

Sejarah, Ruang Lingkup, dan Perkembangan Mikrobiologi

Drs. Lestanto Unggul Widodo, M.Sc.



PENDAHULUAN

Seperi ilmu pengetahuan lainnya, sejarah mempelajari mikrobiologi pun diawali oleh rasa ingin tahu manusia untuk mengenal sifat dan aktivitas mikroorganismenya. Pada mulanya mikroorganismenya tidak dianggap perlu untuk dipelajari, karena ukurannya yang sangat kecil dan tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, namun pada akhir abad ke-19, penemuan Pasteur, Koch, dan Lister mengubah pendapat tersebut. Pada masa itulah manusia baru menyadari betapa pentingnya pengetahuan tentang mikroorganismenya, sehingga keuntungan dan kerugian yang ditimbulkan oleh mikroorganismenya mulai banyak dipelajari.

Robert Koch dan beberapa ahli mikrobiologi lainnya mengembangkan banyak teknik dalam ilmu mikrobiologi yang berdampak sangat besar terhadap perkembangan mikrobiologi. Salah satu contoh teknik yang sampai saat ini masih banyak digunakan adalah teknik untuk menumbuhkan mikroorganismenya sehingga dalam mempelajari mikrobiologi lebih ditekankan pada teknik-teknik yang digunakan daripada subjek yang ditelaahnya. Mikroskop merupakan peralatan yang mendukung pengembangan teknik tersebut.

Perkembangan mikrobiologi berdampak pada lahirnya berbagai disiplin ilmu baru yang didalamnya memiliki kekhususan tersendiri, seperti bakteriologi, parasitologi, virologi, dan contoh lainnya.

Modul 1 ini terbagi dalam 3 kegiatan belajar, yaitu:

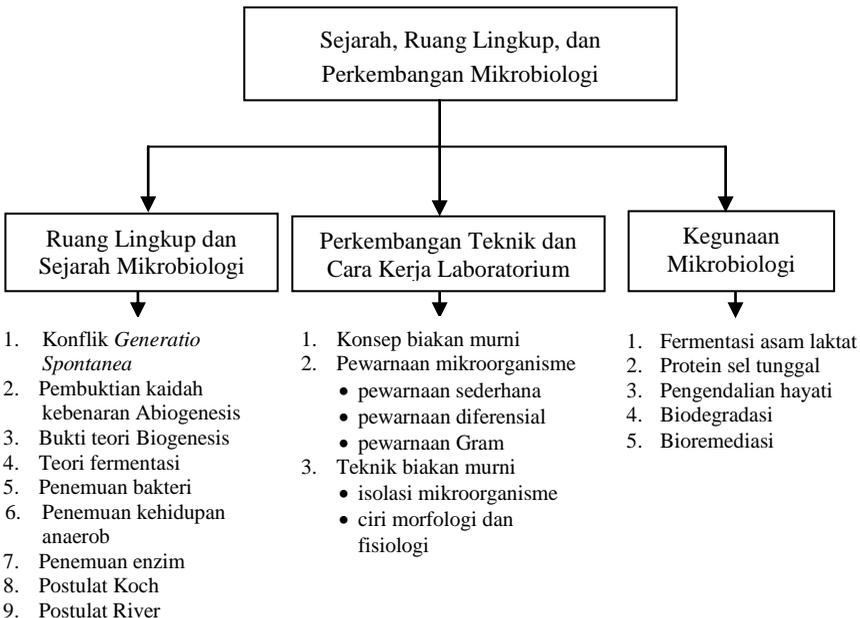
1. Ruang lingkup dan sejarah mikrobiologi, yang membahas tentang ruang lingkup dan awal mula ilmu mikrobiologi muncul.
2. Perkembangan teknik dan cara kerja laboratorium mikrobiologi, yang membahas tentang konsep biakan murni, imunisasi, fagositosis, antiseptis, kemoterapi, dan macam-macam mikrobiologi.

