

## B a b III

# Organisme Prokariotik dan Peranannya dalam Kehidupan



www.importers.com

Kalian mungkin pernah makan *nata de coco* atau sari kelapa, yang biasanya dimakan bersama sirup atau es. Atau mungkin di antara kalian juga ada yang suka makan *yoghurt*, keju, atau menambahkan cuka untuk menambah selera makan. Semua jenis makanan tersebut merupakan hasil aktivitas organisme prokariotik. Tentu kemudian kalian akan bertanya, apa sebenarnya organisme prokariotik itu dan apa pentingnya bagi kehidupan. Kalian bisa mempelajarinya dalam uraian bab ini.

## KATAKUNCI

- Organisme
- Prokariotik
- Bakteri
- Monera
- Makanan
- Penyakit

## KILAS

Pada bab terdahulu telah dijelaskan bahwa virus merupakan mikroorganisme, karena ukuran tubuhnya sangat kecil dan hanya dapat dilihat dengan mikroskop. Seperti halnya virus, organisme prokariotik juga merupakan mikroorganisme.

## GALERI

Dahulu organisme prokariotik dikelompokkan ke dalam Kingdom Monera. Dalam sistem klasifikasi terbaru, organisme prokariotik dikelompokkan ke dalam dua domain, yaitu Domain Bacteria dan Domain Archaea. Sedangkan semua organisme eukariotik dikelompokkan menjadi satu domain, yaitu Domain Eukarya. Dengan sistem klasifikasi tersebut Kingdom Monera sudah tidak ada lagi karena anggota-anggotanya sudah naik ke kategori domain. (Eubacteria menjadi Domain Bacteria dan Archaeobacteria menjadi Domain Archaea).

Campbell, Reece, Mitchel, 2003, hlm. 106.

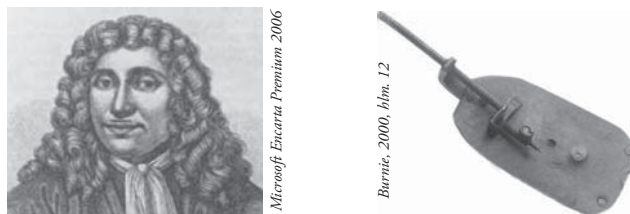
Pada uraian berikut, kalian akan diajak untuk mengenal kelompok makhluk hidup yang disebut organisme prokariotik. Kalian akan mempelajari dua kelompok besar organisme prokariotik yaitu *Archaeobacteria* dan *Eubacteria*, bagaimana ciri-cirinya, apa bedanya dengan organisme lain, dan bagaimana cara reproduksinya. Kalian juga akan mempelajari berbagai peran organisme prokariotik dalam kehidupan. Sebagai bekal keterampilan, kalian akan melakukan percobaan membuat makanan dengan memanfaatkan organisme prokariotik (bakteri).

Kemampuan yang akan kalian peroleh setelah memahami bab ini adalah mendeskripsikan ciri-ciri organisme prokariotik dan peranannya dalam kehidupan. Secara spesifik kalian diharapkan mampu membedakan dua kelompok besar organisme prokariotik, yaitu Archaeobacteria dan Eubacteria, beserta contoh jenis-jenisnya. Selain itu, kalian juga diharapkan dapat menjelaskan cara perkembangbiakan dan peranan organisme prokariotik dalam kehidupan, termasuk cara mengisolasi dan memanfaatkan jenis-jenis organisme prokariotik untuk keperluan manusia.

### A. Mengetahui Organisme Prokariotik

Dalam mempelajari berbagai jenis makhluk hidup, para biolog menciptakan **sistem klasifikasi makhluk hidup**, yaitu usaha mengelompokkan berbagai jenis makhluk hidup ke dalam berbagai kelompok. Ketika muncul sistem klasifikasi 4 kingdom, bakteri dan sianobakteri (ganggang hijau biru) digolongkan sebagai anggota **Kingdom Monera**. Monera merupakan kelompok organisme bersel tunggal (uniseluler) dan tidak memiliki membran inti sel atau disebut **prokariotik** (dalam bahasa Yunani *moneres* berarti 'tunggal').

Organisme prokariotik merupakan organisme yang paling banyak di bumi. Bahkan, jumlah organisme prokariotik yang berada di mulut, kulit, atau segumpal tanah jauh melebihi jumlah manusia di bumi. Selain jumlahnya paling banyak, organisme prokariotik merupakan organisme yang paling mudah berkembangbiak dan memperbanyak diri. Organisme ini telah bertahan selama miliaran tahun. Prokariotik adalah sel pertama yang merupakan awal dari seluruh kehidupan di bumi.



**Gambar 3.1** Antoonie van Leeuwenhoek dan mikroskop temuannya

Anggota terbesar kelompok organisme prokariotik adalah **bakteri**. Penelitian tentang bakteri dimulai ketika **Antoonie van Leeuwenhoek** menemukan mikroskop pertama kali pada akhir abad ke-17 (Gambar 3.1). Leeuwenhoek (1632-1723) adalah ilmuwan Belanda pertama yang merancang dan menciptakan mikroskop berlensa tunggal. Dengan

mikroskop buatannya, pada tahun 1683, ia menjadi orang pertama yang melihat bakteri. Ia membuat sketsa bakteri yang ditemukan dari giginya sendiri. Sejak saat itu, studi tentang makhluk-makhluk kecil mulai giat dilaksanakan. Beberapa ahli yang mempelajari jasad renik antara lain **Pasteur**, **Davaine**, **Koch**, dan **Winogradsky**. Ilmu tentang jasad renik ini disebut mikrobiologi. Pada abad ke-20, mikrobiologi terpecah menjadi mikrobiologi tanah dan mikrobiologi industri. Selain itu, bakteri dipelajari secara khusus dalam bakteriologi.

## 1. Ciri-Ciri Prokariotik

Ciri utama organisme prokariotik adalah organisme tersebut tidak memiliki organel yang diselubungi oleh membran. Nukleus atau inti sel organisme ini hanya berupa satu molekul ADN tanpa membran, disebut **nukleoid**. Sebagian besar prokariotik merupakan organisme uniseluler (bersel tunggal). Namun, beberapa jenis hidup dalam **agregat** atau kumpulan sementara, yang terdiri dari dua kelompok sel atau lebih. Ada pula yang memiliki bentuk **koloni sejati** yang merupakan kumpulan tetap sel-sel yang identik (Gambar 3.2). Bahkan beberapa spesies prokariotik menunjukkan suatu organisasi multiseluler sederhana yang memiliki pembagian tugas antara dua jenis sel atau lebih yang telah terspesialisasi.

Prokariotik umumnya tidak berklorofil, hidup bebas atau sebagai parasit. Contohnya adalah bakteri. **Bakteri** adalah organisme heterotrof, artinya tidak mampu menyusun makanan sendiri. Ini disebabkan karena bakteri tidak memiliki klorofil. Bakteri hidup sebagai saprofit atau parasit. Bakteri yang hidup sebagai saprofit memanfaatkan sisa-sisa tumbuhan atau hewan sebagai substrat atau sumber kebutuhan hidupnya. Dalam hal ini, bakteri berfungsi sebagai pengurai yang membersihkan sisa-sisa makhluk hidup. Sementara sebagai parasit, bakteri dapat menimbulkan penyakit bagi inangnya, baik berupa tumbuhan, hewan, maupun manusia.

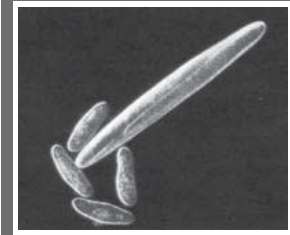
Beberapa kelompok prokariotik mampu hidup di lingkungan yang **ekstrim**, seperti mata air panas, kawah gunung berapi, atau di lahan gambut. Sedangkan kelompok prokariotik yang lain bersifat **kosmopolit**, artinya mampu hidup di berbagai kondisi lingkungan. Sebagian besar prokariotik memiliki diameter dalam kisaran 1-5  $\mu\text{m}$ , lebih kecil dibandingkan sel-sel **eukariotik** yang sebagian besar berukuran 10-100  $\mu\text{m}$ . Secara umum, prokariotik berkembangbiak secara vegetatif atau asexual dengan cara membelah diri.

## 2. Struktur Tubuh Prokariotik

Sebagian besar prokariotik memiliki **dinding sel** untuk mempertahankan bentuk sel, memberi perlindungan fisik, dan mencegah supaya sel tidak pecah dalam lingkungan **hipotonik** (larutan dengan konsentrasi zat terlarut yang lebih rendah dari zat pelarut). Walaupun begitu, dinding sel akan mati jika berada di lingkungan hipertonik. Dinding tersebut mengandung **peptidoglikan** yang terdiri dari po-

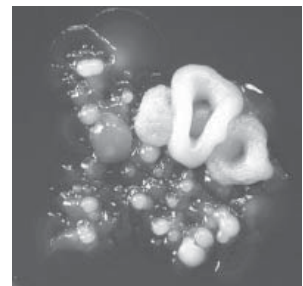
## GALERI

### Prokariotik Terbesar



*Epulopiscium fishelsoni* adalah organisme prokariotik yang terbesar. Spesies ini memiliki panjang tubuh mencapai setengah millimeter. Empat individu *Paramecium* sp. (organisme eukariotik) terlihat kecil bila dibandingkan dengannya. Prokariotik raksasa ini hidup sebagai simbiosis dalam perut *surgeonfish* (sejenis ikan laut).

Campbell, Reece, Mitchel, 2003, hlm. 107.

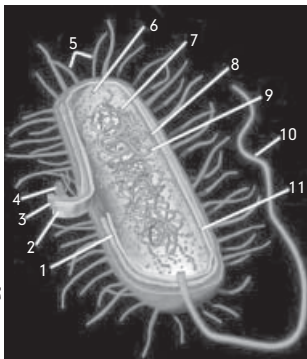


**Gambar 3.2** Contoh koloni organisme prokariotik



Mikrograf elektron yang diperbesar 15.000 kali ini memperlihatkan molekul ADN yang keluar dari bakteri yang mendapatkan perawatan khusus. Panjang ADN bakteri ini dapat meregang mencapai 1,5 mm, yang berarti 1.000 kali lebih panjang dari selnya sendiri.

Burnie, 2000, hlm 34



**Gambar 3.3** Struktur tubuh organisme prokariotik secara umum

Keterangan:

1. Ruang perisitoplasma
2. Membran sitoplasma
3. Dinding sel
4. Kapsul
5. Pili
6. Sitoplasma
7. Nukleoid
8. Ribosom
9. Plasmid
10. Flagella
11. Rongga di dalam pili

limer modifikasi gula-gula yang diikatsilangkan dengan **polipeptida** pendek. Pada permukaan dinding sel terdapat lapisan lendir yang menyebar dan mudah lepas.

Di dalam dinding sel terdapat **membran plasma** yang bersifat **selektif permeabel**. Di dalam membran plasma terdapat **sitoplasma**, yaitu cairan yang tersusun atas koloid yang mengandung molekul organik (lipid, karbohidrat, protein), ADN, enzim, ribosom, ion-ion anorganik, dan pigmen warna (kromatofora). Di antara koloid tersebut, terdapat pelipatan membran plasma yang disebut **mesosom**. Mesosom berfungsi membantu pembentukan dinding penyekat ketika bakteri siap membelah. Peran lainnya adalah membantu pemisahan kromosom bakteri yang diduplikasi. Mesosom juga merupakan tempat dikeluarkannya hasil **ekskresi**.

Bakteri memiliki materi genetik berupa **ADN (asam deoksiribonukleat)**. Molekul-molekul ADN tersebut membentuk **kromosom**, yaitu ADN beruntai ganda yang menyerupai serat kusut dalam region nukleoid (daerah nukleoid) yang warnanya kurang padat dibandingkan dengan sitoplasma. Kromosom terdiri dari gen yang membawa kode genetik.

Di dalam sitoplasma juga terdapat organel yang disebut **ribosom**. Ribosom berfungsi dalam sintesis protein. Bentuk ribosom adalah butir-butir kecil dan tidak diselubungi membran. Ribosom tersusun atas **protein** dan **ARN (asam ribonukleat)**.

Selain struktur yang telah kita bahas tersebut, banyak spesies prokariotik yang mensekresikan bahan kental dan lengket yang kemudian menebal membentuk **kapsul**. Kapsul merupakan lapisan pelindung di luar dinding sel. Adanya kapsul memungkinkan organisme prokariotik menempel pada substratnya dan memberikan perlindungan tambahan berupa peningkatan resistensi atau ketebalan **prokariotik patogen** pada sistem pertahanan inangnya. Selain itu, kapsul yang bergelatin menyatukan banyak organisme prokariotik sebagai satu koloni. Beberapa jenis juga memiliki struktur yang disebut **pili**, yaitu alat tambahan pada permukaan sel yang berguna agar membantu menempel pada sesama anggota koloni.

