimia murni tidak berbeda, campuran berbagai bahan mungkin berbeda.
- 6) Sebagian besar disinfektan tidak efektif jika digunakan di lingkungan yang banyak mengandung bahan organik karena berinteraksi dengan protein atau bahan organik lainnya.
- 7) Antimikrobial pada suhu tubuh atau suhu kamar Tidak ada kebutuhan untuk meningkatkan suhu di atas suhu normal di tempat senyawa tersebut digunakan.
- 8) Kemampuan untuk masuk kecuali substansi dapat menembus permukaan, aktivitas antimikrobialnya hanya terbatas pada area yang digunakan. Terkadang, hanya tindakan permukaan yang diperlukan.
- 9) Senyawa ini tidak dapat menyebabkan karat atau perubahan warna, meskipun dapat merusak logam.
- 10) Kemampuan untuk menghilangkan bau buruk. Sifat yang diinginkan dari suatu zat adalah kemampuan untuk mendisinfeksi sambil menghilangkan bau yang tidak sedap. Idealnya, disinfektan tidak akan berbau atau berbau.
- 11) Kemampuan sebagai deterjen. Sebuah disinfektan yang juga berfungsi sebagai deterjen lebih efektif sebagai disinfektan karena fungsinya sebagai pembersih meningkatkan kinerjanya

sebagai disinfektan.

- 12) Baik ketersediaan maupun biaya. Senyawa tersebut harus tersedia dalam jumlah besar dan murah.

### **b. Pemilihan Bahan Antimikrobia Kimiawi**

Dalam memilih bahan antimikrobia kimiawi, beberapa hal yang harus dipertimbangkan adalah:

- 1) *Jenis bahan yang akan diproses.* Pilih bahan yang cocok dengan kulit Anda daripada suatu zat kimia yang digunakan untuk mendisinfeksi perabotan yang terkontaminasi karena dapat sangat merusak sel-sel kulit.
- 2) *Klasifikasi mikroorganisme.* Tidak semua mikroorganisme memiliki sifat menghambat atau membunuh zat kimia tertentu. Akibatnya, zat yang paling efektif untuk membunuh mikroorganisme harus dipilih. Sebagai contoh, spora berbeda dari sel vegetatif. Misalnya, *Staphylococcus aureus*, bakteri gram positif, lebih tahan terhadap disinfektan kationik daripada bakteri gram negatif. Selain itu, sensitivitas galur terhadap zat antimikrobia tertentu berbeda pada spesies yang sama.
- 3) *Keadaan lingkungan.* Semua faktor yang telah dibahas sebelumnya, seperti pH, suhu, waktu, konsentrasi, dan adanya bahan organik asing, semuanya mempengaruhi tingkat dan kualitas penghancuran mikroba. Penggunaan bahan antimikrobia yang berhasil memerlukan pemahaman tentang pengaruh kondisi tersebut terhadap bahan tersebut sehingga bahan tersebut dapat digunakan dalam keadaan yang paling menguntungkan.

### **c. Kelompok-kelompok Utama Bahan Antimikrobia Kimiawi**

Beberapa kelompok utama bahan antimikrobia kimiawi adalah:

### 1) Fenol dan persenyawaan fenolat

Fenol (asam karbolat), yang pertama kali digunakan oleh Lister sekitar tahun 1860-an dalam upayanya untuk mengembangkan metode pembedahan aseptik, telah menjadi standar untuk menilai kemampuan bakterisidalnya dari disinfektan lain. Sekarang ada banyak disinfektan lain yang berfungsi dengan lebih baik pada konsentrasi yang lebih rendah. Beberapa persenyawaan-persenyawaan ini mungkin bekerja terutama dengan mengubah struktur protein sel dan merusak membran sel. Sebagai contoh, kresol memiliki tingkat germisidal yang beberapa kali lebih tinggi daripada fenol, sedangkan *o*-fenilfenol dan persenyawaan-persenyawaan fenolat lain dengan tingkat substitusi yang tinggi terbukti efektif bahkan dalam konsentrasi yang tinggi.

Tergantung pada konsentrasi yang digunakan, persenyawaan fenolat dapat memiliki efek bakterisidal atau bakteristatik. Dibandingkan dengan sel vegetatif bakteri, spora bakteri dan virus cenderung lebih tahan terhadap persenyawaan fenolat. Beberapa jenis persenyawaan fenolat membunuh jamur dengan sangat baik. Namun, keberadaan bahan organik dan pH yang bersifat alkalin dapat mengurangi aktivitas antimikroba fenolat. Selain itu, efektivitas antimikroba fenolat dapat dikurangi oleh suhu rendah dan penggunaan sabun. Secara umum, fenolat adalah salah satu disinfektan terbaik untuk menghidrogenisasi benda mati.

### 2) Alkohol

Etil alkohol memiliki aktivitas sporisidal yang rendah dan efektif terhadap mikroorganisme vegetatif atau yang tidak membentuk spora dengan konsentrasi 50 hingga 70%. G. Sykes mencatat di dalam bukunya "Disinfection and sterilization" bahwa spora antraks dapat bertahan di dalam alkohol selama dua puluh tahun, sedangkan spora *Bacillus subtilis* dapat bertahan selama sembilan tahun.

Metil alkohol memiliki sifat bakterisidal yang lebih rendah daripada etil alkohol. Bahkan uap dari persenyawaan ini dapat menyebabkan kerusakan permanen pada mata, sehingga sebagai disinfektan biasanya tidak digunakan. Alkohol dengan rantai karbon lebih panjang, seperti propil, buti, amil, dan lainnya, bersifat germisidal. Namun, karena berat molekul alkohol lebih besar daripada propil alkohol, tidak dapat bercampur dengan air dengan baik, sehingga tidak biasa digunakan sebagai disinfektan. Dalam konsentrasi 40–80%, isopropil alkohol dan propil alkohol efektif untuk membersihkan kulit. Beberapa zat lain, seperti gliserol dan iodium, telah dicampur dengan alkohol untuk meningkatkan sifat antibakteri mereka.

Alkohol membersihkan termometer oral dan mengurangi flora mikroba pada kulit. dibandingkan dengan alkohol dan disinfektan lain Alkohol dengan konsentrasi lebih dari 60% mematikan virus, tetapi jumlah bahan protein asing dalam campuran mempengaruhi kinerjanya. Protein asing itu berinteraksi dengan alkohol, melemahkan virus. Alkohol adalah denaturan protein, suatu sifat yang terutama bertanggung jawab atas aktivitas antimikrobal alkohol. Alkohol juga memiliki kemampuan untuk merusak membran sel karena sifatnya sebagai pelarut lipid.

### 3) Halogen

Keluarga halogen terdiri dari fluor, klor, brom, dan iodium. Klor dan iodium adalah yang paling banyak digunakan sebagai antimikroba.

#### a) Iodium

Salah satu bahan germisidal yang paling efektif dan bertahan lama digunakan. Setelah dicatat dalam United States Pharmacopeia sejak tahun 1830, iodium telah digunakan selama lebih dari seratus tahun. Iodium biasanya digunakan sebagai

bahan germisidal dalam bentuk tinktur iodium, yang merupakan campuran 2 persen iodium dan 2 persen natrium iodida dalam 50% alkohol. Meskipun larutan iodium murni dalam air sangat rendah, zat ini segera larut dalam alkohol dan larutan kalium atau natrium iodida.

Iodium juga digunakan dalam bentuk iodoform, yaitu campuran iodium dengan zat aktif permukaan yang berfungsi sebagai pembawa dan pelarut iodium. Polivinilpirolidon (PVP), kompleks yang terbentuk dengan iodium dan sering disebut PVP-I, melepaskan iodium dari kompleks secara bertahap, memberikan sifat germisidal iodium tetapi juga memiliki keuntungan tambahan, yaitu tidak mengubah warna atau memi. Iodium sangat efektif melawan berbagai jenis bakteri, spora, cendawan, dan virus. Larutan iodium biasanya digunakan untuk membersihkan kulit, terutama sebelum operasi.

b) Klor dan persenyawaannya

Salah satu disinfektan yang paling umum digunakan adalah klor, baik dalam bentuk gas maupun dalam persenyawaan kimia yang dikenal sebagai “senyawa klor”. Gas klor yang telah dimampatkan menjadi cairan digunakan secara luas untuk membersihkan persediaan air kotamadya. Karena sulit ditangani dan berpotensi berbahaya, penggunaan gas ini memerlukan peralatan khusus untuk menanganinya. Banyak bahan klor lainnya tersedia yang lebih mudah digunakan dan masih berfungsi sebagai disinfektan. Beberapa di antaranya akan dijelaskan di bawah ini.

c) Hipoklorit

Banyak senyawa yang digunakan baik di rumah maupun di bisnis, termasuk kalsium hipoklorit ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ) dan natrium hipoklorit ( $\text{NaOCl}$ ). Kedua senyawa ini tersedia dalam bentuk bubuk atau larutan cair dengan konsentrasi yang berbeda,

tergantung pada tujuan yang diinginkan. Produk yang mengandung 5-70% kalsium hipoklorit biasanya digunakan untuk membersihkan peralatan susu dan peralatan makan di restoran. Larutan yang mengandung 1% kalsium hipoklorit digunakan untuk keperluan kesehatan pribadi dan sebagai disinfektan di rumah tangga. Larutan yang lebih tinggi, yang berkisar antara 5-12%, digunakan sebagai pemutih dan disinfektan di rumah tangga, serta dalam industri susu dan pengolahan makanan.

d) Kloramin

Penggantian satu atau lebih atom hidrogen dalam gugusan amino senyawa dengan klor dikenal sebagai klor. Salah satu yang paling sederhana adalah monokloramin, tetapi azokloramida dan kloramin-T adalah dua dari beberapa senyawa germisidal dalam kategori ini yang memiliki struktur kimia yang lebih kompleks. Kloramin memiliki stabilitas yang jauh lebih tinggi daripada hipoklorit, yang berarti mereka dapat melepaskan klor lebih lama daripada hipoklorit. Ini adalah salah satu keunggulan kloramin.

4) Logam berat dan persenyawaannya

Mikroorganisme mengalami kerusakan akibat sebagian besar logam berat dalam bentuk unsur dan persenyawaan. Tembaga, perak, dan merkuri adalah yang terbaik.

a) Logam berat (aksi oligodinamik)

Dalam jumlah sangat kecil, logam tertentu, terutama perak, memiliki kemampuan untuk membunuh bakteri. Ini disebut aksi oligodinamik, berasal dari kata Yunani “oligos” yang berarti kecil dan “dynamis” yang berarti kekuatan. Dengan menempatkan sepotong logam bersih, seperti perak atau tembaga, dalam cawan yang telah diinokulasi, fenomena ini dapat diamati di laboratorium. Setelah diinkubasi, area penghambatan di sekitar logam akan terlihat, yang tidak mengizinkan pertumbuhan bakteri.

Hanya beberapa ppm (persejuta) logam yang diperlukan untuk menghasilkan penghambatan ini.

b) Persenyawaan logam berat

Banyak persenyawaan logam berat bersifat antiseptik atau germisidal. Logam berat yang mengandung merkuri, perak, dan tembaga memiliki sifat antimikroba yang paling kuat. Salah satu cara logam berat dan senyawanya bekerja adalah dengan mendenaturasi protein. Sebagai contoh, penghambatan merkuri klorida berkonsentrasi pada enzim yang mengandung sulfhidril.

5) Deterjen

a) Deterjen

Deterjen adalah bahan pembersih atau pengurang tegangan permukaan yang biasa digunakan untuk membersihkan permukaan benda. Sabun adalah contohnya, tetapi hanya berfungsi dengan air keras. Oleh karena itu, bahan pembersih baru yang lebih efektif, yang dikenal sebagai surfaktan atau deterjen sintesis, telah dikembangkan. Zat ini tidak bereaksi dengan mineral dalam air keras dan tidak mengendap baik dalam air asam maupun alkalin, sehingga tidak membentuk endapan. Selain itu, sabun dan deterjen tertentu memiliki sifat antimikroba.

Secara kimiawi, deterjen diklasifikasikan sebagai berikut:

- 1) Deterjen kationik (berionisasi) adalah jenis deterjen yang berionisasi dan memiliki sifat deterjen yang terletak pada kation. Natrium lauril sulfat adalah salah satu contohnya.
- 2) Deterjen anionik (berionisasi) adalah jenis deterjen yang berionisasi dan memiliki sifat deterjen yang terletak pada anion.

b) Persenyawaan amonium kuartener

Senyawa-senyawa anionik tidak seganas kelompok deterjen kationik ini. Sejumlah besar bahan kimia yang termasuk dalam

kategori ini telah dibuat dan dipelajari untuk mengetahui apakah mereka dapat digunakan secara nyata sebagai bahan disinfektan, antiseptik, dan sanitasi. Tiga jenis utama senyawa amonium kuartener ini adalah zephiran (benzalkonium klorida), pemerol (benzetonium klorida), dan ceepryn (setilpridinium klorida).

Persenyawaan kuartener ini memiliki daya bakterisidal yang sangat tinggi terhadap bakteri gram positif dan sedikit kurang terhadap bakteri gram negatif. Konsentrasi bakterisidal berkisar dari pengenceran per seribu sampai satu per beberapa ratus ribu. Senyawa-senyawa kuartener menunjukkan efek bakteristatik pada larutan yang jauh lebih encer daripada yang dibutuhkan untuk menunjukkan bakterisidal yang efektif. Persenyawaan kuartener juga aktif terhadap cendawan dan protozoa, tetapi virus tampaknya lebih resisten. Meskipun telah digunakan secara luas sebagai antiseptik kulit dan sebagai bahan sanitasi di tempat-tempat makan dan minum, perusahaan-perusahaan, dan pengolahan makanan, persenyawaan kuartener memiliki beberapa keterbatasan. Persenyawaan ini tidak dapat menghalangi atau membunuh spora bakteri dan cendawan; mereka juga tidak dapat membunuh bakteri TBC. Aktivitas kuartener dapat dikurangi oleh penggunaan sabun, deterjen anionik, dan bahan organik. Larutan encer dari persenyawaan kuartener dapat terkontaminasi. Telah disarankan berbagai cara yang menjelaskan aksi antimikrobia persenyawaan kuartener, termasuk penghambatan enzim, denaturasi protein, dan kerusakan membran sel yang menyebabkan bocornya komponen-komponen sel aktif.

#### 6) Aldehyde

##### a) Aldehyde

Dua persenyawaan aldehhide, glutaraldehide dan formaldehide, dapat digunakan untuk mengontrol populasi

mikroorganisme.

b) **Glutaraldehyde**

Persenyawaan ini merupakan dialdehide jenuh dengan rumus bangun. Aktivitas antimikrobal yang luas ditunjukkan dalam larutan glutaraldehyde 2%. menghadapi sel vegetatif bakteri, cendawan, spora bakteri, dan virus. Dia membersihkan peralatan medis seperti peralatan urologis (yang digunakan untuk pemeriksaan saluran kemih), alat-alat berlensa, dan perlengkapan medis lainnya. Namun, kondisi steril membutuhkan waktu perawatan yang sama.

c) **Formaldehide**

Gas stabil pada suhu tinggi dan konsentrasi tinggi. Pada suhu kamar, polimerisasi terjadi dan membentuk zat padat. Paraformaldehide, polimer yang paling penting, akan segera dipanaskan untuk menghasilkan formaldehide. Selain itu, formalin, larutan yang mengandung 37–40% formaldehide, diperdagangkan. Fromalin memiliki kekuatan antimikrobal. Dalam ruang tertutup dan pada suhu yang tepat, uap formaldehide akan membersihkan benda-benda. Salah satu sifat buruk formaldehide adalah dapat menyebabkan iritasi kulit dan merusak uapnya.

7) **Kemosterilisator gas**

a) **Kemosterilisator gas**

Banyak produk saat ini dibuat dari bahan yang tidak dapat dibersihkan dengan suhu tinggi atau kemosterilisator cairan. Untuk bahan-bahan seperti itu, sterilisasi kimiawi dengan gas sangat efektif. Selama proses tersebut, bahan dipanaskan dengan gas pada suhu kamar di ruang tertutup. Setelah perawatan, gas dapat dikeluarkan dengan menggunakan mudak.

b) **Etilenoksida**

Zat kimia ini adalah persenyawaan organik sederhana dengan

formula  $C_2H_4O$ . Itu berbentuk cair pada suhu di bawah  $10,8^\circ C$ , tetapi akan menguap dengan cepat di atas suhu ini. Etilenoksida adalah zat steril yang efektif. Zat ini biasanya digunakan untuk membersihkan benda-benda di rumah sakit, industri, dan laboratorium yang peka terhadap panas atau lembap.

## 2. Antibiotik dan Zat Kemoterapeutik Lain

Zat kemoterapeutik adalah bahan kimia yang digunakan untuk mengobati atau mencegah penyakit menular. Mereka bisa berasal dari tumbuhan, mikroorganisme, atau disintesis di laboratorium kimia. Istilah “antibiotik” biasanya digunakan untuk membedakan senyawa alami ini dari senyawa sintesis. Untuk menjadi zat kemoterapeutik yang efektif, suatu bahan kimia harus memiliki tingkat toksisitas yang selektif, yang berarti ia dapat menghambat atau membunuh parasit tanpa merusak sel inang secara signifikan atau sama sekali. Kemampuannya untuk menembus sel dan jaringan inang tanpa mengganggu pertahanan sel inang alami adalah syarat lain yang penting untuk zat kemoterapeutik yang efektif.

### a. Zat Antibiotik Kemoterapeutik

Sebuah zat antibiotik kemoterapeutik ideal memiliki karakteristik berikut:

- 1) Harus memiliki kemampuan untuk menghancurkan dan menghentikan mikroorganisme yang dapat menimbulkan ancaman. Jika jenis dan jumlah mikroorganisme yang dipengaruhi lebih besar, antibiotik berspektrum luas bekerja lebih baik terhadap banyak spesies.
- 2) Tidak menyebabkan pertumbuhan parasit yang resisten.
- 3) Tidak menyebabkan efek samping yang tidak diinginkan pada inang, seperti reaksi alergi, kerusakan saraf, iritasi ginjal, atau iritasi saluran gastrointestinal.

- 4) Mengganggu flora mikroba normal pada inang dapat mengganggu “keseimbangan alamiah” dan memungkinkan mikroba biasa yang tidak patogenik atau bentuk patogenik yang semula dikendalikan oleh flora normal untuk menimbulkan infeksi baru. Misalnya, penggunaan antibiotik berspektrum luas selama waktu yang lama dapat menghapus flora bakteri normal tetapi tidak menghapus *Monilia*, atau cendawan, dari saluran pencernaan. *Monilia* dapat menyebabkan infeksi dalam hal ini.
- 5) Harus dapat diberikan melalui mulut tanpa mengganggu asam lambung, atau dapat diberikan melalui suntikan (parenteral) tanpa terikat pada protein darah.
- 6) Harus larut dalam zat alir tubuh.
- 7) Harus memiliki konsentrasi antibiotik yang cukup tinggi dalam jaringan atau darah untuk mencegah atau membunuh penyebab infeksi.

### **Penisilin**

Penisilin adalah antibiotik modern pertama yang masih dianggap sebagai salah satu yang paling efektif dan paling sering digunakan. Penisilin adalah kelompok senyawa yang memiliki struktur yang sama tetapi memiliki sifat dan aktivitas yang berbeda. Cincin  $\beta$ -laktam-thiazolidin adalah inti yang sama di semua jenis penisilin; jenis rantai samping yang berbeda membuat penisilin unik. Penisilin diklasifikasikan sebagai antibiotik  $\beta$ -laktam dari sudut pandang kimia.

### **Penisilin sintesis**

Studi mendalam tentang sifat kimia penisilin alami telah menunjukkan bahwa persenyawaan tersebut memiliki suatu inti bersama yang disebut asam  $\beta$ -aminopenisilinat. Hal ini mendorong pengembangan metode pembiakan yang dapat

menghasilkan persenyawaan inti dalam jumlah besar, yang kemudian dapat ditambahkan rantai samping yang berbeda melalui reaksi kimiawi. Barang yang dihasilkan dengan cara ini disebut penisilin semisintesis. Fenitisilin adalah salah satu penisilin semisintesis yang dibuat untuk digunakan secara klinis.

Cara kerja:

Penisilin mencegah asam N-asetilmuramat yang dibuat di dalam sel bergabung ke dalam struktur mukopeptide, yang biasanya menjadi kaku pada dinding sel bakteri. Ini mencegah pembentukan dinding sel bakteri. Fakta bahwa penisilin hanya bekerja pada bakteri yang tumbuh dengan aktif menunjukkan mekanisme kerja ini. Antibiotik ini akan menumbuhkan sel bakteri yang peka penisilin yang sangat besar dan tidak biasa. Sitoplasma dapat masuk melalui tonjolan pada dinding sel yang dikenai penisilin. Karena lisis, sel kehilangan sitoplasmanya, meninggalkan “hantu” membran sitoplasma.

### **Sefalosporin**

Sefalosporin adalah kelompok antibiotik yang dibuat oleh jenis cendawan laut yang disebut *Cephalosporium acremonium*. Kelompok bahan kimianya mirip dengan  $\beta$ -laktam, atau penisilin. Berbagai jenis sefalosporin semisintetik telah dibuat dengan sukses, dan beberapa di antaranya memiliki manfaat medis. Mereka melawan berbagai bakteri, termasuk bakteri gram positif dan gram negatif. Ketahanannya terhadap enzim penisilinase dan beberapa jenis sefalosporin dalam kondisi pH asam adalah keuntungan tambahan.

Cara kerja:

Sefalosporin, seperti penisilin, bertindak sebagai bakterisidal dengan menghambat sintesis dinding sel bakteri.

### **Streptomisin**

Waksman dan rekannya mengisolasi bakteri tanah *Streptomyces griseus* pada tahun 1944, yang menghasilkan streptomisin. Penemuan ini sangat penting karena sifat antibiotiknya, khususnya terhadap basilus TBC. Streptomisin kemudian menjadi antibiotik utama untuk kemoterapi TBC. Sayangnya, resistensi terhadap obat ini berkembang dengan sangat cepat, dan toksisitasnya selama penggunaan jangka panjang mengurangi efektivitas pengobatan TBC. Streptomisin, di sisi lain, masih dianggap sebagai salah satu dari beberapa obat utama untuk pengobatan TBC. Streptomisin memiliki kemampuan untuk membunuh berbagai bakteri gram positif dan gram negatif, dan ini memiliki kemampuan untuk mengobati TBC secara efektif.

Cara kerja:

Streptomisin melakukan fungsi antimikrobiaalnya dengan bergabung dan mengubah subunit ribosom, menghentikan sintesis protein. Aminoglikoside lain dari kelompok ini melakukan hal yang sama.

### **Tetrasiklin**

Tiga jenis antibiotik, tetrasiklin, klortetrasiklin, dan oksitetrasiklin, memiliki kemiripan sifat biologis dan kimiawi. Ketiganya disebut tetrasiklin. Bakteri *Streptomyces* adalah sumber antibiotik ini. Mereka memiliki spektrum antimikrobia yang mirip dan dikenal sebagai antibiotik spektrum luas; Organisme yang tahan terhadap salah satunya memiliki kecenderungan yang lebih besar untuk tahan terhadap yang lainnya. Ini digunakan untuk menyembuhkan infeksi yang disebabkan oleh berbagai jenis bakteri gram negatif dan positif. Persenyawaan-persenyawaan ini tidak sama dalam hal stabilitas, toksisitas, dan afinitas terhadap protein.

Cara kerja:

Tetrasiklin berfungsi dengan mencegah RNA (juga dikenal sebagai RNA transfer aminoasil) terikat pada lokasi tertentu di ribosom selama pemanjangan rantai peptide. Akibatnya, sintesis protein juga mengalami kesulitan.

### **Eritromisin**

Pada tahun 1952, Selman Waksman menemukan Eritromisin dalam produk metabolik galur *Streptomyces erythereus* yang diisolasi dari tanah Filipina. Eritromisin, salah satu anggota kelompok antibiotik makrolida, bersama dengan anggota lain oleandomisin dan spiramisin, memiliki struktur molekuler yang mengandung cincin lakton yang terikat pada gula amino melalui ikatan glikosida. Eritromisin dapat membunuh sebagian besar bakteri gram positif dan beberapa bakteri gram negatif. Antibiotik ini juga dapat membunuh bakteri yang telah menjadi resisten terhadap streptomisin dan penisilin. Eritromisin biasanya diberikan kepada pasien yang alergi terhadap penisilin.

Cara kerja:

Selama proses sintesis protein, eritromisin dapat berinteraksi dengan subunit ribosom, menghentikan urutan reaksi normal.

### **Kloramfenikol (kloromisetin)**

Kloramfenikol adalah antibiotik yang sangat efektif melawan berbagai jenis bakteri, termasuk bakteri gram positif dan gram negatif. Antibiotik ini biasanya aman untuk mamalia jika diberikan sesuai resep medis, tetapi mereka dapat menyebabkan masalah serius pada beberapa pasien. Karena itu, hanya menggunakan kloramfenikol jika antibiotik lain tidak dapat mengobati infeksi dengan baik.

Cara kerja:

Dengan bergabung dengan subunit-subunit ribosom,

kloramfenikol menghambat sintesis protein.

### **Polimiksin dan basitrasin**

Kelompok antibiotik yang berasal dari spesies genus *Bacillus* memiliki banyak karakteristik biologis dan kimiawi yang mirip. *Bacillus polymyxa* menghasilkan polimiksin, dan *B. Subtilis* menghasilkan basitrasin. Polipeptide adalah kategori kimiawi dari antibiotik-antibiotik ini. Basitrasin aktif terhadap bakteri positif tetapi tidak terhadap bakteri gram negatif, sedangkan polimiksin aktif terhadap banyak bakteri gram negatif.

Cara kerja:

Basitrasin menghambat sintesis struktur dinding sel bakteri dan dapat memengaruhi integritas membran sitoplasma, sementara polimiksin merusak struktur dinding sel bakteri. Membran sel tidak dapat berfungsi sebagai perintang osmotik setelah antibiotik bergabung dengannya.

### **Antibiotik antifungal (nistatin, grisefulvin, amfoterisin B)**

Nistatin adalah antifungal yang efektif dalam pengobatan infeksi fungal yang tidak sistemik. Nistatin dibuat oleh galur *Streptomyces noursei*. Nilai antimikrobia nistatin terbatas pada khamir dan cendawan lain. Antibiotik ini biasanya digunakan untuk mengobati infeksi khamir.

Cara kerja:

Nistatin bergabung dengan sterol dalam membran sel untuk merusak sel khamir dan cendawan lainnya. Ini menyebabkan organisasi yang kacau di dalam struktur molekular membran dan gangguan pada fungsinya. Nistatin tidak efektif pada bakteri karena steroid tidak termasuk dalam membran bakteri.

**b. Zat Kemoterapeutik Sintetis**

Zat kimia lain yang disintesis sepenuhnya di laboratorium kimia dapat digunakan untuk mengobati penyakit tertentu. Antibiotik disintesis sepenuhnya atau sebagian oleh sel hidup, tetapi ini berbeda. Kelompok pertama zat kemoterapeutik adalah sulfonamide dan nitrofurantoin. Beberapa persenyawaan khusus termasuk isoniazid, atau hidrazide asam isonikotinat, dan asam nalidiksat.

**Sulfonamide**

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya di bab ini, penemuan bahwa sulfonamide memiliki efek kemoterapi telah mendorong sintesis banyak persenyawaan yang mirip dengan sulfonamide. Sulfonamide sangat baik untuk mengobati infeksi luka, demam, rematik, endokarditis (peradangan pada membran yang melapisi rongga jantung), dan infeksi saluran pernafasan yang disebabkan oleh streptokokus dan stafilokokus serta infeksi saluran kemih yang disebabkan oleh organisme gram negatif.

Cara kerja:

Banyak bakteri membutuhkan asam p-aminobenzoat (APAB) untuk mensintesis koenzim esensial asam folat. APAB adalah bagian struktural dari molekul asam folat. Karena molekul APAB dan sulfonamide hampir identik, sulfonamide bekerja dengan cara bersaing dengan APAB selama reaksi, sehingga dapat mencegah sintesis asam folat, komponen penting dari sel. Fungsi koenzim asam folat juga mencakup sintesis pirimidin dan purin. Namun, sulfonamide tidak akan menghentikan pertumbuhan sel yang mensintesis sendiri asam folat, tetapi akan menghentikan pertumbuhan sel yang membutuhkan asam folat secara alami. Sifat antibakteri sulfonamide yang selektif disebabkan oleh hal ini, yang membuatnya berguna dalam pengobatan berbagai jenis

penyakit menular.

### **Nitrofuran**

Furfural adalah prototipe turunan (derivatif) nitrofuran. Ini dapat dibuat dari sekam gandum, bubur bit, kulit kacang, tongkol, tangkai jagung, dan hasil sampingan sayur-mayur lainnya. Sifat antibakteri fulfural meningkat ketika gugusan nitro ditambahkan ke kedudukan nomor 5 cincin furan. Nitrofuran biasanya bertindak terhadap berbagai bakteri gram positif dan gram negatif, beberapa protozoa yang menyebabkan penyakit, dan beberapa cendawan yang menyebabkan infeksi superfisial pada hewan dan manusia.

### **Hidrazide asam isonikotinat (isoniazid)**

Isoniazid memiliki banyak penggunaan dalam pengobatan penyakit, meskipun terbatas. Mereka memengaruhi mikrobakteri, sebuah kelompok mikroorganisme, dan melakukan penghambatan kompetitif. Antibiotik ini telah terbukti sangat efektif dalam pengobatan TBC pada manusia; diberikan bersama streptomisin, mereka paling efektif.

### **Asam nalidiksat**

Infeksi saluran kemih yang disebabkan oleh bakteri gram negatif dapat diobati dengan asam nalidiksat, sebuah obat kemoterapeutik. Setidaknya sebagian, aktivitas antimikrobiahnya dikaitkan dengan penghambatan sintesis DNA.

## **c. Resistensi terhadap Antibiotik**

Organisme mengembangkan ketahanan terhadap obat-obatan untuk menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan baru. Faktor tertentu dapat menyebabkan tubuh mengembangkan resistensi obat. Sebagai contoh, suatu organisme mungkin mengembangkan penisilinase, suatu enzim yang menginaktifkan penisilin. Sebaliknya, beberapa galur bakteri yang biasanya rentan dapat menunjukkan resistensi terhadap penisilin. Produksi penisilinase

oleh galur mikroorganisme yang secara genetik teradaptasi juga berkontribusi pada resistensi ini.

#### **d. Menetapkan Keefektifan Zat Kemoterapeutik**

Tingkat kerentanan terhadap antibiotik berbeda untuk setiap jenis mikroorganisme. Kepekaan organisme terhadap antibiotik tertentu juga dapat berubah selama pengobatan. Oleh karena itu, sangat penting bagi para ahli di klinik untuk mengetahui jenis mikroba dan antibiotik tertentu yang dapat memberikan hasil pengobatan terbaik. Oleh karena itu, kerentanan organisme terhadap berbagai antibiotik diuji oleh laboratorium mikrobiologi klinis. Selama terapi, mungkin diperlukan untuk mengamati perubahan dalam kerentanan patogen terhadap obat yang digunakan, dan bahkan mungkin diperlukan untuk mengukur kadar antibiotik dalam cairan tubuh.

##### Uji kerentanan

Teknik pengenceran tabung (*tube dilution*) atau teknik cawan kertas (*paper disk plate*) dapat digunakan untuk mengetahui seberapa rentan suatu mikroorganisme terhadap antibiotik dan zat kemoterapeutik lainnya. Teknik pengenceran tabung menetapkan jumlah zat kemoterapeutik terkecil yang diperlukan untuk menghentikan pertumbuhan organisme *in vitro*. Jumlah ini dikenal sebagai konsentrasi hambatan minimum (KHM), juga dikenal sebagai konsentrasi hambatan minimal.

#### **e. Uji Kadar Antibiotik Secara Mikrobiologis**

Di antara metode kimia, fisika, dan biologi, uji biologis adalah yang paling sederhana untuk mengukur kemampuan antibiotik dalam sampel atau jumlah antibiotik murni. Ini diukur dengan membandingkan jumlah sel yang mati atau bakteristasis yang terjadi pada organisme uji dengan jumlah sel yang mati atau bakteristasis yang disebabkan oleh bahan uji.

Dalam penelitian mereka pada tahun 2015, Yudianti dan rekannya meneliti seberapa efektif sterilisasi panas kering dan rebus tingkat tinggi dalam mencegah pertumbuhan bakteri *E. coli*. Mereka menggunakan instrumen penelitian mereka:

- 1) Metode sterilisasi panas kering menggunakan alat yang baru dirilis. Teknologi ozon memberikan ruang di bagian atas untuk benda yang tidak tahan panas, dan sinar inframerah digunakan di bagian bawah untuk peralatan yang tahan panas. Lama proses sterilisasi dipengaruhi oleh suhu ruang yang seragam (hingga 1500°C). Mungkin melakukan pemanasan kering, desinfeksi, dan pembersihan sekaligus.
- 2) Metode desinfeksi rebus dengan sterilisator basah adalah yang terbaik. Glasswool dapat menyekat panas dan mengurangi jumlah panas yang terbuang. Menggunakan air selama proses pemrosesan alat.