Karena merupakan organisme yang motil (dapat bergerak atau berpidah), beberapa jenis organisme prokariotik memiliki **flagela**. Flagela adalah struktur tambahan pada tubuh berupa bulu cambuk yang berfungsi sebagai alat gerak. Namun, bukan berarti bahwa organisme prokariotik yang tidak mempunyai flagela tidak bisa bergerak. Beberapa jenis organisme prokariotik bergerak aktif dengan **meluncur** dan ada yang **bergerak pasif** mengikuti aliran air. Dalam suatu lingkungan yang heterogen, banyak bakteri yang mampu melakukan **taksis**, yaitu pergerakan menuju atau menjauhi suatu rangsangan. Misalnya, dengan gerak kemotaksis, bakteri akan memberikan respon terhadap rangsangan kimia. Pada kelompok tertentu, yaitu organisme prokariotik yang dapat berfotosintesis terdapat struktur khusus yang disebut **lembar fotosintetis (tilakoid)** yang di dalamnya mengandung klorofil. Untuk lebih memperjelas pemahaman tentang struktur tubuh prokariotik, kalian bisa memperhatikan Gambar 3.3.



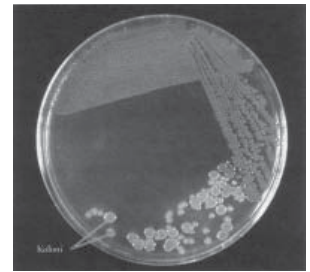
### 3. Reproduksi Organisme Prokariotik

Organisme prokariotik hanya berkembang biak (bereproduksi) secara asexual melalui pembelahan sel, yang disebut **pembelahan biner** (*binary fission*). Dalam pembelahan ini, ADN disintesis secara terus-menerus. Sebuah sel prokariotik tunggal dalam lingkungan yang sesuai akan menjadi suatu **koloni** akibat pembelahan berulang-ulang. Perhatikan Gambar 3.4.

Waktu generasi yang pendek memungkinkan populasi prokariotik dapat menyesuaikan diri dengan keadaan lingkungan secara cepat. Dalam suatu lingkungan dengan sumberdaya yang memadai, satu sel akan membelah menjadi 2 sel. Kedua sel akan membelah menghasilkan 4 sel, kemudian 8 sel, 16 sel, dan seterusnya. Beberapa spesies dapat membelah dalam waktu 20 menit, ada juga yang mampu membelah pada kisaran waktu 1 sampai 3 jam. Jika pembelahan ini berlanjut terus, dalam 24 jam akan terbentuk koloni prokariotik dengan massa 1 juta kilogram. Namun, pertumbuhan organisme prokariotik di alam umumnya **melambat** pada titik tertentu, yaitu ketika koloni kehabisan nutrisi atau ketika koloni tersebut meracuni diri sendiri dengan penumpukan buangan hasil metabolisme.

Dalam pembelahan biner ini, materi genetik hasil pembelahan sama dengan materi genetik induknya. Walaupun organisme prokariotik bereproduksi secara **aseksual**, namun beberapa bakteri dapat melakukan beberapa cara untuk merekombinasi materi genetiknya. Cara **rekombinasi materi genetik** tersebut adalah transformasi, konjugasi, dan transduksi. **Transformasi** berarti pengambilan gen dari lingkungan sekitar, yang memungkinkan terjadinya perpindahan materi genetik antarprokariotik. **Konjugasi** artinya pemindahan gen-gen secara langsung dari prokariotik satu ke prokariotik lainnya. Sedangkan **transduksi** adalah pemindahan gen antarprokariotik dengan bantuan virus. Gambar 3.5 menunjukkan konjugasi pada organisme prokariotik.

Beberapa organisme prokariotik membentuk sel-sel **endospora** yang tahan terhadap kondisi yang tidak menguntungkan. Perhatikan Gambar 3.6. Sel awal akan mereplikasi kromosomnya dan satu salinannya diselubungi dinding yang kuat. Walaupun sel bagian luar hancur akibat keadaan lingkungan, endospora yang dikandungnya akan bertahan hidup. Air mendidih tidak cukup panas untuk membunuh sebagian besar endospora dalam jangka waktu yang relatif singkat. Orang yang mengalengkan makanan harus melakukan tindakan yang tepat untuk mengatasi endospora yang berbahaya ini. Di laboratorium, para ahli mikrobiologi menggunakan **autoklaf** untuk mensterilkan media, gelas, dan peralatan lain di laboratorium. Autoklaf merupakan wadah pemanas dengan tekanan tinggi yang dapat membunuh bakteri bahkan endospora dengan cara memanaskannya sampai suhu 120°C. Dalam lingkungan yang normal, endospora dapat bertahan hingga berabad-abad. Jika ditempatkan pada lingkungan yang sesuai, endospora akan mengalami **hidrasi** dan hidup kembali untuk menghasilkan koloni.



**Gambar 3.4** Koloni organisme prokariotik dalam biakan di laboratorium.

Campbell, Reece, Mitchell, 2003, hlm. 110



**Gambar 3.5** *Escherichia coli* sedang berkonjugasi

Burnie, 2000, hlm. 50



**Gambar 3.6** Bakteri dengan endosporanya

www.tifg.cox.miami.edu

Nah, sampai di sini kalian telah mengenal organisme prokariotik, yaitu mengenai ciri-ciri dan struktur tubuhnya secara umum, dan reproduksinya. Untuk menambah pemahaman kalian, lakukan kegiatan berikut.

## DISKUSI

Diskusikan dengan teman sebangku kalian perbedaan organisme prokariotik dan organisme eukariotik. Tuliskan hasil diskusi kalian dalam tabel berikut:

### Perbedaan Organisme Prokariotik dan Organisme Eukariotik

Aspek pembeda	Organisme prokariotik	Organisme eukariotik
1. Membran inti	Tidak memiliki	Memiliki
2.		
3.		
Dst.		

Setelah berdiskusi, kini saatnya kalian harus menjawab soal-soal berikut.

## UJI KOMPETENSI

### Selesaikan soal-soal berikut dengan tepat.

- Jelaskan pengertian organisme prokariotik. Apa bedanya dengan organisme eukariotik?
- Siapakah yang pertama kali menemukan mikroskop? Apa kaitannya dengan penelitian organisme prokariotik?
- Sebut dan jelaskan ciri-ciri organisme prokariotik.
- Bagaimanakah struktur tubuh organisme prokariotik? Jelaskan.
- Jelaskan proses perkembangbiakan organisme prokariotik.

Organisme prokariotik memiliki jenis yang sangat banyak sehingga untuk mempermudah mempelajarinya, diperlukan pengelompokan (klasifikasi). Karena perkembangan teknologi dan penemuan fakta-fakta terbaru, klasifikasi organisme prokariotik beberapa kali mengalami perubahan. Namun demikian, kelompok-kelompok organisme tersebut pada hakekatnya tetap, yaitu secara struktural merupakan organisme prokariotik.

## B. Pengelompokan Organisme Prokariotik

Dalam sistem klasifikasi tradisional lima kingdom, organisme prokariotik menyusun Kingdom Monera, sedangkan organisme eukariotik menyusun empat kingdom lainnya, yaitu Protista, Plantae, Fungi, dan Animalia. Berdasarkan **analisis molekuler**, Monera dibagi ke dalam dua filum, yaitu **Archaeobacteria** dan **Eubacteria**. Pada klasifikasi yang sekarang, kedua filum tersebut telah diangkat menjadi dua **domain** tersendiri, yaitu **Domain Archaea** dan **Domain Bacteria**. Terlepas dari perubahan kedudukan dalam kategori taksonominya, kedua kelompok tersebut tetap merupakan kelompok prokariotik seperti pembagiannya dalam Dunia Monera.

## KILAS

Organisme prokariotik adalah organisme yang tidak memiliki membran inti, umumnya bersel tunggal (uniselular), memiliki dinding sel, umumnya tidak berklorofil, dan hidup bebas atau sebagai parasit.

## 1. Archaeobacteria (Archaea)

Archaeobacteria terdiri dari bakteri-bakteri yang hidup di tempat-tempat kritis atau ekstrim, misalnya bakteri yang hidup di air panas, bakteri yang hidup di tempat berkadar garam tinggi, dan bakteri yang hidup di tempat yang panas atau asam, di kawah gunung berapi, dan di lahan gambut. Menurut para ahli, Archaeobacteria dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama, yaitu metanogen, halofil ekstrim, dan termofil ekstrim (termoasidofil). Secara struktural, kelompok prokariotik ini memiliki beberapa karakteristik, yaitu dinding selnya tidak mengandung peptidoglikan, ribosomnya mengandung beberapa jenis **RNA-polimerase** sehingga lebih mirip eukariotik, dan plasmanya mengandung **lipid dengan ikatan ester**.

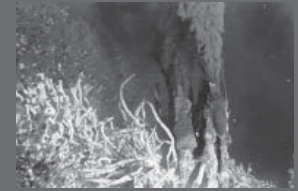
**Metanogen** merupakan kelompok prokariotik yang mereduksi karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) menjadi metana ( $\text{CH}_4$ ) menggunakan hidrogen ( $\text{H}_2$ ). Metanogen merupakan **mikroorganisme anaerob**, tidak membutuhkan oksigen karena baginya oksigen merupakan racun. Metanogen memiliki tempat hidup di lumpur dan rawa, tempat mikroorganisme lain menghabiskan semua oksigen. Contohnya adalah *Methanococcus jansciii* (Gambar 3.7). Akibatnya rawa akan mengeluarkan **gas metana** atau **gas rawa**. Beberapa spesies lain yang termasuk kelompok metanogen hidup di lingkungan anaerob di dalam perut hewan seperti sapi, rayap, dan herbivora lain yang mengandalkan makanan berselulosa. Metanogen berperan penting dalam nutrisi. Contohnya adalah *Succinomonas amylolytica* yang hidup di dalam pencernaan sapi dan merupakan pemecah amilum. Peran lain metanogen adalah sebagai pengurai, sehingga bisa dimanfaatkan dalam pengolahan kotoran hewan untuk memproduksi gas metana, yang merupakan bahan bakar alternatif.

**Halofil ekstrim** merupakan kelompok prokariotik yang hidup di tempat yang asin, seperti di Great Salt Lake (danau garam di Amerika) dan Laut Mati. Kata *halofil* berasal dari bahasa Yunani, *halo* yang berarti 'garam', dan *phyls* yang berarti 'pencinta'. Beberapa spesies seka-dar memiliki toleransi terhadap kadar garam, tetapi ada pula spesies lain yang memerlukan lingkungan yang sepuluh kali lebih asin dari air laut untuk dapat tumbuh. Beberapa koloni halofil ekstrim membentuk suatu buih berwarna ungu. Warna tersebut adalah **bakteriorhodopsin**. Bakteriorhodopsin merupakan suatu pigmen yang menangkap energi cahaya. Perhatikan Gambar 3.8.

Sedangkan **Termofil ekstrim** adalah kelompok organisme prokariotik yang hidup di lingkungan yang panas, optimum pada suhu 60-80°C. Contohnya adalah *Sulfolobus* sp. yang hidup di mata air panas bersulfur di Yellowstone National Park (Amerika Serikat). Perhatikan gambar 3.9. *Sulfolobus* sp. hidup dengan mengoksidasi sulfur untuk memperoleh energi. Karena suka dengan panas dan asam, kelompok ini disebut juga **termoasidofil**. Jenis lain yang memetabolisme sulfur adalah organisme prokariotik yang hidup pada air bersuhu 105°C di

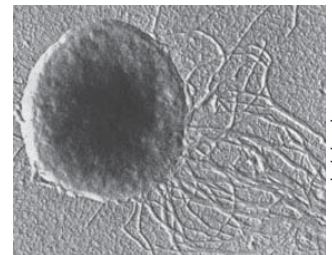
## GALERI

### The Black Smokers



The black smokers adalah sebutan untuk kawah gunung api di dasar laut. Di sana terdapat berbagai bentuk kehidupan yang unik dan kondisi lingkungannya juga sangat ekstrim. Contohnya adalah sejenis termofil ekstrim yang hidup bersimbiosis dengan cacing tabung (*Acetabularia*)

[www.deepeaceanews.blogspot.com](http://www.deepeaceanews.blogspot.com)



[www.ucmp.berkeley.edu](http://www.ucmp.berkeley.edu)

Gambar 3.7 *Methanococcus jansciii*



Stern, 2000, hlm. 284

Gambar 3.8 Bakteriorhodopsin dari Halofil ekstrim menyebabkan perairan berwarna kemerah-merahan.

dekat lubang hidrotermal di laut dalam (kawah gunung api bawah laut). Termofil ekstrim merupakan kelompok prokariotik yang paling dekat dengan organisme eukariotik.



**Gambar 3.9** *Sulfolobus* spp. dan habitatnya di Yellowstone National Park (a) Mata air panas bersulfur, habitat *Sulfolobus* spp. (b) *Sulfolobus* spp.

## GALERI

### Bakteri Luminesens

*Photobacterium phosphorium* adalah contoh bakteri yang mampu menghasilkan cahaya (*luminesens*), hidup bersimbiosis di dalam tubuh cumi-cumi komersial yang hidup di perairan Indonesia (*Loligo duravcelli*). Akibat simbiosis tersebut, cumi-cumi dapat memancarkan cahaya. *P. phosphorium* merupakan bakteri yang dapat memancarkan cahaya paling terang di antara semua jenis bakteri luminesens. Bakteri ini dimanfaatkan oleh manusia untuk mendeteksi keberadaan bahan kimia beracun dalam penentuan kualitas air. Dalam bidang kedokteran, bakteri ini digunakan untuk menentukan jumlah ikatan albumin (protein darah) dan mendiagnosis penyakit gigi.

## 2. Eubacteria (Bacteria)

Eubacteria memiliki **struktur** yang berbeda dengan Archaeobacteria dalam hal dinding selnya terdiri dari peptidoglikan, ribosomnya hanya mengandung satu jenis RNA-polimerase, dan membran plasmanya mengandung lipid dengan ikatan ester. Eubacteria merupakan kelompok **bakteri sejati**, merupakan mikroorganisme prokariotik yang hidup **kosmopolit**.

Sampai saat ini, lebih dari 5000 spesies bakteri telah dikenali, terdapat dalam jumlah yang sangat banyak di hampir semua habitat yang memungkinkan bagi mereka. Setiap gram tanah di kebun kita, misalnya, diperkirakan mengandung sebanyak 2 milyar bakteri. Bakteri juga ditemukan pada tumbuhan, hewan, pada semua jenis tanah, perairan (air tawar dan air asin), di dalam es di kutub, dalam batu bara dan minyak bumi, lapisan atmosfer, di dalam botol-botol tinta, dan hampir di semua tempat yang mungkin bisa kita kunjungi.

Bakteri dapat dikelompokkan berdasarkan bentuk tubuhnya, berdasarkan cara gerakannya, berdasarkan kebutuhannya akan oksigen, berdasarkan cara memperoleh energi dan karbon, serta berdasarkan sifatnya terhadap pengecatan gram. Mari kita uraikan satu persatu.

### a. Pengelompokan Bakteri berdasarkan Bentuknya

Walaupun bakteri bersel tunggal, tetapi bakteri mempunyai beberapa bentuk yaitu bulat (**coccus**), batang (**basilus**), dan berbentuk spiral (**spirila**). Ketiga bentuk dasar bakteri tersebut masih memiliki beberapa modifikasi.

Berdasarkan modifikasi bentuknya, bakteri coccus dapat berupa monococcus, diplococcus, streptococcus, dan sarcina. Perhatikan Gambar 3.10. **Monococcus** adalah bakteri yang berbentuk bulat tunggal. Contoh monococcus adalah *Neisseria gonorrhoea* (penyebab penyakit gonorrhoe). **Diplococcus** yaitu bakteri berbentuk bulat yang

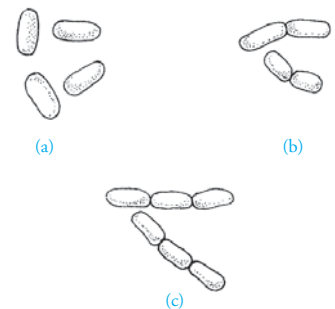


berpasangan. Contohnya *Diplococcus pneumoniae* (penyebab penyakit pneumonia atau radang paru-paru). Sedangkan **Streptococcus** adalah bakteri berbentuk bulat yang bersusun seperti rantai. Contohnya *Streptococcus pyogenes* (penyebab penyakit kuning). Modifikasi bentuk yang lain adalah **staphylococcus** (bulat yang berupa gerombolan seperti buah anggur) dan **sarcina** (yaitu bakteri berbentuk bulat yang berkelompok empat-empat sehingga berbentuk seperti kubus dengan 8 sel). Contohnya adalah *Staphylococcus aureus* yang merupakan penyebab penyakit pneumonia (radang paru-paru) dan keracunan dalam makanan.



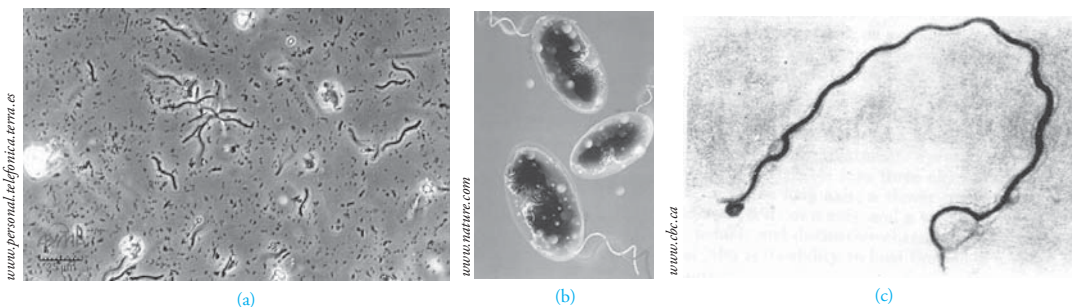
**Gambar 3.10** Berbagai macam bentuk bakteri coccus. (a) *Monococcus*, (b) *Diplococcus*, (c) *Streptococcus*, (d) *Staphylococcus*, (e) *Sarcina*.

Bakteri basilus juga mempunyai beberapa modifikasi bentuk, yaitu monobasil, diplobasil, atau streptobasil. Perhatikan Gambar 3.11. **Monobasil** yaitu bakteri berbentuk basil tunggal. Contohnya adalah *Escherichia coli* (membantu pembusukan di dalam *colon* atau usus besar) dan *Salmonella typhosa* (penyebab penyakit tipus). **Diplobasil** adalah bakteri bentuk batang yang berpasangan. Sedangkan **streptobasil** adalah bakteri dengan bentuk batang yang bergandengan memanjang seperti bentuk rantai. Contohnya, *Acetobacter xylinum* yang digunakan dalam pembuatan *nata de coco*.



**Gambar 3.11** Berbagai bentuk bakteri basil. (a) *Monobasil*, (b) *Diplobasil*, dan (c) *Streptobasil*.

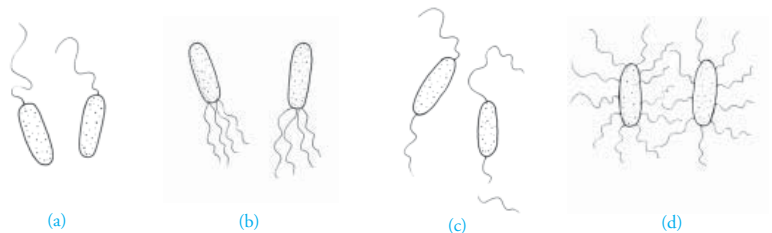
Sedangkan kelompok bakteri dengan bentuk dasar spiral memiliki 3 macam modifikasi, yaitu spirillum, vibrio, dan spirochaeta. Perhatikan Gambar 3.12. **Spirillum** yaitu bakteri yang berbentuk spiral sempurna. Contohnya adalah *Triponema pallidum* (penyebab penyakit sifilis). **Vibrio** merupakan modifikasi dari bentuk spiral yaitu berbentuk koma. Contohnya adalah *Vibrio cholerae* (penyebabkan penyakit kholera). Sedangkan **spirochaeta** merupakan kelompok bakteri berbentuk spiral yang lentur, sehingga ketika bergerak tubuhnya dapat memanjang atau memendek.



**Gambar 3.12** Berbagai bentuk bakteri spiral (a) spirillum (b) vibrio (c) spirochaeta

## b. Pengelompokan Bakteri berdasarkan Cara Geraknya

Salah satu cara bakteri bergerak adalah dengan bantuan flagela. Flagela adalah struktur tambahan alat pada beberapa bakteri berupa bulu cambuk yang berfungsi sebagai alat gerak. Berdasarkan letak dan jumlahnya, bakteri dikelompokkan ke dalam 4 tipe, yaitu monotrik, lofotrik, amfitrik, dan peritrik. Perhatikan Gambar 3.13. Bakteri **monotrik** adalah bakteri dengan satu flagela pada salah satu ujung tubuhnya. Apabila jumlah flagelanya lebih dari satu disebut **lofotrik**. Sedangkan bakteri amfitrik adalah bakteri yang memiliki lebih dari satu flagela dan flagela-flagela tersebut terletak pada kedua ujung tubuhnya. Apabila flagela-flagela tersebut terdapat pada seluruh permukaan tubuhnya disebut peritrik.



**Gambar 3.13** berbagai tipe flagella bakteri (a) monotrik, (b) lofotrik, (c) amfitrik, dan (d) peritrik.

## c. Pengelompokan Bakteri berdasarkan Kebutuhannya akan Oksigen

Berdasarkan kebutuhannya akan oksigen, bakteri dibedakan menjadi dua macam, yaitu bakteri aerob dan bakteri anaerob. **Bakteri aerob (aerob obligat)** merupakan bakteri yang membutuhkan oksigen bebas untuk hidupnya. Sedangkan **bakteri anaerob** merupakan bakteri yang tidak membutuhkan oksigen bebas dalam hidupnya. Bakteri yang hanya dapat hidup di lingkungan tanpa oksigen, dan akan teracuni jika ada oksigen disebut bakteri **anaerob obligat**. Walaupun begitu, ada beberapa bakteri yang dapat hidup pada lingkungan yang mengandung oksigen maupun lingkungan yang tidak mengandung oksigen. Bakteri ini disebut bakteri **anaerob fakultatif**. Contoh bakteri aerob obligat adalah *Nitrobacter* sp. dan *Hydrogenomonas* sp. dan contoh bakteri anaerob obligat adalah *Clostridium tetani*. Sedangkan anaerob fakultatif misalnya *Escherichia coli*, *Salmonella thypose* dan *Shigella* sp. (Gambar 3.14)



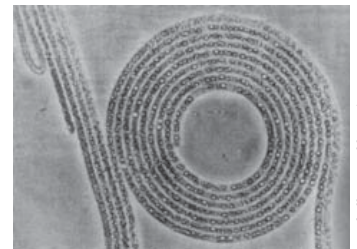
**Gambar 3.14** Koloni *E. coli*, bersifat anaerob fakultatif

Beberapa jenis bakteri ini yang hidup di dalam tanah dapat merugikan, karena menimbulkan proses-proses reduksi. Akibatnya, senyawa-senyawa yang mestinya dapat digunakan tanaman justru diubah menjadi senyawa yang tidak digunakan. Contoh bakteri jenis ini adalah *Micrococcus denitrificans* yang mengubah senyawa nitrat menjadi amonia sampai menjadi nitrogen bebas, yang disebut proses **denitrifikasi**. Bakteri anaerob lain yang merugikan adalah *Spirillum desulfuricans* yang mengubah senyawa sulfat menjadi asam sulfida atau sampai menjadi belerang. Proses ini disebut **desulfurikasi**.

#### d. Pengelompokan Bakteri berdasarkan Cara Memperoleh Energi dan Karbon

Berdasarkan cara memperoleh energi dan karbon, bakteri dibedakan menjadi empat kategori, yaitu fotoautotrof, kemoautotrof, fotoheterotrof, dan kemoheterotrof. **Fotoautotrof** adalah bakteri fotosintetik yang memanfaatkan energi cahaya untuk mensintesis senyawa organik dari karbondioksida. Contoh bakteri fotoautotrof adalah kelompok sianobakteri. Sedangkan **kemoautotrof** merupakan bakteri yang hanya memerlukan  $\text{CO}_2$  sebagai sumber karbon bukan sebagai sumber energi. Bakteri ini memperoleh energi dengan mengoksidasi bahan-bahan anorganik. Energi kimia diekstraksi dari hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amonia ( $\text{NH}_3$ ), ion ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), atau bahan kimia lainnya. Contohnya adalah bakteri *Sulfolobus* sp. yang mengoksidasi sulfur. Kedua kelompok tersebut adalah kelompok bakteri yang mampu mensintesis energinya sendiri (autotrof).