Diperoleh hasil:

Tabel menunjukkan jumlah *E. coli* yang ditemukan pada sampel yang telah disterilkan dengan panas dan kering (koloni atau lapang pandang).

No. Sampel	Observasi Hari						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	3	3	3
3	0	1	2	2	6	6	6
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	2	5	6	6	6

Tabel di atas menunjukkan bahwa pada sampel sterilisasi panas kering:

- 1) Koloni bakteri *E. coli* tidak berkembang pada semua sampel dalam 24 jam pertama setelah alat diproses; paling awal koloni berkembang pada hari kedua setelah pemrosesan alat.

- 2) Ada dua sampel yang sama sekali tidak mengalami pertumbuhan bakteri maupun jamur mulai dari hari pertama hingga hari ketujuh setelah pemrosesan alat.
- 3) Rata-rata jumlah koloni bakteri E.coli pada setiap sampel adalah tiga koloni.
- 4) Pada hari keenam dan ketujuh setelah pemrosesan alat, tidak terjadi pertumbuhan koloni baru dari bakteri E.coli pada sampel.

Tabel Jumlah E. Coli pada Sampel Dekontaminasi Tingkat Tinggi dengan Teknik Rebus

No. Sampel	Observasi Hari						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	0	2	9	17	32	72	72
2	1 + hifa jamur	1 + hifa jamur	1 + hifa jamur	4 + hifa jamur	25 + hifa jamur	26 + hifa jamur	26 + hifa jamur
3	1	4	6	11	17	18	18
4	0	0	0	0	1	1	1
5	0	3	4	4	4	4	4

Tabel di atas menunjukkan bahwa pada sampel desinfeksi tingkat tinggi teknik rebus:

- 1) Salah satu dari lima sampel yang diproses dalam 24 jam pertama setelah pemrosesan alat menunjukkan pertumbuhan koloni bakteri E.coli;
- 2) semua sampel ditumbuhi koloni E.coli, bahkan satu sampel ditumbuhi oleh hifa (bentuk jamur) selain bakteri E.coli.
- 3) Jumlah koloni bakteri E.coli rata-rata adalah 24 koloni per sampel.
- 4) Koloni bakteri E.coli yang baru tidak berkembang pada sampel pada hari ketujuh setelah pemrosesan alat.

Sehingga didapatkan hasil:

- 1) Efektifitas sterilisasi panas kering:
  - a) Sampel tidak menunjukkan pertumbuhan bakteri E.coli

- dalam 24 jam pertama setelah pemrosesan perangkat;
- b) Dua sampel tidak menunjukkan pertumbuhan bakteri *E.coli* dari hari pertama hingga tujuh setelah pemrosesan perangkat; dan
  - c) Rata-rata, setiap sampel memiliki tiga koloni bakteri *E.coli*.
  - d) Tidak ada pertumbuhan koloni bakteri *E.coli* baru pada hari keenam dan ketujuh setelah pemrosesan perangkat.
- 2) Efektifitas desinfeksi tingkat tinggi teknik rebus:
- a) Dua dari lima sampel telah tumbuh koloni bakteri *E.coli* dalam 24 jam pertama setelah pemrosesan alat.
  - b) Setiap sampel mengalami pertumbuhan koloni bakteri *E.coli*, dengan satu sampel tambahan mengalami pertumbuhan hifa (morfologi jamur).
  - c) Rata-rata, setiap sampel memiliki 24 koloni bakteri *E.coli*.
  - d) Koloni baru bakteri *E.coli* tidak berkembang pada sampel pada hari ketujuh setelah pemrosesan alat.
  - e) Jika dibandingkan dengan metode desinfeksi tingkat tinggi menggunakan metode merebus, panas kering berhasil menghentikan pertumbuhan koloni bakteri *Escherichia coli*.

## Rangkuman

Sterilisasi menghancurkan semua bentuk kehidupan. Secara mikrobiologi, suatu objek dianggap steril ketika tidak terkontaminasi oleh mikroorganisme yang hidup. Sterilisasi membasmi mikroorganisme di tempat yang terinfeksi dan mencegah pembusukan dan kerusakan bahan oleh mikroorganisme. Mikroorganisme dapat dihilangkan, dihambat, atau dihancurkan dengan menggunakan teknik fisik, bahan kimia, antibiotik, dan zat kemoterapeutik lainnya. Setiap teknik dan alat memiliki batas waktu yang terbatas untuk digunakan. Beberapa metode sterilisasi termasuk pengendalian mikroorganisme secara fisik,

penggunaan bahan kimia, antibiotik, dan zat kemoterapeutik lainnya, serta pembuatan kemoterapeutik.

### Soal Pilihan Ganda

1. Pengendalian mikroorganisme dapat dikatakan penting karena menyangkut masalah kesehatan manusia. Berikut yang termasuk alasan utama pentingnya pengendalian mikroorganismenya, kecuali....
  - a. Mencegah penyebaran penyakit
  - b. Membasmi mikroorganisme pada inang yang terinfeksi
  - c. Mencegah terjadinya luka
  - d. Mencegah terjadinya pembusukan
  - e. Mencegah kerusakan bahan oleh mikroorganisme
2. Mikroorganisme dapat disingkirkan, dihambat, atau dibunuh dengan sarana atau proses fisik, atau bahan kimia. Proses yang menghancurkan bentuk kehidupan mikroorganisme disebut....
  - a. Disinfektan
  - b. Antiseptik
  - c. Sterilisasi
  - d. Germisida
  - e. Bakterisida
3. Waktu terpendek yang diperlukan untuk membunuh suspensi bakteri (atau spora) pada suhu tertentu di bawah kondisi tertentu dikenal sebagai waktu terpendek yang diperlukan untuk membunuh suspensi bakteri (atau spora) adalah....
  - a. Waktu kematian termal
  - b. Thermal death time
  - c. Waktu pengurangan desimal
  - d. A dan B benar
  - e. Semua benar

4. Proses sterilisasi yang menggunakan ruang uap berdingding rangkap yang diisi dengan uap jenuh bebas udara dan disimpan pada suhu dan tekanan tertentu selama periode waktu tertentu dikenal sebagai proses sterilisasi....
  - a. Panas kering
  - b. Panas basah
  - c. Pembakaran
  - d. Uap bertekanan
  - e. Sterilisasi bertahap
5. Susu, rum (cream), dan beberapa minuman yang mengandung alkohol biasanya diberi perlakuan panas untuk mematikan tipe-tipe mikroorganisme. Perlakuan ini dikenal dengan....
  - a. Pasteurisasi
  - b. Air mendidih
  - c. Pembakaran
  - d. Uap bertekanan
  - e. Pendinginan
6. Ciri- ciri suatu disinfektan yang idel antara lain, kecuali....
  - a. Aktivitas mikrobial
  - b. Kelarutan
  - c. Stabilitas
  - d. Tidak bersifat racun
  - e. Heterogenitas
7. Kelompok-kelompok bahan kimiawi yang dapat digunakan untuk membunuh mikroorganisme adalah....
  - a. Fenol dan persenyawaan fenolat
  - b. Kalsium karbonat
  - c. Aluminium
  - d. Hidrogen peroksida
  - e. Liquid

8. Persenyawaan alkohol yang bersifat paling bakterisidal adalah....
  - a. Etil alkohol
  - b. Metil alkohol
  - c. Butil alkohol
  - d. Nonil alkohol
  - e. Propana alkohol
9. Zat kimia yang digunakan untuk mengobati penyakit menular (kemoterapi) atau mencegah penyakit (kemoprofilaksis) disebut....
  - a. Zat terapeutik
  - b. Antiseptik
  - c. Zat kemoterapeutik
  - d. Germisida
  - e. Herbisidal
10. Suatu antibiotik kemoterapeutik yang ideal hendaknya memiliki sifat, kecuali....
  - a. Harus mempunyai kemampuan untuk merusak atau menghambat mikroorganismepatogen spesifik
  - b. Tidak membunuh bakteri
  - c. Tidak mengakibatkan berkembangnya bentuk-bentuk resisten parasit
  - d. Tidak menimbulkan efek samping yang tidak dikehendaki pada inang
  - e. Memiliki taraf kelarutan yang tinggi dalam zat alir tubuh

### Esai

1. Jelaskan maksud dari proses sterilisasi!
2. Jelaskan cara sterilisasi dengan menggunakan uap bertekanan!
3. Sebutkan 5 macam pengendalian mikroorganismese secara fisik!
4. Sebutkan dan jelaskan 2 macam jenis penisilin!
5. Jelaskan cara kerja dari sefalosporin?

BAB  
3

# Media Perbenihan dan Pertumbuhan Bakteri

**Tujuan Instruksional Umum:**

Mahasiswa mampu mengenal dan menjelaskan berbagai media yang digunakan dalam inokulasi mikroorganisme secara teori.

**Tujuan Instruksional Khusus:**

Menjelaskan pengenalan media hidup mikroorganisme, fungsi media pertumbuhan dan jenis-jenis media

## A. Media Perbenihan

Media perbenihan adalah media nutrisi yang disiapkan untuk menumbuhkan bakteri di skala laboratorium. Beberapa bakteri dapat tumbuh dengan baik di media perbenihan, tetapi bakteri lain membutuhkan media khusus. Media perbenihan harus mengandung energi seperti karbon, nitrogen, sulfur, fosfor, dan faktor pertumbuhan organik.

Beberapa bakteri yang diinokulasikan pada media perbenihan disebut inokulum, sedangkan bakteri yang dapat tumbuh dan berkembang biak dalam media perbenihan disebut biakan bakteri.

Media perbenihan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

1. Harus mengandung nutrisi yang tepat untuk bakteri yang dibiakan secara khusus.

2. Harus memiliki tingkat kelembapan yang cukup, pH yang tepat, dan kadar oksigen yang cukup.
3. Media perbenihan harus steril dan tidak mengandung mikroorganisme lain.
4. Media diinkubasi pada suhu yang ditetapkan

Bakteri dapat berkembang biak pada media padat dengan menambahkan agar (kompleks polisakarida yang dibuat dari ganggang laut yang mencair pada suhu sekitar 100 derajat Celcius) ke media pertumbuhan dan tetap cair pada suhu 40 derajat Celcius. Setelah dipanaskan dalam tangas air pada suhu 50 derajat Celcius, media agar cair dapat diletakkan di atas bakteri tanpa membunuh bakteri. Agar yang telah membeku dapat digunakan untuk menginkubasi bakteri yang mampu berkembang biak pada suhu sekitar 100 derajat Celcius, di mana agar belum mencair kembali. Sifat ini memungkinkan pertumbuhan bakteri termofilik.

Media agar dapat dimasukkan ke dalam tabung reaksi atau cawan petri. Agar miring, juga dikenal sebagai agar miring, dimasukkan ke dalam tabung reaksi dengan posisi tabung miring, membuat permukaan media agar miring lebih luas untuk pertumbuhan bakteri daripada permukaan agar tegak.

## **B. Jenis-jenis Media Pertumbuhan Bakteri**

Menurut Radji (2009), jenis-jenis media pertumbuhan bakteri dibagi menjadi sebagai berikut.

### **1. Media Sintetik**

Bakteri kemoheterotrof ditanam dalam media ini. Fastidious, seperti *Lactobacillus*, adalah organisme yang membutuhkan banyak faktor pertumbuhan. Bakteri ini biasanya digunakan untuk mengetahui jumlah vitamin tertentu yang ada dalam suatu bahan.

Uji kadar vitamin mikrobiologis harus menggabungkan semua faktor pertumbuhan bakteri yang diperlukan. Setelah itu, bakteri, media, dan bahan uji disatukan, dan pertumbuhan bakteri diamati. Pertumbuhan bakteri dalam bahan uji sebanding dengan jumlah vitamin. Semakin banyak sel *Lactobacillus* yang berkembang, semakin banyak asam laktat yang dihasilkan, dan semakin banyak vitamin yang diuji yang ada di dalam media.

## **2. Media Kompleks**

Media pembenihan ini umumnya digunakan di laboratorium. Media ini mengandung nutrisi tinggi yang berasal dari ekstrak ragi, ekstrak tumbuhan atau daging, dan protein sederhana dari sumber lain. Sumber nutrisi untuk pertumbuhan bakteri terdiri dari vitamin, mineral, dan bahan organik lain yang diperoleh dari ekstrak daging atau ragi. Bakteri menggunakan protein sebagai sumber energi setelah mengubahnya menjadi asam amino melalui penggunaan enzim atau asam. Nutrient broth adalah media kompleks cairan, dan nutrient agar adalah yang ditambahkan agar.

## **3. Media Anaerob**

Mengurangi media memungkinkan pertumbuhan bakteri anaerob yang membutuhkan media khusus. Media mengandung natrium tioglikolat, dan di dalam tabung reaksi terdapat media anaerob. Bagian media anaerob tertentu mengandung oksigen, sedangkan bagian dasar tabung tidak mengandung oksigen. Media dipanaskan perlahan sebelum digunakan untuk menghilangkan oksigen yang terserap.

Bakteri anaerob yang diinokulasikan dalam media agar di dalam cawan petri diinkubasi dalam bejana anaerob. Oksigen ditransfer atau dihilangkan dari bejana anaerob melalui proses berikut:

- a. Bejana anaerob ditutup rapat setelah sachets yang berisi bahan kimia natrium bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) dan natrium borohidrida

( $\text{NaBH}_4$ ) dibasahi dengan beberapa mililiter air. Hidrogen karbondioksida akan dibuat ketika bahan kimia dan air berreaksi, mengikat oksigen di bejana anaerob, membentuk  $\text{H}_2\text{O}$  dengan katlisator paldium. Karbon dioksida juga membantu pertumbuhan bakteri anaerob.

- b. Metode lain yang dapat digunakan untuk membuat lingkungan anaerob adalah dengan menggunakan enzim oksirase, yang merupakan enzim yang dibuat oleh membran plasma bakteri tertentu dan mengubah oksigen menjadi air. Jika enzim oksirase ditambahkan ke dalam media pertumbuhan, akan dihasilkan oxyplate, yang sendirinya bersifat anaerob.
- c. Media biakan khusus

Banyak bakteri tidak dapat berkembang biak dalam lingkungan buatan laboratorium. Misalnya, *mycobacterium leprae*: sampai saat ini, bakteri *mycobacterium leprae* masih hidup di dalam tubuh binatang armadillo, yang memiliki suhu tubuh yang cukup rendah untuk memungkinkan pertumbuhan bakteri.

Laboratorium klinik biasanya memiliki metode untuk membiakan bakteri aerob yang membutuhkan  $\text{CO}_2$  dari udara.

Beberapa cara untuk meningkatkan jumlah  $\text{CO}_2$  yang diperlukan untuk pertumbuhan bakteri termasuk:

- 1) Menggunakan jar lilin, atau stoples lilin; jar ini tertutup dan kedap dan berisi lilin yang menyala saat diinkubasi. Kadar  $\text{CO}_2$  meningkat ketika lilin menyala. Bakteri akan dimasukkan ke dalam stoples yang ditutup kedap dengan lilin menyala. Selama proses pembakaran lilin, oksigen yang terkandung dalam stoples akan diproduksi, dan api lilin akan mati jika jumlah oksigen yang ada dalam stoples mencapai tingkat terendah, meskipun jumlah oksigen tersebut masih cukup untuk pertumbuhan bakteri. Bakteri yang membutuhkan

konsentrasi CO<sub>2</sub> tertinggi mirip dengan keadaan di dalam saluran usus, di mana bakteri patogen dapat bertahan hidup.

- 2) Kantong yang menghasilkan CO<sub>2</sub> Dalam kasus di mana hanya satu atau dua biakan cawan petri yang akan diinkubasi, metode ini digunakan. Kantong plastik kecil memiliki generator gas kimia yang dapat mengeluarkan karbondioksida yang dibutuhkan dengan membasahi kantong plastik atau dengan air militer. Metode ini sering digunakan untuk membiakan bakteri seperti *Campylobacter*.
- d. Media selektif dan diferensial

Media selektif dan diferensial digunakan dalam mikrobiologi kesehatan dan klinik untuk mengidentifikasi bakteri yang terkait dengan penyakit atau sanitasi yang buruk. seperti bismut sulfite untuk membedakan *salmonella typhi* dari tinja. Bismut sulfit menghalangi banyak bakteri gram-positif dan bakteri intestin gram-negatif.

Secara khusus, warna hijau brilian dapat menghentikan bakteri gram positif. Untuk mengisolasi salmonela, senyawa ini digunakan sebagai bahan dasar media greenagar yang berkilau. Untuk membedakan jamur, dextrose agar Sabouraud dengan pH 5,6 digunakan karena sebagian besar bakteri tidak dapat tumbuh pada pH ini.

Koloni bakteri yang diinginkan dapat dibedakan dari koloni bakteri lain yang tumbuh pada lempeng media yang sama dengan media diferensial. Para ahli mikrobiologi sering menggunakan agar darah, media yang mengandung sel darah merah, untuk mengidentifikasi spesies bakteri yang menghancurkan sel darah merah. *Streptococcus pyogenes* adalah salah satu dari spesies yang menyebabkan infeksi saluran nafas. Bakteri ini memiliki kemampuan untuk melesis sel darah merah, menyebabkan area

jernih di sekitar koloni mereka yang dikenal sebagai betahemolisis.

Satu jenis media biasanya menggabungkan fitur selektif dan diferensial. Sebagai contoh, *Staphylococcus aureus* mampu bertahan dalam konsentrasi natrium klorida yang cukup tinggi, sehingga dapat mengubah manitol menjadi asam. Oleh karena itu, media garam manitol yang mengandung 7,5 persen natrium klorida dapat digunakan untuk mengisolasi *Staphylococcus aureus* dari bakteri lain. Media ini juga mengandung indikator perubahan pH yang mengidentifikasi pembentukan asam selama pertumbuhan bakteri, yang membedakan *Staphylococcus aureus* dari bakteri yang tidak meragi manitol.

Media lain yang selektif dan diferensial, seperti macConkey agar, mengandung asam empedu dan kristal yang menghambat perkembangan bakteri gram-positif. Karena media ini juga mengandung laktosa, bakteri gram-negatif yang menghasilkan asam dari metabolisme laktosa dapat dibedakan dari bakteri jenis yang tidak meragi laktosa, dan bakteri yang meragi laktosa sangat berguna untuk membedakan salmonela patogen dari bakteri lain yang berkerabat.

e. Media pengayaan

Karena bakteri biasanya terdapat dalam jumlah yang sangat sedikit dan hampir tidak berkembang jika ada mikroorganisme lain yang tumbuh dengan lebih baik, media pengayaan digunakan untuk mengisolasi bakteri yang sangat sedikit. Media cair biasanya digunakan untuk pengayaan ini. Ini mirip dengan media selektif tetapi dimaksudkan untuk meningkatkan jumlah tipe bakteri yang diinginkan sehingga dapat dideteksi. Bakteri tertentu di dalam biakan campuran dipertahankan melalui penggunaan media ini.

Untuk membedakan mikroorganisme yang berasal dari tanah, seperti bakteri yang mampu tumbuh dalam fenol,

sampel tanah dimasukkan ke dalam media pengayaan yang mengandung fenol sebagai satu-satunya sumber karbon dan energi. Akibatnya, mikroorganisme yang tidak dapat metabolisme fenol sebagai sumber energi tidak dapat tumbuh dengan baik. Biakan dipindahkan ke labu lain dengan media yang sama setelah beberapa hari inkubasi. Bakteri yang mampu mengmetabolisme fenol akan tumbuh di labu yang baru ini.

Untuk mempercepat pertumbuhan bakteri, tahapan pengayaan dilakukan dengan menyebarkan biakan pengayaan terakhir di atas media padat yang memiliki komposisi yang sama dengan media cair. Ketika biakan pengayaan terakhir disebarkan di atas media padat, hanya koloni yang mampu menggunakan fenol yang bertahan tumbuh. Aspek lain dari teknik ini adalah bahwa fenol bersifat toksik terhadap sebagian besar bakteri.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Anisah dan Rahayu (2015), yang merupakan penelitian eksperimen menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan 2 faktor perlakuan. Faktor 1 adalah jenis bakteri yaitu bakteri *Escherichia coli* (bakteri gram negatif) dan bakteri *Staphylococcus aureus* (bakteri gram positif). Faktor 2 adalah jenis media yaitu media dari umbi garut, umbi gembili, umbi ganyong, dan media nutrient agar sebagai media control. Pelaksanaan penelitian ini diawali dengan pembuatan ekstrak umbi ganyong, umbi gembili, dan umbi garut sebanyak 300 gr dalam 1000 ml aquades, kemudian dilanjutkan dengan membuat media dengan menambahkan gula (Gulaku) 10 gr dan agar (Swallow) 15 gr kedalam ekstrak dan setelah itu media disterilisasi agar terbebas dari mikroba. Selanjutnya sampel bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* diencerkan sebanyak  $10^{-4}$  dan diinokulasi pada media perlakuan dengan metode spread plate kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam.

Setelah inkubasi dihitung total jumlah bakteri dengan metode TPC (Total Plate Count) secara langsung.

Hasil penelitian tentang media pertumbuhan bakteri alternatif yang menggunakan berbagai sumber karbohidrat menunjukkan hasil berikut:

**Tabel 1. Hasil pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus***

Perlakuan	Populasi Bakteri (CFU/ml)
B1M0	6,21 x 10 <sup>7</sup>
B1M1	7,53 x 10 <sup>7</sup>
B1M2	6,86 x 10 <sup>7</sup>
B1M3	5,49 x 10 <sup>7</sup>
B2M0	4,02 x 10 <sup>7</sup>
B2M1	8,17 x 10 <sup>7</sup>
B2M2	4,26 x 10 <sup>7</sup>
B2M3	5,13 x 10 <sup>7</sup>

Keterangan:

- (B1) Bakteri *Escherichia coli*,
- (B2) Bakteri *Staphylococcus aureus*,
- (M0) media nutrient agar,
- (M1) media umbi ganyong,
- (M2) media umbi gembili,
- (M3) media umbi garut.

Hasil di atas menunjukkan bahwa perawatan dengan umbi ganyong menghasilkan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* yang paling banyak.

Proses perawatan bakteri *Escherichia coli* sebagai uji menunjukkan hasil yang baik pada media alternatif yang menggunakan berbagai sumber karbohidrat, seperti umbi ganyong, umbi gembili, dan umbi garut. Pada media umbi ganyong, populasi bakteri tertinggi mencapai 7,53 x 10<sup>7</sup> CFU/ml, sedangkan pada media umbi gembili, populasi bakteri mencapai 6,86 x 10<sup>7</sup> CFU/ml. Terakhir, pada media umbi

garut, populasi bakteri mencapai jumlah CFU yang paling rendah.

Hasil menunjukkan bahwa ketika bakteri *Staphylococcus aureus* digunakan sebagai bahan uji, populasi bakteri tertinggi ditemukan pada media umbi ganyong dengan populasi bakteri  $8,17 \times 10^7$  CFU/ml; populasi bakteri tertinggi ditemukan pada media garut dengan populasi bakteri  $5,13 \times 10^7$  CFU/ml; populasi bakteri tertinggi ditemukan pada media umbi gembili dengan populasi bakteri  $4,26 \times 10^7$  CFU/ml; dan populasi bakteri terendah ditemukan pada media nutrient agar (kontrol) dengan populasi bakteri  $4,02 \times$ .

Karena koloni yang terbentuk umumnya menyebar dan berukuran besar (*spreader*), pembentukan spreader dapat mempengaruhi jumlah populasi bakteri karena koloni bakteri berkumpul menjadi satu. Hasil perlakuan umbi ganyong, gembili, dan garut dengan media alternatif juga berbeda. Kandungan nutrisi dan tingkat kematangan umbi pada masing-masing media memengaruhi perbedaan ini.

### **Rangkuman:**

Media nutrisi yang disiapkan untuk menumbuhkan bakteri dalam skala laboratorium disebut media perbenihan. Media perbenihan harus memiliki sumber karbon, nitrogen, sulfur, fosfor, dan faktor pertumbuhan organik yang diperlukan untuk pertumbuhan bakteri. Inokulum adalah kumpulan bakteri yang diinokulasikan pada media perbenihan. Bakteri biakan adalah bakteri yang berkembang biak di media perbenihan.

Jenis – jenis media pertumbuhan bakteri yaitu:

1. Media sintetik: Media ini digunakan untuk pertumbuhan bakteri kemoheterotrof.
2. Sumber media yang kompleks: Media perbenihan ini umumnya digunakan di laboratorium. Media ini mengandung nutrisi tinggi yang berasal dari ekstrak ragi, daging, atau tumbuhan, serta protein

sederhana dari sumber lain.

3. Media anaerob: Penanaman bakteri anaerob membutuhkan media khusus yang disebut *reducing media*. Natrium tioglikolat ditemukan dalam media ini.

### Soal Pilihan Ganda

1. Media perbenihan harus dapat menyediakan energi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan bakteri, media harus mengandung....
  - a. Oksigen
  - b. Sulfida
  - c. Nitrogen
  - d. Karbon monoksida
  - e. Bakteri
2. Sejumlah bakteri yang diinokulasi pada sebuah media perbenihan disebut....
  - a. Biakan bakteri
  - b. pH
  - c. fosfor
  - d. inokulum
  - e. agar
3. Media perbenihan adalah media nutrisi yang disiapkan untuk menumbuhkan bakteri di dalam skala laboratorium. Di bawah ini manakah yang termasuk syarat media perbenihan?
  - a. Harus mengandung nutrisi yang tepat untuk bakteri spesifik yang dibiakan
  - b. Media diinkubasi pada suhu tetinggi
  - c. Media diinkubasi pada suhu rendah
  - d. Kelembapan yang tinggi dan pH yang sesuai
  - e. Media perbenihan mengandung mikroorganisme

4. Jika ingin menumbuhkan bakteri pada media padat, hal yang harus di tambahkan pada media pertumbuhan adalah....
  - a. Agar
  - b. Nitrogen
  - c. Mikroorganisme
  - d. Sulfur
  - e. Karbon
5. Media agar dapat dituang di atas bakteri dan tidak mematikan bakteri. Media agar dipanaskan dalam tangas air bersuhu....
  - a. 100 °C
  - b. 50 °C
  - c. 40 °C
  - d. 90 - 100 °C
  - e. 50 - 60 °C
6. Media yang digunakan untuk menumbuhkan bakteri kemoheterotrof yaitu....
  - a. Media agar
  - b. Mediaa sintetik
  - c. Mediaa kompleks
  - d. Media anaerob
  - e. Media selektif
7. Sebelum digunakan media ini dipanaskan terlebih dahulu perlahan– lahan untuk menghilangkan oksigen yang terserap?
  - a. Media agar
  - b. Mediaa sintetik
  - c. Mediaa kompleks
  - d. Media anaerob
  - e. Media selektif
8. Cara yang digunakan untuk menaikkan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang dibutuhkan untuk pertumbuhan bakteri adalah....

- a. Stoples lilin
  - b. Kantong penghasil karbon
  - c. Kantong penghasil CO<sub>2</sub> dan *briliant green*
  - d. Media pengayaan
  - e. Media sintetik
9. Dalam mikrobiologi kesehatan dan klinik, media yang digunakan untuk mendeteksi ada tidaknya bakteri spesifik yang berhubungan dengan penyakit atau sanitasi yang buruk adalah....
- a. Media selektif dan diferensial
  - b. Media pengayaan
  - c. Media anaerob
  - d. Media kompleks
  - e. Media sintetik
10. Media yang mengandung asam empedu dan kristal yang menghambat pertumbuhan bakteri Gram-positif adalah....
- a. Media selektif dan diferensial
  - b. Media pengayaan
  - c. Media anaerob
  - d. Media kompleks
  - e. Media sintetik

### Esai

1. Sebutkan syarat media perbenihan!
2. Sebutkan dan jelaskan minimal 3 jenis media pertumbuhan bakteri!
3. Jelaskan cara untuk menaikkan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang kamu ketahui!
4. Apa yang Anda ketahui tentang media pengayaan jelaskan!
5. Apa yang dimaksud dengan tahapan pengayaan?

BAB  
4

# Teknik Pewarnaan Bakteri dan Identifikasi Bakteri

**Tujuan Instruksional Umum:**

Mahasiswa mampu menjelaskan tentang teknik pewarnaan bakteri dan identifikasi bakteri.

**Tujuan Instruksional Khusus:**

Menjelaskan penggolongan bakteri berdasarkan cara pewarnaan, jenis-jenis pewarnaan bakteri, cara identifikasi bakteri secara kasat mata

**B**akteriologi adalah bidang ilmu yang mempelajari tentang bakteri. Bakteri adalah mikroba dengan dinding sel yang melindungi protoplast yang terdiri dari membran sitoplasma, yang memiliki komponen dalam seperti ribosom dan kromosom. Bakteri adalah kelompok protista prokariotik.

Bakteri dapat diberi nama menggunakan kaidah pemberian nama organisme umum, yaitu nomenklatur binomial, dengan menggunakan dua buah kata yang berdasarkan sifat-sifat bakteri. Genus bakteri menunjukkan huruf besar (kapital), sedangkan spesies menunjukkan nama spesies. Kedua kata harus ditulis miring (*italic*) atau digarisbawahi (*underline*). Sebagai contoh, basilus dan anthrax adalah genus bakteri yang mengandung arti “batang”, yang berarti bakteri ini berbentuk batang. Sedangkan kata kedua menunjukkan spesies bakteri yang menyebabkan penyakit tersebut, yaitu penyakit anthrax.

## Struktur Bakteri

Kapsul, flagel, pili, membran sitoplasma, ribosom, dinding sel, nukleoid (atau inti sel sederhana), dan nukleoid adalah bagian penting dari bakteri.

Secara garis besar fungsi dari bagian-bagian sel diuraikan di bawah ini:

1. *Flagel* (bulu cambuk), merupakan bagian dari bakteri yang berbentuk benang yang berfungsi sebagai alat gerak, yang terbuat dari bahan yang terdiri dari protein yang disebut *flagelin*.
2. *Mesosom*, merupakan bagian dari bakteri yang berfungsi menghasilkan ATP (*Adeno Tri Posphat*).
3. *Septum*. Septum adalah sekat yang melintang yang merupakan bagian dalam sel.
4. *Nukleus* (inti sel), merupakan benda yang paling penting. Sebab, di dalam *nucleus* ada kromosom yang berperan dalam pembelahan sel, sering kali ditemukan *nukleolus* (anak inti sel).
5. *Ribosom*. Organel ini berperan sebagai tempat berlangsungnya sintesa protein.
6. *Pili*, disebut juga *fimbriae*. Alta ini biasanya ditemukan di kuman gram negatif. Ada dua jenis pili, yaitu: pertama, pili memegang peranan dalam adhesi kuman dengan sel tubuh hospes. Kedua, pili berfungsi dalam *konjugasi* dua kuman (disebut *seks pili*).
7. *Kapsul*. Sebagian besar bakteri mempunyai kapsul, yaitu lapisan yang dikelilingi sel. Bakteri yang berkapsul umumnya lebih tahan terhadap efek fagositosis, misalnya *Streptococcus mutan* yang dapat membentuk pluge pada gigi sehingga menyebabkan karies gigi.
8. *Dinding sel*. Fungsi dinding sel antara lain:
  - a. Menjaga tekanan osmotik. Berperan dalam proses pembelahan sel.
  - b. Melaksanakan sendiri biosintesis.

- c. Untuk membentuk dinding sel.
  - d. Merupakan determinan dan antigen.
  - e. Pada kuman negatif gram salah satu lapisannya mempunyai kegiatan **endotoksin** yang spesifik.
9. Membran sitoplasma berfungsi antara lain:
- a. Menjadi tempat perpindahan makanan secara selktif.
  - b. Pada kuman aerob merupakan tempat transport dan oksidasi posfor.
  - c. Mengandung enzim dan molekul-molekul yang berfungsi pada biosintesis DNA polimerase dan lipid.
  - d. Mengandung reseptor protein.

### **Ukuran Bentuk dan Struktur Bakteri**

Bakteri berukuran bergantung pada spesiesnya dan fase pertumbuhannya. Harus menggunakan mikroskop yang lebih canggih karena bakteri sangat kecil dan sulit diamati dengan mikroskop biasa. Ukuran bakteri berkisar antara beberapa mikron dan diukur dalam satuan mikron (mikron ( $\mu$ ) = 0,001 mm). Bakteri dapat diklasifikasikan berdasarkan letak flagel, ketahanan terhadap asam, dan reaksi gram, selain bentuk (morfologi) dan struktur bakteri yang digunakan untuk mengklasifikasikan mereka.

### **Klasifikasi Bakteri**

1. Klasifikasi Bakteri berdasarkan Letak Flagel :
  - a. *Monotrichate* (monotrika)
  - b. *Amptricate* (amfitrikal)
  - c. *Lapotricate* (lapotrika)
  - d. *Peritricate* (peritrika)
  - e. *Non motile atau atrichate* (atrika)

## 2. Klasifikasi berdasarkan Bentuk Luar

Bakteri mempunyai empat jenis dasar bentuk luar (morfologi), yaitu spherical (coccus), rod Bacillus, spiral, dan square. Satu jenis bakteri yang memiliki berbagai bentuk disebut pleomorfi. Acetobakteria, bakteri asam cuka.

Pembelahan adalah cara mikroba dapat berkembang. Ada banyak cara pembelahan sel dan mikroba terjadi, termasuk:

- a. Pembelahan *binair* secara melintang
- b. *Konjunggasi* adalah pekerjaan bergabung bersama

## Bakteri Penyebab Penyakit pada Manusia

Dua jenis bakteri yang mempunyai dampak cukup luas yang sering ditemukan di masyarakat, yaitu *Treponema* dan *Neisereria gonorhea*.

### 1. *Treponema sp.*

Bentuk luar kuman *Treponema sp.*: tubuhnya berlapis-lapis dengan ujung tajam. Spesies dan contoh kuman ini adalah *Treponema pallidum*.

### 2. *Neisseria gonorrhoeae*

Kuman *Neisseria gonorrhoeae* berbentuk bundar dan tidak bergerak. Ini adalah diplococcus, gram negatif, dan berukuran sekitar 0,9 mikron.

## A. Penggolongan Bakteri Berdasarkan Cara Pewarnaan

Bakteri berasal dari bacterion (Bahasa Yunani), yang berarti tongkat atau batang, menurut Sukesri et al. (2017). Nama ini digunakan untuk menyebut kelompok mikroorganisme yang bersel satu, tidak berklorofil, dan berkembang biak dengan membelah diri sekecil yang dapat dilihat dengan mikroskop. Cristian Gram menemukan teknik pengecatan gram pada tahun 1884. Bakteri diklasifikasikan menjadi gram positif dan gram negatif berdasarkan sifatnya terhadap cat gram.

1. Bakteri gram positif tahan terhadap alkohol pada pengecatan gram, sehingga tetap mengikat cat pertama dan tidak mengikat cat kontras, sehingga bakteri tetap berwarna ungu.
2. Bakteri gram negatif tidak tahan terhadap alkohol, sehingga warna cat pertama dilunturkan dan bakteri mengikat warna kontras, sehingga bakteri tampak merah.

Ada beberapa teori tentang dasar perbedaan kedua golongan tersebut:

1. Teori Salton

Teori ini didasarkan pada kadar lipid yang tinggi (20 %) di dalam dinding sel bakteri gram negative. Lipid ini larut selama pencucian dengan alkohol. Karena pori-pori dinding sel membesar, bakteri menjadi tidak berwarna dan zat warna yang sudah diserap mudah dilepaskan.

2. Teori permeabilitas dinding sel

Teori ini bergantung pada fakta bahwa bakteri gram positif memiliki dinding sel yang sangat tipis dengan lapisan peptidoglikan yang terdiri dari tiga puluh lapisan, sedangkan bakteri gram negatif memiliki dinding sel yang tidak kompak dengan hanya 1-2 lapisan peptidoglikan. Dinding sel yang lebih permeabel memungkinkan mereka untuk menghindari kompleks kristal yodium.

## **B. Jenis-jenis Pewarnaan Bakteri**

### **1. Pewarnaan Gram**

Prinsip kerja reaksi gram bergantung pada pewarnaan sel, yang merupakan proses yang signifikan dan dapat menghasilkan perubahan yang tidak alami. Sementara zat warna basa mewarnai sel-sel secara merata, zat warna asam tidak melakukannya. Sifat zat warna adalah garam-garam.

Untuk mengklasifikasikan bakteri berdasarkan gram, hasil akhir diwarnai. Warna biru keunguan pada hasil akhir menunjukkan bahwa bakteri tersebut adalah gram positif (+), sedangkan warna merah menunjukkan bahwa bakteri tersebut adalah gram negatif (-).

Ada beberapa pewarna yang lain yang dapat digunakan untuk membantu mengidentifikasi bakteri yang perlu diketahui, yaitu:

- a. Pewarna negatif
- b. Pewarna flagel
- c. Pewarna inti
- d. Pewarna spora
- e. Pewarna simpai.

Komposisi cat gram:

Cat Gram A	Kristal violet	2 gr
	Etil alkohol 95%	20 ml
	Amonium oksalat 1%	0,8 gr
	Akuades	80 ml
Cat Gram B	Yodium	1 gr
	Kalium Yodida	2 gr
	Akuades	300 ml
Cat Gram C	Aseton	50 ml
	Etil alkohol 95%	50 ml
Cat Gram D	Safranin	0,25 gr
	Etil alkohol 95%	10 ml
	Akuades	90 ml

## 2. Pewarnaan Tahan Asam

Bakteri tahan asam adalah bakteri yang dapat mempertahankan zat warna karbol fuchsin. Karbon fuchin adalah fuchin base yang dilarutkan dalam campuran fenol-alkohol-air. Walaupun dicuci dengan asam hidroklorida dalam alkohol, zat warna ini tetap ada.

Sebagai contoh, mycobakterium, kuman yang tahan asam, akan diwarnai merah sementara bakteri lain akan berwarna kontras. Bakteri *Basilus Tahan Asam* (BTA) dan *Basilus Tidak Tahan Asam* (BTTA) diklasifikasikan berdasarkan sifatnya yang tahan asam.

### **3. Pewarnaan Spesifik**

Pewarnaan khusus digunakan untuk membedakan berbagai jenis mikroorganisme. Misalnya, pewarnaan Ziehl Neelsen digunakan untuk mikobakterium dan pewarnaan Giemsa digunakan untuk parasit seperti malaria pada sediaan apus darah.

### **C. Cara Identifikasi Bakteri Secara Kasat Mata**

Bakteri biasanya sangat kecil sehingga diperlukan mikroskop untuk memeriksanya. Diameter coccus adalah 0,5–2,5 milimeter, panjang basil adalah 1–15 milimeter, dan lebar basil adalah 0,2–2,0 milimeter. Namun, beberapa ukuran tidak memenuhi syarat ini. Bakteri yang berumur 2 hingga 6 jam biasanya lebih kecil daripada bakteri yang berumur lebih dari 24 jam. Bakteri terdiri dari ektoplasm, sitiplasma, dan endoplasm, yang masing-masing memiliki morfologi yang berbeda. Ektoplasm terdiri dari tiga lapisan, yaitu lender, dinding sel, dan membran sel (Sukei dkk, 2017).

#### **Pemeriksaan Mikroskopik**

Sandjaja (1992) menyatakan bahwa sejumlah metode pemeriksaan mikroskopik dan skala pembacaan yang digunakan telah diidentifikasi. Penting untuk menggunakan skala yang sesuai dengan metode yang digunakan. Misalnya, jika penilaian dilakukan dengan skala IUAT, metode pemeriksaan mikroskopik juga harus dilakukan dengan skala IUAT. Hasil pewarnaan tergantung pada hasil pewarnaan, dan hasil pewarnaan sendiri sangat tergantung pada reagensia yang digunakan, terutama larutan dekolisasi dan counter stain.

Pengawasan larutan dekolorisasi dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Tersedia sediaan apus yang berasal dari biakan kuman mikobakteria.
2. Gunakan larutan dasar fuschin untuk pewarnaan sesuai dengan prosedur yang digunakan.
3. Lakukan dekolorisasi sesuai dengan prosedur yang digunakan.
4. Perhatikan gambar di bawah mikroskop. Jika mikobakteria lain yang berwarna merah sedang tidak berwarna, itu menunjukkan bahwa larutan dekolorisasi masih dalam kondisi baik.
5. Pada langkah 1, tambahkan sedikit suspensi kuman *Staphylococcus* ke suspensi kuman Mikobakteria yang telah digunakan untuk membuat sediaan apus.
6. Lakukan pewarnaan menggunakan teknik yang biasa digunakan.
7. Perhatikan gambar di bawah mikroskop. Jika mikobakteria berwarna merah dan *Staphylococcus* berwarna biru, ini menunjukkan bahwa larutan yang diwarnai masih dalam kondisi baik.

Pengawasan larutan *counter stain* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Siapkan sediaan apus dari sputum yang telah diketahui hasil pemeriksaan mikroskopiknya.
2. Genangi dengan larutan counter stain sesuai dengan prosedur yang biasa digunakan. Perhatikan di bawah mikroskop. Nukleus epitel sel yang berwarna biru dan mudah dibedakan dari sitoplasmanya menunjukkan bahwa counter stain tersebut masih dalam keadaan baik.
3. Buat sediaan apus dari sputum yang sama seperti sebelumnya.
4. Lakukan pewarnaan lengkap sesuai dengan prosedur yang biasa digunakan.
5. Hasil pewarnaan menunjukkan bahwa mikobakteria diwarnai dengan warna merah yang cukup, atau tidak terlalu banyak. Ini

menunjukkan bahwa kontras pewarnaan dalam kondisi baik.

Veibrita dalam praktikumnya melakukan pewarnaan dengan menggunakan alkohol, safranin, *Escherichia coli*, air mengalir, Kristal violet, nigrosin dan *malachitegreen*, dengan cara:

1. Pewarnaan sederhana

Setelah jarum ose dipijarkan pada lampu Bunsen, preparat ulas dibuat pada objek kaca. Setengah tetes kristal violet ditetesi pada preparat ulas, diamkan, kemudian dicuci dengan air mengalir dan diamati pada mikroskop.

2. Pewarnaan gram

Setelah jarum ose dipijarkan, bakteri *E. coli* diambil. Kemudian, untuk membuat preparat ulas pada objek kaca, teteskan kristal violet dan diamkan selama satu menit, lalu cuci dengan air mengalir. Kemudian, teteskan lugol dan diamkan selama satu menit, lalu cuci kembali dengan air mengalir. Kemudian, teteskan alkohol 95% dan diamkan selama 30 detik, lalu cuci kembali pada air mengalir. Kemudian, teteskan lagi safranin dan diamkan selama dua menit, lalu cuci kembali pada air mengalir. Kemudian dikeringkan dan diamati di bawah mikroskop.

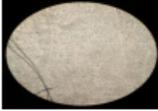
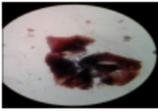
3. Pewarnaan spora

Diambil bakteri *E. coli* dengan jarum ose, dibuat preparat ulas pada kaca objek, ditutup dengan kertas saring, ditetesi malachite green, difiksasi selama 15 menit, dicuci dengan air mengalir, ditetesi safarin, dan dikeringkan. Kemudian preparat diamati di bawah mikroskop.

4. Pewarnaan negatif

Setelah bakteri *E. coli* diambil dengan jarum ose, preparat ulas dibuat pada kaca objek, ditetesi nigrosin, diratakan, dan diamati di bawah mikroskop.

Hasil yang didapatkan adalah:

No	Pewarnaan bakteri	Pengamatan
1	Pewarnaan sederhana 	Terdapat banyak bakteri yang berbentuk <i>coccus</i> , warna yang terlihat violet (ungu).
2	Pewarnaan negatif 	Terdapat banyak bakteri berwarna putih dan berbentuk batang. Latar belakang berwarna gelap.
4	Pewarnaan spora 	Terdapat banyak bakteri berbentuk batang, dan bakteri berwarna merah

Pada pewarnaan sederhana menguraikan satu jenis zat warna saja dengan dilakukan fiksasi terlebih dahulu. Saat diamati di bawah mikroskop terdapat banyak bakteri yang berbentuk basis atau batang yang bewarna ungu pada sampel cincau.

Pada pewarnaan gram termasuk pewarnaan diferensial (untuk membedakan) karena dapat membedakan bakteri-bakteri yang bersifat gram negaif. Pada pewarnaan ini didapat bakteri berwarna biru, menandakan bahwa bakteri tersebut berupa gram positif.

Pada pewarnaan negatif yang diwarnai adalah latar belakangnya sedangkan bakterinya sendiri tidak mengalami pewarnaan saat diamati di bawah mikroskop terdapat banyak bakteri berwarna putih yang ada pada sampel es teh.

Fiksasi dan pemberian safranin dilakukan saat spora diwarnai dengan malachnite hijau. Sampel es dawet mengandung spora berwarna hijau ketika dilihat di bawah mikroskop.

Bakteri biasanya tidak berwarna dan hampir tidak terlihat karena tidak kontras dengan media di mana mereka hidup. Akibatnya, pewarnaan diperlukan agar bakteri dapat dilihat dengan mikroskop.

Dalam metode gram klasifikasi bakteri, pewarna triarylmethane digunakan sebagai noda histologis kristal violet. Crystal violet memiliki sifat anti bakteri, jamur, dan obat cacing, dan digunakan sebagai zat warna primer karena mampu melekatkan bakteri pada kaca dan mencegah autolisis pada sel, membuat sel lebih kuat atau keras, mencegah globula-globula protein sel mengerut, meningkatkan sifat reaktif gugusan, dan membunuh bakteri dengan cepat tanpa mengubah bentuk dan strukturnya atau mengubah afinitas cat.

Ciri-ciri bakteri gram negatif yaitu:

1. Struktur dinding selnya tipis, sekitar 10–15 nm, berlapis tiga atau multilayer.
2. Dinding selnya mengandung lemak lebih banyak (11-22%), peptidoglikan terdapat di dalam lapisan kaku, sebelah dalam dengan jumlah sedikit 10% dari berat kering, tidak mengandung asam tekoat.
3. Kurang rentan terhadap senyawa penisilin.
4. Pertumbuhannya tidak begitu dihambat oleh zat warna dasar misalnya *crystal violet*.
5. Komposisi nutrisi yang dibutuhkan relatif sederhana.
6. Tidak resisten terhadap gangguan fisik.
7. Resistensi terhadap alkali (1% KOH) lebih pekat.

Ciri-ciri bakteri gram positif yaitu:

1. Struktur dinding selnya tebal, sekitar 15-80 nm, berlapis tunggal atau monolayer.

2. Dinding selnya mengandung lipid yang lebih normal (1-4%), peptidoglikan ada yang sebagai lapisan tunggal. Komponen utama merupakan lebih dari 50% berat ringan. Mengandung asam tekoat.
3. Bersifat lebih rentan terhadap penisilin.
4. Pertumbuhan dihambat secara nyata oleh zat-zat warna seperti *crystalviolet*.
5. Komposisi nutrisi yang dibutuhkan lebih rumit.
6. Lebih resisten terhadap gangguan fisik.
7. Resistensi terhadap alkali (1% KOH) larut.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Khamid dkk. (2012), penelitian di Laboratorium Fakultas Kesehatan Masyarakat UAD mengisolasi bakteri dari lindi sampah dapur. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil sampel 500 mililiter dari Dusun Sukunan. Uji biokimia dilakukan di Laboratorium FKM UAD hanya menggunakan uji katalase, dan identifikasi dilakukan menggunakan metode plate dengan media PCA. Hasil identifikasi ditunjukkan dalam gambar berikut:



**Gambar 1. Pengamatan Mikroskopis Isolat 1 (Perbesaran 100:10)**



Gambar 2. Pengamatan Mikroskopis Isolat 2 (Perbesaran 100:10)



Gambar 3. Pengamatan Mikroskopis Isolat 3(Perbesaran 100:10)

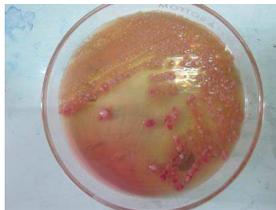
Hasil pengamatan dilakukan dengan menggunakan Identifikasi Bakteri John secara makroskopis, mikroskopis, dan biokimia di Laboratorium Fakultas Kesehatan Masyarakat UAD.

Tabel 1. Hasil Pengamatan di Laboratorium FKM UAD Tahun 2011

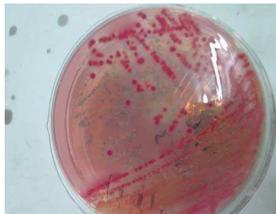
Pengamatan Isolat 1 Isolat 2 Isolat 3	Bentuk Koloni batang bulat Bulat	Warna Koloni putih, mengkilat putih, mengkilat putih, mengkilat	Motilitas +/- +/- +
Bentuk Bakteri basil basil Basil	Gram - + -	Uji Katalase + + +	Genus yang
diperkirakan	Pseudomonas	Bacillus	Escherichia/
Salmonella /	Aeromonas /	Chromobacterium	
Pengamatan Isolat 1 Isolat 2 Isolat 3	Bentuk Koloni batang bulat Bulat	Warna Koloni putih, mengkilat putih, mengkilat putih, mengkilat	Motilitas +/- +/- +

Bentuk Bakteri basil basil Basil	Gram - - -	Uji Katalase + + +	Genus yang
diperkirakan	Pseudomonas	Bacillus	Escherichia/
Salmonella /	Aeromonas /	Chromobacterium	

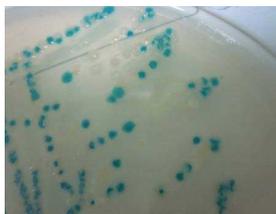
## Hasil Penelitian di Balai Laboratorium Kesehatan Yogyakarta



**Gambar 4. Pengamatan Makroskopis Isolat 1 di BLK Tahun 2011**



**Gambar 5. Pengamatan Makroskopis Isolat 2 di BLK Tahun 2011**



**Gambar 6. Pengamatan Makroskopis Isolat 3 di BLK Tahun 2011**



**Gambar 7. Pengamatan Makroskopis Isolat 4 di BLK Tahun 2011**

Hasil pengamatan secara makroskopis, mikroskopis, dan uji biokimia yang dilakukan di Laboratorium FKM-UAD dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini:

Pengamatan	uji biokimia	Isolat Bakteri	Isolat 1 Isolat 2 Isolat 3 Isolat 4	Bentuk Koloni
Kecil, bulat,	Berserabut	Bulat rata	Tidak teratur	Kecil,
berpasangan	Membentuk	Rantai	Warna Koloni	Putih
kekuningan	Abu-abu	Kemerahan	Putih abu-abu	Merah
muda/merah	Permukaan	Koloni	Halus,	mengkilat,
Halus mengkilat	Halus Halus	Bentuk Sel	Bulat	Batang,
berpasangan/	Rantai	Batang Batang	Gram + - - -	Glukosa + +/- +
Laktosa - - -	Manitol + - -	Maltosa + - +	Sukrosa - - +	H2S - - +
Motility + +/- + +	Indole + - +	Sitrat + - + +/-	Genus Streptococcus Escherichia Pseudomonas Proteus	
Pengamatan/	uji biokimia	Isolat Bakteri	Isolat 1 Isolat 2 Isolat 3 Isolat 4	Bentuk Koloni
Kecil, bulat,	Berserabut	Bulat rata	Tidak teratur	Kecil,
berpasangan	Membentuk	Rantai	Warna Koloni	Putih
kekuningan	Abu-abu	Kemerahan	Putih abu-abu	Merah
muda/merah	Permukaan	Koloni	Halus,	mengkilat,
Halus mengkilat	Halus Halus	Bentuk Sel	Bulat	Batang,
berpasangan/	Rantai	Batang Batang	Gram + - - -	Glukosa + +/- +
Laktosa - - -	Manitol + - -	Maltosa + - +	Sukrosa - - +	H2S - - +

Lindi sampah dapur di Dusun Sukunan berasal dari sisa-sisa organik dari aktivitas dapur. Setelah sampel bakteri diambil, bakteri diisolasi dan diidentifikasi untuk menentukan genus bakteri aerob.

1. Identifikasi Bakteri Aerob Tingkat Genus pada Lindi Sampah Dapur Dusun Sukunan di Laboratorium FKM UAD Penelitian ini termasuk isolasi bakteri pada media PCA (Plate Count Agar). Selanjutnya, bakteri diamati secara fisik melalui pengecatan gram dan uji motilitas dengan mikroskop. Untuk uji biokimia, uji katalase dilakukan dengan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Langkah pertama dalam pengujian dilakukan di Laboratorium FKM-UAD dengan membiak dan mengisolasi bakteri pada media PCA. Isolat yang tumbuh dari media ini kemudian diidentifikasi melalui pewarnaan gram dan uji biokimia. Bakteri gram positif dan bakteri gram negatif dapat diidentifikasi dengan menggunakan pewarnaan gram.
  - a. Isolat 1 (Pseudomonas)

Hasil uji motilitas dengan mikroskop menunjukkan apakah itu bergerak atau tidak bergerak. Uji pewarnaan gram meneteskan isolat secara berurutan dengan larutan ungu kristal (UK), larutan yodium, alkohol, dan larutan safranin. Hasil menunjukkan bahwa warna isolat bereaksi dengan larutan safranin, menyebabkan warnanya berubah menjadi merah dan dianggap termasuk bakteri gram negatif.
  - b. Isolat 2 (Bacillus)

Ciri-ciri bakteri berbentuk basil atau batang, gram positif, dan motil atau tidak motil ditemukan pada isolat 2. Uji katalase dilakukan dengan meneteskan reagen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pada isolat 2. Gelembung muncul di area yang ditetesi, yang menunjukkan hasil positif.
  - c. Isolat 3 (Escherichia/Salmonella/Aeromonas/Chromobacterium)

Isolat 3 menunjukkan tanda-tanda bakteri gram negatif, motil, berbentuk koloni bulat, atau basil atau batang. Ada gelembung pada area yang ditetesi reagen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> menunjukkan hasil uji katalase positif. Hasil identifikasi bakteri dengan John's Bacterial Identification menunjukkan empat jenis bakteri yang memenuhi ciri-ciri tersebut: *Escherichia/Salmonella/Aeromonas Chromobacterium*.

## 2. Identifikasi Bakteri Aerob Tingkat Genus pada Lindi Sampah Dapur di BLK Yogyakarta

Pengujian di BLK Yogyakarta dimulai dengan penanaman atau pembiakan sampel pada media yang diperkaya atau diperkaya untuk kultur bakteri aerob. Bahan-bahan yang digunakan termasuk Broth Infusion Jantung (BHI), Broth Thioglycolate (TB), Broth Soy, dan Broth Darah. Setelah bakteri mulai berkembang, bakteri aerob diisolasi dengan menggunakan media isolasi darah agar, plat agar Mac Concey, atau plat agar azid (untuk *Streptococcus*).

### a. Isolat 1 *Enterococcus faecalis* (genus: *Streptococcus*)

Studi di BLK menunjukkan bahwa bakteri gram positif, motil, dan positif *Enterococcus faecalis* tumbuh pada media BHI broth dan Nutrient Broth NaCl 6,5 %. Spesimen bakteri aerob pada lindi hasil sampah dapur Dusun Sukunan tumbuh pada media KF *Streptococcus* Agar Plate, menunjukkan bahwa ada bakteri *Streptococcus* pada lindi, yang kemudian diidentifikasi sebagai *Enterococcus faecalis*, menurut Obire dan Agu.

### b. Isolat 2 *Escherichia coli* (genus: *Escherichia*)

Proses identifikasi bakteri *E.coli* pada lindi hasil sampah dapur Dusun Sukunan di BLK dimulai dengan spesimen diisolasi pada media isolasi. Selanjutnya, spesimen diberikan media pembiakan seperti TSI Agar, trigitol 7 agar, EMB Agar, dan Endo Agar. Uji gula menunjukkan fermentasi glukosa, manitol,

dan maltosa positif, sedangkan fermentasi laktosa dan sukrosa negatif. Uji indol positif, sementara uji H<sub>2</sub>S dan sitrat memberi hasil negatif. Selain itu, motilitas mungkin positif atau negatif. Diagnosis *Escherichia* dilaporkan oleh Madigan et al. (2003)7. Tes H<sub>2</sub>S (TSI) dan urease menunjukkan negatif *Escherichia*, uji indol menunjukkan positif, dan uji motilitas menunjukkan motilitas atau tidak motilitas.

- c. Isolat 3 *Pseudomonas putrifaciens* (genus: *Pseudomonas*)  
Ciri-ciri morfologis bakteri yang mendekati genus *Pseudomonas* adalah sebagai berikut: koloni berwarna putih susu atau agak kekuningan, bentuknya bulat, dengan tepi timbul, sel bentuk bola dengan diameter 0,5–1,5 µm. Bakteri ini terjadi satu demi satu, berpasangan, dan dalam kelompok tidak teratur. Mereka juga gram positif, tidak motil, katalase positif, oksidase negatif, dan merah metil positif. Mereka juga tumbuh dengan baik pada suhu 30–37 °C dan Hasil identifikasi isolate 3 menunjukkan bahwa uji sitrat dan motilitas isolate positif, sedangkan uji indol dan gula-gula menunjukkan hasil negatif, kecuali glukosa, yang dapat menjadi positif atau negatif.
- d. Isolat 4 *Proteus vulgaris* (genus: *Proteus*)  
Hasil identifikasi isolat 4 di BLK menunjukkan bahwa isolate berbentuk basil, gram negatif, koloni berwarna merah muda atau merah, dan uji gula negatif pada fermentasi laktos dan manitol. Uji motilitas, indol, dan H<sub>2</sub>S juga positif, dan isolate dapat menghasilkan sitrat. Fried (2007) meneliti *Proteus vulgaris* dan menemukan bahwa itu gram negatif, tidak memfermentasi laktosa, motil, menghasilkan indol, dan urease positif. Warnanya berubah menjadi merah karena reaksi alkali yang menghasilkan amonia. Penemuan ini memperkuat hasil identifikasi ini.

## Rangkuman

Metode pengecatan gram ditemukan oleh Cristian Gram pada tahun 1884. Berdasarkan sifat bakteri terhadap cat gram, bakteri dapat digolongkan menjadi Gram positif dan Gram negatif. **Bakteri Gram Positif** adalah bakteri yang pada pengecatan gram tahan terhadap alkohol sehingga tetap mengikat cat pertama dan tidak mengikat cat kontras sehingga bakteri akan tetap berwarna ungu. **Bakteri Gram Negatif** adalah bakteri yang pada pengecatan gram tidak tahan alkohol sehingga warna cat yang pertama dilunturkan dan bakteri akan mengikat warna kontras sehingga tampak merah. Jenis-jenis pewarnaan bakteri yaitu pewarnaan gram, pewarnaan tahan asam dan pewarnaan spesifik. Untuk melihat bakteri yang memiliki ukuran sangat kecil perlu menggunakan mikroskop.

## Soal Pilihan Ganda

1. Bakteriologi adalah ilmu yang mempelajari tentang...
  - a. Mikroorganisme
  - b. Virus
  - c. Fungi
  - d. Bakteri
  - e. Jamur
2. Pemberian nama pada bakteri menggunakan dua buah kata, kata pertama yang diawali dengan huruf besar (kapital) menunjukkan....
  - a. Kelas
  - b. Ordo
  - c. Famili
  - d. Genus
  - e. Spesies

3. Pemberian nama pada bakteri menggunakan dua buah kata, kata yang kedua menunjukkan....
  - a. Kelas
  - b. Ordo
  - c. Famili
  - d. Genus
  - e. Spesies
4. Bagian dari bakteri yang berfungsi menghasilkan ATP adalah....
  - a. Flagel
  - b. Mesosom
  - c. Septum
  - d. Nukleus
  - e. Ribosom
5. Fungsi dinding sel antara lain, kecuali....
  - a. Menjaga tekanan osmotik
  - b. Menghasilkan ATP
  - c. Melaksanakan sendiri biosintesis
  - d. Untuk membentuk dinding sel
  - e. Merupakan determinan dan antigen
6. Klasifikasi bakteri berdasarkan letak flagel yaitu....
  - a. *Coccus*
  - b. *Rod Bacillus*
  - c. *Lapotricate*
  - d. *Spiral*
  - e. *Pleomorfi*
7. Bakteri dengan bentuk bundar, tidak bergerak, tergolong dalam gram negatif dan bersifat *diplococcus* dan ukurannya sekitar 0,9 mikron adalah....
  - a. *Tetraponema sp.*
  - b. *Mycobacterium Tuberculosis*

- c. *Vibrio cholerae*
  - d. *Neisseria gonorrhoeae*
  - e. *Salmonella sp.*
8. Metode pengecatan gram ditemukan oleh Cristian Gram pada tahun....
- a. 1994
  - b. 1884
  - c. 1084
  - d. 1894
  - e. 1804
9. Bakteri Gram positif mempunyai susunan dinding yang kompak dengan lapisan peptidoglikan yang terdiri dari....
- a. 10 lapisan
  - b. 20 lapisan
  - c. 30 lapisan
  - d. 40 lapisan
  - e. 45 lapisan
10. Pada pengecatan gram negatif akan tampak warna....
- a. Ungu
  - b. Kebiruan
  - c. Hitam
  - d. Putih
  - e. Merah

### Esai

1. Sebutkan bagian-bagian dari sel pada bakteri minimal 5 dan jelaskan fungsinya!
2. Sebutkan minimal 3 klasifikasi bakteri berdasarkan letak flagel!
3. Jelaskan yang dimaksud dengan bakteri gram positif dan bakteri gram negatif!

4. Sebutkan dan jelaskan jenis-jenis pewarnaan bakteri!
5. Jelaskan yang dimaksud dengan teori salton dan teori permeabilitas dinding sel!

BAB  
5

# Pertumbuhan Bakteri

## **Tujuan Instruksional Umum**

Mahasiswa mampu menjelaskan tentang pertumbuhan bakteri.

## **Tujuan Instruksional Khusus**

Penjelasan pertumbuhan bakteri, kurva pertumbuhan, dan hal-hal yang terjadi di setiap fase.

## **A. Penjelasan Pertumbuhan Bakteri**

### **1. Bentuk, Ukuran, dan Pembelahan**

Dengan volume sel yang meningkat lebih cepat daripada daerah permukaannya, ukuran dan bentuk sel hidup sangat penting untuk nutrisi dan reproduksi sel. Selama pertumbuhan sel bulat atau lonjong, rasio volume sel terhadap permukaan sel harus sampai pada titik kritis untuk menyediakan makanan. Sangat jelas bahwa ketika volume melampaui kapasitas permukaan sel, diperlukan pembaharuan diperlukan. Salah satu cara untuk mengatasi hal ini adalah dengan membelah menjadi dua sel anak. Jika pembelahan sel terjadi lebih cepat daripada volume sel, rasio volume terhadap permukaan akan menurun sampai titik minimum yang telah ditetapkan sebelumnya melalui penambahan jumlah sel. Hal ini menyebabkan sel-sel muda berkembang dengan cepat. Contohnya, dalam fase eksponensial, biasanya sel muda lebih kecil daripada sel yang tua, sel yang tidak

membelah (tidak aktif), atau sel sesaat sebelum membelah.

## 2. Pertumbuhan Tanpa Pembelahan

Pembelahan tidak selalu dikaitkan dengan pertumbuhan bakteri. Banyak spesies bakteri memiliki bentuk batang karena faktor-faktor eksrogen membuat mereka tidak dapat membelah bahan inti, pertumbuhan dinding, membran, dan isi sel, meskipun mereka tetap tidak membelah. Hasilnya adalah terbentuknya filamen panjang yang tidak bersekat. Beberapa hal yang menghambat pembelahan sel termasuk radiasi ultraviolet, beberapa antibiotik, efek nitrisari, mutasi, serta sabun dan garam empedu. Ini dapat menghentikan pembentukan septum, tetapi tidak menghentikan pertumbuhan.

## 3. Tolok Ukur Pertumbuhan Bakteri

Di alam bebas, seperti tanah dan air, jumlah mikroorganisme selalu berubah mengikuti kondisi lingkungan. Perbedaan jumlah mikroorganisme dapat diprediksi sebelumnya menggunakan “hukum-hukum biologi” yang umum digunakan ketika biakan di laboratorium berada dalam kondisi fisis dan khemis seragam dan ideal.

Penambahan jumlah dalam hubungan dengan waktu menentukan tolok ukur pertumbuhan (multiplikasi) bakteri dan mikroorganisme uniseluler lainnya. *Escherichia coli* ditanam dalam 50 mililiter medium steril dengan suhu 35° Celcius. Cairan yang mengandung sekitar 10 sel bakteri umum yang ditemukan dalam usus ditanam di dalamnya. Bakteri kolon ini dikumpulkan dari biakan yang telah lama disimpan di lemari es dan dieramkan pada suhu 35° Celcius. Metode beraturan digunakan untuk menghitung jumlah bakteri yang ditemukan dalam jangka waktu tertentu dengan mengambil sejumlah biakan bulion (misalnya 1 mililiter).

Jumlah yang ditemukan diplot dalam hubungan dengan waktu. Oleh karena itu, suatu kurva muncul. Sangat mungkin untuk

menghitung jumlah bakteri, baik secara langsung atau tidak langsung, atau untuk menghitung jumlah total bakteri atau jumlah bakteri yang masih hidup.

#### 4. Cara Menghitung Bakteri

Menurut Irianto (2006), cara menghitung bakteri dapat dilakukan dengan:

a. Menghitung secara langsung

Ketepatan setiap perhitungan bakteri berkurang seiring dengan peningkatan konsentrasi sel-sel; hal yang sama berlaku untuk perhitungan yang terlalu kecil.

Dalam kebanyakan kasus, bahan yang mengandung banyak bakteri (kira-kira lebih dari  $10^4$  bakteri per mililiter) biasanya diencerkan dari 1:10 sampai 1:105 atau lebih, tergantung pada bahan yang diperiksa dan metode penghitungan yang digunakan, sehingga hasil penghitungan yang diperoleh dapat diandalkan dan mudah dihitung.

Perhitungan langsung ini dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1) Menghitung sel langsung

Metode ini menggunakan hemometro atau bilik hitung yang menghasilkan perhitungan total karena semua sel dihitung, baik yang hidup maupun yang mati. Oleh karena bakteri itu kecil, perhitungan statistik dapat diterima, tetapi suspensi harus setidaknya  $10^7$  per mililiter.