Sedangkan bakteri yang tidak mampu mensintesis energi secara mandiri disebut kelompok heterotrof, terdiri dari fotoheterotrof dan kemoheterotrof. Bakteri **fotoheterotrof** yaitu bakteri yang menggunakan cahaya untuk menghasilkan ATP, tetapi harus menggunakan karbon dalam bentuk organik. Sedangkan **kemoheterotrof** yaitu bakteri yang harus mengonsumsi molekul organik untuk sumber energi dan karbon. Contoh bakteri kemoautotrof adalah *Beggiota* sp. (Gambar 3.15), yaitu bakteri kemoautotrof yang mengoksidasi  $\text{H}_2\text{S}$ . Sebagian besar bakteri adalah kemoheterotrof, terdiri dari kelompok **saproba** (pengurai) yang menyerap nutrisi dari bahan organik dan kelompok **parasit** yang menyerap cairan dari tubuh inang yang masih hidup.



Gambar 3.15 *Beggiota* sp.

#### e. Pengelompokan Bakteri berdasarkan sifatnya terhadap pengecatan gram.

Pengecatan gram (*gram stain*) memisahkan bakteri ke dalam dua kelompok, yaitu bakteri gram-positif dan bakteri gram-negatif. Bakteri **gram-positif** memiliki dinding sel yang sederhana, dengan jumlah peptidoglikan yang banyak sehingga bereaksi positif terhadap pengecatan gram. Sedangkan pada bakteri **gram-negatif** peptidoglikannya lebih sedikit dan struktur dinding selnya lebih kompleks, membran luarnya mengandung lipopolisakarida. Sehingga tidak terwarnai oleh pengecatan gram.

Untuk menambah pengetahuan kalian tentang pengecatan gram, kerjakan rubrik berikut.

### TELISIK

Carilah informasi tentang metode pengecatan gram dan bagaimana caranya. Berikan contoh spesies bakteri yang bersifat gram-positif dan yang bersifat gram-negatif. Sertakan gambar atau fotonya. Kalian bisa mencarinya melalui internet. Diskusikan hasil kerja kalian di kelas.

Beberapa pengelompokan di atas merupakan pengelompokan berdasarkan bentuk dan fungsi atau beberapa sifat saja, sedangkan pembagian tingkatan taksonomi bagi bakteri sampai saat belum jelas. Para ahli sistematika telah mengusulkan berbagai pengelompokan bakteri. Mereka mengenal lusinan kelompok bakteri, tetapi kita hanya akan membahas lima kelompok yang umum. Kelima kelompok ini adalah Proteobacteria, bakteri gram-positif, Sianobakteri, Spirokaeta, dan Klamidia. Mari kita bahas satu persatu kelima kelompok bakteri tersebut.

#### a) Proteobakteria

Proteobakteria merupakan kelompok bakteri **pengikat Nitrogen** (*N-Fixing Bacteria*). Kelompok ini merupakan kelompok bakteri yang paling beragam, dibedakan menjadi tiga subkelompok utama, yaitu bakteri ungu, proteobakteri kemoautotrof, dan proteobakteri kemoheterotrof.

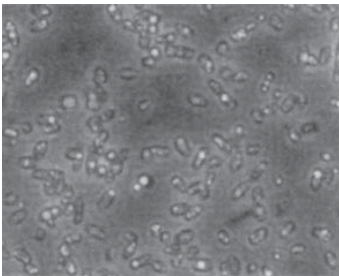
**Bakteri ungu** adalah kelompok bakteri yang bersifat fotoautotrof atau fotoheterotrof. Bakteri ini mempunyai klorofil yang terbentuk di kantung membran plasma. Bakteri ungu mengekstraksi elektron dari molekul selain  $H_2O$ , misalnya  $H_2S$ , sehingga bakteri ini tidak membebaskan oksigen. Sebagian besar spesiesnya adalah bakteri anaerob obligat, ditemukan dalam endapan kolam, danau, dan lapisan lumpur. Banyak spesies yang mempunyai flagela. Contoh bakteri ungu adalah bakteri *Chromatium* sp. (Gambar 3.16).

**Proteobakteri kemoautotrof** merupakan kelompok bakteri yang hidup bebas dan ada juga yang bersimbiosis dengan organisme lain. Bakteri ini memegang peranan penting dalam siklus kimiawi ekosistem, misalnya berperan dalam fiksasi nitrogen (perubahan gas nitrogen  $N_2$  di atmosfer menjadi mineral bernitrogen yang dapat digunakan oleh tumbuhan). Contohnya adalah *Rhizobium* sp. (Gambar 3.17) yang hidup bersimbiosis dengan membentuk bintil akar pada tanaman kacang-kacangan. Dengan simbiosis ini, tanaman tersebut mendapatkan nutrisi dari *Rhizobium* sp.

Adapun **Proteobakteri kemoheterotrof** adalah kelompok bakteri enterik yang hidup di usus hewan. Bakteri ini berbentuk batang dan bersifat anaerob fakultatif. Contoh yang tidak berbahaya adalah *Escherichia coli*. Sedangkan jenis lainnya ada yang bersifat patogen, misalnya *Salmonella* sp. yang menyebabkan keracunan makanan. Perhatikan Gambar 3.18.

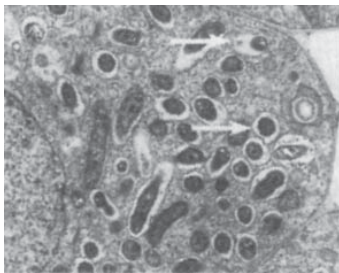
#### b) Bakteri gram-positif

Sebagian besar bakteri gram-positif bersifat kemoheterotrof, walaupun beberapa di antaranya bersifat fotosintetik. Ketika berada pada kondisi yang sulit, bakteri ini akan membentuk endospora. Contoh bakteri gram-positif adalah *Clostridium* sp. dan *Bacillus* sp. Sedangkan yang tidak membentuk endospora, contohnya adalah *Mycoplasma* sp. Ukurannya sangat kecil, bahkan dari semua



**Gambar 3.16** *Chromatium* sp.

Campbell, Reece, Mitchell, 2003, hlm. 118



**Gambar 3.17** *Rhizobium* sp. pada bintil akar tanaman kacang.

Campbell, Reece, Mitchell, 2003, hlm. 118

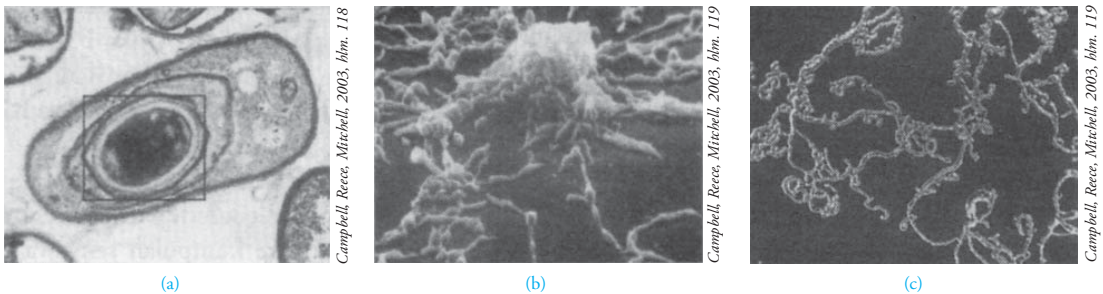


**Gambar 3.18** *Salmonella* sp., penyebab keracunan makanan.

Campbell, Reece, Mitchell, 2003, hlm. 118



sel yang diketahui saat ini, diameternya 0,10 – 0,25  $\mu\text{m}$ . Bakteri ini ditemukan dalam tanah, dan beberapa di antaranya bersifat patogen pada hewan. Contohnya adalah *Mycoplasma pneumonia* yang menyebabkan *walking pneumonia* pada manusia. Selain itu, yang termasuk bakteri gram-positif adalah Actinomycetes, yaitu bakteri tanah yang membentuk koloni menyerupai jamur. Contohnya adalah *Streptomyces* sp. yang merupakan sumber antibiotik yang penting. Perhatikan Gambar 3.19.

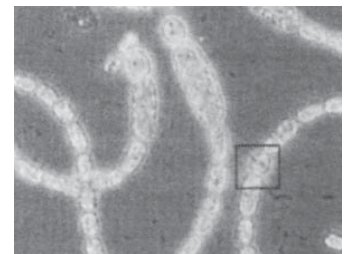


**Gambar 3.19** Bakteri gram-positif  
(a) endospora pada *Bacillus* sp., (b) *Mycoplasma* sp., dan (c) *Streptomyces* sp.

#### c) Sianobakteri

Sianobakteri merupakan kelompok bakteri **autotrof**, memiliki klorofil dan mampu berfotosintesis seperti tumbuhan. Bakteri ini menggunakan dua **fotosistem** untuk memecah air dan menghasilkan oksigen sebagai produk sampingan. Sebagian besar hidup di air tawar, tetapi ada sebagian yang hidup di laut. Ada juga yang bersimbiosis dengan jamur membentuk **lichens** (lumut kerak).

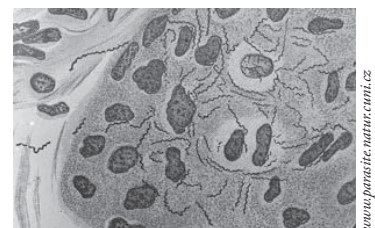
Beberapa spesies sianobakteri akuatik memfiksasi nitrogen. Bakteri jenis ini mempunyai dinding sel yang tebal dan bergelatin, tidak mempunyai flagela, dan bergerak dengan meluncur. Di antara spesies sianobakteri ada yang berupa sel tunggal, ada yang membentuk koloni, dan ada yang merupakan organisme multiseluler yang memiliki pembagian kerja yang khusus. Contohnya adalah *Anabaena* sp. (Gambar 3.20) yang berperan dalam fiksasi nitrogen. Terdapat sel-sel yang telah terspesialisasi untuk fiksasi nitrogen.



**Gambar 3.20** *Anabaena* sp., berperan dalam fiksasi nitrogen.

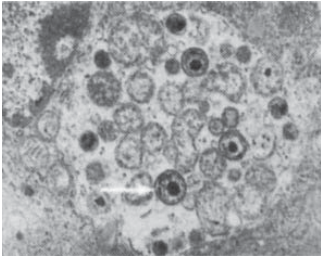
#### d) Spirokaeta

Spirokaeta merupakan bakteri kemoheterotrof yang berbentuk heliks. Panjangnya mencapai 0,25 mm, tetapi karena terlalu tipis ia tidak dapat dilihat tanpa bantuan mikroskop. Perputaran filamen internal mirip flagela, menghasilkan gerakan seperti pembuka sumbat botol. Anggota Spirokaeta ada yang hidup bebas dan ada yang bersifat patogen. Contohnya adalah *Treponema pallidum* (penyebab penyakit sifilis), dan *Borrelia burgdorferi* (penyebab penyakit Lyme). Perhatikan Gambar 3.21.



**Gambar 3.21** *Treponema pallidum*, Spirokaeta penyebab sifilis





**Gambar 3.22** *Chlamydia trachomatis*

#### e) Klamidia

Klamidia merupakan **parasit obligat intraseluler**. Ia mendapatkan semua energi dari sel inangnya. Dinding selnya gram-negatif, tetapi sifat tersebut tidak umum di antara bakteri karena tidak memiliki peptidoglikan. Contoh klamidia adalah *Chlamydia trachomatis* (Gambar 3.22). Bakteri ini merupakan penyebab kebutaan paling umum di dunia dan juga penyebab penyakit yang ditularkan secara seksual (*nongonococcal urethritis*) di Amerika Serikat.

Nah, untuk menambah keterampilan kerja kalian di laboratorium, lakukan *Percobaan* berikut.

## PERCOBAAN

### Mengisolasi Bakteri dari Lingkungan dan Mengamati Koloninya

#### A. Dasar teori

Bakteri terdapat dalam jumlah yang sangat banyak di hampir semua habitat yang memungkinkan bagi mereka. Setiap gram tanah di kebun kita, misalnya, diperkirakan mengandung sebanyak 2 milyar bakteri. Bakteri juga ditemukan pada tumbuhan, hewan, pada semua jenis tanah, perairan (air tawar dan air asin), di dalam es di kutub dan di dalam gelembung panas di musim semi, dalam batu bara dan minyak bumi, lapisan atmosfer, di dalam botol-botol tinta, dan hampir di semua tempat yang mungkin bisa kita kunjungi. Untuk membuktikannya kita bisa mengisolasi bakteri dari lingkungan (air, udara, tanah) dan menumbuhkannya pada media agar dalam cawan petri. Kita akan mendapatkan koloni bakteri dan mikroorganisme lainnya seperti khamir dan *yeast*.