2) Menghitung dari preparat pengecatan

Metode hitung secara langsung menghasilkan hitungan total. Perhitungan dilakukan dengan mengoleskan volume pada luas kaca objek yang telah diukur, kemudian dicat dengan metil biru atau cat lain yang sesuai, dan kemudian menghitung jumlah

organisme pada area tertentu yang telah diketahui luasnya. Jumlah mikroorganisme per mililiter dapat dihitung dengan mengetahui diameter bidang penglihatan dengan pengukuran sebelumnya dengan *stage micrometer*.

3) Menghitung dengan filter membran

Cairan yang telah diukur disaring menggunakan filter steril yang terbuat dari membran berpori. Bakteri tetap hidup di filter itu, lalu dihitung langsung. Jumlah bakteri dalam cairan dalam situasi ini tidak boleh berlebihan dan harus tersebar secara merata. Sebelum menghitung jumlah bakteri yang ada di dalam membran, cat digunakan untuk membuat membran menjadi transparan. Hal ini terjadi dengan penyerapan minyak yang ada di dalam membran. Metode ini digunakan untuk menghitung total.

4) Menghitung dengan alat penghitung elektronik

Alat ini dapat menghitung ribuan bakteri dalam hitungan detik. Alat ini didasarkan pada kerja lubang pengintai elektronik atau “mata elektronik”. Prosesnya bergantung pada interupsi berkas cahaya elektronik yang melintasi ruang antara dua elektron berdekatan. Oleh karena perbedaan konduktivitas sel dan cairan, tiupan partikel yang melintasi ruang mengganggu berkas cahaya elektron. Suatu alat secara elektris mencatat interupsi ini.

b. Menghitung secara tidak langsung

1) Penentuan volum total

Metode ini mirip dengan mengubah ukuran hematokrit yang merupakan ukuran volume total darah. Misalnya, dalam tabung reaksi khusus HOPKINS dimasukkan 10 mililiter biakan. Bagian bawah tabung berbentuk silinder dengan garis ukuran. Setelah organisme diukur menurut ukurannya dengan

sentrifus pada kecepatan waktu dan baku yang tepat, jumlah sel yang sebenarnya dapat diperkirakan dengan menghitung volume rata-rata masing-masing sel.

2) Metode turbidimetri

Metode ini digunakan untuk mengukur suspensi keseluruhan dengan menggunakan penyerapan dan pemancaran cahaya yang dilintaskan. Dengan demikian, suspensi yang mengandung lebih dari 10<sup>7</sup>-10<sup>8</sup> sel per milimeter akan terlihat keruh oleh mata telanjang. Suatu tabung yang jernih dengan diameter tertentu digunakan untuk menempatkan volume biakan yang telah diukur. Tabung ini terletak di antara satuan sumber cahaya dan suatu fotoelektrik dan terhubung ke galvanometer. Jumlah lintasan sumber cahaya persentasi yang ditransmisikan melalui tabung berisi biakan sebanding dengan kekeruhan tabung.

Kelemahan metode ini adalah kemungkinan kesalahan karena pengumpulan sel-sel, variasi ukuran, bentuk, dan perbedaan derajat tembus berbagai spesies atau bahan lain dalam biakan. Namun, pencarian ini adalah salah satu yang tercepat, paling mudah, dan cukup teliti. Harus diingat bahwa data kekeruhan bukanlah perhitungan jumlah bakteri. Data itu tidak dapat digunakan secara akurat seperti perhitungan yang didasarkan pada pernyataan eksponen jumlah sel. Kekeruhan dapat diwakili sebagai jumlah sel melalui perhitungan dalam hemasitometer dibandingkan dengan jumlah suspensi bakteri baku.

c. Perhitungan bakteri hidup

Seri pengenceran digunakan untuk menghitung jumlah bakteri hidup. Metode ini umumnya digunakan untuk menghitung jumlah bakteri hidup dalam berbagai cairan, seperti air, susu, biakan

cairan, dan sebagainya. Setelah dibuat, serentetan pengenceran ditanam dalam medium pembiakan bulyon untuk menghitung jumlah koloni setelah inkubasi. Jumlah bakteri per mililiter dapat dihitung setelah dikonversi sesuai dengan pengencerannya. Oleh karena pengenceran dilakukan secara lipat ganda atau desimal, yang dihasilkan hanya angka perkiraan yang disebut **Most Probable Number (MPN)**.

## B. Grafik Pertumbuhan Koloni

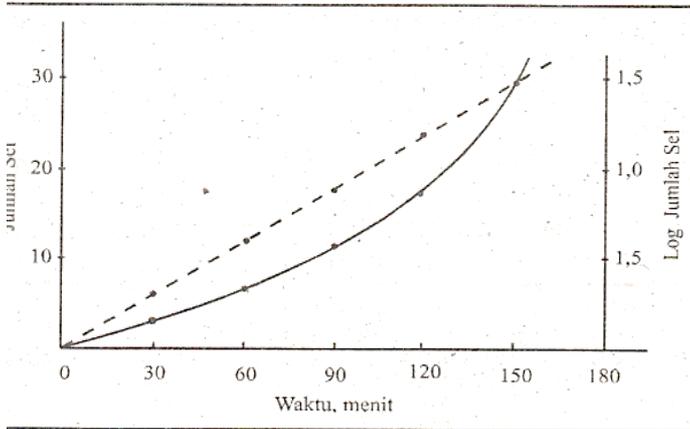
Percobaan dapat dilakukan untuk mengetahui bentuk grafik pertumbuhan koloni bakteri *Escherechia coli*, misalnya, dan ditemukan bahwa bakteri ini memecah setiap 20 menit jika medium, kebasahan, pH, dan suhu tetap stabil. Dengan demikian, jumlah *Escherechia coli* yang meningkat setelah dibiarkan berbiak selama 24 jam dapat dihitung, yaitu  $272; 272 = 22 \text{ kali } 270$  atau lebih dari 4 kali 1072. Alasan *Escherechia coli* tidak dapat ditemukan di mana pun di dunia ialah karena bakteri ini tidak dapat bertahan lama. Kematian bakteri disebabkan pakekliknya zat makan bakteri.

Selain itu, ekskresi bekteri yang bertimbun sendiri mengganggu pertumbuhan dan pembiakan. Meskipun kedua faktor tersebut dapat dihindari, fakta menunjukkan bahwa pertumbuhan koloni maksimal terjadi sebelum faktor-faktor tersebut dapat mengganggu.

Kecepatan (generasi) bakteri dalam waktu atau waktu berganda menunjukkan adanya pola pertumbuhan koloni yang sama di antara berbagai spesies. Sebagai contoh, pola ini dapat dijelaskan.

Untuk menanamkan bakteri yang cukup tua, sedikit biakan bakteri diambil. Kemudian, setelah beberapa waktu berlalu, sejumlah inokulum bakteri (seperti satu kolong kawat inokulasi berdiameter 3 mm) diambil dan disebarkan pada lempengan dalam cawan petri. Jumlah koloni yang kemudian berkembang di dalam cawan dapat

dihitung. Logaritma dari jumlah dapat ditulis pada ordinat, sedangkan kesatuan-kesatuan waktu dapat ditulis pada absis, sehingga mudah menggambar grafiknya.



Selama fase adaptasi yang terjadi satu hingga dua jam setelah pemindahan, bakteri belum melakukan pembiakan. Kemudian, jumlah bakteri mulai meningkat sedikit demi sedikit pada fase kedua (fase logaritma) saat pembiakan bakteri berlangsung paling cepat karena bakteri dalam fase ini dijadikan inokulum. Fase lambat, yang tampak sekali menurun, diikuti oleh fase pembiakan cepat.

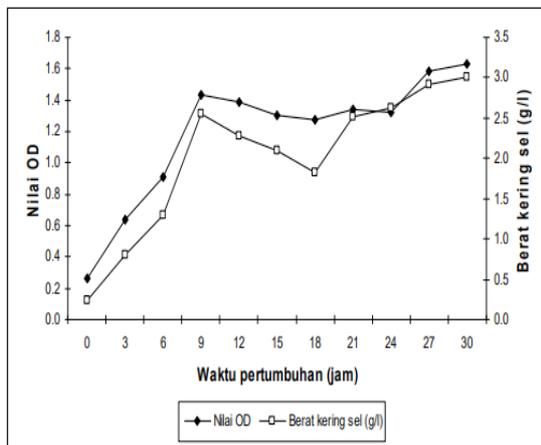
Selanjutnya, ada fase konstan saat jumlah bakteri yang berbiak sama dengan jumlah bakteri yang mati, sehingga kurva menunjukkan garis yang hampir horizontal. Fase ini diikuti oleh fase saat jumlah bakteri yang mati lebih besar daripada jumlah bakteri yang membelah diri, sehingga grafik kematian mulai menurun. Pada akhirnya, spesies, keadaan medium, dan faktor lingkungan berkontribusi pada peningkatan jumlah bakteri. Bakteri yang mengakibatkan tidak dapat dihidupkan kembali dalam media baru jika kondisi ini berlanjut. Bakteri dalam laboratorium memiliki karakteristik kehidupan yang sama.

Metode penuaan menghitung jumlah bakteri untuk membuat grafik pertumbuhan dengan menyebarkan inokulum pada lempengan agar. Setelah delapan jam, koloni bakteri yang tumbuh pada medium dapat dihitung. Koloni tidak selalu dianggap berasal dari satu bakteri. Oleh karena bakteri yang mati tidak dapat tumbuh menjadi koloni baru, metode penuaan hanya memperhitungkan bakteri yang hidup.

Metode lain untuk menghitung jumlah bakteri adalah perhitungan dengan mikroskop. Kelemahan metode ini ialah semua sel, baik yang hidup maupun yang mati, dihitung. Garis yang menanjak setelah fase konstan menunjukkan jumlah yang diperoleh melalui perhitungan koloni pada lempeng agar.

Cara ketiga adalah membuat grafik pertumbuhan dengan menggunakan turbidometer (turbid = keruh). Pada waktu-waktu tertentu, tiap sampel diukur kekeruhannya dengan turbidometer. Penjumlahan mikroskopik adalah kelemahan metode ini.

Berbagai spesies memiliki “waktu generasi” yang berbeda, terkadang hanya beberapa puluh menit, tetapi juga sampai 24 jam.



Gambar Kurva pertumbuhan Isolat T5

(Sumber: Yuliana, 2008, Kinetika Pertumbuhan Bakteri Asam Laktat Isolat T5 Yang Berasal Dari Tempoyak)

Kurva pertumbuhan di atas menunjukkan bahwa isolat BAL T5 memiliki fase adaptasi yang singkat. Oleh karena bakteri tumbuh pada media yang sama dengan media penyegaran, mereka cepat menyesuaikan diri dengan lingkungan baru. Fase ini diduga terjadi pada waktu pertumbuhan 0 hingga 3 jam pertama. Selain itu, kurva pertumbuhan menunjukkan bahwa isolat T5 memasuki fase logaritmik pada jam ke-9, yang ditunjukkan dengan pertumbuhan sel yang signifikan. Namun, fase logaritmik isolat T5 hanya berlangsung dari jam ke-0 hingga jam ke-9.

Bakteri isolat T5 memiliki nilai laju pertumbuhan spesifik ( $\mu$ ) sebesar 0,0598 jam pada waktu pertumbuhan ke-9, dengan nilai OD sebesar 1,434 dan berat kering sel sebesar 2,553 g/l. Nilai ini sangat rendah. Penelitian telah menunjukkan bahwa desain media sangat penting untuk mempercepat pertumbuhan bakteri asam laktat.

### **Faktor lingkungan yang menguasai kehidupan bakteri antara lain:**

Suhu adalah salah satu komponen paling penting yang memengaruhi pertumbuhan bakteri, berbagai aplikasi, dan kelangsungan hidup organisme hidup. Suhu yang rendah biasanya memperlambat metabolisme seluler, sedangkan suhu yang lebih tinggi meningkatkan kegiatan sel. Namun, setiap organisme memiliki batas suhu terendah dan batas suhu tertinggi yang dapat menghentikan pertumbuhan, serta suhu optimal untuk pertumbuhan dan reproduksi. Ketiga batas suhu ini dinamakan suhu kardinal (titik kardinal).

1. Suhu pertumbuhan minimum adalah suhu terendah saat organisme dapat bertahan dan tumbuh. Banyak mikroorganisme dan hampir semua bakteri dapat bertahan hidup pada suhu ini, tetapi pertumbuhannya dapat dikatakan terhenti.
2. Suhu pertumbuhan terbaik adalah suhu yang paling cepat

diperlukan untuk multiplikasi. Kebanyakan mikroorganisme mengalami pertumbuhan ini dalam rentang suhu (t-range) tertentu, bukan pada suhu tertentu. Batas tertingginya hanya beberapa derajat di bawah suhu pertumbuhan maksimum.

3. Suhu pertumbuhan maksimum merupakan suhu tertinggi yang masih memungkinkan pertumbuhan, tetapi kenaikan sedikit di atasnya dapat menyebabkan kematian mikroorganisme karena enzim menjadi non-aktif.

Berbagai jenis mikroorganisme memiliki suhu kardinal yang sangat berbeda, dengan suhu terendah hanya 5–10°C dan suhu tertinggi 70–75°C. Beberapa mikroorganisme dapat mencapai suhu pertumbuhan di bawah titik beku (-12°C), saat konsentrasi tinggi bahan larut di dalam lingkungan atau medium menemukannya. Namun, ada juga mikroorganisme yang dapat tumbuh pada suhu lebih dari 90°C, terutama di daerah yang dekat dengan daerah dingin.

Golongan	Suhu pertumbuhan (Celsius)		
	Minimum	Optimum	Maksimum
Mesofil	10 – 15	30 – 45	35 – 47
Psikrofil fakultatif	5 dan sebahawnya	25 – 30	30 – 35
Psikrofil obligat	5 dan sebahawnya	15 – 18	19 – 22
Termofil	40 – 45	55 – 75	60 – 85

Jenis mikroorganisme yang telah beradaptasi untuk bertahan hidup di lingkungan tertentu dapat diklasifikasikan sesuai dengan karakteristik khusus.

1. Golongan Mesofil

Spesies tertentu yang dapat hidup di tanah, air, dan tubuh vertebrata pada suhu 10 hingga 47°C dikenal sebagai mesofil (dari bahasa Yunani *meso* = pertengahan; *philic* = menyukai).

## 2. Golongan Psikrofil

Psikrofil (dari bahasa Yunani *psychros* = dingin) adalah mikroorganisme yang dapat tumbuh dan beradaptasi dengan kehidupan dalam air laut atau di dalam tanah yang dekat dengan titik beku (10°C-21°C). Psikrofil fakultatif adalah mikroorganisme dari golongan mesofil yang dapat tumbuh baik pada suhu rendah, sedangkan psikrofil obligat adalah bakteri laut yang telah beradaptasi seketika dengan kehidupan dalam air laut yang dalam. Oleh karena banyak bahan organik diuraikan (dihancurkan) secara bertahap dalam tanah dan samudra, mikroorganisme psikrofil sangat penting. Namun, ragi, lapuk, dan bakteri psikrofil dapat merusak makanan dan bahan lain yang disimpan dalam suhu lemari pendingin.

## 3. Golongan Termofil

Mikroorganisme yang tumbuh pada suhu lebih dari 45 hingga 50°C disebut termofil obligat (dari bahasa Yunani *thermo* = panas).

Banyak mikroorganisme, termasuk fungsi, sel-sel jaringan mamalia, dan sebagian besar jenis bakteri dan virus dapat bertahan dalam es karbondioksida (es es) selama berbulan-bulan atau bertahun-tahun meskipun tidak berkembang. Ini seperti halnya organisme spesies termofil yang hanya dapat bertahan dan tumbuh pada suhu 50°C atau lebih. Suhu yang ideal untuk pertumbuhan hampir semua jenis mikroorganisme berada di dekat titik awal maksimum dan sedikit lebih tinggi daripada suhu yang letal. Oleh karena itu, sangat penting untuk mempertahankan kondisi ini.

Banyak jenis mikroorganisme memiliki ketahanan termal pada kondisi dalam fase pertumbuhan tempat mikroorganisme itu berada. Banyak mikroorganisme tumbuh aktif (vegetatif), tetapi mereka akan mati jika berada pada suhu kira-kira 70°C selama lima menit. Spesies

termofil dapat tumbuh dengan baik pada suhu serendah-rendahnya 54°C atau lebih, tetapi beberapa di antaranya akan mati dalam waktu 10 menit. Bakteri patogen bentuk vegetatif pasteurisasi pada suhu komersial 63°C. Namun, banyak saprofit yang tahan terhadap panas dan pasteurisasi, sehingga susu yang dipasteurisasi dapat diminum, tetapi tidak steril.

Bakteri golongan termofil sangat tahan terhadap panas, bahkan beberapa di antaranya dapat bertahan selama 10 menit pada suhu 80 hingga 90 derajat Celcius. Ini membuat bakteri tahan terhadap pasteurisasi, dan karenanya beberapa spesies merupakan ancaman besar bagi industri susu.

Endoporsia dari famili *Bacillaceae* adalah jenis kehidupan yang paling tahan terhadap panas. Beberapa di antaranya dapat bertahan berjam-jam dalam suhu didih atau lebih tinggi.

Suhu panas adalah komponen penting dalam menghancurkan mikroorganisme secara artifisial. Dalam kondisi lembab, panas bergantung pada koagulasi dan denaturasi protein sel, sedangkan dalam kondisi kering, oksidasi dan penghangusan adalah kuncinya. Waktu yang diperlukan untuk membunuh bakteri dipengaruhi oleh faktor lain, seperti suhu yang lebih rendah dan waktu yang lebih pendek. Selain itu, jika ada asam, alkali, atau bahan disinfektan, kerentanan terhadap panas akan meningkat. Jika ada bahan organik seperti protein, gula, dan lemak, kerentanan akan lebih rendah.

Waktu mati termal adalah waktu yang diperlukan untuk membunuh semua bakteri spesies tertentu dalam suatu zat pada suhu yang telah ditentukan. Jumlah bakteri awal, umur, pH, cairan suspensi, tekanan osmotik, dan faktor lain yang mempengaruhinya sama dengan faktor-faktor pada titik mati termal.

a. Bahan Bentuk Gas

Jenis gas dan konsentrasi yang ada di lingkungan kita termasuk oksigen dan karbondioksida, yang sangat penting untuk kehidupan bakteri; nitrogen dan amonia diperlukan untuk siklus nitrogen; dan H<sub>2</sub>S sangat memengaruhi siklus sulfur. Selain itu, gas toksik seperti formalin dan etilenoksida digunakan untuk membunuh mikroba.

b. Tekanan Osmosis

Jika sel berada dalam lingkungan dengan tekanan osmosis lebih tinggi atau lebih rendah daripada isi sel, plasmolisis dan plasmotisis dapat terjadi. Oleh karena itu, keadaan isotonis dibutuhkan untuk mempertahankan kehidupan sel. Ini berarti bahwa tekanan osmosis seimbang diciptakan antara lingkungan dan isi sel. Cairan di sekitar sel yang memiliki tekanan osmosis yang lebih rendah disebut hipotonik. Sebaliknya, cairan di sekitar sel disebut hipertonik.

Keadaan lingkungan yang hipertonik dapat menyebabkan air tertarik ke luar sel dan berdampak mikrobiostatik pada banyak organisme. Pada pengawetan makanan seperti sirup dan asinan, aksi larutan hipertonik dapat dibandingkan dengan pengeringan yang dapat mengeluarkan air seluruhnya dari dalam sel, dan pembekuan yang mengakibatkan air dalam sel menjadi immobil. Oleh karena dinding sel yang kuat dan membran sitoplasma yang tipis mempercepat penyesuaian, banyak bakteri yang tidak begitu sensitif terhadap perubahan keseimbangan osmosis pada konsentrasi antara 0,5 dan 3%. Kecuali bakteri laut atau bakteri yang telah terbiasa hidup dalam air asin (lebih dari 3,5 persen), konsentrasi garam yang lebih tinggi membuat galur lebih sensitif.

c. Pengeringan

Meskipun mikroorganisme ini tidak berkembang, banyak spesies dapat bertahan dengan pengeringan total selama

bertahun-tahun. Makanan yang diawetkan dengan pengeringan mengandung sejumlah besar mikroorganisme hidup (dorman) yang tumbuh dan merusak makanan dengan cepat. Sebaliknya, bakteri patogen yang tidak tahan terhadap pengeringan akan mati dengan cepat. Spora adalah sel non-aklaf yang dirancang untuk menahan pengeringan yang lama.

Untuk mengawetkan biakan dalam laboratorium, organisme dapat dimasukkan ke dalam cairan yang tidak mengganggu kehidupannya atau dalam cairan pelindung seperti bulyon atau darah. Kira-kira setengah mililiter suspensi ini ditambahkan ke kertas saring, butiran keramik yang tidak diglasir, atau pasir yang telah dibersihkan sebelumnya. Kemudian, tutup botol kecil dengan kapas dan pindahkan ke dalam bejana yang mengandung bahan pengering seperti kalsium sulfat. Ini dapat diangkut dengan cepat dan mudah dalam keadaan tertutup rapat.

Secara cepat air dalam cairan suspensi dan dalam tubuh mikroorganisme tersebut akan terserap ke dalam bahan pengering. Pengeringan ini harus dilakukan dengan cepat (dengan demikian menjadi vakum) untuk menghindari sel-sel itu terlalu lama terkena efek buruk osmosis dan efek-efek yang lain karena meningkatnya konsentrasi zat-zat yang terlarut dalam cairan suspensi tersebut secara lambat. Cara yang sudah banyak dipakai adalah cara "*freeze drying*" atau liofilisasi (lyophilization). Organisme itu mula-mula disuspensikan dalam bulyon susu skim dan cairan yang lain yang cocok sebanyak 0,5-1 ml dimasukan dalam botol kaca kecil (vial) atau dalam ampul. Botol atau ampul ini dihubungkan dengan pompa vakum; dengan memberikan suasana dingin (es kering), cairan suspensi itu segera beku sebagai lapisan tipis. Dalam keadaan vakum, air segera berpindah dari keadaan padat menjadi uap tanpa mengembun oleh pompa vakum itu. Uap ini ditarik

keluar dan segera setelah itu leher ampul ditutup. Liofilisasi ini banyak dipakai dalam industri obat untuk mengawetkan antibiotik antisera dan bahan-bahan biologis lainnya.

Mikroorganisme dalam keadaan kering dapat diaktifkan dengan memindahkan mereka ke dalam medium cair yang sesuai. Ini memungkinkan biakan untuk disimpan lama, mencegah kontaminasi dan mutasi, serta mengurangi waktu dan biaya. Bakteri streptokokus patogen yang disimpan untuk referensi dan penelitian dapat bertahan selama 25 tahun, bakteri batang seperti difteri dapat bertahan selama 15 tahun, dan bakteri TBC dapat bertahan selama 17 tahun. Salah satu metode untuk menghasilkan keadaan yang disebut mikrobiostatis adalah pengeringan *in vacuo* yang dapat digunakan untuk tujuan pengawetan.

d. Keadaan Ekstrem Dingin

Banyak mikroorganisme sangat tahan terhadap suhu ekstrim, meskipun dalam bentuk vegetatif. *Spirochaeta sifilis* dan virus-virus lainnya biasanya disimpan selama bertahun-tahun dalam es karbondioksida yang beku pada suhu  $-76^{\circ}\text{C}$  atau dalam nitrogen cair pada suhu  $-198^{\circ}\text{C}$  yang infeksiusnya hanya berkurang secara kecil. Pada suhu hidrogen cair ( $-252^{\circ}\text{C}$ ), banyak spesies bakteri dan sel-sel akan tumbuh seolah-olah tidak ada dampak.

e. Efek Ion

Semua mikroorganisme, termasuk jaringan tumbuhan dan hewan, dipengaruhi oleh asam atau kebasahan cairan yang mengelilinginya. Jika dieramkan dalam inkubator pada suhu  $37^{\circ}$  Celcius, suatu larutan nutrien yang netral dan sedikit basa (yang baik untuk pertumbuhan kebanyakan mikroorganisme pada suhu kamar sekitar  $22^{\circ}$  Celcius) dapat menjadi benar-benar masam dan letal. pH larutan nutrien ditentukan pada titik didihnya dan dapat menjadi basa ketika sudah dingin. Dalam larutan masam, koagulasi

protein dapat terjadi lebih cepat. Susu yang agak masam (tidak seasam sampai mengeluarkan bau atau rasa) dapat menggumpal saat dipanaskan. Ini disebut susu pecah.

Oleh karena itu, pH medium pembiakan mikrobiologi harus diperiksa dengan cermat, biasanya pada pH 7,0; tetapi biasanya antara 6, dan 8,0, dan untuk beberapa spesies seperti *Vibrio Cholerae*, yang merupakan alkalofil, diperlukan pH 9,0. Pada pH 2,0, bakteri asidofil dapat tumbuh, tetapi beberapa bakteri tanah seperti *Agrabacterium sp.* dapat tumbuh dengan baik pada pH 12.

f. Efek radiasi

1) Inframerah

Jika inframerah diserap oleh benda yang tidak memantulkannya, energi panas yang relatif rendah akan dilepaskan, yang dapat membunuh mikroorganisme. Oleh karena sinar lembayung ultra (ultraviolet) hanya dapat menginfeksi permukaan atau film yang tipis, daya penetrasinya sangat kecil. Meskipun tidak mengionkan, penyinarannya yang lama dapat menyebabkan perubahan fotokimia yang merusak enzim dan komponen sel. Panjang gelombangnya berkisar antara 230 dan 280 nm, dan panjang gelombang 254 nm adalah yang paling efektif untuk membunuh mikroba.

2) Sinar-X

Penciptaan dan pemecahan gugus hidrogen DNA yang tidak biasa dan gangguan struktur molekul sekunder disebabkan oleh kekuatan penetrasi sinar-X. Sterilisasi rutin dengan sinar-X dapat berbahaya dan mahal, tetapi penyinaran lebih lama mengakibatkan kematian.

3) Sinar Matahari

Oleh karena sinar lembayung ultra (295 hingga 400 nm) yang ditemukan dalam cahaya matahari, telah diketahui sejak berabad-

abad yang lalu bahwa sinar matahari memiliki aktivitas dan sifat memanaskan yang mengeringkan yang dapat membunuh (atau menginfeksi) mikroba.

Selain efek tersebut, sinar matahari memiliki banyak efek tambahan, termasuk tekanan hidrostatik, vibrasi, “*shock osmosis*”, gangguan permukaan, dan banyak lagi. Dalam kehidupan sehari-hari, kita harus memperhatikan *surface tension reducers* atau surfaktan yang merupakan bahan-bahan yang mampu mengurangi tegangan permukaan. Bahan-bahan ini termasuk bahan organik seperti alkohol, asam-asam organik, pilopeptida, empedu, serta zat-zat seperti sabun dan deterjen rumah tangga. Adanya jenis surfaktan dalam medium pembiakan dapat memengaruhi pertumbuhan mikroorganisme. Efeknya bervariasi tergantung pada konsentrasi dan jenis surfaktan serta medium yang digunakan, mulai dari yang sangat menguntungkan sampai yang sangat merusak.

## Rangkuman

Cara Menghitung Bakteri :

1. Menghitung secara langsung

Perhitungan langsung ini dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

  - a. Menghitung sel langsung

Cara ini menggunakan bilik hitung (hemositometer).
  - b. Menghitung dari preparat pengecatan

Perhitungan dilakukan dengan cara mengoleskan sejumlah volum pada luas kaca objek yang telah diukur, dicat dengan metil biru atau cat lain yang sesuai, kemudian hitung jumlah organisme pada bagian-bagian tertentu yang telah diketahui luasnya.

- c. Menghitung dengan filter membran  
Cairan yang telah ditakar disaring dengan filter steril yang terbuat dari membran berpori. Bakteri bertahan oleh filter itu, kemudian dihitung langsung.
  - d. Menghitung dengan alat penghitung elektronik  
Dengan alat ini dapat dihitung beribu-ribu bakteri dalam beberapa detik.
2. Menghitung secara tidak langsung
    - a. Penentuan volum total  
Cara ini seperti memodifikasi penentuan hematokrit pada pengukuran volum total butir-butir darah.
    - b. Metode turbidimetri  
Teknik ini sudah dipakai sebagai cara mengukur keseluruhan suspensi atas dasar penyerapan dan pemancaran cahaya yang dilintaskan, sehingga yang mengandung lebih dari  $10^7$ - $10^8$  sel per milimeter tampak keruh oleh mata telanjang.
    - c. Perhitungan bakteri hidup  
Perhitungan bakteri hidup dilakukan dengan cara seri pengenceran.
  3. Cara menghitung jumlah bakteri untuk membuat grafik pertumbuhan menggunakan metode penuaan, yaitu inokulum disebarkan pada lempengan agar. Delapan jam setelah penuaan, koloni-koloni yang tumbuh pada medium telah dapat dihitung. Dalam hal ini perlu diperhatikan jumlah koloni yang tampak tidak sesuai dengan jumlah bakteri yang disebarkan semula. Tidak semua koloni berasal dari satu bakteri saja, semuanya dianggap berasal dari satu bakteri. Dalam metode penuaan, hanya bakteri yang hiduplah yang masuk perhitungan, sebab bakteri yang mati tidak dapat tumbuh menjadi koloni baru.

4. Perhitungan menggunakan mikroskop mempunyai kelemahan, yaitu sel yang hidup maupun sel yang mati terhitung semua. Jumlah yang diperoleh dengan metode ini dinyatakan dengan garis yang menaik sesudah fase konstan. Garis yang menurun setelah fase konstan menunjukkan jumlah yang diperoleh dengan perhitungan koloni pada lempeng agar.
5. Cara ketiga untuk menyusun grafik pertumbuhan ialah dengan menggunakan turbidometer (*turbid* = keruh). Tiap sampel yang diambil pada waktu-waktu tertentu diukur kekeruhannya menggunakan turbidometer. Metode ini mempunyai kelemahan seperti yang terdapat pada penjumlahan dengan mikroskop.

### Soal Pilihan Ganda

1. Cara ini menggunakan bilik hitung (hemositometer). Cara yang menghasilkan hitungan total karena semua sel terhitung, baik sel yang hidup maupun yang sudah mati, ialah menggunakan cara...
  - a. Menghitung sel langsung
  - b. Menghitung filter membran
  - c. Menghitung dengan alat penghitung elektronik
  - d. Penentuan volum total
  - e. Metode turbiometri
2. Tabung yang diletakkan antara suatu satuan sumber cahaya dan suatu fotoelektrik yang disambung dengan galvanometer adalah metode perhitungan...
  - a. Menghitung sel langsung
  - b. Menghitung filter membran
  - c. Menghitung dengan alat penghitung elektronik
  - d. Penentuan volum total
  - e. Metode turbiometri

3. Bakteri mulai bertambah sedikit demi sedikit dan sel-sel tampak gemuk-gemuk terjadi pada fase...
  - a. Fase pertama dan kedua
  - b. Fase kedua
  - c. Fase kedua dan ketiga
  - d. Fase ketiga
  - e. Fase pertama
4. Pada fase berapakah bakteri sangat baik untuk dijadikan inokulum?
  - a. Fase pertama dan kedua
  - b. Fase kedua
  - c. Fase kedua dan ketiga
  - d. Fase ketiga
  - e. Fase pertama
5. Faktor lingkungan yang menguasai kehidupan bakteri antara lain...
  - a. Suhu
  - b. Tekanan udara
  - c. Karbon
  - d. Kelembapan
  - e. Karbon
6. Manakah dari faktor-faktor berikut yang mempunyai aktivitas mematikan mikroba-mikroba (atau disinfeksi) yang diketahui sejak berabad-abad?
  - a. Sinar matahari
  - b. Sinar X
  - c. Inframerah
  - d. Suhu
  - e. Tekanan udara

7. Efek radiasi yang dapat mengakibatkan pemutusan dan pemecahan gugus hidrogen dari DNA yang berlangsung secara abnormal dan gangguan struktur molekul sekunder berasal dari...
  - a. Sinar matahari
  - b. Sinar – X
  - c. Inframerah
  - d. Inframerah dan sinar-X
  - e. Inframerah dan sinar matahari
8. Jangka suhu terendah pertumbuhan mikroorganisme adalah...
  - a. 5 sampai 10°C
  - b. 5 sampai 20°C
  - c. 10 sampai 20°C
  - d. 1 sampai 10°C
  - e. 20 sampai 30°C
9. Jangka suhu tertinggi pertumbuhan mikroorganisme adalah...
  - a. 70 sampai 75°C
  - b. 70 sampai 80°C
  - c. 70 sampai 85°C
  - d. 90 sampai 100°C
  - e. 80 sampai 90°C
10. Suhu tertinggi masih memungkinkan terjadinya pertumbuhan. Sering kali kenaikan sedikit saja di atas suhu ini mengakibatkan kematian mikroorganisme karena adanya enzim yang menjadi nonaktif. Suhu ini disebut...
  - a. Suhu pertumbuhan maksimum
  - b. Suhu
  - c. Suhu pertumbuhan minimum
  - d. Suhu pertumbuhan optimum
  - e. Suhu pertumbuhan

**Essay**

1. Sebutkan dan jelaskan minimal 3 faktor lingkungan yang menguasai kehidupan bakteri!

Jawab:

2. Sebutkan dan jelaskan radiasi lingkungan yang menguasai kehidupan bakteri!

Jawab:

3. Sebutkan dan jelaskan yang suhu yang termasuk dalam suhu kardinal!

Jawab:

4. Jelaskan fase apa saja yang terjadi pada fase pertumbuhan koloni!

Jawab:

5. Jelaskan menghitung dengan secara tidak langsung dengan penentuan!

Jawab:

# BAB 6

# Angka Kuman Udara

## **Tujuan Instruksional Umum**

Mahasiswa mampu menjelaskan definisi angka kuman udara, cara pengambilannya, dan analisisnya.

## **Tujuan Instruksional Khusus**

Menjelaskan pengertian angka kuman udara, cara pengambilannya, dan cara menganalisis angka kuman udara.

## **A. Angka Kuman Udara**

Udara adalah media lingkungan dan tempat hidup beberapa mikroba, bahkan beberapa penyakit seperti flu dan TBC dapat ditularkan melalui udara. Udara juga mengandung gas, debu, dan partikel lainnya yang merupakan polutan yang berbahaya bagi kesehatan. Kualitas udara selalu berubah sesuai dengan polutan dan kondisi fisik udara, seperti panas dan kelembaban. Ruangan harus bersih, tidak lembab, suhu tepat, ventilasi memadai, dan pencahayaan cukup. Jika persyaratan ini tidak dipenuhi, kenyamanan dan kesehatan ruangan akan berkurang, menjadikannya tidak menyenangkan bagi penghuninya, dan bahkan dapat menyebabkan berbagai penyakit (Sukei *et al.*, 2017).

Mikroba udara termasuk jamur, bakteri, virus, dan lainnya. Proses pengambilan dan pemeriksaan sampel sama, tetapi media yang digunakan untuk menanam atau mengidentifikasi mikrobia berbeda.

Secara umum, media Count Agar digunakan untuk menghitung jumlah kuman, media darah digunakan untuk bakteri patogen, dan Potato Dextrose Agar atau Saboroud Agar digunakan untuk jamur (Sukeesi *et al.*, 2017).

### **Penyakit Asal Udara**

Menurut Irianto (2007) penyakit asal udara adalah sebagai berikut:

#### 1. Difteri

Bakteri menyebabkan penyakit pada saluran pernapasan bagian atas yang disebut difteri. Racun yang dihasilkan oleh galur *Corynebacterium diphtheriae* yang sangat berbahaya menyebabkan penyakit ini menyebar secara lokal dan luas. Bakteri ini tumbuh di tenggorokan yang meradang saat mengeluarkan eksotoksin amouh. Pseudomembran pada faring terdiri atas sel jaringan mati, leukosit, eritrosit, dan bakteri. Bakteri berkembang dan menghasilkan racun di dalam pseudomembran. Jika pseudomembran ini menyebar ke trakea, saluran napas akan tersumbat, sehingga pasien mengalami kesulitan bernapas.

Difteri dengan gejala yang parah dapat menyebabkan kematian karena kerja racun yang menyebar ke seluruh tubuh. Ini dapat mengakibatkan kerusakan ginjal, urat saraf, dan jantung. Oleh karena itu, kematian akibat toksemia terjadi lebih lanjut ketika penyakit berlanjut dan disebabkan oleh ketidakmampuan sistem organ penting untuk berfungsi dengan benar.

#### 2. Penyakit Streptokokal

Penyakit streptokokal terdiri atas dua kategori: infeksi primer (bernanah atau pembentuk nanah) dan komplikasi (tak bernanah). Kedua kategori ini juga dikenal sebagai komplikasi yang merupakan lanjutan dari infeksi streptokokal primer. Radang tenggorokkan yang akut dengan atau tanpa dahak adalah sindrom infeksi yang paling

umum pada infeksi primer. Faringitis adalah nama penyakit ini. Oleh karena streptokokus yang menginfeksi faringitis dapat menghasilkan banyak toksin eritrogenik, tetapi inangnya tidak memiliki antitoksin, penyakit jengkering muncul. Selain sakit tenggorokan, pasien biasanya mengalami ruam eritematosus. Segala macam penyakit kulit (pioderma), infeksi luka sekunder, dan lepuh yang terinfeksi adalah contoh penyakit streptokokal pembentuk nanah atau pilogenik lainnya.

### 3. Infeksi Asal Udara Lain yang Disebabkan oleh Bakteri

#### a. TBC

Tuberkulosis adalah penyakit menular yang diderita oleh manusia dan berlangsung lama. TBC pada manusia dapat merusak jaringan tubuh mana pun, tetapi yang paling sering terinfeksi adalah paru-paru. Tuberkulosis adalah penyakit bakteri yang berlangsung lama dan berkembang secara bertahap. Akibatnya, infeksi dapat berlangsung tanpa diketahui sampai pemeriksaan sinar-X menemukan luka patogen pada paru-paru. Pleurisi (peradangan selaput paru-paru) dan rasa sakit samar-samar, sering kali disertai batuk, demam di siang hari, kelelahan, dan penurunan berat badan adalah gejala yang paling umum.

#### b. *Pneumonia Pneumokokus*

Pneumonia lobar atau cuping (penyumbatan pada cuping paru-paru) disebabkan oleh berbagai jenis mikroorganisme, tetapi *Streptococcus pneumoniae* adalah penyebab 95% pneumonia bakterial. Pneumokokus adalah sel gram positif dengan rantai pendek atau berpasangan yang berbentuk bulat telur atau bola. Olesan langsung dari dahak dapat diwarnai dan diperiksa untuk mengetahui ada tidaknya organisme yang bersangkutan dalam diagnosis laboratorium. Untuk mengidentifikasi pneumokokus dengan tepat, reaksi quellung dapat dilakukan langsung pada dahak atau bakteri yang dibiakkan.

c. *Meningitis meningokokus*

*Neisseria meningitidis* adalah penyebab infeksi bakteri akut yang dikenal sebagai *meningitis meningokokus*. Meningitis, jenis radang selaput yang melindungi otak dan sumsum tulang punggung, disebabkan bakteri ini menjalar ke selaput otak manusia melalui darah dari nasofaring. Selain itu, bakteri ini dapat menyebabkan kematian dalam waktu enam hingga dua belas jam. Endotoksin menyebabkan luka-luka patogenik pada kulit tulang dan kelenjar adrenalin.

d. Penyakit Pasukan

Sindrom pneumonia adalah ciri penyakit pasukan. Gejalanya muncul 2-10 hari setelah terkena bakteri yang bersangkutan, termasuk kelelahan, sakit kepala, rasa sakit pada otot, dada, dan perut, kebingungan, dan masalah dengan fungsi ginjal. Eritromisin adalah antibiotik yang paling efektif untuk mengobati penyakit ini. Bakteri penyebab penyakit pasukan adalah mikroba rewel yang sulit diisolasi melalui pembiakan langsung. Namun, media khusus yang diperkaya dapat digunakan untuk mengisolasinya.

e. Selesma

Semua orang tahu gejala selesma, yaitu infeksi peradangan akut pada hidung, tenggorokan, sinus, trakea, dan bronki disertai dengan banyak eksudasi cairan. Tidak ada orang yang menunjukkan demam atau gejala dasar lainnya. Penyakit ini memiliki masa inkubasi 12 hingga 72 jam, dan dapat sembuh sendiri dan berlangsung selama 2 hingga 7 hari. Komplikasi jarang terjadi, tetapi infeksi selesma dapat menyebabkan bronkitis pada anak-anak.

f. Influenza

Pada manusia, fluks adalah penyakit menular akut yang dicirikan oleh demam, menggigil, pusing, sakit pada otot

yang biasanya lesu, dan hilangnya nafsu makan. Virus pada umumnya mengganggu saluran pernapasan bagian atas. Jika tidak ada masalah, pasien akan sembuh total dalam 3-7 hari. Infeksi yang biasanya menyebabkan kematian akibat influenza adalah pneumonia berat. Infeksi bakteri sekunder pada saluran pernapasan bagian bawah juga dapat disebabkan oleh virus itu sendiri, atau lebih sering oleh bakteri lain.

## **B. Cara Pengambilan Angka Kuman Udara**

Cara pengambilan angka kuman udara menurut Sukesi dkk. (2017) terdiri atas alat dan bahan serta cara kerjanya:

Alat dan Bahan

1. Petridish steril
2. Lampu spiritus
3. Pipet steril
4. Korek api
5. Tabung *midget* berisi NaCl 0,85% volume 20 ml
6. Inkubator 37°C
7. Spidol
8. Pemanas air
9. Labu erlenmayer
10. Kapas
11. Aerator/ *air pump sampler*
12. Sampel udara ruang
13. PCA steril
14. Larutan pengencer 9 ml
15. Alkohol

Cara Kerja

Cara pengambilan sampel:

1. Siapkan alat.

2. *Midget impinger* yang telah diisi dengan NaCl dipaparkan di ruangan selama 30 menit, dialirkan pada pompa *sampling* udara dengan kecepatan misalnya 0,2 -1,0 ppm (liter per menit).
3. Semua kegiatan dilakukan secara aseptis dengan mengusap kapas alkohol basah.

### C. Pemeriksaan Jumlah Kuman

Menurut Sukei dkk. (2017), pemeriksaan jumlah kuman udara dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Sampel dibuka dengan aseptik dan dimasukkan ke dalam petridish steril sebanyak 3 mililiter, masing-masing 1 mililiter, kemudian ditaungi hitungan agar 15–20 mililiter hangat-hangat kuku.
2. Buat kontrol yang berisi larutan natrium klorida steril sebanyak 1 mililiter, kemudian ditaungi hitungan plat agar 15–20 mililiter hangat-hangat kuku.
3. Petri sampel dan kontrol digoyang pelan-pelan agar pertumbuhan koloni merata.
4. Tunggu hingga beku.
5. Inkubasi dalam inkubator pada suhu 37° Celcius selama dua kali sehari selama posisi terbalik.
6. Catat hasilnya dan hitung jumlah kumannya.
7. Gunakan penghitung koloni untuk menghitung jumlah koloni per petri.

Hasil pengamatan dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

No.	Titik Sampel	Kapasitas	Jumlah koloni/ml sampel pada petri			Jumlah kuman/m <sup>3</sup>
			P1	P2	P3	
1						

Perhitungan:

$$\text{Angka Kuman Udara} = \frac{\text{X rata-rata} \cdot \text{Volume NaCl} \times 1000}{\text{K} \cdot \text{T}}$$

Keterangan:

X rata-rata : rata-rata koloni pada 3 petri

K : kapasitas

T : waktu (menit)

Volume NaCl dalam satuan liter.

Pemeriksaan bakteri udara dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu secara langsung dan tidak langsung. Dengan memasukkan sejumlah udara ruang ke dalam *midget impinger* bervolume 50 mililiter dengan kecepatan aliran udara dan waktu tertentu, bakteri udara kuman dapat diperiksa secara tidak langsung. Untuk tujuan ini, garam natrium klorida 0,85% steril ditambahkan ke dalam *midget impinger* dalam jumlah 15–20 mililiter. Dengan menggunakan *air pump sampler*, kecepatan aliran udara dapat dihitung. Sampel diambil dalam 10–30 menit.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengambilan sampel mikrobial udara adalah:

1. Titik pengambilan sampel adalah tempat yang benar-benar menggambarkan udara ruang yang diambil sampelnya.
2. Perlu dilakukan pengamatan terhadap keadaan ruang yang disampling. Pengamatan meliputi:
  - Ada tidaknya pasien
  - Ada tidaknya pengunjung lain, catat jumlahnya, keadaan jendela, jumlah, terbuka atau tertutup
  - Pintu terbuka atau tertutup
  - Pencahayaan
  - Kelembaban ruangan

- Temperatur udara ruang
- Kebersihan lantai
- Cara kebersihan dan sistem disinfeksi ruang yang dilakukan
- Keterangan lain yang mendukung pemeriksaan sampel udara ruang, misalnya ruangan baru dipakai penderita gangren.

Dalam penelitian yang ditulis oleh Wulandari dkk. (2015) yang berjudul “Angka Kuman Udara dan Lantai Ruang Rawat Inap Rumah Sakit PKU Muhammadiyah Yogyakarta”, instrumen yang digunakan termasuk termometer untuk mengukur suhu ruangan, hygrometer untuk mengukur kelembaban ruangan, *checklist* untuk observasi, dan MAS (*microbial air sampler*) untuk mengumpulkan sampel angka kuman udara. Diperoleh hasil sebagai berikut:

<b>Variabel</b>	<b>p</b>	<b>Distribusi</b>
Kuman udara	0,04	Tidak Normal
Kuman lantai	0,800	Normal
Jumlah pasien	0,229	Normal
Jumlah penunggu	0,567	Normal
Jumlah pengunjung	0,552	Normal
Sanitasi ruang	0,481	Normal

Tabel di atas menunjukkan bahwa data variabel angka kuman udara tidak terdistribusi normal ( $p < 0,05$ ), tetapi data variabel angka kuman lantai, pasien, penunggu, pengunjung, dan sanitasi ruang terdistribusi normal ( $p < 0,05$ ).

Variabel	Mean	Standar deviasi	Min	Maks
Kuman udara	108,83 CFU/ m <sup>3</sup>	20,37	96,1.	145
Kuman lantai	3,803 CFU/c m <sup>2</sup>	0,43	3,1	4,3
Jumlah pasien	9	3,42	5	12
Jumlah penunggu	10	3,66	6	14
Jumlah pengunjung	22	13,21	6	42
Sanitasi ruang	6,74	1,01	5,3	8,1
Suhu	32,09 °C	0,43	31,6	32,6
Kelembaban	64,86 %	2,55	62,4	68,3
Pencahayaan	42,23 lux	37,39	12,7	83,2

Tabel di atas menunjukkan bahwa jumlah kuman udara dalam ruangan rata-rata 108,83 CFU/m<sup>3</sup>; jumlah kuman udara terendah 96,1 CFU/m<sup>3</sup> dan jumlah kuman udara tertinggi 145 CFU/m<sup>3</sup>. Nilai-nilai ini sesuai dengan Kepmenkes Nomor 1204/MENKES/SK/X/2004 yang menetapkan batas jumlah kuman udara dalam ruang perawatan antara 200-500 CFU/m<sup>3</sup>.

## Rangkuman

Udara adalah media lingkungan dan tempat hidup beberapa mikroba, bahkan beberapa penyakit dapat menyebar melaluinya. Udara juga mengandung gas, debu, dan partikel lainnya yang merupakan polutan yang berbahaya bagi kesehatan. Kualitas udara selalu berubah sesuai dengan polutan dan kondisi fisik udara, seperti panas dan kelembaban.

Pemeriksaan bakteri udara dapat dilakukan dengan dua cara: secara langsung dan tidak langsung. Dalam pengambilan sampel mikrobial udara, ada beberapa hal yang harus diperhatikan. *Pertama*,

lokasi pengambilan sampel harus benar-benar mewakili udara ruang yang diambil sampelnya, dan *kedua*, keadaan ruang yang diambil sampel harus diamati.

### Soal Pilihan Ganda

1. Bakteri *staphylococcus* dapat dijumpai pada...
  - a. Baju kotor
  - b. Sepatu kotor
  - c. Rambut
  - d. Rongga hidung
  - e. Alat makan yang kotor
2. Berikut ini merupakan sumber kontaminan, kecuali...
  - a. Tanah
  - b. Anggota tubuh manusia seperti tangan, lengan, rongga mulut
  - c. Udara
  - d. Air
  - e. Peralatan yang tertutup
3. Lokasi yang benar-benar mewakili udara ruang yang diambil sampelnya disebut...
  - a. Titik *sampling*
  - b. Ruang hampa udara
  - c. Pojok udara
  - d. Ruangan terbuka
  - e. Ruang kedap udara
4. Mikrobia yang terdapat di udara adalah...
  - a. Bakteri
  - b. Virus
  - c. Jamur
  - d. Fungi
  - e. Semua benar

5. Pemeriksaan bakteri udara kuman yang dilakukan dengan cara mengalirkan sejumlah udara ruang ke dalam *midget impinger* volume 50 ml dengan kecepatan aliran udara tertentu dan waktu tertentu disebut...
  - a. Pemeriksaan langsung
  - b. Pemeriksaan tidak langsung
  - c. Pemeriksaan bertahap
  - d. Pemeriksaan lanjutan
  - e. Pemeriksaan berencana
6. Berikut ini ialah hal yang perlu dilakukan pada saat melakukan pengamatan pada ruangan, kecuali...
  - a. Ada tidaknya pasien
  - b. Pencahayaan
  - c. Pintu terbuka
  - d. Pintu tertutup
  - e. Dinding ruangan
7. Penyakit pada saluran pernapasan bagian atas yang disebabkan oleh bakteri *Corynebacterium diphtheriae* disebut...
  - a. Difteri
  - b. Tifus
  - c. TBC
  - d. Penyakit pasukan
  - e. Diare
8. Infeksi bakterial akut yang disebabkan oleh *Neisseria meningitidis* disebut...
  - a. Difteri
  - b. Tifus
  - c. TBC
  - d. *Meningitis meningokokus*
  - e. Diare

9. Penyakit menular akut yang dicirikan oleh demam, menggigil, pusing, sakit pada otot-otot secara umum, lesu, dan hilangnya nafsu makan yaitu...
- Difteri
  - Tifus
  - TBC
  - Influenza*
  - Diare
10. Penyakit streptokokal terbagi menjadi dua, yaitu...
- Sequelae dan infeksi primer
  - Bernanah dan tidak bernanah
  - Infeksi dan demam
  - A dan B benar
  - Semua salah

### Essay

- Jelaskan cara pemeriksaan bakteri udara!  
Jawab:
- Sebutkan alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan pemeriksaan kuman udara!  
Jawab:
- Sebutkan 3 penyakit yang berasal dari udara!  
Jawab:
- Jelaskan mengenai penyakit influenza!  
Jawab:
- Sebutkan gejala yang ditimbulkan pada penyakit TBC!  
Jawab:

BAB  
7

# Angka Kuman Alat Makan

## **Tujuan Instruksional Umum**

Mahasiswa mampu menjelaskan tentang definisi angka kuman alat makan, cara pengambilannya, dan analisisnya.

## **Tujuan Instruksional Khusus**

Menjelaskan pengertian angka kuman alat makan, cara pengambilannya, dan cara menganalisis angka kuman alat makan.

## **A. Angka Kuman**

Angka kuman, juga dikenal sebagai angka lempeng total, adalah jumlah yang menunjukkan adanya mikroorganisme patogen atau non-patogen pada media penanaman yang diperiksa melalui pengamatan visual atau dengan kaca pembesar. Angka ini kemudian dihitung berdasarkan lempeng dasar untuk standar tes bakteri. Usapkan alat sampel untuk menghitung jumlah bakteri mesofil dalam 1 mm, 1 gram, atau 1 cm<sup>2</sup>. Untuk menguji, koloni bakteri aerob ditanam pada media yang halus atau disimpan selama 48 jam pada suhu 37° Celcius untuk bakteri mesofil dan 55° Celcius untuk bakteri termofil (Sukeesi dkk., 2017).

Untuk usap alat makan, baku mutu angka kuman adalah 100 CFU/cm<sup>2</sup> (CFU = *Colony Forming Unit*). Di udara terdapat berbagai mikroba, termasuk jamur, bakteri, dan virus. Untuk menghitung angka kuman, metode *plate* biasanya menggunakan media Count Agar.

Untuk bakteri patogen, media darah, dan untuk jamur, digunakan Potato Dextrose Agar atau Saboroud Agar. Beberapa faktor yang memengaruhi pertumbuhan mikrobia ialah:

1. Faktor intrinsik, yaitu sifat-sifat fisik, kimia, dan struktur yang dimiliki oleh mikroba.
2. Faktor luar, yaitu kondisi lingkungan yang berkaitan dengan penanganan dan penyinaran.
3. Faktor implisit, yaitu karakteristik yang dimiliki.
4. Faktor pengolahan, karena perubahan mikroba awal yang disebabkan oleh proses pengolahan makanan.

Terdapat lima sumber utama kontaminan, yaitu:

1. Bakteri dan jamur tinggal di peralatan yang terbuka.
2. Tanah dan air. Secara alami, makanan mengandung bakteri dari tanah dan air dari genera seperti alkali, *genes*, *bacillus*, *clostridium*, *micrococcus*, *proteus*, *trichoderma*, dan *fusarium*.
3. Udara dan debu. Mikroba yang didapatkan sebagian besar berasal dari tanah dan air.
4. Bakteri berisi *staphylococcus* berasal dari tangan, lengan, dan rongga mulut atau hidung.
5. Menangani produk makanan yang mengandung bakteri pencernaan seperti *Escherichia coli*, *proteus*, dan *salmonella*.

### **Penyakit Asal Makanan**

Menurut Irianto (2007), penyakit dari makanan yang disebabkan oleh bakteri adalah sebagai berikut:

1. Salmonellosis

Salmonellosis adalah penyakit yang dapat disebabkan oleh bakteri genus *Salmonella*. Penyakit ini menyerang saluran gastrointestinal yang terdiri atas perut, usus halus, usus besar, dan kolon. Mereka sering mengalami mual dan muntah serta demam

dengan suhu 38 hingga 39° Celcius.

2. Peracunan Makanan oleh *Staphylococcus*

Termakan toksin yang dibuat oleh galur-galur toksigenik menyebabkan peracunan makanan yang umum. *Staphylococcus aureus* berkembang biak di dalam makanan yang tercemar. Ini adalah jenis peracunan makanan yang paling sering terjadi, dan sakitnya singkat, hanya 24-48 jam. Setelah mengonsumsi makanan yang tercemar, gejala akan muncul dengan cepat. Dalam waktu 2-6 jam setelah konsumsi makanan tercemar, orang biasanya akan mengalami mual, pusing, muntah, dan diare.

3. *Botulism*

Peracunan makanan atau mabuk makanan oleh bakteri menyebabkan *botulism*. *Clostridium botulinum* adalah organisme penyebabnya, yang menghasilkan neurotoksin yang tidak tahan panas. Makan toksin *Botulinum* dari makanan yang diawetkan, seperti makanan yang dikalengkan di rumah, menyebabkan penyakit ini. Sekitar 12-24 jam setelah makanan tercemar, gejala penyakit ini biasanya muncul. Kesusahan berbicara, biji mata melebar, penglihatan ganda, mulut kering, mual, muntah, dan tidak dapat menelan adalah gejalanya.

4. Peracunan Makanan oleh *Perfringens*

*Clostridium perfringens* sering ditemukan di lingkungan, seperti dalam daging mentah dan tinja hewan, dan sering kali juga ditemukan pada orang yang sehat. Sakit perut, mulas, dan diare adalah gejala utamanya. Sakit datang dengan cepat dan sembuh dalam waktu 24 jam.

Penyakit asal makanan yang disebabkan oleh mikroorganisme lain (Irianto, 2007):

1. Infeksi *Vibrio parahemolyticus* melalui makanan

*Vibrio parahemolyticus* adalah bakteri anaerobik fakultatif yang gram negatif dan halofitik yang menyukai garam. Sakit perut, diare, mual, dan muntah adalah gejala utamanya. Sering kali disertai dengan rasa kedinginan dan demam.

2. Bakteri tambahan

Beberapa bakteri lain dianggap sebagai penyebab perjangkitan peracunan makanan, termasuk *Bacillus cereus*, galur tertentu *Escherichia coli*, dan *Proteus sp.* Namun, sulit untuk membuktikan bahwa isolat laboratoris itu adalah anggota mikrobiota usus yang normal.

3. Cendawan

*Aflatoksin*, genus *Aspergillus*, adalah toksin cendawan yang diproduksi oleh kapang yang umum. Makanan yang tercemar kapang dapat menyebabkan peracunan akut pada manusia dan hewan karena toksin ini. Keracunan racun ini dapat menyebabkan kerusakan hati dan merangsang pertumbuhan tumor.

## **B. Cara Pengambilan Angka Kuman Alat Makan Metode Plate**

### Alat dan Bahan

1. Alat makan yang diperiksa (piring/gelas/sendok)
2. Mika plastik dengan lubang seluas 10 cm<sup>2</sup> (2 cm x 5 cm)
3. Lidi kapas steril dalam tabung reaksi
4. Pertidish steril
5. Pipet ukur steril
6. Oven
7. Tabung reaksi
8. Rak tabung reaksi
9. Lampu spiritus

10. Inkubator 37°C
11. Vortex mixer
12. Spidol
13. Korek api
14. Pemanas air
15. PCA steril
16. Larutan pengencer 9 ml
17. Larutan PBS

### Cara Kerja

#### Pengambilan sampel usap makan

1. Siapkan alat makan yang bersih dan siap pakai untuk sampel angka kumannya.
2. Sterilkan mika plastik transparan berlubang 10 cm<sup>2</sup> dengan mengoleskan alkohol 70% pada permukaannya.
3. Letakkan mika plastik transparan pada bagian cekung alat makan, seperti piring, gelas, dan sendok.
4. Satu lidi kapas steril dicelupkan pada PBS. Tempelkan lidi kapas pada dinding tabung agar tidak terlalu basah.
5. Oleskan lidi kapas basah pada lubang plastik transparan berukuran 10 cm<sup>2</sup>.
6. Secara aseptis, lidi kapas dimasukkan ke lubang PBS.
7. Ulangi pengambilan sampel dengan mengoleskan lidi kapas kering pada bagian dalam lubang mika.
8. Masukkan ke PBS.
9. Sampel telah siap untuk diperiksa.

### C. Pemeriksaan Jumlah Kuman

1. Siapkan petridish, lampu spiritus, spidol/label, sampel, pipet steril, dan larutan pengencer 9 ml.

2. Petridish dan larutan diberi kode sesuai pengencer misal:  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ .
3. Homogenkan sampel dengan menggunakan vortex mixer.
4. Sampel sebanyak 1 ml diambil dengan menggunakan pipet ukur steril. 1 ml dimasukkan ke dalam larutan pengencer dalam kode  $10^{-1}$ .
5. Homogenkan menggunakan vortex mixer.
6. Sampel dengan pengencer  $10^{-1}$  sebanyak 2 ml, 1 ml dimasukkan ke dalam larutan pengencer kode  $10^{-2}$  dan 1 ml dimasukkan ke dalam petridish  $10^{-2}$ .
7. Lanjutkan sampai pengenceran terakhir.
8. Buat kontrol dengan mengisi petridish sebanyak 1 ml larutan pengencer yang masih utuh.
9. Masing-masing petridish ditambah PCA steril cair suhu  $45-50^{\circ}\text{C}$ .
10. Goyang pelan-pelan agar pertumbuhan koloni merata.
11. Tunggu sampai beku.
12. Masukkan dalam inkubator  $37^{\circ}\text{C}$  selama  $2 \times 24$  jam dalam posisi terbalik.
13. Baca koloni yang tumbuh dengan *colony counter*.
14. Catat hasilnya dan hitung jumlah kumannya.

Hasil pengamatan dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

No.	Sampel	Jumlah koloni/ml sampel pada petri				Jumlah kuman/cm <sup>2</sup>
		Kontrol	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	
1						

$$\text{Perhitungan} = \frac{(\text{K1}-\text{K}) 10^1 + (\text{K2}-\text{K}) 10^2 + (\text{K3}-\text{K}) 10^3}{3}$$

3

Catatan :

Kontrol harus  $\leq 10$

K1 = jumlah koloni pada pengenceran  $10^{-1}$

K2 = jumlah koloni pada pengenceran  $10^{-2}$

K3 = jumlah koloni pada pengenceran  $10^{-3}$

K = jumlah koloni pada Kontrol

## Rangkuman

Angka kuman, juga dikenal sebagai angka lempeng total, adalah jumlah yang menunjukkan adanya mikroorganisme patogen atau non-patogen pada media penanaman yang diperiksa melalui pengamatan visual atau dengan kaca pembesar. Angka ini kemudian dihitung berdasarkan lempeng dasar untuk standar tes bakteri. Beberapa variabel memengaruhi pertumbuhan mikroba, termasuk:

1. Faktor intrinsik: karakteristik fisik, kimia, dan struktur yang dimiliki oleh bahan;
2. Faktor ekstrinsik: kondisi lingkungan saat menangani dan menyaring;
3. Faktor implisit: karakteristik yang dimiliki oleh bahan;
4. Faktor pengolahan: perubahan mikroba awal yang disebabkan oleh pengolahan makanan.

Lima sumber utama kontaminan ialah:

1. Bakteri dan jamur tinggal di peralatan yang terbuka.
2. Tanah dan air. Secara alami, makanan mengandung bakteri dari tanah dan air dari genera seperti *alkali*, *genes*, *bacillus*, *clostridium*, *micrococcus*, *proteus*, *trichoderma*, dan *fusarium*.
3. Udara dan debu. Mikroba yang didapatkan sebagian besar berasal dari tanah dan air.
4. *Micrococcus* dan *staphylococcus* berasal dari tangan, lengan, dan rongga mulut atau hidung.

5. Menangani produk makanan yang mengandung bakteri pencernaan seperti *Escherichia coli*, *proteus*, dan *salmonella*.

### Soal Pilihan Ganda

1. Berikut ini yang termasuk alat yang digunakan dalam praktikum mikrobiologi adalah...
  - a. Pinset
  - b. Lampu neon
  - c. Tampontang
  - d. Lampu bunsen
  - e. Almari Es
2. Alat dalam praktikum mikrobiologi yang digunakan untuk mensterilkan alat-alat setelah digunakan dan yang akan digunakan adalah...
  - a. Autoclave
  - b. Petridish
  - c. Lampu bunsen
  - d. Kruistang
  - e. Incubator
3. Alat yang digunakan untuk meletakkan media di laboratorium adalah...
  - a. Rak
  - b. Erlenmeyer
  - c. Petridish
  - d. Penjepit tabung
  - e. Incubator
4. Angka yang menunjukkan adanya mikroorganisme patogen atau non-patogen menurut pengamatan secara visual atau dengan kaca pembesar pada media penanaman yang diperiksa, kemudian dihitung berdasarkan lempeng dasar untuk standar tes terhadap

- bakteri disebut...
- Angka mikroorganisme
  - Angka kuman
  - Angka mikrobiologi
  - Angka bakteri
  - Angka mikrobia
5. Media yang digunakan untuk pemeriksaan angka kuman bakteri patogen adalah...
- Agar-agar
  - Plate Count Agar*
  - Colony Counter*
  - Potato Dextrose Agar*
  - Media Blood Agar*
6. Baku mutu angka kuman untuk usap alat makan adalah...
- 100 CFU/m<sup>2</sup>
  - 1000 CFU/m<sup>2</sup>
  - 10 CFU/m<sup>2</sup>
  - 150 CFU/m<sup>2</sup>
  - 110 CFU/m<sup>2</sup>
7. Pengambilan sampel untuk menghitung angka kuman dilakukan pada permukaan benda seluas...
- 1 cm
  - 1 cm<sup>2</sup>
  - 10 cm<sup>2</sup>
  - 100 cm<sup>2</sup>
  - 10 mm<sup>2</sup>
8. Suatu penyakit yang disebabkan oleh peracunan makanan atau mabuk makanan disebabkan oleh bakteri...
- Botulism
  - Difteri

- c. Diare
- d. Salmonellosis
- e. Staphylococcus

**Essay**

1. Sebutkan 3 peralatan yang digunakan dalam praktikum mikrobiologi dan fungsinya!

Jawab:

2. Sebutkan faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan mikrobia!

Jawab:

3. Jelaskan yang dimaksud dengan angka lempeng total!

Jawab:

4. Sebutkan baku mutu angka kuman pada alat makan dan standar angka kuman pada linen!

Jawab:

5. Sebutkan 5 sumber kontaminan pada makanan!

Jawab:

**Bagian 2**

# **Parasitologi**

# BAB 8

# Parasitologi

## **Tujuan Instruksional Umum**

Mahasiswa mampu menjelaskan golongan parasit yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia.

## **Tujuan Instruksional Khusus**

Menjelaskan pengertian parasitologi dan golongan parasit yang menyebabkan penyakit pada manusia.

**P**arasitologi adalah cabang biologi yang mempelajari semua organisme parasit. Namun, berkat kemajuan teknologi, parasitologi kini hanya mempelajari hewan parasit seperti protozoa, helminthes, arthropoda, dan insekta parasit yang mengalami zoonosis dan anthroponosis. Parasitologi mencakup taksonomi, morfologi, dan siklus hidup parasit, serta patologi dan epidemiologi penyakit yang ditimbulkannya. Predator dan parasit adalah organisme yang hidupnya merugikan organisme lain (hospes). Bedanya, predator membunuh dan memakan sebagian besar tubuh mangsanya jika ukuran tubuhnya jauh lebih besar daripada yang dimangsa. Parasit tidak hanya lebih kecil dari hospesnya, tetapi juga tidak ingin hospesnya mati karena kehidupan hospes sangat penting bagi parasit (Harti, 2010).

Beberapa langkah pencegahan yang dapat diambil untuk mengurangi dan mencegah penyakit akibat parasit akan dijelaskan berikut ini.

## A. Pencegahan Akibat Nyamuk

Akibat banyaknya kematian yang dilaporkan akibat gigitan nyamuk dan kekurangan pengobatan dan vaksin yang tepat, upaya pencegahan sangat penting. Fokus utama upaya ini adalah menghentikan sarang nyamuk penular dengan membasmi jentik nyamuk.