#### B. Tujuan

Mengetahui teknik isolasi bakteri dari lingkungan  
Mengamati pertumbuhan koloni bakteri  
Mengamati mikroskopis bakteri

#### C. Alat dan bahan

- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| 1. autoklaf atau dandang               | 7. bubuk agar-agar             |
| 2. panci dan kompor                    | 8. air kaldu                   |
| 3. cawan petri atau kaca pireks        | 9. sediaan mikroskopis bakteri |
| 4. kertas merang                       | 10. masker                     |
| 5. mikroskop, kaca objek, kaca penutup | 11. sarung tangan karet        |
| 6. pembakar spiritus                   |                                |

#### D. Langkah percobaan

1. Buatlah kelompok kerja untuk melakukan percobaan ini. Ingat, selama melakukan percobaan kalian harus selalu memakai masker dan sarung tangan untuk menghindari bahaya bakteri patogen.
2. Rebuslah air sampai mendidih dengan panci, kemudian masukkan serbuk agar-agar dan air kaldu. Jumlah agar-agar maksimal 2 % dari total media yang akan dibuat.
3. Tuangkan media tersebut dalam cawan petri atau kaca pireks, kemudian bungkuslah dengan kertas merang.
4. Sterilkan dengan autoklaf atau dengan dandang.
5. Biarkan media tersebut dingin. Setelah dingin bukalah media tersebut dan biarkan selama 10 menit. Tutup kembali dengan kertas merang. Pagi harinya amati cawan petri tersebut, kalian akan menemukan koloni mikroorganisme yang mungkin bertumpukan karena macamnya yang sangat banyak. Amati dengan seksama mulai dari bentuk koloni, ukuran koloni, dan warna koloni, serta ada tidaknya lendir.

6. Koloni yang berlendir adalah bakteri. Ambilah koloni tersebut dengan kawat seperlunya kemudian letakkan di atas kaca objek kemudian tutuplah dengan kaca penutup. Amati dengan mikroskop dan gambarkan bentuk bakteri yang ada. Sebelum kawat digunakan untuk mengambil sampel koloni, bakarlah kawat tersebut dengan pembakar spiritus agar steril.
7. Amati pula sediaan mikroskopis bakteri yang sudah ada. Gambarkan bentuk bakteri tersebut.

#### E. Pembahasan

1. Berdasarkan pengamatan kalian, bagaimanakah bentuk koloni berbagai bakteri udara tersebut? Bagaimana bentuk sel-selnya di bawah mikroskop?
2. Bandingkan dengan hasil pengamatan kalian terhadap sediaan mikroskopis bakteri.
3. Apa yang dapat kalian simpulkan dari percobaan tersebut?
4. Presentasikan hasil pengamatan kelompok kalian di depan kelas untuk mendapat tanggapan dan masukan dari kelompok lain serta guru kalian.
5. Buatlah laporan ilmiah dengan format penulisan ilmiah dan kumpulkan pada guru kalian.

Untuk mengetahui sejauh mana kalian menguasai materi di depan, coba jawab pertanyaan-pertanyaan berikut.

### UJI KOMPETENSI

#### Selesaikan soal-soal berikut dengan tepat.

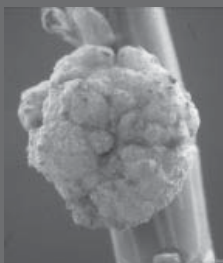
1. Jelaskan ciri-ciri yang membedakan archaebacteria dan eubacteria.
2. Jelaskan pengelompokan archaebacteria dan ciri-ciri tiap kelompok tersebut beserta contoh spesiesnya.
3. Jelaskan pengelompokan bakteri berdasarkan bentuk tubuhnya.
4. Jelaskan pengelompokan bakteri berdasarkan cara geraknya.
5. Jelaskan pengelompokan bakteri berdasarkan kebutuhannya akan oksigen.
6. Jelaskan pengelompokan bakteri berdasarkan cara memperoleh energi dan karbon.
7. Jelaskan pengelompokan bakteri berdasarkan sifatnya terhadap pengecatan gram.
8. Kelompok proteobacteria dibagi menjadi 3 subkelompok. Sebutkan dan jelaskan ketiga subkelompok tersebut.
9. Sebutkan ciri-ciri proteobacteria, bakteri gram-positif, sianobacteria, spirochaeta, dan klamidia.
10. Bagaimanakah cara mengisolasi bakteri? Jelaskan.

Kalian telah mempelajari beberapa ciri dan struktur serta reproduksi organisme prokariotik. Kalian juga telah mengenal beberapa kelompok archaebacteria dan eubacteria. Tentu kalian ingin tahu apa peranan organisme prokariotik dalam kehidupan. Kalian akan mengetahuinya setelah mempelajari materi berikut.

### C. Peranan Organisme Prokariotik dalam Kehidupan Manusia

Di dalam benak kalian mungkin selalu terbayang bahwa organisme prokariotik merupakan suatu makhluk hidup amat kecil yang menyebabkan bermacam-macam penyakit. Perkiraan kalian tersebut tidaklah salah, tetapi tidak 100% benar. Memang organisme prokariotik,

### *Agrobacterium tumefaciens* dan Pisang Vaksin



*Agrobacterium tumefaciens* adalah bakteri yang umum dikenal sebagai penyebab kanker (*crown gall disease*) pada berbagai tanaman dikotil. Bakteri tersebut menyebabkan kanker dengan diawali transfer bagian dari ADNnya ke dalam bagian tanaman yang terluka. Dengan sendirinya ADN tersebut kemudian terintegrasi dengan *genom* tanaman sehingga terbentuk *gall* atau kanker.

*A. tumefaciens* merupakan alat yang sangat membantu (*helpful tool*) bagi para biolog. Contoh hasil pemanfaatan bakteri ini adalah *Banana Vaccines* (pisang vaksin), yaitu penyisipan bakteri penyebab diare yang telah dilemahkan (*Escherichia coli* dan *Vibrio cholera*) ke dalam tanaman pisang dengan bantuan *A. tumefaciens*. Pisang tersebut menjadi vaksin yang bisa dimakan pertama kali di dunia (*the world's first edible vaccine*).

[www.microbewiki.kenyon.edu](http://www.microbewiki.kenyon.edu)

terutama bakteri merupakan mikroorganisme yang dapat menyebabkan penyakit. Akan tetapi, tidak semua jenis bakteri menyebabkan penyakit. Bahkan **lebih dari 90%** jenis bakteri tidak berbahaya dan justru **bermanfaat** bagi manusia. Bakteri digunakan dalam **industri** dengan berbagai tujuan yang bervariasi. Selain dalam bidang industri, bakteri juga berperan dalam **pembusukan sampah**. Coba kalian bayangkan yang akan terjadi jika di bumi ini tidak ada bakteri. Tentu bumi ini akan penuh dengan sampah, yang terserak di mana-mana. Ini menunjukkan bahwa bakteri memiliki peran ekologis yang sangat penting.

Pada uraian tentang klasifikasi organisme prokariotik telah disinggung beberapa contoh spesies prokariotik dan peranannya. Tentu kalian masih ingat, bukan? Mari kita bahas kembali dengan lebih mendalam.

Organisme prokariotik merupakan **penghubung yang harus ada** dalam pendaur-ulangan unsur kimia dalam ekosistem, misalnya dalam **siklus biogeokimia**. Organisme prokariotik merupakan **pengurai** (dekomposer). Tanpa dekomposer, maka karbon, nitrogen, dan unsur-unsur lainnya yang penting bagi kehidupan akan terjebak selamanya dalam molekul organik bangkai dan produk buangan. Prokariotik juga memperantai pengembalian unsur dari komponen tak hidup dalam lingkungan (udara, tanah organik, dan air) ke kumpulan senyawa organik. Prokariotik autotrofik memfiksasi  $\text{CO}_2$ , mendukung rantai makanan yang mengalirkan nutrisi organik dari prokariotik ke pemakan prokariotik, kemudian ke konsumen sekunder. Karena banyaknya kemampuan metabolik yang unik, prokariotik merupakan **satu-satunya organisme** yang mampu memetabolisme molekul anorganik yang mengandung unsur seperti besi, sulfur, nitrogen, dan hidrogen. **Sianobakteri** tidak hanya mensintesis makanan dan mengembalikan oksigen ke atmosfer, tetapi juga memfiksasi nitrogen, memberi senyawa yang dapat digunakan oleh organisme lain untuk membentuk protein ke dalam tanah dan air. Saat tumbuhan dan hewan memakan senyawa-senyawa nitrogen itu, prokariotik tanah akan mengembalikan nitrogen ke atmosfer. Semua kehidupan di atas bumi ini bergantung pada organisme prokariotik dan keanekaragaman metabolismenya tiada bandingnya.

Organisme prokariotik sangat jarang berfungsi sendirian di lingkungan, tetapi lebih sering berinteraksi dalam kelompok dan membentuk **simbiosis**. *Rhizobium* sp. merupakan organisme prokariotik yang bersimbiosis mutualisme dengan bintil akar tanaman kacang-kacangan, hidup pada bagian yang disebut **nodul**. Bakteri yang menempati permukaan dalam dan luar tubuh manusia sebagian besar terdiri dari spesies **komensalisme**, tetapi beberapa merupakan **simbiosis mutual**. Sebagai contoh, bakteri fermentasi yang hidup di dalam vagina menghasilkan asam yang mempertahankan pH antara 4,0–4,5, sehingga menekan pertumbuhan kapang dan mikroorganisme lain yang memiliki potensi membahayakan. Di alam, beberapa sianobakteri juga bersimbiosis dengan jamur membentuk lichens atau lumut kerak,

yang berperan penting sebagai indikator polusi udara dan berpotensi sebagai obat.

Beberapa anggota Archaeobacteria, yaitu kelompok **Metanogen** berperan penting dalam **nutrisi** hewan dan juga sebagai **pengurai**, sehingga bisa dimanfaatkan dalam pengolahan kotoran hewan untuk memproduksi **gas metana**, yang merupakan bahan bakar alternatif. Jenis yang lain adalah **halofil ekstrim** yang memiliki bakteriorhodopsin yang banyak terdapat pada tambak garam. Contohnya adalah di Teluk San Fransisco (Gambar 3.23) Warna dari kolam yang menguapkan air laut tersebut disebabkan oleh pertumbuhan padat halofil ekstrim yang bertahan hidup dalam kolam tersebut ketika air mencapai salinitas 15-20%. Sebelum penguapan, salinitas air tersebut adalah sekitar 3%. Kolam ini digunakan untuk produksi garam komersial dan Arkea halofilik tersebut tidak berbahaya.

Organisme prokariotik anggota eubacteria juga memiliki banyak peran, apalagi bakteri merupakan penyusun utama organisme prokariotik. **Proteobakteria** merupakan kelompok bakteri **pengikat Nitrogen** (*N-Fixing Bacteria*) contohnya adalah *Rhizobium* sp. yang hidup bersimbiosis dengan membentuk bintil akar pada tanaman kacang-kacangan. Rangkuman beberapa bakteri yang menguntungkan disajikan pada tabel 3.1.



**Gambar 3.23** Halofil ekstrim di tambak garam di Teluk San Fransisco

**Tabel 3.1** Bakteri yang Bermanfaat bagi Manusia

No	Bidang	Nama Bakteri	Manfaat Bagi Manusia
1.	Pertanian	Bakteri nitrogen a. <i>Clostridium pasteurianum</i> b. <i>Azotobacter</i> sp. c. <i>Rhizobium leguminosarum</i>	Dapat menyuburkan tanah sehingga kaya akan senyawa organik (N <sub>2</sub> ) Dapat menyuburkan tanah sehingga kaya akan senyawa N <sub>2</sub> Dapat menyuburkan tanah karena dapat memfiksasi nitrogen dari atmosfer, sehingga tanah kaya akan unsur N <sub>2</sub> . Bakteri ini bersimbiosis dengan membentuk bintil akar pada tanaman anggota Famili Leguminosae (suku kacang-kacangan).
		Bakteri Nitrifikasi a. <i>Nitrosomonas</i> sp. dan <i>Nitrosococcus</i> sp. (bakteri nitrit) b. <i>Nitrobacter</i> sp. (bakteri nitrat)	menyuburkan tanah Mengubah Amoniak menjadi Nitrit Mengubah Nitrit menjadi Nitrat Persamaan reaksinya: NH <sub>3</sub> + O <sub>2</sub> –bakteri nitrit→ HNO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> –bakteri nitrat→ HNO <sub>3</sub>
2.	Industri	a. <i>Streptococcus lactis</i> dan <i>Streptococcus cremoris</i>	Digunakan dalam pembuatan keju dan mentega.

		b. <i>Acetobacter xylinum</i> c. <i>Lactobacillus citrovorum</i> d. <i>Lactobacillus caucasicus</i>  Penghasil Asam a. Asam cuka ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) dihasilkan <i>Acetobacter aceti</i>  b. Asam lemak 1) Asam propionat dihasilkan oleh bakteri <i>Propionibacterium acetobutylicum</i> 2) Asam butirrat ( $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ ) <i>Clostridium</i> sp. dan <i>Butyrinobacterium</i> sp.	Digunakan dalam pembuatan <i>nata de coco</i> Memberikan aroma pada mentega dan keju Digunakan dalam pembuatan yogurt  Mengubah etanol (alkohol) menjadi asam cuka, dengan reaksi oksidasi: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{Acetobacter}} \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{energi}$  Pembuatan keju  Menghasilkan butil alkohol, dan Aceton
3.	Kesehatan	Penghasil Antibiotik 1) <i>Stryptomycetes venezualea</i> 2) <i>Stryptomycetes griceus</i>  3) <i>Bacillus brevis</i> 4) <i>Bacillus polymixa</i>	Penghasil kloroamfenikol yang dipakai untuk batuk rejan, typus, dan gonorrhoe Penghasil streptomycin yang digunakan untuk melawan bakteri dan jamur, dan untuk mengatasi penyakit TBC Penghasil gramisidin digunakan untuk melawan bakteri gram-positif Penghasil polimiksin

Percobaan berikut akan meningkatkan keterampilan kalian dalam memanfaatkan organisme prokariotik, yaitu bakteri. Mari kita lakukan.

## PERCOBAAN

### Membuat *Nata de coco* dengan *Acetobacter xylinum*

#### A. Dasar teori

*Nata de coco* merupakan makanan hasil olahan air kelapa dengan fermentasi oleh *Acetobacter xylinum*. Dalam fermentasi tersebut, bakteri memanfaatkan gula yang ada dalam air kelapa dan membentuk hasil sampingan berupa asam asetat glasial (asam cuka murni). Bagian yang sering kita makan, yang berupa gel yang berwarna putih (koloid organik) sebenarnya adalah koloni bakteri. Jadi, yang disebut *nata de coco* adalah koloni *Acetobacter xylinum*. Koloni tersebut berbentuk padat.

#### B. Tujuan

Mempraktekkan pembuatan *nata de coco*

#### C. Alat dan bahan

1. kompor dan panci
2. loyang plastik
3. ruang fermentasi



4. 5 liter air kelapa
5. 1 botol (500ml) bibit *nata de coco* (*Acetobacter xylinum*)
6. 1 sendok makan amonium sulfat (ZA)
7. 1 sendok makan gula pasir
8. 25 cc asam cuka

#### D. Langkah percobaan

1. Buatlah kelompok kerja untuk melakukan percobaan ini.
2. Saring 5 liter air kelapa kemudian rebuslah hingga mendidih.
3. Tambahkan ZA, gula pasir, dan asam cuka.
4. Setelah larutan tersebut mendidih, lakukan kembali penyaringan.
5. Diamkan selama 10 menit, tambahkan bibit *Acetobacter xylinum*.
6. Tuangkan air kelapa tersebut ke dalam loyang plastik.
7. Tutuplah loyang yang sudah dingin dengan kertas koran. Tempatkan loyang-loyang tersebut ke dalam ruang fermentasi. Ruang fermentasi bisa dibuat dengan meletakkan rak bertingkat yang ditutup dengan plastik.
8. Biarkan loyang-loyang tersebut di dalam ruang fermentasi selama 1 minggu.
9. Setelah 7-10 hari, *nata de coco* siap di panen.
10. Untuk mengkonsumsinya lembaran-lembaran *nata de coco* dirajang sesuai ukuran yang dikehendaki, kemudian direbus. Setelah direbus, *nata de coco* tersebut ditekan atau diinjak-injak. Kemudian dimasak kembali sebanyak dua kali. Setelah itu bisa diberi sirup dan siap dikonsumsi.

#### E. Pembahasan

1. Berdasarkan pengamatan kalian, deskripsikan bentuk, warna, dan sifat-sifat *nata de coco*?
2. Apa sebenarnya *nata de coco* itu dan mengapa *Acetobacter xylinum* bisa mengubah air kelapa menjadi *nata de coco*?
3. Jelaskan tujuan atau maksud setiap tahapan dalam proses pembuatan *nata de coco*.
4. Mengapa ruang fermentasi harus steril?
5. Apa yang dapat kalian simpulkan dari percobaan tersebut?
6. Coba pikirkan bagaimana cara mengemas dan memasarkan *nata de coco* tersebut sehingga memiliki nilai ekonomis yang tinggi.
7. Presentasikan hasil pengamatan kelompok kalian di depan kelas untuk mendapat tanggapan dan masukan dari kelompok lain serta guru kalian.
8. Buatlah laporan ilmiah dengan format penulisan ilmiah dan kumpulkan pada guru kalian.

#### Catatan:

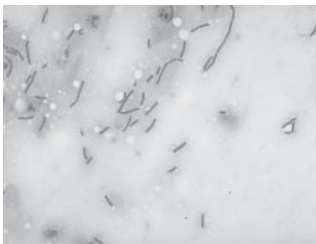
Penulisan laporan ilmiah ini perlu didukung dengan studi pustaka dan analisis serta proses berpikir ilmiah. Sehingga percobaan dan penulisan laporan ilmiah ini bisa dijadikan **proyek** selama 3 bulan. Dari sini, aspek kognitif dan psikomotorik kalian akan dinilai oleh guru. Selain itu aspek afektif kalian juga akan diperhatikan, misalnya bagaimana partisipasi kalian dalam berdiskusi dan bersikap ilmiah atau apakah kalian melakukan plagiat dalam penyusunan laporan ilmiah tersebut. Jadi, dalam melakukan percobaan dan penulisan laporan ilmiah ini kalian harus mengerjakannya dengan sebaik mungkin dan tidak melakukan perbuatan plagiat (menjiplak) laporan ilmiah teman kalian. Dalam proses pengumpulan data dan studi literatur kalian diperbolehkan berdiskusi dan saling berbagi informasi, tetapi dalam penulisannya kalian harus berpikir dan bekerja sendiri-sendiri.

Secara alami keberadaan organisme prokariotik, terutama bakteri, juga sangat potensial dalam mengembangkan **bioremediasi**, yaitu studi mengenai kegunaan organisme untuk membersihkan sampah-sampah beracun (toksik) dan polusi. Sejenis bakteri mampu memproduksi

enzim yang merombak *nitrogliserin* dan *trinitrotoulena* yang merupakan kontaminan tanah di sekitar industri mesiu dan tempat-tempat ledakannya. Bakteri mampu menguraikan sampah dan material kontaminan menjadi residu yang tidak berbahaya dalam waktu 6 bulan. Jenis bakteri lain, *Pseudomonas cepacia*, juga mempunyai kemampuan serupa dalam mendegradasi *trikloroetilen* (TCE) dan senyawa-senyawa kimia lainnya. Bahkan beberapa jenis bakteri diduga mampu mendegradasi sampah-sampah nuklir (radioaktif).

Bakteri juga banyak digunakan sebagai **model penelitian**. Dalam bidang rekayasa genetika, penelitian bakteri juga berkembang pesat. Bakteri mudah mengalami mutasi bahkan berevolusi dalam waktu relatif singkat karena pertumbuhan dan daya reproduksinya yang tinggi. Beberapa bakteri juga dimanfaatkan dalam mengendalikan hama, yaitu sebagai **biokontrol**. Contohnya adalah *Bacillus thuringensis* dan *Bacillus popilliae* yang digunakan untuk mengendalikan pertumbuhan hama seperti ulat dan menghambat perkembangan kepompong. Dalam bidang **rekayasa genetika**, *B. thuringensis* diintegrasikan pada tanaman kapas (kapas BT) sehingga tanaman tersebut terbebas dari hama.

Selain menguntungkan, organisme prokariotik juga memiliki spesies yang bersifat patogen (menimbulkan penyakit). Beberapa penyakit manusia yang disebabkan bakteri disajikan pada Tabel 3.2. Selain menyerang manusia, beberapa bakteri juga menyerang hewan-hewan ternak dan tumbuhan. Beberapa jenis penyakit pada hewan, yang disebabkan oleh bakteri adalah antraks, yaitu penyakit yang disebabkan oleh bakteri *Bacillus antracis*. Bakteri ini menyerang hewan ternak (sapi, kerbau, dan domba). Bila menular ke manusia bisa mematikan. Antrak merupakan salah satu senjata biologis dalam peperangan. Perhatikan Gambar 3.24.



**Gambar 3.24** *Bacillus antracis*, senjata biologis yang mematikan

**Tabel 3.2 Beberapa Penyakit pada Manusia yang Disebabkan Bakteri**

No	Nama Penyakit	Jenis Bakteri	Bagian Tubuh yang Terpengaruh
1	Difteri	<i>Corynebacterium diphtherie</i>	Bagian atas saluran respirasi, terutama tenggorokan.
2	Desentri	<i>Shygella desentri</i> <i>Shygella ciyake</i>	Saluran pencernaan, terutama <i>ileum</i> (usus penyerapan) dan <i>colon</i> (usus besar)
3	Demam tifora	<i>Samonela thyposa</i>	Saluran pencernaan, kemudian menyebar ke limfe, darah, paru-paru sumsum tulang belakang dan limpa.
4	Batuk rejan (pertusis)	<i>Bordetella pertusis</i>	Bagian atas saluran respirasi sehingga menyebabkan batuk yang sangat keras.
5	Gonorrhoe (kencing nanah)	<i>Nesseireia gonorrhoeae</i>	Organ reproduksi, terutama membran mukosa saluran urogenital
6	Kolera	<i>Vibrio cholerae</i>	Saluran pencernaan, terutama usus halus.
7	Sifilis (kencing darah)	<i>Tryponema pallidum</i>	Organ reproduksi, kemudian mata tulang, persendian, sistem saraf pusat, jantung, dan kulit.

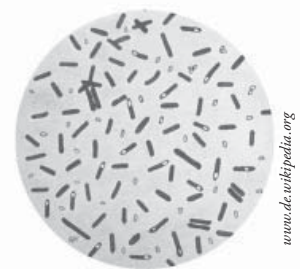
8	Tifus	<i>Salmonella thyposa</i>	Organ pencernaan makanan, terutama usus halus.
9	TBC	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Saluran respirasi, terutama pada paru-paru dan alveoli.
10	Radang otak/ meningitis	<i>Neiterrial meningitis</i>	Otak

Contoh lain penyakit hewan akibat bakteri adalah **bruselosis**, disebabkan oleh *bakteri Brucella*. *Brucella abortus* menyebabkan keguguran kandungan pada sapi, dan sewaktu-waktu dapat menular kepada manusia jika meminum susu yang tidak di-pasteurisasi. Penyakit lainnya adalah **bengkak rahang** atau **penyakit mulut** yang disebabkan oleh *Actinomyces bovis*, biasanya menyerang sapi.

Sedangkan penyakit pada tumbuhan yang disebabkan oleh bakteri adalah kanker pada batang jeruk (disebabkan oleh *Xanthomonas citri*), kanker pada batang kopi (disebabkan oleh *Agrobacterium tumefaciens*), penyakit busuk pada daun labu (disebabkan oleh *Erwinia tracheinasolanacearum*), dan penyakit pada kapas (disebabkan oleh *Pseudomonas malvacearum*).

Selain hidup parasit pada hewan dan tumbuhan, beberapa jenis bakteri saprofit hidup pada bahan makanan. Akibatnya dapat merusak serta meracuni bahan makanan tersebut. Racun yang ditimbulkannya sangat membahayakan kesehatan manusia. *Pseudomonas cocovenenans* adalah bakteri ini menghasilkan racun asam bongkreng. Bakteri ini biasa hidup pada tempe bongkreng, yang berasal dari ampas tahu dan ampas kelapa, yang pembuatannya kurang higienis. Contoh lain adalah *Clostridium botulinum*, menghasilkan racun botulin yang ditemukan pada makanan kaleng yang mulai rusak. Perhatikan Gambar 3.25. Racun botulin dapat mematikan manusia yang mengkonsumsinya, bahkan 1 gram racun tersebut dapat membunuh sejuta manusia. *Leuconostoc mesentroides* merupakan penghasil lendir pada makanan yang telah lama dan basi. *Salmonella* sp. merupakan bakteri yang umum ditemukan dalam produk daging unggas. Bakteri ini menghasilkan **endotoksin** yang merupakan racun dalam makanan.