1. Gejala awal harus diisolasi untuk mencegah penularan ke orang lain. Meskipun obat nyamuk dan repelan dapat digunakan untuk mencegah gigitan nyamuk, cara terbaik untuk mencegah gigitan nyamuk adalah menghilangkan sarang nyamuk penular. Untuk mengatasi nyamuk, metode yang tepat (modifikasi lingkungan, biologi, dan kimiawi) yang aman, murah, dan ramah lingkungan harus diterapkan (Depkes RI, 2003).
2. Melawan Sarang Nyamuk (PSN) bertujuan untuk mengontrol populasi nyamuk *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus* agar penularan Chikungunya dapat dicegah atau dibatasi. PSN menargetkan semua tempat nyamuk penular Chikungunya, seperti:
  - a. Tempat penampungan air (TPA) untuk keperluan sehari-hari.
  - b. Tempat penampungan air bukan untuk keperluan sehari-hari (non-TPA).
  - c. Tempat penampungan air alamiah.

Angka Bebas Jentik (ABJ) dapat digunakan untuk mengukur keberhasilan kegiatan PSN Chikungunya. Jika ABJ lebih dari 95%, penularan Chikungunya dapat dicegah atau dikurangi (Sunoto, 1991).

3. Kimiawi (Larvasidasi)

Pemberantasan jentik dengan menaburkan bubuk larvasida dikenal sebagai larvasidasi. Ketika surveilans epidemiologi penyakit dan vektor menunjukkan periode berisiko tinggi dan tempat KLB mungkin terjadi, kegiatan ini tepat digunakan. Terdapat dua jenis larvasidasi atau insektisida yang dapat digunakan pada wadah air

bersih, yaitu:

a. Temephos 1% dalam granule

Untuk tiap 100 L air, digunakan 1 ppm atau 10 gram (1 sdm rata). Dosis ini telah terbukti efektif selama 8-12 minggu atau sekitar 2-3 bulan (Sunarto dkk., 2000).

b. Pengatur pertumbuhan serangga (IGRs)

Pengatur pertumbuhan serangga (IGRs) mampu mencegah pertumbuhan nyamuk sebelum dewasa dengan menghentikan produksi chitin selama masa jentik berganti atau mengganggu proses perubahan dari pupa menjadi nyamuk dewasa. Methoprene dan Phyriproiphene adalah IGR. Jika digunakan di dalam tempat penampungan air, IGRS biasanya memberikan efek ketahanan selama 3-6 bulan dengan dosis yang relatif rendah (Sunarto *et al.*, 2000).

4. Larvasidasi Selektif

Larvasidasi selektif terdiri atas pemeriksaan tempat penampungan air (TPA) di dalam maupun di luar rumah, serta penembakan bubuk larvasida pada TPA yang ditemukan jentik. Prosedur ini dilakukan empat kali dalam satu tahun, atau tiga bulan sekali, pada TPA yang ditemukan jentik. Petugas Puskesmas telah melatih staf untuk melakukan larvasidasi. Dalam upaya pemberantasan sarang nyamuk, larvasidasi selektif digunakan untuk menyebarluaskan hasil gerakan masyarakat.

5. Larvasidasi Massal

Penaburan bubuk larvasida secara bersamaan di seluruh area atau area tertentu di tempat penampungan air, baik dengan jentik maupun tanpa jentik, di seluruh bangunan, seperti rumah, kantor, dan sekolah, dikenal sebagai larvasida massal. Larvasida massal ini dilakukan di lokasi KLB Chikungunya.

## 6. Biologi

Pengendalian biologis yang ditujukan langsung pada jentik hanya dapat digunakan untuk sasaran berskala kecil. Pengendalian seperti ini dapat dilakukan dengan memelihara ikan pemakan jentik atau bakteri. Ikan *larvavorus* seperti *Gambusia affinis*, *Poecilia reticulata*, dan ikan adu biasa digunakan untuk pengendalian bakteri. Bakteri yang efektif untuk pengendalian ini adalah *Bacillus thuringiensis* serotipe H-14 (Bt. H-14) dan *Bacillus sphaericus* (Bs) yang menghasilkan endotoksin.

## 7. Fisik

Pengendalian secara fisik ini dikenal dengan kegiatan 3M Plus (Menguras, Menutup, Mengubur), yaitu:

- a. Menguras dan menyikat tempat penampungan air, seperti bak mandi, drum, dan lainnya, setidaknya sekali seminggu (M1).
- b. Menutup tempat penampungan air, seperti tempayan, gentong, dan lainnya, dengan rapat (M2).
- c. Mengubur atau menyingkirkan benda bekas yang dapat menampung air hujan (M3).

## **B. Pencegahan Penyakit Akibat Nematode**

Salah satu cara untuk mengendalikan nematode parasit adalah dengan mencegah penyebarannya ke wilayah yang diketahui tidak terkontaminasi nematode parasit tertentu. Meskipun secara ekonomi mencegah penyebaran nematode secara langsung tidak menguntungkan, metode ini dapat menekan populasi nematoda jika digunakan secara bersamaan dengan metode lainnya. Nematode parasit bergerak dengan sangat lambat. Nematode memerlukan media pembawa seperti tanah, tanaman, dan manusia untuk dapat menyebar. Selain itu, nematode dapat menyebar melalui angin, air, dan hewan. Hampir semua nematode dalam stadia aktif sangat rentan

terhadap kekeringan. Untuk menyebar jarak jauh, beberapa nematode menggunakan stadia tahan atau istirahat yang tahan terhadap kekeringan. Dengan kondisi lingkungan yang tepat, nematode dalam stadia tahan atau istirahat ini akan berkembang biak dan membentuk populasi (Mustika, 1995).

1. Salah satu cara untuk mencegah helminthiasis adalah dengan membersihkan kandang, menjauhkan kandang dari vektor (induk semang antara) dan ternak liar, serta memastikan pengelolaan peternakan yang optimal, termasuk menghindari kandang terlalu padat, memastikan ventilasi yang cukup, dan menerapkan sistem semua dalam satu. Parasit cacing harus diobati secepat mungkin karena pengobatan akan sia-sia jika kondisi menjadi lebih parah. Untuk menghilangkan *Ascaridia galli*, *Vermizin*, *Vermixon sirup*, dan Cacing Exitor dapat digunakan. *A. galli* dan *Heterakis gallinarum* juga dapat dibunuh dengan Tri Worm.
2. Metode Ekstraksi Nematoda  
Metode pemisahan nematoda dari jaringan tanaman atau gumpalan tanah dikenal sebagai ekstraksi nematoda. Metode ini dapat dilakukan dengan alat sederhana atau sentrifus. Diferensiasi antara metode yang digunakan untuk mengekstraksi nematoda bergantung pada tujuan dari proses tersebut. Beberapa metode ekstraksi yang mungkin digunakan adalah
  - a. Dekantasi
  - b. Baskom
  - c. Baermann
  - d. Corong Semprot
  - e. Flotasi
  - f. Sentrifus, dan
  - g. Ekstraksi nematoda kista.

### 3. Pengendalian Nematoda

Ada beberapa teknik pengendalian nematoda, yaitu:

#### a. Teknik bercocok tanam

##### 1) Pengolahan Tanah

- a) Mengubah tanah pada kedalaman lebih dari atau kurang dari 30 cm, sehingga tanah di bagian bawah terangkat ke atas sehingga nematoda mati di permukaan.
- b) Partikel tanah menjadi lebih kecil, sehingga nematoda yang ada dalam bongkahan tanah dapat terlepas dan terkena sinar matahari langsung.

##### 2) Rotasi tanaman

Rotasi tanaman berarti mengganti tanaman dengan jenis tanaman lain yang tidak inang nematoda. Untuk mengendalikan *Hirschmaniella*, tanaman padi dapat dirotasi dengan tanaman palawija.

##### 3) Pemupukan bahan organik

Tujuan pengendalian ini adalah untuk memperbaiki struktur tanah, sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik. Tanaman yang kuat dan sehat lebih tahan terhadap penyakit dan hama. Mikroorganisme yang dapat berfungsi sebagai musuh alami nematoda, seperti jamur perangkap, banyak berkembang dalam pupuk organik, terutama pupuk kandang/kompos.

##### 4) Penggenangan

Banyak nematoda membutuhkan oksigen untuk hidup. Oleh karena kedudukannya didesak oleh air, penggenangan dapat menyebabkan kadar oksigen di dalam tanah berkurang. Akibatnya, nematoda menjadi sulit hidup atau bahkan mati.

- b. Dengan pemanasan  
Pada dasarnya, nematoda parasit dapat mati pada suhu lebih dari atau kurang dari 45° Celcius. Uap panas yang dialirkan melalui pipa dapat digunakan untuk membersihkan tanah sebelum biji atau benih disebar. Untuk mencegah nematoda endoparasit menyerang akar atau biji padi sebelum didistribusikan, bahan tanaman dicelupkan ke dalam air panas pada suhu 50–55° Celcius selama  $\pm 15$  menit.
  - c. Dengan *mulching*  
Menutup permukaan tanah dengan *mulching* meningkatkan suhu di bawah *mulching* yang berbahaya bagi kehidupan nematoda. Penutupan tanah juga dapat mencegah nematoda masuk ke bedengan tempat tanaman dibudidayakan.
  - d. Menggunakan tanaman perangkap  
Tanaman yang digunakan sangat peka. Tanaman perangkap tomat dapat digunakan untuk memerangi Heterodera pada kentang. Pencabutan tanaman tomat dilakukan setelah tanaman berumur 1,5 bulan dan kemudian dibakar. Saat dicabut, nematoda tidak akan menghasilkan telur dan telur nematoda tidak akan masak.
4. Pengendalian Hayati  
Pengendalian hayati menggunakan agen hayati yang dikenal untuk mengontrol nematoda, seperti cendawan, bakteri, atau predator. Predator nematoda biasanya berasal dari kelompok Dorylaimidea, Monchidea, dan Diplogasteroidea.
  5. Menggunakan tanaman tahan.
  6. Secara kimia (pestisida)  
Fumigasi dapat dilakukan pada tanah tempat menanam tanaman maupun bahan yang akan dikonsumsi atau dibuat benih. Untuk tanaman yang terserang nematoda, nematisida sistemik

harus digunakan.

#### 7. Karantina

Karantina dilakukan oleh Dinas Karantina untuk mencegah nematoda tertentu masuk ke Indonesia dari negara lain. Setiap barang yang masuk ke Indonesia harus diperiksa kesehatannya. Serangan dapat menyebabkan proses kimiawi atau fisis untuk menghilangkan nematoda yang menyerang tanaman.

### C. Pencegahan Penyakit Akibat Cacing

Jika infeksi ringan tidak memerlukan pengobatan khusus, biasanya diberikan mebendazol jika diperlukan. Wanita hamil tidak boleh menerima mebendazol karena dapat membahayakan janin yang dikandungnya.

1. *Taenia saginata* dan *Taenia solium* dapat diobati dengan baik dengan Praziquantel, yang juga dikenal sebagai Biltricide. Saat ini, Niclosamide (juga dikenal sebagai Niclocide dan Yomesan) tidak cukup tersedia di pasar sebagai obat pilihan kedua. Operasi untuk cysticercosis dapat menghilangkan sebagian dari gejala penyakit.
2. Untuk membunuh cysticerci b, daging sapi atau babi yang dibekukan selama lebih dari empat hari pada suhu di bawah 5°C (23°F) dapat membunuh cysticerci; pasien dengan cysticercosis SSP harus diobati di rumah sakit dengan pengawasan ketat dan biasanya diberi kortikosteroid untuk mencegah oedem otak.
3. Titik penting ini adalah sumber infeksi, inang yang rentan, dan penyebaran penyakit yang sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Pemberian anticestoda kepada penderita, terutama pada manusia, adalah langkah pengendalian yang penting.
4. Pengobatan cysticercosis pada ternak jarang dilakukan karena dianggap tidak ekonomis dan memerlukan diagnosis awal yang mahal. Sementara itu, cysticercosis pada manusia, yang juga

dikenal sebagai neuro-cysticercosis dan ocular-cysticercosis, biasanya berakibat fatal sebelum memperoleh pengobatan. Untuk mencegah taeniasis manusia, pejabat berwenang harus meningkatkan pemeriksaan kesehatan daging di rumah pemotongan hewan (RPH).

5. Memberikan pelatihan tentang sanitasi lingkungan dan konsumsi daging masak kepada masyarakat yang berisiko tinggi, khususnya mereka yang berada dalam bahaya. Untuk membunuh cysticercus, daging harus dimasak pada suhu 50-60°C atau pembekuan pada suhu -... selama 10–14 hari. Ketentuan ini sering diperdebatkan karena berat atau jumlah daging yang dipanaskan terkait dengan waktu pemanasan agar larva yang terkandung mati (Hilwig *et al.*, 1978 dalam Soulsby, 1982). Dengan cara yang sama, pembekuan berlangsung selama empat hari pada suhu -5°C, tiga hari pada suhu -15°C, dan hanya satu hari pada suhu -24°C (Smyth, 2004).
6. Salah satu hal yang harus dilakukan untuk mencegah cysticercosis pada ternak adalah memperbaiki tata laksana peternakan sapi dan babi, yang pada dasarnya bertujuan untuk menghindari kontak antara pakan ternak dan tinja manusia yang menderita taeniasis.

## Rangkuman

Parasitologi berfokus pada hewan parasit seperti protozoa, helminthes, arthropoda, dan insekta parasit yang menyebabkan zoonosis dan anthroponosis. Parasitologi mencakup taksonomi, morfologi, siklus hidup, patologi, dan epidemiologi penyakit yang disebabkan oleh parasit. Langkah-langkah pencegahan penyakit akibat parasit disebutkan dalam teks, terutama terkait dengan nyamuk. Pencegahan melibatkan menghentikan sarang nyamuk penular, seperti dengan membasmi jentik nyamuk dan menggunakan larvasida. Metode lain termasuk larvasidasi selektif, larvasidasi massal, pengendalian biologis,

pengendalian fisik, dan penggunaan tanaman perangkap.

Pencegahan penyakit akibat nematoda melibatkan teknik, seperti pengolahan tanah, rotasi tanaman, pemupukan bahan organik, penggenangan, pemanasan, *mulching*, penggunaan tanaman perangkap, pengendalian hayati, menggunakan tanaman tahan, dan penggunaan pestisida. Pencegahan penyakit akibat cacing, seperti *Taenia saginata* dan *Taenia solium*, menggunakan obat-obatan seperti Praziquantel. Pengobatan cysticercosis tidak kalah pentingnya dengan pemeriksaan kesehatan daging di rumah pemotongan hewan sebagai langkah pengendalian cysticercosis.

### Soal Pilihan Ganda

1. Apa fokus utama dari upaya pencegahan terhadap penyakit yang disebabkan oleh nyamuk?
  - a. Menggunakan obat nyamuk dan repelan
  - b. Memisolasi gejala awal penyakit
  - c. Menghilangkan sarang nyamuk penular
  - d. Mengobati orang yang terinfeksi
2. Apa yang dimaksud dengan Angka Bebas Jentik (ABJ) dalam konteks kegiatan PSN Chikungunya?
  - a. Angka jumlah nyamuk yang terbunuh
  - b. Angka keberhasilan penggunaan repelan
  - c. Angka keberhasilan pengendalian populasi nyamuk
  - d. Angka keberhasilan isolasi gejala awal penyakit
3. Apa jenis larvasida yang digunakan untuk pemberantasan jentik nyamuk di dalam tempat penampungan air?
  - a. Temephos 1%
  - b. Methoprene dan Phyriproiphene
  - c. Ikan pemakan jentik
  - d. *Bacillus thuringiensis* serotipe H-14 (Bt. H-14)

4. Apa yang dimaksud dengan “Larvasidasi Massal” dalam konteks pengendalian nyamuk?
  - a. Penaburan larvasida di seluruh bangunan
  - b. Pemeriksaan tempat penampungan air
  - c. Penggunaan ikan larvavorus
  - d. Pengendalian biologis
5. Apa yang merupakan salah satu langkah dalam kegiatan 3M Plus untuk pengendalian nyamuk secara fisik?
  - a. Menyikat tempat penampungan air
  - b. Mencuci bak mandi
  - c. Membuang obat nyamuk
  - d. Menutup tempat penampungan air secara longgar
6. Bagaimana nematoda parasit menyebar ke wilayah yang tidak terkontaminasi?
  - a. Melalui angin dan air
  - b. Melalui vektor dan ternak liar
  - c. Melalui perubahan iklim
  - d. Melalui makanan yang terkontaminasi
7. Apa yang dapat digunakan untuk mengendalikan nematoda parasit pada ternak?
  - a. Menjaga kandang tetap padat
  - b. Memastikan ventilasi yang cukup
  - c. Menggunakan pengobatan pada parasit cacing
  - d. Memperbanyak jumlah vektor
8. Metode apa yang digunakan untuk ekstraksi nematoda dari jaringan tanaman atau gumpalan tanah?
  - a. Dekantasi
  - b. Pemupukan bahan organik
  - c. Penggenangan
  - d. Fumigasi

9. Apa yang dimaksud dengan “rotasi tanaman” sebagai teknik pengendalian nematoda?
  - a. Mengganti tanaman dengan jenis tanaman lain yang tidak menjadi inang nematoda
  - b. Mengganti tanaman dengan jenis tanaman yang sama
  - c. Menggunakan tanaman perangkap untuk nematoda
  - d. Mengganti tanaman dengan jenis tanaman yang tahan terhadap nematoda
10. Apa penggunaan agen hayati dalam pengendalian nematoda?
  - a. Menggunakan tanaman tahan
  - b. Menggunakan predator nematoda
  - c. Meningkatkan ventilasi dalam kandang
  - d. Menggunakan pestisida secara berlebihan
11. Apa yang dapat digunakan untuk mengobati *Taenia saginata* dan *Taenia solium*?
  - a. Mebendazol
  - b. Praziquantel
  - c. Niclosamide
  - d. Operasi
12. Mengapa wanita hamil tidak boleh menerima mebendazol?
  - a. Karena mebendazol tidak efektif untuk wanita hamil
  - b. Karena mebendazol dapat membahayakan janin
  - c. Karena wanita hamil tidak rentan terhadap infeksi cacing
  - d. Karena mebendazol hanya efektif pada wanita yang tidak hamil
13. Apa yang dapat membunuh cysticerci dalam daging sapi atau babi?
  - a. Menggorengnya dengan suhu tinggi
  - b. Membekukannya selama lebih dari 4 hari
  - c. Mengendapkan daging dalam air selama seminggu
  - d. Menyimpan daging pada suhu di atas 5°C

14. Apa yang harus dilakukan pejabat berwenang untuk mencegah taeniasis manusia?
  - a. Mengobati ternak secara rutin
  - b. Meningkatkan pemeriksaan kesehatan daging di rumah pemotongan hewan
  - c. Memberikan pelatihan tentang sanitasi lingkungan
  - d. Memasak daging pada suhu yang sangat tinggi
15. Salah satu langkah yang dapat dilakukan untuk mencegah cysticercosis pada ternak adalah...
  - a. Memasak semua daging dengan suhu 50-60°C
  - b. Menghindari kontak antara pakan ternak dan tinja manusia
  - c. Mencari sumber infeksi di lingkungan
  - d. Memberikan kortikosteroid kepada ternak yang terinfeksi

### Essay

16. Jelaskan alasan menghilangkan sarang nyamuk penular dianggap sebagai cara terbaik untuk mencegah gigitan nyamuk!  
Jawab :
17. Jelaskan beberapa teknik yang dapat digunakan untuk mengendalikan nematoda parasit dalam pertanian!  
Jawab :
18. Apa langkah-langkah yang biasanya diambil dalam penerapan karantina untuk melindungi pertanian dari serangan nematoda?  
Jawab :
19. Jelaskan beberapa metode pengobatan yang dapat digunakan untuk mengobati cysticercosis pada manusia!  
Jawab :
20. Bagaimana perbaikan tata laksana peternakan sapi dan babi dapat membantu menghindari penyebaran penyakit cysticercosis pada ternak?  
Jawab :

BAB  
9

# Penyakit yang Disebabkan oleh Gigitan Nyamuk

## **Tujuan Instruksional Umum**

Mahasiswa mampu menjelaskan protozoa darah yang menyebabkan penyakit.

## **Tujuan Instruksional Khusus**

Menjelaskan pengertian protozoa darah: Plasmodium falcifarum, P. vivax, P. Malariae, P. Ovale.

Nyamuk membawa penyakit berat seperti malaria, demam berdarah, dan demam kuning yang dapat menyebar dengan cepat. Gigitan nyamuk dapat menyebabkan beberapa penyakit berikut ini.

## **A. Malaria**

Malaria sangat menular di daerah tropis dan subtropis. Lebih dari sejuta orang mati setiap tahun akibat penyakit ini. Di Indonesia, malaria telah diberantas sejak zaman kolonial Hindia Belanda, tetapi masih belum sepenuhnya dihilangkan. Banyak provinsi Indonesia masih mengalami malaria (Wijaya, 2011).

Malaria adalah penyakit tropis yang disebabkan oleh parasit genus plasmodium, golongan protozoa yang menyebar melalui gigitan nyamuk *Anopheles spp.* Perubahan iklim, terutama selama musim kemarau dan penghujan, berkontribusi pada penyebaran penyakit malaria. Baik secara langsung maupun tidak langsung, pergantian

musim memengaruhi kehidupan vektor penyakit malaria. Reproduksi vektor, perkembangan, umur hidup, dan perkembangan parasit dalam tubuhnya dipengaruhi secara langsung oleh kondisi iklim, yang mencakup temperatur, kelembaban, curah hujan, cahaya, dan pola tiupan angin. Sebaliknya, dampak tidak langsung disebabkan oleh perubahan vegetasi dan pola tanam pertanian yang dapat memengaruhi kepadatan populasi vektor (Depkes, 2001).

Oleh karena lebih dari 500 juta orang terinfeksi malaria setiap tahun dan lebih dari 1 juta di antaranya meninggal dunia, penyakit malaria merupakan salah satu masalah kesehatan masyarakat. Mayoritas kasus terjadi di Afrika, tetapi juga terjadi di Asia, Amerika Latin, Timur Tengah, dan beberapa negara Eropa. Sekitar 36% orang di seluruh dunia mungkin menderita malaria (Depkes, 2008).

### **1. Penyebaran Malaria**

Sebagai perbandingan, infeksi Plasmodium menyebabkan sekitar 2 juta kematian setiap tahun di seluruh dunia. Korban sebagian besar adalah anak-anak di bawah lima tahun yang tinggal di negara-negara Afrika sub-Sahara. Setiap tahun, terjadi sekitar 400 juta kasus baru malaria di seluruh dunia. Sebagian besar kasus malaria di Amerika berasal dari luar negeri, terutama ketika mereka tinggal atau bepergian ke daerah tempat penyakit ini umum.

Di banyak wilayah tropis dan subtropis, penyakit malaria merupakan masalah kesehatan yang signifikan. Diperkirakan ada 300-500 juta kasus malaria dan lebih dari 1 juta kematian setiap tahun. Ini merupakan ancaman utama bagi pengunjung yang mengunjungi wilayah dengan iklim hangat. Di beberapa tempat di seluruh dunia, parasit malaria telah mengembangkan resistensi terhadap antibiotik, sementara nyamuk pembawa malaria telah mengembangkan resistensi terhadap insektisida. Ini mempersulit pengendalian tingkat infeksi dan penyebaran malaria.

## 2. Penyebab Malaria

Menurut Afriyanti (2011), dua jenis hewan yang sangat penting dalam penyebaran malaria adalah nyamuk anopheles dan parasit malaria (*Plasmodium*):

### a. Parasit malaria

Parasit malaria membutuhkan *host* (tempat menumpang hidup) manusia dan nyamuk, seperti nyamuk anopheles, untuk bertahan hidup. Siklus hidup parasit malaria sangat kompleks. Di dunia, terdapat empat jenis parasit malaria yang dapat menginfeksi sel darah merah manusia, yaitu:

- 1) *Plasmodium falciparum*
- 2) *Plasmodium vivax*
- 3) *Plasmodium malariae*
- 4) *Plasmodium ovale*

### b. Nyamuk Anopheles

Hanya nyamuk Anopheles betina yang dapat menularkan malaria pada manusia. Nyamuk Anopheles menghisap parasit malaria (*plasmodium*) bersamaan dengan darah penderita malaria saat mereka menggigit orang yang telah terinfeksi malaria. Parasit malaria kemudian bereproduksi dalam tubuh nyamuk Anopheles. Ketika nyamuk menggigit orang lain yang tidak terinfeksi, parasit malaria masuk ke tubuh mereka melalui air liur nyamuk.

## 3. Gejala malaria ringan (malaria tanpa komplikasi)

Meskipun disebut malaria ringan, sebenarnya gejala yang dirasakan penderitanya cukup menyiksa (alias cukup berat). Gejala malaria yang utama yaitu demam, menggigil, juga dapat disertai sakit kepala, mual, muntah, diare, nyeri otot, atau pegal-pegal. Gejala-gejala yang timbul dapat bervariasi tergantung daya tahan tubuh penderita dan gejala spesifik tempat parasit berasal. Gejala malaria yang klasik terdiri atas tiga stadium berurutan yang disebut trias malaria, yaitu:

a. Stadium Dingin (*Cold Stage*)

Stadium ini berlangsung 15 menit hingga 1 jam. Dimulai dengan gejala menggigil dan perasaan sangat dingin, gigi gemeretak, nadi yang cepat tetapi lemah, sianosis pada bibir dan jari-jari, dan terkadang muntah.

b. Stadium Panas (*Hot Stage*)

Stadium ini berlangsung sekitar 2-4 jam. Penderita mengalami rasa panas yang sangat tinggi, disertai dengan wajah yang memerah, kulit kering, sakit kepala yang sering, dan muntah yang sering. Suhu tubuh dapat meningkat hingga 41°Celsius atau lebih tinggi, dan nadi kembali kuat. Suhu tubuh yang sangat tinggi dapat menyebabkan kejang-kejang pada anak-anak.

c. Stadium Berkeringat (*Sweating Stage*)

Stadium ini berlangsung sekitar 2-4 jam. Penderita mengeluarkan banyak keringat. Suhu tubuh akan turun kembali, mungkin bahkan sampai di bawah suhu normal. Setelah itu, penderita biasanya tertidur. Ketika mereka bangun dari tidur, mereka mungkin merasa lemah, tetapi tidak menunjukkan gejala lain, sehingga mereka dapat melanjutkan kehidupan sehari-hari.

Gejala klasik (trias malaria) berlangsung selama 6–10 jam dan biasanya dialami oleh orang yang berasal dari daerah non-endemis malaria, orang yang belum memiliki kekebalan (imunitas) terhadap malaria, atau orang yang baru pertama kali menderita malaria. Di daerah endemik malaria yang penderitanya telah memiliki kekebalan, gejala klasik timbul tidak berurutan, bahkan kadang-kadang tidak ada sama sekali, dan sering bervariasi tergantung pada spesies par. Penderita sering kali tidak mengalami demam di daerah yang memiliki tingkat penularan yang tinggi (hiperendemik). Namun, mereka dapat mengalami gejala tambahan, seperti diare dan pegal-pegal. Ini disebut sebagai gejala malaria lokal.

Penderita malaria vivax lebih sering mengalami gejala klasik (trias malaria), sedangkan pada penderita malaria falciparum, gejala menggigil dapat sangat ringan atau bahkan tidak ada sama sekali. Kurva suhu tubuh penderita malaria falciparum, malaria vivax, dan malaria malariae berbeda-beda, dengan periode tidak demam 12 jam pada malaria falciparum, 36 jam pada malaria vivax dan ovale, dan 60 jam pada malaria malariae.

#### **4. Gejala malaria berat (malaria dengan komplikasi)**

Jika parasit malaria ditemukan di dalam darahnya melalui pemeriksaan laboratorium Sediaan Darah Tepi atau Tes Diagnostik Cepat (RDT), pasien dikatakan menderita malaria berat. Selain itu, pasien harus memiliki salah satu atau lebih dari gejala atau komplikasi berikut:

- a. Gangguan kesadaran dalam tingkat yang berbeda (mulai dari koma sampai penurunan kesadaran lebih ringan dengan gejala seperti mengigau, bicara salah, tidur terus, diam saja, atau tingkah laku berubah).
- b. Keadaan umum
- c. Kecemasan
- d. Temperatur sangat tinggi
- e. Mata atau seluruh tubuh berwarna kuning
- f. Tanda-tanda dehidrasi: mata cekung, bibir kering, penurunan jumlah air seni, dan penurunan turgor dan elastisitas kulit
- g. Perdarahan yang terjadi di hidung, gusi, atau saluran pencernaan
- h. Napas yang cepat atau sesak
- i. Muntah terus menerus dan tidak dapat makan atau minum
- j. Air seni berwarna teh tua atau kehitaman
- k. Jumlah air seni berkurang sehingga tidak keluar
- l. Tangan sangat pucat (anemia dengan Hb kurang dari 5 g%).

## 5. Pengobatan

Lakukan pemeriksaan darah jika memungkinkan. Segera setelah tanda-tanda pertama muncul, mulailah pengobatan. Mengobati pasien malaria berarti melindungi orang lain agar tidak terinfeksi karena malaria menyebar melalui nyamuk. Jika segera diobati, nyamuk yang menggigit Anda tidak akan menularkan malaria kepada orang lain.

Saat ini, pengobatan malaria baru diberikan di berbagai tempat. Salah satunya adalah artemisinin yang telah digunakan di Cina selama bertahun-tahun dan sering diberikan bersama dengan obat antimalaria lainnya atau antibiotik. Obat yang paling populer selama bertahun-tahun, klorokin, masih efektif di beberapa tempat. Petugas kesehatan setempat adalah satu-satunya cara untuk mengetahui obat yang paling efektif di daerah Anda.

## 6. Pencegahan

Jika memungkinkan, lakukan pemeriksaan darah. Mulailah pengobatan segera setelah tanda-tanda muncul.

**Tabel 1. Hubungan faktor Lingkungan dengan Kejadian Malaria di Wilayah Kerja Puskesmas Tambelang**

Faktor Lingkungan	Status Malaria				Total	%	OR (95%CI)	Nilai p
	Tidak		Ya					
	n	%	n	%				
Baik	47	49,0	12	12,5	59	61,5	8,16	
Tidak Baik	12	12,5	25	26,0	37	38,5	(3,20-20,8)	0,000
Total	59	61,5	37	38,5	96	100,0		

Sumber: data sekunder

Berdasarkan Tabel di atas, dari 59 responden dengan faktor lingkungan yang baik, 49,0% tidak akan mengalami malaria, dan 12,5% mengalami malaria. Dari 37 responden dengan faktor lingkungan yang tidak baik, 26,0% mengalami malaria, dan 12,5%

tidak mengalaminya (Tulangow, 2017).

Oleh karena nyamuk *Anopheles* bersarang di parit-parit, persawahan, empang, dan genangan air, lingkungan tempat tinggal yang kumuh dan sanitasi buruk biasanya menjadi penyebab utama penularan malaria. Sensitivitas vektor terhadap infeksi parasit sangat beragam dan dipengaruhi oleh perbedaan strain parasit.

## **B. Demam Berdarah**

Kelompok B Arthropod Borne Virus (Arbovirus), yang sekarang dikenal sebagai genus *Flavivirus*, famili *Flaviviridae*, adalah sumber virus dengue, yang menyebabkan demam dengue (DD) dan demam berdarah dengue (DBD). Serotipe virus dengue DEN-1, DEN-2, DEN-3, DEN-4, dan DEN-5 sangat mirip satu sama lain secara antigenik, tetapi tidak dapat menghasilkan perlindungan silang setelah terinfeksi oleh salah satu dari jenis virus ini. Keempat serotipe virus tersebar di seluruh Indonesia. Mayoritas serotipe DEN-3 menunjukkan gejala klinik yang signifikan (Indonesian Version, 2008).

### **1. Ciri penyakit DBD**

Demam tinggi mendadak, sakit kepala hebat, rasa sakit di belakang mata, otot, dan sendi, hilangnya nafsu makan, mual-mual, dan ruam adalah gejala utama demam berdarah. Pada anak-anak, demam tinggi dapat mencapai suhu 40–41° Celcius selama 2-7 hari, wajah kemerahan, serta gejala lainnya yang menyertai demam ringan. Berikutnya, dapat terjadi pendarahan, seperti memar, gusi dan hidung berdarah, serta pendarahan di seluruh tubuh. Dalam kasus yang sangat parah, kegagalan saluran pernapasan, *shock*, dan kematian mungkin terjadi. Tubuh memiliki kekebalan terhadap salah satu dari empat jenis virus setelah terinfeksi, tetapi tidak menjamin kekebalan terhadap tiga jenis virus lainnya. (Septiani, 2009).

## 2. Penularan

Demam berdarah ditularkan pada manusia melalui gigitan nyamuk betina *Aedes* yang terinfeksi virus dengue. Penyakit ini tidak dapat ditularkan langsung dari orang ke orang. Penyebar utama virus dengue yaitu nyamuk *Aedes aegypti*. Nyamuk ini tidak ditemukan di Hong Kong, tetapi virus dengue juga dapat disebarkan oleh spesies lain, yaitu *Aedes albopictus* (Indonesian Version, 2008).

## 3. Masa Inkubasi

Jangka masa inkubasi adalah 3 sampai 14 hari, umumnya 4-7 hari.

## 4. Pencegahan

Salah satu pencegahan dan penanggulangan DBD adalah dengan adanya kader jumantik (juru pemantau jentik).

## C. Demam Chikungunya

Demam Chikungunya disebabkan oleh virus yang ditularkan melalui nyamuk dan pertama kali ditemukan di Tanzania pada tahun 1952. Chikungunya berasal dari kata kerja dasar bahasa Makonde yang berarti “membungkuk”, yang mengacu pada postur penderita yang membungkuk karena nyeri sendi yang parah (arthralgia) (Powers and Logue, 2007).

Arthralgia atau arthritis, terutama di pergelangan tangan, lutut, pergelangan kaki, dan persendian lainnya di tangan dan kaki, ditandai dengan sembuhnya sendiri yang berlangsung beberapa hari hingga berbulan-bulan. Bisa juga disebut lumpuh layu.

**Tabel 3. Distribusi Sampel Berdasarkan Faktor Risiko Intrinsik dan Ekstrinsik Penyakit Chikungunya di Kabupaten Sukoharjo tahun 2016**

Variabel	Frekuensi	Persentase (%)
Umur		
1. >30 tahun (berisiko)	50	64,1
2. ≤30 tahun (tidak berisiko)	28	35,9

Tingkat pendidikan		
1. Rendah	50	64,1
2. Tinggi	28	35,9
Status Pekerjaan		
1. Bekerja	58	74,4
2. Tidak bekerja	20	25,5
Keberadaan Semak-semak di sekitar rumah		
1. Ada	28	35,9
2. Tidakada	50	64,1
Kebiasaan menguras bak mandi		
1. Tidak menguras	18	23,1
2. Menguras	64	76,9
Kebiasaan tidur siang berisiko		
1. Berisiko	36	46,2
2. Tidak berisiko	42	53,8
Kebiasaan menggantung pakaian bekas pakai		
1. menggantung	40	51,3
2. tidak menggantung	38	48,7

Menurut penelitian Pratama dan Pawenang tahun 2017, faktor risiko demam chikungunya termasuk umur, pekerjaan, tingkat pendidikan, kondisi lingkungan, kebiasaan menggantung pakaian, dan kebiasaan tidur siang.

## 1. Etiologi

Virus Chikungunya (CHIKV), yang berasal dari keluarga Togaviridae dan Genus Alphavirus, ditularkan oleh nyamuk *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*. Ini menyebabkan penyakit Chikungunya (Kamath, S., Das, A.K., dan Parikh, F.S., 2006). Sampai saat ini, cara CHIKV masuk ke Indonesia sebagai penyebab Chikungunya masih belum diketahui. CHIKV adalah virus yang ada pada hewan primata di tengah hutan atau savana Afrika sekitar 200 hingga 300 tahun lalu. Nyamuk *Aedes sp.* menjaga siklus virus di hutan di antara primata, termasuk baboon (*Papio sp.*) dan *Cercopithecus sp.* (Hendarwanto, 1996).

Chikungunya menyebar melalui *vector-borne*, yaitu gigitan nyamuk *Aedes sp* yang terinfeksi. Satu kasus pernah dilaporkan memiliki

kemungkinan transmisi melalui darah. Dikatakan bahwa ASI tidak dapat membawa CHIKV (Powers, 2009).

## 2. Tanda dan Gejala

Masa inkubasi Chikungunya berkisar antara 2-12 hari, tetapi biasanya antara 3 dan 7 hari (Centers for Disease Control and Prevention, 2010). Infeksi virus ini biasanya menyebabkan demam mendadak dengan menggigil selama 2-5 hari. Gejalanya biasanya muncul secara tiba-tiba dengan suhu lebih dari 40° Celcius. Setelah 2-3 hari, demam berhenti dan mungkin kembali pada hari berikutnya. Selain itu, demam selalu dikaitkan dengan gejala lainnya seperti sakit kepala, mual, dan nyeri perut (Swaroop, A. *et al.*, 2007).

Penderita chikungunya dapat mengalami nyeri sendi (arthralgia) dan nyeri otot (myalgia). Sekitar 80% penderita chikungunya mengalami keluhan arthralgia. Sendi yang paling sering dikeluhkan adalah lutut, siku, pergelangan, jari kaki, tangan, dan tulang belakang. Penderita biasanya berbaring miring, lutut tertekuk, dan mereka berusaha untuk mengurangi dan membatasi gerakan mereka. Gejala-gejala ini dapat bertahan selama beberapa minggu, bulan, atau bahkan beberapa tahun, dan ini dapat menyerupai RA. Selain itu, nyeri otot dapat terjadi pada seluruh otot, terutama pada otot yang berfungsi sebagai penyangga berat badan, seperti otot di area leher, bahu, dan anggota gerak (Ng, K.W. *et al.*, 2009).

Kebanyakan penderita mengalami peradangan sendi diikuti dengan bercak kemerahan makulopapuler yang bersifat *non-pruritic* pada bagian tubuh dan anggota gerak tangan dan kaki. Setelah 7–10 hari, bercak ini akan hilang dan diikuti dengan deskuamasi (Yulfi, H., 2006). Pembesaran kelenjar getah bening di leher, sakit kepala, dan kolaps pembuluh darah kapiler adalah gejala tambahan (Oktikasari, F.Y., Susanna, D., dan Djaja, I.M., 2008).

### 3. Pencegahan

Tidak ada cara lain untuk mencegah demam chikungunya selain menghindari gigitan nyamuk dan menghilangkan tempat nyamuk berkembang biak dengan menerapkan metode 3M (Menguras, Menutup, dan Mengubur barang bekas yang menampung air) atau menaburkan bubuk abate pada tempat penampungan air.

### 4. Penanggulangan

Bila menemukan kasus chikungunya, lakukan langkah-langkah berikut ini.

- a. Segera laporkan ke Puskesmas atau Dinas Kesehatan setempat.
- b. Pastikan penderita tidak digigit nyamuk (tidur dengan kelambu) agar infeksi tidak menyebar ke orang lain.
- c. Sarankan penderita untuk beristirahat selama fase akut.
- d. Penyemprotan atau pengasapan diperlukan dalam situasi KLB.
- e. Lakukan Pemeriksaan Jentik di lingkungan rumah

### D. Demam Penyakit Kuning

Nyamuk-nyamuk di Afrika dan sebagian Amerika Selatan membawa penyakit kuning. Demam penyakit kuning hutan dan demam penyakit kuning perkotaan adalah dua jenis penyakit yang berbeda yang menyebar dengan cara berbeda pula.

1. Demam penyakit kuning hutan menyebar dari nyamuk ke monyet dan dari monyet ke manusia melalui gigitan nyamuk yang telah terinfeksi. Pekerja di hutan-hutan tropis adalah yang paling sering menderita penyakit ini.
2. Kebanyakan epidemi dan wabah demam penyakit kuning disebabkan oleh demam penyakit kuning perkotaan. Seperti malaria dan demam berdarah, demam penyakit kuning perkotaan menyebar melalui gigitan nyamuk dan isapan darah dari individu yang terinfeksi, yang kemudian menyebarkan infeksi ke orang lain.

Demam panas dingin, nyeri otot (terutama sakit punggung), sakit kepala, kehilangan nafsu makan, mual dan muntah, demam tinggi, dan denyut nadi yang lemah adalah semua gejala dari demam penyakit kuning. Kebanyakan orang mengalami remisi penyakit setelah tiga atau empat hari. Namun, sekitar satu dari tujuh penderita demam kembali sehari setelah tanda pertamanya hilang. Pendarahan dari mulut, hidung, mata, dan perut dapat muncul setelah penyakit kuning, nyeri dada, dan muntah. Kematian dapat terjadi dalam waktu 10-14 hari, tetapi setengah dari mereka yang menderita demam penyakit kuning kedua selamat tanpa masalah kesehatan serius.

#### **E. Kaki Gajah atau Filariasis**

Penyakit menular tetap menjadi penyebab utama kematian dan kesakitan di negara-negara sedang berkembang, meskipun telah terjadi perubahan dalam pola penyebaran penyakit. Salah satu penyakit yang sangat umum di Indonesia adalah filariasis. Penyakit kaki gajah atau filariasis adalah salah satu penyakit menular yang disebabkan oleh cacing filaria dan berlangsung lama. Cacing filaria hidup dalam tubuh manusia di saluran dan kelenjar getah bening (limfe) dan dapat menyebabkan gejala akut dan kronis. Penyakit ini menular melalui gigitan nyamuk. Stadium lanjut atau kronis penyakit ini dapat menyebabkan cacat permanen seumur hidup seperti pembesaran kaki seperti kaki gajah dan bagian tubuh lainnya, seperti lengan, kantong buah zakar, payudara, dan alat kelamin wanita.

World Health Organization (WHO) menyatakan pada tahun 1994 bahwa penyakit kaki gajah dapat dihilangkan. Pada tahun 1997, World Health Assembly membuat resolusi tentang menghilangkan penyakit kaki gajah. Pada tahun 2000, WHO membuat komitmen global untuk menghilangkan penyakit kaki gajah (*“The Global Goal of Elimination of Lymphatic Filariasis as a Public Health Problem by the year 2020”*).

## 1. Penularan Penyakit Kaki Gajah

Penyakit ini dapat menular melalui nyamuk yang mengisap darah seseorang yang telah tertular sebelumnya. Saat nyamuk yang terinfeksi menggigit atau mengisap darah orang tersebut, darah yang terinfeksi dan larvanya akan menular ke orang lain. Filariasis dapat ditularkan oleh 23 spesies nyamuk dari genus *Anopheles*, *Culex*, *Mansonia*, *Aedes*, dan *Armigeres*, tidak seperti malaria dan demam berdarah. Oleh karena itu, filariasis dapat menular dengan cepat (Setyowidodo, 2010).

## 2. Tanda dan Gejala Penyakit Kaki Gajah

Penyakit kaki gajah biasanya muncul pada usia kanak-kanak dan berkembang selama bertahun-tahun. Berikut ini adalah beberapa gejala akut yang dapat terjadi, menurut Setyowidodo (2010):

- a. Demam berulang selama 3-5 hari yang dapat hilang saat istirahat dan muncul lagi setelah aktivitas berat. Lymphadenitis adalah pembengkakan kelenjar getah bening yang tidak memiliki luka di daerah lipatan paha dan ketiak, tetapi tampak kemerahan, panas, dan sakit.
- b. Radang saluran kelenjar getah bening yang terasa panas dan sakit yang menjalar dari pangkal kaki atau pangkal lengan ke arah ujung (retrograde lymphangitis)
- c. Abses filarial karena pembengkakan kelenjar getah bening yang sering terjadi, yang dapat pecah dan mengeluarkan nanah dan darah.
- d. Pembesaran tungkai, lengan, payudara, dan buah zakar yang terasa panas dan terlihat agak kemerahan.
- e. Pembesaran yang menetap (elephantiasis) pada tungkai, lengan, payudara, dan buah zakar.

### 3. Pencegahan Filariasis

Filariasis dapat dicegah dengan menghilangkan tempat perindukan nyamuk dan selalu menjaga lingkungan bersih. Sebaiknya lingkungan dibersihkan secara gotong royong setidaknya seminggu sekali, serta selalu membersihkan selokan dan sampah. Ini juga merupakan bagian dari upaya untuk mengendalikan vektor nyamuk.

**Tabel 4. Tabulasi Silang antara Tempat Perindukan Nyamuk dengan Kejadian Filariasis**

Tempat Perindukan Nyamuk	Kejadian Filariasis						p	OR	95%CI
	Kasus		Kontrol		Total				
	N	%	N	%	N	%			
Ada	14	82,4	6	35,3	20	58,8			
Tidak ada	3	17,6	11	64,7	14	41,2	0,015	8,556	1,736-42,169
Total	17	100	17	100	34	100			

Menurut penelitian Amelia (2014), ada hubungan antara Tempat Perindukan Nyamuk dan kasus filariasis yang terjadi di lokasi penelitian, yaitu Kelurahan Kertoharjo, Kota Pekalongan. Hasil uji Chi-square menunjukkan p value sebesar 0,015 karena p value  $< 0,05$ , sehingga  $H_0$  ditolak. Mereka yang tinggal dekat dengan tempat perindukan nyamuk memiliki risiko 8,556 kali lebih besar menderita filariasis daripada mereka yang tidak dekat dengan tempat perindukan nyamuk, menurut perhitungan risiko perkiraan yang menghasilkan OR 8,556.

### Rangkuman

Malaria adalah penyakit tropis yang disebabkan oleh parasit genus *Plasmodium*, menyebar melalui gigitan nyamuk *Anopheles spp.*, dan masih merupakan masalah kesehatan global dengan jutaan kasus dan kematian setiap tahun, terutama di daerah tropis dan subtropis. Faktor perubahan iklim, seperti musim kemarau dan penghujan, memengaruhi penyebaran

malaria melalui pengaruh pada vektor dan siklus hidup parasit.

Malaria dapat menghasilkan gejala seperti trias malaria yang mencakup stadium dingin, panas, dan berkeringat. Ada berbagai jenis parasit malaria yang memengaruhi pengobatan dan pencegahannya. Pencegahan mencakup pengendalian nyamuk vektor dan pemberian obat antimalaria di daerah berisiko.

Demam Berdarah, Demam Chikungunya, Demam Penyakit Kuning, dan Filariasis masing-masing memiliki cara penularan, gejala, dan pencegahan sendiri. Demikian pula, faktor risiko, etiologi, tanda gejala, pencegahan, dan penanggulangan yang berkaitan dengan masing-masing penyakit.

### **Soal Pilihan Ganda**

1. Apa penyebab penyebaran penyakit malaria?
  - a. Resistensi antibiotik
  - b. Resistensi insektisida
  - c. Perubahan iklim
  - d. Kekebalan tubuh
2. Apa yang dimaksud dengan trias malaria?
  - a. Tiga jenis parasit malaria
  - b. Tiga tahap infeksi malaria
  - c. Tiga gejala utama malaria
  - d. Tiga jenis nyamuk pembawa malaria
3. Manakah pernyataan berikut yang benar tentang nyamuk Anopheles dalam penyebaran malaria?
  - a. Nyamuk Anopheles tidak bisa menggigit manusia.
  - b. Hanya nyamuk jantan yang dapat menularkan malaria.
  - c. Nyamuk Anopheles menghisap parasit malaria bersamaan dengan darah penderita malaria.

- d. Nyamuk *Anopheles* tidak memiliki peran dalam penyebaran malaria.
4. Apa yang harus dilakukan saat gejala malaria berat terjadi pada seseorang?
    - a. Tunggu beberapa hari untuk melihat apakah gejalanya membaik sendiri.
    - b. Segera mulai pengobatan.
    - c. Lakukan pemeriksaan darah hanya jika gejala semakin parah.
    - d. Biarkan tubuh melawan parasit malaria tanpa intervensi medis.
  5. Apa pengobatan yang disebutkan dalam teks sebagai pengobatan malaria?
    - a. Antibiotik
    - b. Artemisinin
    - c. Obat antinyamuk
    - d. Klorokin
  6. Apa yang harus dilakukan untuk melindungi orang lain dari infeksi malaria saat seseorang terkena penyakit ini?
    - a. Menggunakan obat antinyamuk secara teratur.
    - b. Menggunakan kelambu tidur.
    - c. Segera mulai pengobatan malaria.
    - d. Tidak perlu tindakan khusus.
  7. Apa sumber virus yang menyebabkan demam dengue (DD) dan demam berdarah dengue (DBD)?
    - a. Nyamuk *Aedes aegypti*
    - b. Genus *Flavivirus*
    - c. Famili *Flaviviridae*
    - d. Serotipe virus DEN-3
  8. Apa gejala utama demam berdarah dengue (DBD)?
    - a. Batuk dan pilek
    - b. Demam ringan dan nyeri otot

- c. Demam tinggi mendadak, sakit kepala, dan ruam
  - d. Gangguan pencernaan dan kelemahan otot
9. Bagaimana demam berdarah dengue (DBD) ditularkan kepada manusia?
- a. Melalui udara
  - b. Melalui kontak langsung dengan penderita
  - c. Melalui gigitan nyamuk Aedes yang terinfeksi
  - d. Melalui konsumsi makanan yang terkontaminasi
10. Berapa jangka umumnya masa inkubasi demam berdarah dengue (DBD)?
- a. 1-2 hari
  - b. 3-14 hari
  - c. 15-30 hari
  - d. 31-60 hari
11. Apa salah satu tindakan pencegahan dan penanggulangan yang disebutkan dalam teks untuk DBD?
- a. Vaksinasi
  - b. Penggunaan kelambu
  - c. Penggunaan obat antivirus
  - d. Adanya kader jumantik
12. Bagaimana demam penyakit kuning hutan menyebar kepada manusia?
- a. Melalui gigitan nyamuk betina Aedes yang terinfeksi
  - b. Melalui kontak langsung dengan penderita
  - c. Melalui udara
  - d. Melalui konsumsi makanan yang terkontaminasi
13. Apa gejala utama demam penyakit kuning?
- a. Demam ringan dan batuk
  - b. Sakit perut dan muntah
  - c. Demam panas dingin dan nyeri otot

- d. Gangguan pernapasan dan pendarahan
14. Bagaimana penyakit kaki gajah atau filariasis menular?
- Melalui gigitan nyamuk yang telah terinfeksi cacing filaria
  - Melalui kontak langsung dengan penderita
  - Melalui makanan yang terkontaminasi
  - Melalui udara

### Essay

1. Jelaskan perbedaan antara demam penyakit kuning hutan dan demam penyakit kuning perkotaan dalam hal penyebarannya, gejala utama, dan faktor risiko yang terlibat.

Jawab:

2. Bagaimana mekanisme penularan penyakit malaria melalui nyamuk *Anopheles*? Jelaskan tahapan siklus hidup parasit malaria dalam tubuh manusia.

Jawab:

3. Diskusikan gejala-gejala utama dari demam berdarah dengue (DBD) dan faktor-faktor yang dapat memengaruhi tingkat keparahannya. Apa yang dapat dilakukan untuk mencegah penyebaran DBD?

Jawab:

4. Apa itu penyakit kaki gajah (filariasis), dan bagaimana penularannya terjadi melalui nyamuk? Jelaskan gejala akut dan kronis dari filariasis serta upaya pencegahan yang dapat diambil.

Jawab:

5. Bagaimana upaya-upaya pengendalian vektor nyamuk dapat membantu mengurangi penyebaran penyakit seperti malaria, demam berdarah dengue, dan filariasis? Apa saja langkah-langkah yang dapat diambil dalam menjaga lingkungan bebas dari tempat perindukan nyamuk?

Jawab:

BAB  
10

# Penyakit yang Disebabkan oleh Nematoda

## **Tujuan Instruksional Umum**

Mahasiswa mampu menjelaskan nematoda usus yang menyebabkan penyakit.

## **Tujuan Instruksional Khusus**

Menjelaskan pengertian Nematoda usus: *Ascaris lumbricoides*, *Tricuris triciura*, *Ancylostoma duodenale*, *Necator americanus*, *Enterobius vermicularis*.

**N**ematoda berasal dari kata Yunani yang berarti “benang”. Organisme ini memiliki bentuk tubuh yang memanjang seperti tabung, yang kadang-kadang membengkok atau melengkung seperti kumparan. Dalam media air, gerakan nematoda biasanya mirip dengan liukan ular. Nematoda (nematoda parasit binatang) dapat ditemukan dalam jaringan tanaman dan binatang, serta di tanah, air tawar, dan air laut.

Jenis nematoda yang ada di alam dapat berfungsi sebagai saprofit atau parasit. Nematoda parasitik biasanya hidup di tubuh inangnya dan dapat menyerang berbagai bagian tanaman karena sifat parasitismenya. Sementara itu, beberapa nematoda bersifat ektoparasit (hidup di luar tubuh tanaman), yang lain bersifat endoparasit atau kombinasi ekto-endoparasit. Akar, batang, daun, bahkan bagian biji tanaman dapat diserang.

Nematoda parasit pada tanaman telah dikenal menyebabkan kerugian besar bagi petani. Kerugian itu dapat mencapai 100% jika serangan nematoda tersebut dikombinasikan dengan patogen lain, seperti jamur, bakteri, atau virus (Wibowo, 2010).

### **A. Struktur dan Klasifikasi Nematoda**

Nematoda terdiri atas banyak spesies yang bersifat parasit pada manusia serta berbagai tumbuhan dan binatang yang hidup secara alami dan diusahakan. Nematoda adalah makhluk dengan struktur tubuh yang sederhana. Ratusan sel somatik membentuk sistem reproduksi nematoda dewasa. Pseudocoelomate adalah tubuh nematoda yang berbentuk tabung. Kutikula adalah bagian dinding tubuh luar nematoda yang penting. Kutikula melindungi bagian tubuh di bawahnya dan membantu pergerakannya (Wibowo, 2010).

### **B. Ciri morfologi nematode**

1. Tubuhnya tidak bersegmen.
2. Bentuknya silindris memanjang, kecuali pada beberapa general yang berjenis kelamin betina.
3. Simetris bilateral.
4. Merupakan binatang yang mempunyai tiga lapisan (triploblastik) atau terdiri atas tiga lapis blastula (lapisan ini terbentuk dan berkembang di dalam telur).
5. Mempunyai rongga tubuh semu.
6. Tubuhnya transparan (dan tidak berwarna).
7. Memiliki sistem organ tubuh lengkap, yang berupa sistem pencernaan (memanjang dengan bentuk esofagus yang bervariasi), sistem ekskresi, sistem syaraf, sistem pengeluaran, dan sistem reproduksi. Tidak memiliki sistem peredaran darah.
8. Nematoda parasit tanaman biasanya mempunyai stilet.

9. Dinding tubuh nematoda terdiri atas:
- Kutikula luar
  - lapisan antara
  - hipodermis = mensekresikan kutikula baru bagian dalam otot membujur.

Ada dua cara umum nematoda usus menginfeksi kulit dan mulut. Telur nematoda ini dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui berbagai cara, seperti menggunakan tangan yang tidak bersih saat mencuci atau makan sayuran yang tidak dimasak dengan benar. Larva nematoda usus juga dapat masuk ke tubuh manusia melalui air yang tercemar.

Beberapa jenis nematoda usus hidup di manusia, dan sebagian besar nematoda ini dapat menyebabkan masalah kesehatan masyarakat di Indonesia. Di antara nematoda usus ini, terdapat kelompok yang ditularkan melalui tanah dan dikenal sebagai “**helminth-transmitted helminths**” yang paling penting bagi manusia, seperti *Ascaris lumbricoides*, *Necator americanus*, *Ancylostoma duodenale*, *Trichuris trichiura*, *Strongyloides stercoralis*, dan beberapa spesies *Trichostrongylus*.

*Oxyuris vermicularis* dan *Trichinella spiralis* adalah nematoda usus manusia lainnya yang berbahaya. Selama proses identifikasi telur nematoda usus ini, metode pemeriksaan tidak langsung, seperti teknik sedimentasi atau pengendapan sederhana, adalah yang paling sering digunakan. Metode ini memerlukan waktu yang lebih lama, tetapi bermanfaat karena dapat mengendapkan telur nematoda tanpa reproduksi.

### **C. Penyakit yang Disebabkan oleh Parasit Cacing**

Sebagai salah satu penyakit yang paling umum menyebar dan memengaruhi banyak orang, infeksi cacing masih menjadi masalah kesehatan hingga saat ini karena kondisi sosial dan ekonomi di

beberapa wilayah di dunia. Secara umum, cacing jarang menyebabkan penyakit serius, tetapi mereka dapat menyebabkan masalah kesehatan kronis yang terkait dengan faktor ekonomi.

Infeksi cacing sangat umum di Indonesia, dan sering kali melibatkan beberapa jenis cacing sekaligus. Lebih dari 60% anak-anak di Indonesia menderita infeksi cacing. Tingkat sanitasi yang buruk adalah penyebabnya. Kondisi ini menyebabkan cacangan, atau kecacingan, yang sering disebut sebagai penyakit endemik dan kronis. Infeksi cacing dapat merusak kesehatan manusia, menyebabkan kondisi gizi dan kesehatan masyarakat yang buruk, meskipun jarang mematikan.

Cacing biasanya masuk ke dalam tubuh manusia melalui mulut atau luka pada kulit, terutama cacing tambang dan benang. Infeksi ini dapat berupa larva, kista, atau telur cacing. Cacing mengisap nutrisi dari tubuh manusia yang menjadi inangnya, yang menyebabkan penyakit dan kelemahan. Anak-anak yang tidak tahu cara menjaga kebersihan lebih rentan terhadap infeksi ini. Jumlah cacing dalam tubuh menentukan sakit tidaknya seseorang.

Migrasi penduduk, perjalanan lintas wilayah, pariwisata, dan sistem irigasi adalah beberapa penyebab penularan infeksi cacing. Untuk menghindari infeksi cacing, sangat penting untuk mematuhi aturan kebersihan tertentu secara konsisten dan tegas. Mencuci tangan sebelum makan atau memasak adalah perilaku penting. Perlu juga dilakukan tindakan kebersihan umum, seperti memperbaiki rumah, lingkungan, dan kondisi sosial ekonomi (Zolkoni, 2011).

### **1. Ascariasis (Penyakit Cacing Gelang)**

Infeksi cacing yang disebabkan oleh *Ascaris lumbricoides* dikenal sebagai ascariasis. Telur atau larva *Ascaris lumbricoides* masuk ke dalam tubuh manusia melalui makanan atau minuman yang terkontaminasi, yang menyebabkan penularan. Larva masuk ke dalam tubuh melalui

dinding usus dan berkembang menjadi cacing dewasa di dalam usus halus. Sebelum mencapai paru-paru, cacing dewasa menuju hati. Setelah sampai di paru-paru, mereka kembali ke saluran pencernaan. Di sana cacing betina menghasilkan banyak telur yang diekskresikan melalui tinja manusia, mencapai 200.000 telur per hari. Cacing *Ascaris lumbricoides* dewasa berukuran beragam. Cacing jantan biasanya memiliki panjang 15-25 cm, dan cacing betina dapat mencapai 25-35 cm.

Sering kali, gejala ascariasis tidak terlihat atau tidak bergejala, terutama jika jumlah cacing dalam tubuh manusia tidak terlalu banyak. Namun, jika infeksi cukup parah, berbagai gejala dapat muncul, seperti penemuan cacing dalam tinja, batuk dengan cacing yang keluar, kehilangan nafsu makan, demam, dan bunyi *mengi* saat bernapas. Gejala yang lebih serius seperti muntah, sesak napas, perut buncit, nyeri perut, dan bahkan penyumbatan usus dapat terjadi (Zolkoni, 2011).

## **2. Ankylostomiasis (Penyakit Cacing Tambang)**

Infeksi cacing tambang yang disebabkan oleh cacing gelang usus *Ancylostoma duodenale* dan *Necator americanus* dikenal sebagai ankylostomiasis. Telur kedua jenis cacing ini ditemukan dalam tinja manusia dan menetas di dalam tanah selama 1-2 hari. Setelah menetas, larva hidup di dalam tanah, dan orang dapat terinfeksi jika berjalan di tanah yang terkontaminasi oleh tinja manusia tanpa alas kaki, karena larva dapat menembus kulit. Larva masuk ke tubuh manusia melalui aliran darah dan pembuluh getah bening, lalu berpindah ke saluran pernapasan dan akhirnya tertelan.

Salah satu gejala ankylostomiasis adalah bunyi napas yang disebabkan oleh perjalanan larva melalui paru-paru, ruam yang menonjol dan gatal pada kulit, dan demam. Sebagian besar orang dewasa mengalami nyeri di perut bagian atas karena cacing. Kehilangan

zat besi akibat perdarahan usus dan rendahnya kadar protein dalam darah akibat infeksi ini juga dapat menyebabkan anemia. Tinja yang mengandung telur cacing tambang dapat diperiksa untuk memastikan diagnosis. Jika dibiarkan selama beberapa jam, telur akan menetas dan larva dapat dilihat di bawah mikroskop.

Memperbaiki anemia melalui pemberian suplemen zat besi secara oral atau suntikan adalah metode utama pengobatan. Kasus yang lebih parah mungkin memerlukan transfusi darah. Untuk membunuh cacing tambang, obat seperti pirantel pamoate atau mebendazole diberikan selama 1-3 hari jika kondisi penderita stabil. Wanita hamil tidak boleh menggunakan obat-obatan ini karena berpotensi membahayakan janin yang dikandung (Kusumamihardja, 1992).

### **3. Enterobiasis (Penyakit Cacing Kremi)**

Diperkirakan cacing ini merupakan penyebab infeksi parasit manusia yang paling umum di dunia. Orang-orang yang tinggal di wilayah dengan iklim dingin serta sedang jarang mandi dan berganti pakaian dalam dapat menyebarkan virus ini. Ada kemungkinan tinggi penyakit ini menjangkiti anak-anak.

Panjang cacing jantan 2-5 mm, lebarnya 0,1-0,2 mm, dan ujung kaudalnya melengkung. Panjang cacing betina 8-13 mm, dan lebarnya 0,3-0,5 mm. Jika seseorang menelan telur infeksi, telur tersebut akan menetas di dalam usus dan kemudian berkembang menjadi dewasa. Cacing jantan biasanya mati setelah cacing betina membuahi, dan telur mungkin keluar melalui tinja (Garcia dan Bruckner, 1996).

Sering kali enterobiasis tidak menunjukkan gejala asimtomatis. Cacing betina pergi ke perianal untuk meletakkan telurnya, yang menyebabkan iritasi di sekitar anus, kemudian memicu pruritus ani. Oleh karena cacing betina bergerak di waktu malam, area anus mengalami gatal pada malam hari (Noer, 1996). Rasa gatal adalah gejala utama infeksi yang disebabkan oleh migrasi cacing betina dari

usus ke kulit perianal sebelum menetas. Terkadang rasanya sangat gatal dan dapat menyebabkan luka. Meskipun riwayat penyakit cacing kremi pasien menyebabkan gatal di anus, gelisah, dan insomnia dapat, diagnosisanya bergantung pada penemuan cacing atau telur dewasa (Garcia dan Bruckner, 1996). Infeksi cacing *Enterobius vermicularis* atau *Oxyuris vermicularis* menyebabkan enterobiasis atau oxyuriasis. Infeksi cacing kremi atau pinworm juga disebut... (Noer, 1996). Meskipun tidak jarang orang dewasa juga terinfeksi, penyakit ini identik dengan anak-anak.

#### 4. Taeniasis (Penyakit Cacing Pita)

Taeniasis adalah infeksi saluran pencernaan yang disebabkan oleh cacing taenia dewasa, sedangkan sistiserkosis adalah penyakit atau infeksi pada jaringan lunak yang disebabkan oleh larva cacing taenia solium. Jika penyakit ini muncul, gejalanya sangat beragam, seperti gangguan syaraf, insomnia, anorexia, penurunan berat badan, sakit perut, dan masalah pencernaan. Kebanyakan penyakit ini tidak memiliki gejala. Taeniasis biasanya tidak fatal, tetapi pada stadium larva, cacing *Taenia solium* dapat menyebabkan sistiserkosis yang merupakan penyakit yang fatal (Komunitas Dokter Hewan, 2008).

##### a. Penyebab penyakit

Cacing *Taenia solium*, yang biasanya ditemukan dalam daging babi, adalah penyebab penyakit Taeniasis. Cacing dewasanya dapat menyebabkan infeksi saluran pencernaan manusia. Selain itu, larva cacing *Taenia solium* dapat menyebabkan infeksi somatik yang disebut cysticercosis. Dalam daging sapi, cacing *Taenia saginata* juga dapat menyebabkan infeksi pada saluran pencernaan manusia. Manusia berfungsi sebagai hospes utama untuk kedua spesies Taenia; sapi berfungsi sebagai hospes perantara untuk *Taenia saginata*, dan babi berfungsi sebagai hospes perantara untuk *Taenia solium*.

b. Waktu inkubasi

Beberapa minggu hingga 10 tahun atau lebih setelah terinfeksi, gejala cysticercosis biasanya muncul. Telur cacing dapat ditemukan dalam tinja *Taenia solium* yang terinfeksi sekitar 8-12 minggu setelah infeksi, sementara telur *Taenia saginata* dewasa dapat ditemukan dalam tinja sekitar 10-14 minggu setelah infeksi.

c. Metode penyebaran

Hanya sapi yang dapat menerima telur *Taenia saginata* yang terinfeksi dari tinja manusia. Telur ini akan berkembang di dalam otot sapi menjadi *Cysticercus bovis*, stadium larva dari *Taenia saginata*. Mengonsumsi daging sapi mentah atau kurang matang yang mengandung *Cysticercus* dapat menyebabkan infeksi pada manusia. Larva akan menjadi dewasa di dalam usus halus manusia dan melekat pada mukosa usus.