Nah, untuk menambah pengetahuan kalian tentang manfaat dan kerugian yang ditimbulkan bakteri, coba kalian kerjakan rubrik *Diskusi* berikut.



**Gambar 3.25** *Clostridium botulinum*

## DISKUSI

Sebelum kalian berdiskusi, lakukan kegiatan berikut.

1. Buatlah kelompok terdiri dari 4 siswa.
2. Bagilah tugas untuk setiap anggota kelompok untuk mencari tahu tentang salah satu dari hal-hal berikut.
  - a. Gejala-gejala penyakit pada manusia yang ditimbulkan oleh bakteri dan cara mengatasinya, minimal 5 macam penyakit.
  - b. Gejala-gejala penyakit pada hewan yang disebabkan oleh bakteri dan cara mengatasinya, minimal 5 macam penyakit.

- c. Gejala-gejala penyakit pada tumbuhan yang disebabkan oleh bakteri dan cara mengatasinya, minimal 5 penyakit.
  - d. Manfaat-manfaat yang diperoleh dari bakteri dalam berbagai bidang, minimal 5 bidang. Kalian dapat mencari referensi dari majalah, surat kabar, internet, atau wawancara langsung dengan narasumber, misalnya wawancara dengan orang yang bekerja pada dinas yang terkait, pakar, atau masyarakat sekitar.
3. Setelah semua data terkumpul, diskusikan bersama anggota kelompok lain. Kemudian buatlah makalah dan klipng dengan tema “Peranan Bakteri dalam Kehidupan Manusia” berdasarkan hasil penelusuran kalian.
  4. Presentasikan makalah kalian di depan kelompok lain, dan kumpulkan kepada guru.

Sampai di sini, kalian telah mengetahui bahwa sebagian organisme prokariotik, terutama, bakteri sangat membahayakan kesehatan manusia. Untuk itu, diperlukan cara menanggulangi bahaya akibat bakteri. Untuk mengatasi berbagai aktifitas bakteri yang dapat merugikan, perlu di lakukan tindakan yang tepat. Tindakan tersebut dapat berupa tindakan pencegahan (preventif) maupun tindakan pengobatan. Tindakan pencegahan dapat dilakukan dengan vaksinasi, sterilisasi, dan pasteurisasi, dan pengawetan bahan makanan.

**Vaksinasi** adalah pencegahan penyakit dengan pemberian vaksin, bakteri yang sudah dilemahkan, sehingga tubuh menerima dapat terhadap bakteri penyebab penyakit tertentu. Beberapa contoh vaksin untuk pencegahan penyakit yang disebabkan oleh bakteri adalah vaksin kolera untuk mencegah penyakit kolera, vaksin tifus untuk mencegah penyakit tifus, vaksin BCG (*Bacile Calmette-Guerin*) untuk mencegah penyakit TBC, vaksin DTP (*Difteria-Tetanus-Pertusis vaccines*) untuk mencegah penyakit difterie, pertusis (batuk rejan), dan tetanus), dan vaksin TCD (*Typus Chorela Disentry*) untuk mencegah penyakit typus, kholera, dan desentri.

**Sterilisasi** adalah pemusnahan bakteri misalnya dalam pengawetan makanan. Tujuannya adalah untuk mendapatkan kondisi steril (suci hama), metodenya disebut **aseptis**. Sterilisasi dapat dilakukan melalui pemanasan dengan menggunakan udara panas atau uap air panas **bertekanan tinggi**. Sterilisasi dengan udara panas menggunakan oven dengan temperatur  $170^{\circ}\text{C} - 180^{\circ}\text{C}$ . Cara ini digunakan untuk mensterilisasikan peralatan di laboratorium. Sterilisasi dengan uap air panas bertekanan tinggi dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut autoklaf, pada temperatur  $115 - 134^{\circ}\text{C}$ . Autoklaf digunakan untuk sterilisasi bahan dan peralatan. Perhatikan Gambar 3.26. Sterilisasi pada umumnya digunakan pada industri makanan atau minuman kaleng, penelitian bidang mikrobiologi, dan untuk memperoleh biakan murni suatu jenis bakteri. Sedangkan **Pasteurisasi** adalah pemanasan dengan suhu  $63^{\circ}\text{C} - 72^{\circ}\text{C}$  selama 15 - 30 menit. Pasteurisasi dilakukan pada bahan makanan yang tidak tahan pemanasan dalam suhu tinggi, misalnya susu. Sehingga untuk **mematikan** bakteri patogen (*Salmonella*



**Gambar 3.26** Autoklaf

dan *Mycobacterium*) dari susu dilakukan pasteurisasi. Dengan pasteurisasi, rasa dan aroma khas susu dapat dipertahankan. Teknik sterilisasi dengan suhu rendah ini ditemukan oleh **Louis Pasteur** (1822-1895), seorang ilmuwan Perancis.

Selain dengan sterilisasi dan pasteurisasi, pengawetan makanan juga bisa dilakukan secara **tradisional**. Kalian mungkin pernah melihat proses pengasinan ikan, pemanisan buah-buahan, pengasapan daging, atau pengeringan makanan. Apakah tujuannya? Semua kegiatan tersebut bertujuan agar makanan yang diasinkan, dimaniskan, diasap, dan diasamkan menjadi lebih awet dan tidak mudah busuk. Prinsipnya adalah membuat makanan dalam kondisi yang **tidak ideal** untuk ditumbuhi bakteri pembusuk, misalnya pada lingkungan yang terlalu panas, terlalu asam, atau terlalu asin. Jadi, pemanisan, pengasapan, pengasinan, dan pengasaman dilakukan untuk menghambat pertumbuhan bakteri.

Sampai di sini pengetahuan kalian tentang organisme prokariotik lengkap sudah. Kalian bisa mengembangkannya dengan berbagai kegiatan mandiri, seperti membaca buku-buku terkait. Nah, untuk mengetahui tingkat pemahaman kalian, kerjakan *Uji Kompetensi* berikut.

## UJI KOMPETENSI

**Selesaikan soal-soal berikut dengan tepat.**

1. Organisme prokariotik merupakan penghubung yang harus ada dalam pendaur-ulan unsur kimia dalam ekosistem. Mengapa demikian?
2. Bagaimana organisme prokariotik bersimbiosis? Berikan beberapa contohnya.
3. Sebutkan beberapa contoh peran organisme prokariotik anggota Archaeobacteria.
4. Jelaskan manfaat bakteri di bidang pertanian, industri, dan kesehatan.
5. Bagaimana cara membuat *nata de coco*? Jelaskan.
6. Bagaimana bakteri berperan dalam bioremediasi dan biokontrol? Jelaskan.
7. Sebut dan jelaskan beberapa penyakit akibat bakteri pada manusia (5 macam).
8. Sebut dan jelaskan beberapa penyakit akibat bakteri pada tumbuhan.
9. Sebut dan jelaskan beberapa penyakit akibat bakteri pada hewan.
10. Bagaimana cara preventif menanggulangi aktivitas bakteri yang merugikan? Jelaskan.

## IKHTISAR

1. Organisme prokariotik adalah organisme yang tidak memiliki organel yang diselubungi oleh membran. Nukleus atau inti sel organisme ini hanya berupa satu molekul ADN tanpa membran, disebut nukleoid.
2. Organisme prokariotik umumnya bersel tunggal, beberapa membentuk agregat (kumpulan), koloni, atau multiseluler tunggal. Hampir semuanya memiliki dinding sel yang berada di luar membran plasmanya.



3. Organisme prokariotik hanya berkembang biak (bereproduksi) secara asexual melalui pembelahan sel, yang disebut pembelahan biner (*binary fission*). Walaupun organisme prokariotik bereproduksi secara asexual, namun beberapa bakteri dapat melakukan beberapa cara untuk merekombinasi materi genetiknya. Cara rekombinasi materi genetik tersebut adalah transformasi, konjugasi, dan transduksi.
4. Organisme prokariotik dikelompokkan menjadi dua golongan besar, yaitu Arkhaebakteria dan Eubakteria.
5. Archaeobacteria dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama, yaitu Metanogen, Halofil ekstrim, dan Termofil ekstrim (termoasidofil).
6. Bakteri dapat dikelompokkan berdasarkan bentuk tubuhnya, berdasarkan cara geraknya, berdasarkan kebutuhannya akan oksigen, berdasarkan cara memperoleh energi dan karbon, serta berdasarkan sifatnya terhadap pengecatan gram.
7. Para ahli sistematika telah mengusulkan berbagai pengelompokan bakteri. Mereka mengenal lusinan kelompok bakteri, tetapi ada 5 kelompok yang umum diakui. Lima kelompok ini adalah Proteobakteria, bakteri gram-positif, Sianobakteri, Spirokaeta, dan Klamidia.
8. Peran bakteri dalam kehidupan sangat luas. Organisme prokariotik merupakan penghubung yang harus ada dalam pendaur-ulangan unsur kimia dalam ekosistem. Organisme prokariotik sangat jarang berfungsi sendirian di lingkungan, tetapi lebih sering berinteraksi dalam kelompok dan membentuk simbiosis.
9. Beberapa anggota Archaeobacteria, yaitu kelompok Metanogen berperan penting dalam nutrisi hewan dan juga sebagai pengurai. Organisme prokariotik anggota Eubacteria juga memiliki banyak peran, apalagi bakteri merupakan penyusun utama organisme prokariotik. Peran bakteri dalam kehidupan manusia yang merugikan antara lain penyebab berbagai macam penyakit, baik manusia, hewan, maupun tumbuhan, bahkan merusak makanan. Secara alami keberadaan organisme prokariotik, terutama bakteri, juga sangat potensial dalam mengembangkan bioremediasi, sebagai model penelitian, sebagai agen rekayasa genetika.
10. Untuk mengatasi berbagai aktivitas bakteri yang dapat merugikan, perlu dilakukan tindakan yang tepat. Tindakan tersebut dapat berupa tindakan pencegahan (preventif) maupun tindakan pengobatan. Tindakan pencegahan (preventif) dapat dilakukan dengan vaksinasi, sterilisasi, dan pasteurisasi, dan pengawetan bahan makanan.

## SENARAIKATA

**Antibiotik** Zat yang diproduksi mikroorganisme tertentu yang digunakan untuk membunuh mikroorganisme patogen

**Domain** Kategori takson di atas kingdom

**Eukariotik** Organisme yang sel-selnya telah memiliki membran atau selaput inti.

**Hidrasi** Mengikat air

**Koloid** Suatu bentuk campuran yang terdiri dari dua fase, yaitu fase pendispersi dan fase terdispersi

**Lipopolisakarida** Karbohidrat yang terikat dengan lipid

**Organel** Bagian fungsional dari sel

**Simbiosis** Organisme yang terlibat dalam simbiosis

**Simbiosis** Hidup bersama. Istilah yang digunakan untuk menjelaskan hubungan ekologis antara organisme pada spesies yang berbeda yang memiliki kontak langsung.