Makanan yang mengandung *Cysticercus*, seperti daging babi mentah atau yang tidak dimasak dengan benar, dapat menyebabkan infeksi *T. solium*. Setelah dimakan, cacing dewasa akan berkembang di dalam usus manusia.

d. Penilaian

Mengidentifikasi proglotid (segmen), telur, atau antigen cacing dalam tinja dapat membantu diagnosis penyakit taeniasis. Namun, karena bentuk telur cacing *Taenia solium* dan *Taenia saginata* sama, diagnosis yang lebih akurat memerlukan identifikasi ciri-ciri scolex (kepala) dan morfologi proglottid gravid. Diagnosis cysticercosis sangat mudah dilakukan dengan tes serologis khusus. Jaringan yang terinfeksi di bawah kulit dapat diidentifikasi melalui pemeriksaan mikroskopis dengan mengambil spesimen dari jaringan cysticercosis.

## 5. Trikuriasis (Penyakit Cacing Cambuk)

*Trichuris trichiura*, suatu jenis cacing cambuk usus, adalah penyebab penyakit trikuriasis. Orang yang menelan makanan yang mengandung telur parasit yang telah disimpan di dalam tanah selama 2-3 minggu dapat terinfeksi cacing ini. Telur akan menetas di dalam usus halus setelah masuk ke dalam tubuh manusia. Kemudian, mereka akan pergi ke usus besar dan kepala mereka akan masuk ke dalam lapisan usus. Setiap larva akan berkembang menjadi cacing dewasa yang panjangnya kira-kira 12,5 cm. Sekitar 5000 telur dapat dikeluarkan setiap hari oleh cacing betina dewasa.

Infeksi *Trichuris trichiura* dapat menyebabkan kerusakan mekanis pada mukosa usus serta respons alergi hospes, yang merupakan bagian penting dari berbagai gangguan patologis yang terkait dengan infeksi ini. Ketika cacing masuk ke dalam epitel sekum (bagian usus besar), kerusakan biasanya kecil (kecuali disentri). Disentri dapat menyebabkan pembengkakan dan kerapuhan mukosa usus dan dapat disertai dengan gejala seperti nyeri perut yang hebat, tenesmus rektum (sensasi ingin buang air besar yang tidak produktif), dan lainnya. Beberapa orang mungkin tidak mengalami gejala sama sekali, dan infeksi biasanya ringan hingga sedang.

*Trichuris trichiura* dapat ditemukan di sayuran yang tercemar. Ini dapat terjadi karena makanan yang tidak dicuci bersih atau sayuran yang tidak dimasak dengan baik dapat membawa telur-telur ini ke dalam tubuh manusia. Dalam sanitasi makanan dan kesehatan masyarakat, kontaminasi ini menjadi masalah penting.

**Tabel 6. Hasil Pemeriksaan Telur Nematode pada Sayuran Kubis (*Brassica Oleracea*) Warung Makan Lesehan Wonosari Gunung Kidul Tahun 2017**

No. Uji	Contoh			
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	<i>Cacing tambang</i>	<i>Trichuris trichiura</i>	<i>Enterobius vermicularis</i>
1. K1	-	-	-	-
2. K2	-	-	-	-
3. K3	-	-	-	-
4. K4	-	-	+	-
5. K5	-	-	-	-
6. K6	-	-	-	-
7. K7	+	-	-	-
8. K8	-	-	+	-
9. K9	-	-	-	-
10. K10	-	-	-	-
11. K11	+	-	+	-
12. K12	-	-	-	-
13. K13	+	-	-	-
14. K14	-	-	-	-
15. K15	-	+	-	-
16. K16	-	-	-	-
17. K17	-	-	-	-
18. K18	+	-	-	-

Tabel hasil pemeriksaan telur nematoda usus pada sayuran kubis menunjukkan bahwa tujuh sampel (contoh uji), atau 38,89%, terkontaminasi telur nematoda usus, dan 11 sampel (contoh uji), atau 61,11%, tidak terkontaminasi telur nematoda usus.

## Rangkuman

Nematoda, organisme dengan tubuh berbentuk seperti benang, dapat ditemukan di berbagai lingkungan, termasuk dalam jaringan tanaman dan binatang, serta di tanah, air tawar, dan air laut. Mereka

dapat berperan sebagai saprofit atau parasit. Jenis nematoda yang bersifat parasit pada tanaman dapat menyebabkan kerugian besar, terutama jika dikombinasikan dengan patogen lain. Nematoda memiliki struktur tubuh sederhana, tidak bersegmen, berbentuk silindris, simetris bilateral, dan memiliki tiga lapisan blastula. Mereka memiliki sistem organ tubuh lengkap, termasuk sistem pencernaan, ekskresi, syaraf, pengeluaran, dan reproduksi, meskipun tidak ada sistem peredaran darah.

Beberapa jenis nematoda merupakan parasit usus manusia, seperti *Ascaris*, *Ancylostoma*, *Enterobius*, *Taenia*, dan *Trichuris*. Infeksi cacing ini dapat menyebabkan berbagai gejala dan masalah kesehatan masyarakat, terutama di daerah dengan sanitasi yang buruk. Pencegahan infeksi cacing melibatkan praktik kebersihan yang ketat, seperti mencuci tangan sebelum makan dan memasak makanan dengan baik. Diagnosis infeksi cacing dapat dilakukan dengan memeriksa telur atau cacing dewasa dalam tinja.

Selain parasit usus, nematoda juga dapat menjadi masalah pada tanaman, menyebabkan kerusakan pada akar, batang, daun, dan biji tanaman. Dalam pertanian, pengendalian nematoda parasitik adalah hal penting untuk menjaga produktivitas tanaman. Nematoda memiliki peran yang signifikan dalam ekosistem tanah, baik sebagai predator maupun saprofit, dan pemahaman tentang peran mereka dalam siklus biogeokimia sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem.

### Soal Pilihan Ganda

1. Apa arti kata “Nematoda” dalam bahasa Yunani?
  - a. Berbentuk benang
  - b. Parasit
  - c. Berbentuk silindris
  - d. Jaringan tanaman

2. Apa ciri khas struktur tubuh nematoda?
  - a. Bersegmen
  - b. Bentuk simetris radial
  - c. Kutikula luar
  - d. Sistem peredaran darah
3. Apa yang dimaksud dengan pseudocoelomate dalam konteks nematoda?
  - a. Tubuh nematoda berbentuk tabung
  - b. Tubuh nematoda memanjang
  - c. Terdapat ratusan sel somatik pada nematoda
  - d. Tubuh nematoda memiliki rongga tubuh semu
4. Bagian tubuh luar nematoda yang penting untuk perlindungan adalah...
  - a. Sistem pencernaan
  - b. Kutikula
  - c. Lapisan antara
  - d. Hipodermis
5. Bagaimana cara infeksi nematoda usus pada manusia?
  - a. Melalui gigitan
  - b. Melalui makanan atau minuman yang terkontaminasi
  - c. Melalui udara
  - d. Melalui gigitan nyamuk
6. Apa nama gejala yang sering disebabkan oleh infeksi *Ascaris lumbricoides*?
  - a. Disentri
  - b. Batuk
  - c. Pruritus ani
  - d. Demam

7. Bagaimana larva cacing tambang (*Ancylostoma* dan *Necator*) dapat masuk ke dalam tubuh manusia?
  - a. Melalui udara
  - b. Melalui gigitan nyamuk
  - c. Melalui kulit
  - d. Melalui makanan
8. Apa gejala utama yang disebabkan oleh infeksi *Enterobius vermicularis* atau *Oxyuris vermicularis*?
  - a. Disentri
  - b. Demam
  - c. Pruritus ani
  - d. Nyeri perut
9. Bagaimana cacing *Taenia solium* dapat menyebabkan infeksi pada manusia?
  - a. Melalui makanan yang mengandung telur
  - b. Melalui gigitan nyamuk
  - c. Melalui sentuhan kulit
  - d. Melalui udara
10. Apa hospes utama cacing *Taenia saginata*?
  - a. Manusia
  - b. Sapi
  - c. Babi
  - d. Kucing
11. Bagaimana diagnosis penyakit teniasis biasanya dilakukan?
  - a. Dengan memeriksa telur cacing dalam darah
  - b. Dengan pemeriksaan kulit
  - c. Dengan memeriksa telur cacing dalam tinja
  - d. Dengan pemeriksaan urine

12. Apa penyebab utama infeksi *Trichuris trichiura*?
  - a. Melalui udara
  - b. Melalui gigitan nyamuk
  - c. Melalui makanan yang mengandung telur
  - d. Melalui sentuhan kulit
13. Apa gejala utama infeksi *Trichuris trichiura*?
  - a. Disentri
  - b. Pruritus ani
  - c. Nyeri perut
  - d. Demam
14. Mengapa sanitasi makanan dan kebersihan masyarakat sangat penting untuk menghindari infeksi cacing?
  - a. Karena cacing dapat terbang
  - b. Karena cacing dapat melompat
  - c. Karena cacing dapat hidup di udara
  - d. Karena makanan yang tidak higienis dapat mengandung telur cacing
15. Apa peran nematoda dalam ekosistem tanah?
  - a. Menjadi predator utama dalam ekosistem tanah
  - b. Tidak memiliki peran dalam ekosistem tanah
  - c. Mengendalikan populasi manusia
  - d. Mempengaruhi siklus biogeokimia di ekosistem tanah

### Essay

1. Jelaskan ciri-ciri morfologi umum dari nematoda berdasarkan teks. Mengapa nematoda disebut sebagai organisme dengan struktur tubuh yang sederhana?

Jawab:

2. Apa yang dimaksud dengan nematoda parasitik? Bagaimana mereka dapat menyebabkan kerugian pada tanaman dan apa dampaknya jika serangan nematoda ini dikombinasikan dengan patogen lainnya?

Jawab:

3. Jelaskan cara infeksi cacing usus pada manusia, seperti *Ascaris*, *Ancylostoma duodenale*, dan *Necator americanus*, dapat terjadi. Apa saja gejala umum yang dapat muncul akibat infeksi cacing usus ini?

Jawab:

4. Apa yang dimaksud dengan enterobiasis (cacing kremi)? Bagaimana cara penularannya dan gejala yang biasanya terjadi pada orang yang terinfeksi?

Jawab:

5. Terangkan tentang penyakit taeniasis yang disebabkan oleh cacing pita. Bagaimana cacing pita ini dapat masuk ke dalam tubuh manusia dan apa dampak kesehatan yang mungkin terjadi jika tidak diobati?

Jawab:

# Daftar Pustaka

- Ade, F. Y. “Isolasi dan Identifikasi Jamur-jamur Pendegradasi Amilosa pada Empelur Tanaman Sagu (*Metroxylon Sagu Rottb*)”. *Ilmiah Edu Research* Vol. 2 No. 1 (2013).
- Afriyanti. 2011. *Epidemologi Penyakit Menular*. Makassar: Universitas Muslim Indonesia.
- Agus, Krisno, B. M. 2002. *Mikrobiologi Terapan*. Malang: UMM Press.
- Amelia, R. 2014. Analisis Faktor Risiko Kejadian Penyakit Filariasis. *Jurnal Unnes Public Health* 3(1) (2014), hlm. 53-67.
- Anies. 2005. *Manajemen Berbasis Lingkungan Solusi Mencegah dan Menanggulangi Penyakit Menular*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Anisah dan Rahayu. 2015. “Media Alternatif untuk Pertumbuhan Bakteri Menggunakan Sumber Karbohidrat yang Berbeda”. Seminar Nasional XII Pendidikan Biologi FKIP UNS 2015, hlm. 855-860.
- Diah, W. Astuti, P. Ikawati. “Virus West Nile: Epidemiologi, Klasifikasi dan Dasar Molekuler”. *Balaba* Vol. 10 (21) (2014), hlm. 97 – 102.
- Garcia, L, N., Bruckner, D, A. 1996. *Diagnostik Parasitologi Kedokteran*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Harti. 2010. *Epidemologi Kesehatan*. Yogyakarta: Nuha Medika.
- Hasyimi, H. 2010. *Mikrobiologi Parasitologi*. Jakarta: Trans Infomedia.
- Irianto, Koes. 2006. *Mikrobiologi*. Bandung: Yrama Widya.

- \_\_\_\_\_. 2007. *Mikrobiologi Jilid 2*. Bandung: Yrama Widya.
- Jabal, A, R. Umi, C. Risa, T. “Protozoa Parasitik pada Ikan Sidat (*Anguilla* spp.) Asal Danau Lindu, Sulawesi Tengah”. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)* Vol. 20 (2) (2015), hlm. 103 – 107.
- Khamid, M.A, Mulasari, S.A. “Identifikasi Bakteri Aerob pada Lindi Hasil Sampah”. *Jurnal Kesmas* Vol 6. No. 1 (2012), hlm. 41-48.
- Mustika, I. “Serangan Nematoda pada Tanaman Rempah dan Obat: Media Komunikasi Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri”. *Jurnal Teknik Pertanian* 15 (1995), hlm. 28–33.
- Pelczar, Michael, J. 1988. *Dasar-dasar Mikrobiologi*. Jakarta: UI Press.
- Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia, Kumpulan Kongres Nasional Mikrobiologi Ke III Jakarta 26-28 November 1981
- Pratama, Pawenang. 2017. “Analisis Faktor Intrinsik dan Ekstrinsik Kejadian Penyakit Chikungunya”. *Jurnal Unnes Igeia* 1(3) (2017), hlm. 11-20.
- Radji, Maksum. 2009. *Buku Ajar Mikrobiologi Panduan Mahasiswa Farmasi & Kedokteran*. Jakarta: EGC.
- Sandjaja, B., 1992. *Isolasi dan Identifikasi Mikobakteria*. Jakarta: Widya Medika.
- Syafrudin, L., Yuniar, M., dan Indah, R. “Identifikasi Bakteri Indigenous Pereduksi Logam Berat Cr (Vi) Dengan Metode Molekuler Di Sungai Cikijing Rancaekek, Jawa Barat”. *Jurnal Perikanan dan Kelautan Unpad* Vol. 3 No. 4 (2012), hlm. 81-92.
- Nugroho, Djannah, Mulasari. “Sayuran kubis (*brassica oleracea*) Warung Makan Lesehan Wonosari Gunungkidul Yogyakarta Tahun 2010”. *Jurnal Kesmas UAD* Vol. 4. No. 1 (2010), hlm. 67-75.
- Septiani. 2009. *Jurnal Kesehatan*. Bandung: Universitas Pandjajaran.

- Sukesni, Sulistyawati, Mulasari. “Efektivitas Kader Jumantik Cilik terhadap Kepadatan Populasi *Aedes Aegypti* di Kecamatan Umbulharjo Kota Yogyakarta”. *Jurnal Vektor Penyakit* 10 (2) (2016), hlm. 45-49.
- Sukesni, Astuti, Mulasari. 2017. *Petunjuk Praktikum Biomedis II*. Yogyakarta: FKM UAD.
- Susilowati, A., Shanti, L. “Keanekaragaman Jenis Mikroorganisme Sumber Kontaminasi Kultur *In vitro* di Sub-Lab”. *Biodiversitas* Vol. 2 (1) (2001), hlm. 110 – 114.
- Sumanto. 2010. *Faktor Risiko Infeksi Cacing Tambang Pada Anak Sekolah*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Sunarto. 2000. *Penyakit Menular dan Tidak Menular*. Jakarta: Graham Medika.
- Sunoto. 1991. *Jurnal Kesehatan*. Malang: Universitas Muhamadiyah Malang.
- S. Kusumamihardja. 1992. *Parasit dan Parasitosis pada Hewan Ternak Piaraan di Indonesia*. Bogor: Pusat Antar Universitas Bioteknologi Institut Pertanian Bogor.
- Tim Penulis. 2003. *Upaya Pencegahan Penyakit*. Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- Tim Penulis. 2008. *Kebijakan Tentang Penyakit*. Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- Tulangow, Kandow, Kasekw. 2017. “Hubungan Faktor Lingkungan, Faktor Perilaku dan Peran Serta Petugas Kesehatan dengan Kejadian Malaria pada Anak (Studi Kasus di Puskesmas Tambelang)”. *Jurnal Vektor Lingkungan* 11(1) (2017), hlm. 63-77.
- Veibrita, Nirmayani, Trima Wati, Hendra Saputra, Feiky Aprilasari,

- Jane Firdha. “Pewarnaan dan Cara-cara Pewarnaan. *Jurnal Praktikum Mikrobiologi Dasar* (2015).
- Yudianti, dkk. “Perbandingan Efektifitas Sterilisasi Panas Kering dan Desinfeksi Tingkat Tinggi Teknik Rebus terhadap Pertumbuhan *Escherichia Coli*”. *Jurnal IJEMC* Vol. 2 No. 1 (2015), hlm. 8-14.
- Yuliana, Neti. 2008. “Kinetika Pertumbuhan Bakteri Asam Laktat Isolat T5 yang Berasal dari Tempoyak”. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian* Vol. 13 No. 2 (2008), hlm. 108-116.
- Wulandari, Sutomo, Iravati. 2015. “Angka Kuman Udara dan Lantai Ruang Rawat Inap Rumah Sakit PKU Muhammadiyah Yogyakarta”. *Jurnal Berkala Kesehatan* Vol. 1 No. 1 (2015), hlm. 13-20.

# Daftar Istilah

**Aktinomisetes** adalah bakteri yang mempunyai sifat seperti jamur.

**Alergi** adalah keadaan hipersensitif yang diperoleh karena terapar oleh alergen tertentu.

**Anemia** adalah berkurangnya jumlah eritrosit per kubik milimeter, berkurangnya jumlah hemoglobin, atau berkurangnya volume sel darah merah padat per 100 ml darah.

**Anopheles** adalah salah satu genus nyamuk.

**Antibiotik** adalah segolongan molekul.

**Biokonversi** adalah sebuah proses yang mampu mengubah bahan organik menjadi produk lain yang berguna yang memiliki nilai tambah dengan memanfaatkan proses biologis dari mikroorganisme dan enzim.

**Clostridium tetani** adalah agen penyebab penyakit tetanus. Penyakit ini relatif jarang di negara yang perkembangannya baik.

**Clostridium chauvoei** adalah penyakit akibat oleh mikroorganisme yang disebut pula *blackleg*. Di Indonesia, penyakit ini dikenal sebagai radang paha.

**Clostridium septicum** adalah penyakit yang ditimbulkan *malignant edema*.

**Cysticerci** adalah infeksi jaringan yang disebabkan oleh bentuk larva.

**Desulfatamaculum** adalah bakteri yang bersifat anaerobik dan dapat mereduksi sulfat menjadi  $H_2S$ .

**Diagnosis** adalah hasil dari evaluasi yang mencerminkan temuan.

**Diare** adalah sering mengeluarkan tinja cair atau lembek (tanpa darah).

**Disentri** adalah infeksi pada usus yang menyebabkan diare yang disertai darah atau lendir.

**Duodenum** adalah bagian dari usus halus yang terletak setelah lambung dan menghubungkannya ke usus kosong dengan panjang 25-38 cm.

**Edema** adalah akumulasi cairan di dalam jaringan yang menyebabkan tangan, pergelangan kaki, kelopak mata, dan bagian tubuh lainnya membengkak.

**Endemik** adalah gejala yang dialami oleh organisme untuk menjadi unik pada satu lokasi geografi tertentu, seperti pulau, negara, atau zona ekologi tertentu.

**Eritrosit** adalah sel darah merah.

**Fotosintesis** adalah proses pembentukan zat makanan, terutama tumbuhan, yang mengandung zat hijau daun atau klorofil.

**Fotoelektrik** atau efek fotolistrik adalah pengeluaran elektron dari suatu permukaan (biasanya logam) ketika dikenai dan menyerap radiasi elektromagnetik (seperti cahaya tampak dan radiasi ultra ungu) yang berada di atas frekuensi ambang, tergantung pada jenis permukaan.

**Fenomena Koch** adalah bukti timbulnya kekebalan terhadap mikrobakteria.

**Galvanometer** atau ammeter/ amperemeter adalah suatu alat untuk mendeteksi dan mengukur arus yang melalui suatu cabang.

**Glikokalis** adalah selubung gula.

**Hemoglobinuria** adalah pemecahan eritrosit di dalam pembuluh darah.

**Hemolysin** adalah substansi yang membebaskan hemoglobin dari eritrosit melalui merusak integritas strukturnya

**Hepatitis** adalah peradangan pada hati atau liver.

**Heterodera** adalah hewan dari anggota hewan tak bertulang belakang yang termasuk dalam filum Nematoda.

**Hospes** adalah organisme tempat parasit berada atau hidup.

**Hygien** adalah usaha kesehatan preventif yang menitikberatkan kegiatannya kepada usaha kesehatan individu maupun kesehatan pribadi manusia.

**Infark** adalah nekrosis iskemik terbatas yang disebabkan oleh oklusi suplai arteri atau aliran vena pada bagian tersebut.

**Inokulum** adalah mikroorganisme atau patogen hidup atau masih berada pada fase pertumbuhan yang sehat yang diinokulasi ke dalam medium/inang.

**Imunitas** adalah sistem mekanisme pada organisme yang melindungi tubuh dari pengaruh biologis luar dengan mengidentifikasi dan membunuh patogen.

**Inkubasi** adalah proses penjagaan atau perawatan suatu hal dengan kondisi tertentu agar dapat berkembang dengan baik.

**Konjugasi** adalah peristiwa transfer bahan genetik (plasmid F + pada bakteri dan mikronukleus pada protozoa) dari satu individu ke individu lain.

**Kavitasi (cavitation)** adalah tenaga yang terbangkitkan dan akan dapat menghilangkan debu atau partikel-partikel (termasuk mikroorganisme) dari permukaan benda yang ditaruh dalam cairan tersebut.

**Larva** adalah bentuk muda hewan yang berkembang dengan metamorfosis seperti serangga atau amfibi.

**Limberneck** adalah kelumpuhan pada sayap, kaki, dan leher unggas.

**Lisogenik** adalah siklus reproduksi virus selain siklus litik.

**Mesofil** adalah jaringan yang ditemukan di bagian dalam daun.

**Most Probable Number (MPN)** adalah metode enumerasi mikroorganisme yang menggunakan data dari hasil pertumbuhan mikroorganisme pada medium cair spesifik dalam seri tabung yang ditanam dari sampel padat atau cair sehingga dihasilkan kisaran jumlah mikroorganisme dalam jumlah perkiraan terdekat.

**Organisme** adalah kumpulan molekul yang saling memengaruhi, sehingga berfungsi stabil dan memiliki sifat hidup.

**Parasit** adalah hewan renik yang dapat menurunkan produktivitas hewan yang ditumpanginya.

**Patogen** adalah agen biologis yang menyebabkan penyakit pada inangnya.

**Pasteurisasi** adalah sebuah proses pemanasan makanan dengan tujuan membunuh organisme merugikan seperti bakteri, protozoa, kapang, dan khamir dan suatu proses memperlambat mikroba pada makanan.

**Polisakarida** adalah polimer yang tersusun atas ratusan hingga ribuan satuan monosakarida yang dihubungkan dengan ikatan glikosidik.

**Pilikel** adalah suatu membran halus, tipis, dan bebas kuman yang tidak merupakan lapisan sel pada permukaan gigi yang baru muncul.

**Populasi** adalah sekumpulan individu dengan ciri-ciri sama yang hidup di tempat yang sama dan memiliki kemampuan bereproduksi di antara

sesamanya.

**Rickettsia** adalah genus bakteri gram negatif. Bersifat parasit, obligat, dan menyebabkan penyakit rickettsia.

**Ruam** adalah kondisi kulit yang ditandai dengan iritasi, bengkak, atau gembung kulit yang diketahui dengan adanya warna merah, rasa gatal, bersisik, dan kulit yang mengeras.

**Saprofit** adalah cara hidup menumpang pada makhluk hidup lain, misalnya jamur saprofit, tanaman anggrek yang hidup menumpang pada batang lapuk, dan sebagainya.

**Saprofitik** adalah tumbuhan berklorofil yang hidup pada hasil perombakan atau pelapukan jasad lain.

**Serologis** adalah mempunyai hasil yang sangat bervariasi tergantung pada respons imun saat pemeriksaan laboratorium dilakukan

**Sirosis** adalah kondisi terbentuknya jaringan parut di hati akibat kerusakan hati jangka panjang (kronis).

**Somatik** adalah semua jenis sel yang membentuk suatu organisme.

**Sterilisasi** adalah proses yang menghancurkan semua bentuk kehidupan.

**Syok** adalah keadaan serius yang terjadi jika sistem kardiovaskuler tidak mampu mengalirkan darah ke seluruh tubuh dalam jumlah yang memadai

**Takhometer** adalah alat yang digunakan untuk kalibrasi.

**Temephos** adalah larvasida sangat kuat yang secara efektif mengontrol fase larva nyamuk sebagai penyebar penyakit.

**Termofil** adalah organisme mikro yang memiliki pertumbuhan optimal pada suhu di atas 45° sampai 90°.

**Toksin** adalah zat beracun yang berasal dari mikroorganisme.

**Toksitas** adalah tingkat merusaknya suatu zat jika dipaparkan terhadap organisme.

**Vegetasi** adalah keseluruhan komunitas tetumbuhan di suatu tempat tertentu, baik perpaduan komunal dari jenis-jenis flora penyusunnya maupun tutupan lahan.

**Vektor** adalah organisme yang tidak menyebabkan penyakit, tetapi menyebarkannya dengan membawa patogen dari satu inang ke inang yang lain.

**Virulensi** adalah derajat kemampuan suatu patogen oportunistik untuk menyebabkan penyakit.

# Indeks

## A

Aktinomisetes 32, 243  
Alergi 98, 102, 232, 243  
Anemia 209, 229, 243  
Anopheles 205, 207, 211, 217, 218, 219,  
220, 222, 243  
Antibiotik viii, 45, 85, 98, 99, 100, 101,  
102, 103, 104, 105, 106, 109, 110,  
112, 148, 161, 172, 206, 210, 219,  
220, 243

## B

Biokonversi 243

## C

Clostridium chauvoei 24, 25, 65, 243  
Clostridium septicum 24, 25, 27, 65,  
243  
Clostridium tetani 15, 24, 29, 64, 243  
Cysticerci 199, 203, 231, 243

## D

Desulfatamaculum 12, 66, 243  
Diagnosis 87, 88, 142, 171, 199, 229,  
231, 234, 236, 243  
Diare 14, 56, 65, 179, 180, 183, 184, 190,  
207, 208, 244  
Disentri 232, 235, 236, 237, 244

Duodenum 244

## E

Edema 22, 23, 25, 65, 243, 244  
Endemik 59, 208, 227, 244  
Eritrosit 26, 170, 243, 244

## F

Fenomena Koch 244  
Fotoelektrik 151, 165, 244  
Fotosintesis 2, 3, 6, 62, 244

## G

Galvanometer 151, 165, 244  
Glikokalis 30, 31, 244

## H

Hemoglobinuria 26, 244  
Hemolysin 244  
Hepatitis 27, 56, 245  
Heterodera 198, 245  
Hospes 37, 38, 40, 126, 192, 230, 232,  
236, 245  
Hygien 245

## I

Imunitas 208, 245  
Infark 26, 245  
Inkubasi 48, 49, 50, 52, 57, 79, 119,

120, 152, 172, 174, 212, 214, 221,  
231, 245  
Inokulum 113, 121, 122, 152, 153, 154,  
164, 166, 245

**K**

Kavitasi (cavitation) 87, 245  
Konjugasi 21, 55, 126, 245

**L**

Larva 200, 226, 227, 228, 229, 230,  
231, 232, 236, 243, 245, 247  
Limberneck 30, 245  
Lisogenik 52, 245

**M**

Mesofil 156, 157, 181, 245  
Most Probable Number (MPN) 245

**O**

Organisme 4, 5, 6, 7, 18, 20, 31, 44, 54,  
61, 62, 86, 101, 104, 105, 106, 114,  
125, 150, 155, 157, 159, 160, 163,  
171, 183, 192, 224, 233, 237, 244,  
245, 246, 247

**P**

Parasit i, iii, iv, x, 6, 7, 45, 54, 56, 59,  
60, 62, 63, 98, 112, 131, 192, 195,  
196, 198, 200, 202, 204, 205,  
206, 207, 209, 211, 218, 219,  
220, 222, 224, 225, 226, 229,  
232, 234, 241, 245, 246  
Pasteurisasi 8, 11, 80, 111, 158, 246  
Patogen 5, 17, 19, 24, 31, 32, 33, 35, 40,  
42, 43, 44, 77, 80, 106, 117, 118,

158, 160, 161, 170, 171, 181, 182,  
187, 188, 189, 225, 234, 238,  
245, 246, 247

Pilikel 246

Polisakarida 31, 114, 246

Populasi 3, 20, 53, 79, 84, 96, 120, 121,  
193, 195, 196, 201, 206, 237,  
241, 246

**R**

Rickettsia 246

Ruam 171, 211, 221, 228, 246

**S**

Saprofit 32, 33, 34, 35, 44, 48, 158,  
224, 234, 246

Saprofitik 45, 54, 247

Sirosis 247

Sterilisasi vii, viii, 29, 67, 68, 74, 77, 78,  
79, 80, 81, 82, 85, 97, 107, 108,  
109, 110, 111, 112, 162, 242, 247

Syok 8, 247

**T**

Takhometer 74, 247

Temephos 194, 201, 247

Termofil 5, 62, 156, 157, 158, 181, 247

Toksin 8, 15, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30,  
66, 171, 183, 184, 247

Toksisitas 98, 101, 247

**V**

Vegetasi 206, 247

Vektor v, 26, 27, 53, 193, 196, 202,  
206, 211, 218, 219, 223, 241, 247

Virulensi 31, 37, 247

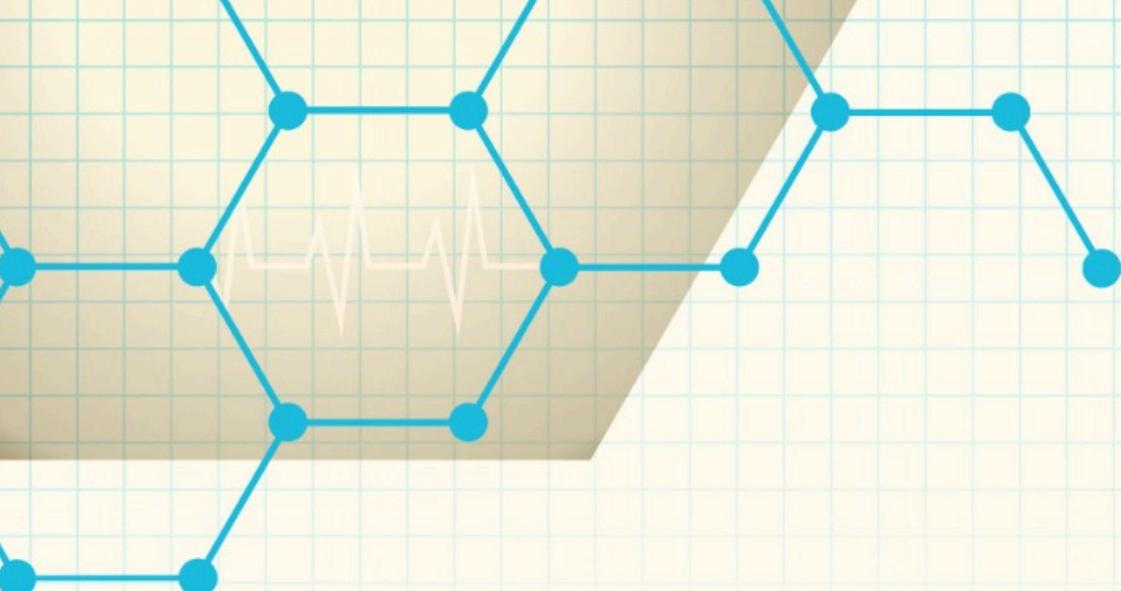
# Biodata Penulis



**Dr. Surahma Asti Mulasari, S.Si., M.Kes.** lahir di Yogyakarta, 22 Oktober 1982. Sekarang menjadi dosen tetap di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Ahmad Dahlan (UAD) Yogyakarta. Menyelesaikan S-1 di Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada (UGM) pada tahun 2005, S-2 di Fakultas Kedokteran UGM Prodi Ilmu Kesehatan Masyarakat Minat Kebijakan Manajemen Pelayanan Kesehatan (2005-2007), dan S-3 di Fakultas Kedokteran Jurusan Ilmu Kedokteran dan Kesehatan (2011-2016).

Salah satu mata kuliah yang diampunya di Prodi Ilmu Kesehatan Masyarakat UAD adalah Biomedik 1, Biomedik 2, dan Biomedik 3. Berbagai pengalaman akademik dan non-akademik telah dilaluinya. Ia merupakan dosen yang cukup produktif dalam menulis dan meneliti. Buku yang pernah ditulisnya di antaranya adalah Buku Biologi, Buku Biokimia, Buku Pengolahan Sampah dan Limbah, Buku Etika Hukum Kesehatan, dan lain-lain. Terbitnya buku ini tidak lepas dari peran keluarga tercinta, yaitu ayah dan ibu (Prof. Dr. Subardjo, S.H., M.Hum. dan Sri Astuti, S.Pd.), suami (Eko Sidiq Rachmanto, S.E., M.M., AAK), dan anak-anak tercinta (Asad Rafif Sidiq, Aslan Zhafif Sidiq, dan Arsalan Hafidz Sidiq).





-  <https://bookstore.uad.ac.id/>
-  UAD Press
-  @UADPress\_
-  [uadpress@uad.ac.id](mailto:uadpress@uad.ac.id)
-  0882 3949 9820

ISBN 978-623-8449-05-7 (PDF)



9 786238 449057