## A Pilihlah jawaban yang paling tepat.

1. Semua organisme prokariotik memiliki ciri ....
  - a. inti sel diliputi membran
  - b. inti sel tidak diliputi membran
  - c. autotrof
  - d. heterotrof
  - e. bersel banyak
2. Bagian struktur organisme prokariotik yang berfungsi alat gerak disebut ....
  - a. kapsul
  - b. peptidoglikan
  - c. flagela
  - d. pili
  - e. dinding sel
3. *Escherichia coli* dapat hidup dengan atau tanpa adanya  $O_2$ , sehingga disebut bakteri ....
  - a. anaerob obligat
  - b. anaerob fakultatif
  - c. aerob obligat
  - d. aerob fakultatif
  - e. autotrof
4. Pernyataan yang tidak benar untuk bakteri adalah ....
  - a. tergolong mikroorganisme prokariotik
  - b. mempunyai kemiripan ciri dengan tumbuhan
  - c. proses oksidasi terjadi dalam protoplasma
  - d. ekskresi sisa metabolisme melalui permukaan tubuh
  - e. bereproduksi secara seksual
5. Bagian tubuh organisme prokariotik yang berfungsi melindungi sitoplasma dan materi-materi di dalamnya adalah ....
  - a. pili
  - b. dinding sel
  - c. plasmid
  - d. flagela
  - e. kapsul
6. Bakteri berbentuk bulat yang membentuk koloni seperti buah anggur disebut bakteri ....
  - a. monococcus
  - b. streptococcus
  - c. stafilococcus
  - d. steptobasil
  - e. stafilobasil
7. Agar mampu bertahan hidup dalam lingkungan yang tidak menguntungkan, organisme prokariotik membentuk ....
  - a. plasmid
  - b. endospora
  - c. kapsul
  - d. pili
  - e. mesosom
8. Organisme prokariotik yang dapat hidup dalam lingkungan yang sangat panas disebut ....
  - a. termofil ekstrim
  - b. termograf ekstrim
  - c. metanogen
  - d. halofil ekstrim
  - e. sianobakteria
9. Di sebuah danau ditemukan koloni bakteri dengan ciri-ciri sebagai berikut.
  - 1) bersifat fotoautotrof atau heterotrof
  - 2) tidak membebaskan oksigen
  - 3) mempunyai flagela
  - 4) mengekstrasi elektron dari  $H_2S$
 Berdasarkan ciri-ciri tersebut, bakteri tersebut adalah ....
  - a. proteobakteria kemoautotrofik
  - b. proteobakteria kemoheterotrofik
  - c. bakteri ungu
  - d. bakteri gram-positif
  - e. sianobakteria
10. Bakteri yang menyebabkan kebutaan paling umum di dunia adalah bakteri dalam kelompok ....
  - a. proteobakteria
  - b. sianobakteria
  - c. bakteri gram-positif
  - d. spirokaeta
  - e. klamidia
11. Pengambilan gen dari lingkungan sekitar oleh bakteri sehingga memungkinkan terjadinya perpindahan materi genetik antar-bakteri disebut ....
  - a. transformasi
  - b. konjugasi
  - c. transduksi
  - d. transisi
  - e. koordinasi
12. Proses pengubahan senyawa nitrat menjadi amonium sampai nitrogen bebas

oleh bakteri *Micrococcus denitrificans* disebut ....

- a. nitrifikasi nitrogen
  - b. denitrifikasi
  - c. desulfurisasi
  - d. amoniasi
  - e. nitrogenisasi
13. Bakteri yang hidup pada akar tanaman kacang-kacangan bermanfaat bagi manusia karena berfungsi ....
- a. mengubah amonia menjadi gas nitrogen
  - b. mengubah H<sub>2</sub>S menjadi sulfur
  - c. menyediakan ATP bagi tumbuhan
  - d. menyediakan nitrogen siap pakai bagi tanaman
  - e. mengubah nitrit menjadi nitrat
14. Bakteri yang digunakan dalam proses pembuatan nata de coco adalah ....
- a. *Lactobacillus casei*
  - b. *Lactobacillus citrovorum*
  - c. *Lactobacillus caucasicus*
  - d. *Acetobacter xylinum*
  - e. *Streptococcus lactis*
15. Contoh bakteri yang merugikan dan penyakit yang ditimbulkan adalah ....
- a. *Sulfolobus* menyebabkan tipus
  - b. *Lactobacillus bulgaris* menyebabkan batuk rejan
  - c. *Mycobacterium tuberculosis* menyebabkan TBC
  - d. *Nitrosomonas* menyebabkan sifilis
  - e. *Pseudomonas solanacearum* menyebabkan kolera
16. Kelompok penyakit di bawah ini yang penyebabnya bakteri ialah ....
- a. polio, tetanus, kolera, kurap
  - b. panu, defterie, TBC, tetanus
  - c. difterie, radang paru-paru, pes, TBC
  - d. pes, kolera, polio, tetanus
  - e. kurap, kolera, tetanus, TBC
17. Yang termasuk bakteri nitrifikasi adalah genus ....
- a. *Acetobacter*
  - b. *Nitrosomonas*
  - c. *Streptococcus*
  - d. *Lactobacillus*
  - e. *Clostridium*
18. Bakteri yang menyebabkan lendir pada makanan yang sudah basi adalah ....

- a. *Leuconostoc mesentroides*
- b. *Salmonella* sp.
- c. *Clostridium batulinin*
- d. *Pseudomonas cocovenenans*
- e. *Agrobacterium tumefaciens*

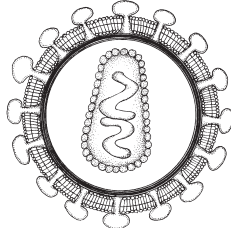
19. Pencegahan penyakit dapat dilakukan dengan vaksinasi. Pasangan penyakit dan vaksin yang harus diberikan adalah ....
- a. kolera diberi vaksin DTP
  - b. TBC diberi vaksin TCD
  - c. tetanus diberi vaksin BCG
  - d. batuk rejan diberi vaksin DTP
  - e. typhus diberi vaksin BCG
20. Pemanasan yang dilakukan menggunakan udara panas dan atau uap air panas bertekanan tinggi pada temperatur 170°C – 180°C disebut ....
- a. sterilisasi
  - b. pasteurisasi
  - c. autoklaf
  - d. vaksinasi
  - e. respirasi

**B** Selesaikan soal-soal berikut dengan benar dan jelas.

1. Jelaskan fungsi dinding sel, kapsul, pili, mesosom, dan flagela pada organisme prokariotik.
2. Sebutkan ciri-ciri umum dan struktur organisme prokariotik.
3. Jelaskan perbedaan archaeobakteria dan eubakteria.
4. Gambarkan tipe flagela monotrik, amfitrik, lofotrik, dan peritrik.
5. Sebutkan dan jelaskan ciri-ciri archaeobacteria.
6. Gambarkan bentuk bakteri berikut.
  - a. monococcus, streptococcus, stafilococcus, diplococcus
  - b. monobasil, diplobasil, streptobasil
  - c. Spirillum, vibrio, dan spirochaeta
7. Jelaskan pengertian dan fungsi endospora.
8. Jelaskan pengertian transformasi, konjugasi, dan transduksi.
9. Banyak bakteri yang bersifat merugikan tetapi ada juga yang bersifat menguntungkan. Berikan 5 contoh peran bakteri yang merugikan dan bakteri yang menguntungkan.
10. Jelaskan langkah-langkah antisipasi bahaya yang ditimbulkan bakteri.

## A Pilih jawaban yang paling tepat.

1. Pernyataan yang paling tepat tentang biologi adalah ....
  - a. biologi adalah ilmu tentang kehidupan
  - b. biologi adalah ilmu alam yang paling sulit
  - c. biologi disebut ilmu karena memiliki objek formal yang sama dengan sains
  - d. biologi mempelajari gejala alam berupa gejala-gejala pada makhluk hidup dan segala permasalahan kehidupannya
  - e. biologi merupakan ilmu yang sarat dengan eksperimen
2. Syarat yang menyebabkan biologi disebut ilmu adalah ....
  - a. mempelajari gejala alam
  - b. memiliki objek dan metode
  - c. mempelajari kehidupan
  - d. memiliki objek kajian
  - e. menggunakan metode ilmiah
3. Langkah awal dalam kerja ilmiah adalah....
  - a. menyusun hipotesis
  - b. melakukan percobaan
  - c. menemukan masalah
  - d. menarik kesimpulan
  - e. menyusun rencana penelitian
4. Amoeba sp., organisme uniseluler, adalah objek biologi pada tingkat ....
  - a. sel
  - b. jaringan
  - c. organ
  - d. sistem organ
  - e. organisme
5. Interaksi makhluk hidup dengan lingkungannya dipelajari dalam cabang biologi yang disebut ....
  - a. taksonomi
  - b. morfologi
  - c. ekologi
  - d. ekosistem
  - e. etologi
6. Manfaat biologi dalam bidang kesehatan misalnya ....
  - a. ditemukannya berbagai jenis hewan langka
  - b. ditemukannya senjata biologis
  - c. ditemukannya teknik eksploitasi kekayaan alam
  - d. ditemukannya teknik transplantasi gen
  - e. ditemukannya mikrobia patogen
7. TMV (*Tobacco Mosaic Virus*) adalah virus yang pertama kali diberi nama oleh ....
  - a. Anthoni van Leeuwenhoek
  - b. Adolf Meyer
  - c. Dmitri Ivanovsky
  - d. M. Beijerinck
  - e. Wendell M. Stanley
8. Virus hidup sebagai parasit obligat, artinya ....
  - a. bisa hidup di mana saja
  - b. hidup di semua makhluk hidup
  - c. hidup di dalam jaringan tubuh organisme
  - d. bisa hidup sebagai parasit
  - e. hidup di dalam tubuh hewan
9. Virus yang berbentuk oval adalah ....
  - a. virus HIV
  - b. virus rabies
  - c. virus Mosaic
  - d. *Adenovirus*
  - e. *Bakteriophage*
10. Contoh virus ARN adalah ....
  - a. *Paramyxovirus*
  - b. *Papavovirus*
  - c. *Adenovirus*
  - d. *Herpes simplex virus*
  - e. *Rhabdovirus*
11. Perhatikan gambar berikut.
 



Gambar tersebut adalah gambar virus penyebab penyakit ....

  - a. AIDS
  - b. ebola
  - c. cacar
  - d. herpes
  - e. rabies
12. Serangan virus dapat diatasi secara ....
  - a. preventif dengan obat
  - b. preventif dengan antibiotik
  - c. kuratif dengan vaksinasi

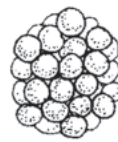
- d. preventif dengan vaksinasi
  - e. kuratif dengan dibunuh
13. Yang bukan merupakan ciri organisme prokariotik adalah ....
    - a. memiliki asam nukleat
    - b. memiliki selaput inti
    - c. dapat hidup di lingkungan ekstrim
    - d. dapat hidup sebagai parasit
    - e. dapat hidup sebagai saprofit
  14. Organisme prokariotik dipelajari dalam cabang ilmu ....
    - a. virologi
    - b. mikrobiologi
    - c. bakteriologi
    - d. mikrobiologi industri
    - e. mikrobiologi tanah
  15. Dalam lingkungan hipotonik, sel prokariotik tidak pecah karena ....
    - a. sitoplasmanya hipotonik
    - b. sitoplasmanya hipertonic
    - c. dilindungi oleh dinding sel
    - d. dinding sel tersusun oleh peptidoglikan
    - e. dinding sel bersifat selektif permeabel
  16. Alat tambahan pada permukaan sel organisme prokariotik yang berguna membantu menempel pada sesama anggota koloni disebut ....
    - a. pili
    - b. flagela
    - c. kapsul
    - d. tilakoid
    - e. mesosom
  17. Rekombinasi materi genetik di dalam organisme prokariotik terjadi melalui ....
    - a. pembelahan biner dan transformasi
    - b. transformasi, pembelahan biner, dan transduksi
    - c. konjugasi, kopulasi, dan transformasi
    - d. absorpsi, konjugasi, dan transduksi
    - e. transformasi, konjugasi, dan transduksi
  18. Berikut adalah beberapa karakteristik organisme prokariotik.
    1. dinding selnya tidak mengandung peptidoglikan
    2. ribosomnya mengandung beberapa jenis RNA-polimerase sehingga lebih mirip eukariotik

3. plasmanya mengandung lipid dengan ikatan ester.

Sifat-sifat tersebut dimiliki oleh ....

- a. Archaeobacteria
- b. Eubacteria
- c. Metanogen
- d. Bakteriorhodopsin
- e. Halofil ekstrim

19. Perhatikan gambar berikut.



Gambar tersebut menunjukkan kelompok bakteri yang disebut ....

- a. Monococcus
- b. Diplococcus
- c. Streptococcus
- d. Staphylococcus
- e. Sarcina

20. *Treponema pallidum* adalah bakteri kemoheterotrof yang berbentuk heliks, yakni penyebab penyakit ....

- a. gonorrhoe
- b. sifilis
- c. kebutaan
- d. kolera
- e. desentri

### B Selesaikan soal-soal berikut dengan benar dan jelas.

1. Jelaskan karakteristik biologi.
2. Apa yang disebut laporan ilmiah? Jelaskan.
3. Bagaimana pengaruh teknologi mikroskop dalam perkembangan biologi?
4. Jelaskan ciri-ciri virus.
5. Mengapa virus dapat merugikan manusia? Jelaskan.
6. Jelaskan reproduksi pada virus.
7. Jelaskan pengelompokan bakteri berdasarkan kebutuhannya akan oksigen.
8. Sebutkan 5 macam penyakit pada manusia yang disebabkan oleh bakteri. Jelaskan.
9. Jelaskan peranan organisme prokariotik dalam rekayasa genetika.
10. Bandingkan teknik sterilisasi dan teknik pasteurisasi.