3. Kegunaan mikrobiologi, yang membahas tentang berbagai ilmu terapan dari mikrobiologi.

Setelah mempelajari modul ini secara umum Anda diharapkan mampu menjelaskan sejarah, ruang lingkup, perkembangan, dan kegunaan mikrobiologi. Secara khusus setelah mempelajari modul ini, diharapkan Anda mampu:

1. menjelaskan definisi dan pengertian mikrobiologi;
2. menjelaskan penemuan mikroorganisme dan perkembangan mikrobiologi;
3. menjelaskan teknik mempelajari mikroorganisme (konsep dan teknik biakan murni, serta pewarnaan mikroorganisme);
4. menjelaskan pencegahan dan pengobatan penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisme (imunisasi, fagositosis, antiseptis, dan kemoterapi);
5. menjelaskan aplikasi mikrobiologi dan peranan mikroorganisme yang menguntungkan (fermentasi, protein sel tunggal, biosensor, pengendalian hayati, *biomining*, biodegradasi, dan bioremediasi).

Secara rinci materi yang dibahas pada Modul 1 dapat Anda lihat pada skema berikut ini:



KEGIATAN BELAJAR 1**Ruang Lingkup dan Sejarah Mikrobiologi**

☉ Pada kegiatan belajar ini akan dibahas tentang ruang lingkup dan sejarah mikrobiologi. Ruang lingkup ini perlu dibahas untuk dapat mengetahui ilmu apa saja yang harus dipelajari sebelum mempelajari mikrobiologi. Setelah mempelajari Kegiatan Belajar 1 diharapkan Anda mampu menjelaskan sejarah perkembangan mikrobiologi, menerapkan pentingnya mikroorganisme, dan menjelaskan ruang lingkup mikrobiologi.

A. RUANG LINGKUP

Mikrobiologi merupakan salah satu cabang ilmu biologi yang mempelajari mikroorganisme. Beberapa ilmu dasar yang diperlukan untuk mendukung pemahaman mikrobiologi, antara lain ilmu kimia, fisika, dan biokimia. Mikrobiologi juga sering disebut sebagai ilmu praktik dari biokimia. Ruang lingkup dalam mempelajari mikrobiologi meliputi pengertian tentang sejarah penemuan mikroorganisme, macam-macam mikroorganisme di alam, struktur sel mikroorganisme dan fungsinya, metabolisme mikroorganisme secara umum, pertumbuhan mikroorganisme dan faktor lingkungan, dan mikrobiologi terapan baik di bidang lingkungan maupun pertanian. Seiring dengan berjalannya waktu mikrobiologi telah mengalami perkembangan yang pesat menjadi beragam ilmu, antara lain virologi, bakteriologi, mikologi, mikrobiologi pangan, mikrobiologi tanah, dan mikrobiologi industri. Ilmu tersebut mempelajari mikroorganisme secara spesifik, rinci, dan menurut pemanfaatannya. Berbagai sifat mikroorganisme yang menjadikan dasar seringnya digunakan sebagai model penelitian di bidang genetika adalah memiliki sifat sangat sederhana, perkembangbiakan sangat cepat, dan adanya berbagai variasi metabolisme. Pada saat ini penelitian berkaitan dengan mikroorganisme dilakukan secara intensif untuk mengetahui dasar fenomena biologi.

Mikroorganisme juga dikenal sebagai sumber produk dan proses yang menguntungkan bagi masyarakat, misalnya: alkohol yang dihasilkan melalui proses fermentasi dapat digunakan sebagai sumber energi (gasohol). Di samping itu, strain-strain baru dari mikroorganisme yang dihasilkan melalui proses rekayasa genetika dapat menghasilkan bahan penting bagi kesehatan

manusia, seperti insulin. Padahal, sebelumnya apabila pankreas manusia gagal memproduksi insulin maka hanya insulin hasil ekstraksi dari pankreas lembu yang dapat diterimanya. Sekarang, insulin manusia dapat diproduksi dalam jumlah yang tak terhingga oleh bakteri dari hasil rekayasa genetika. Mikroorganisme juga mempunyai potensi cukup besar dalam membersihkan lingkungan, misal: dari tumpahan minyak di lautan atau residu herbisida dan insektisida di bidang pertanian. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya kemampuan mikroorganisme dalam mendekomposisi/menguraikan senyawa kompleks menjadi senyawa lebih sederhana. Kemampuan mikroorganisme yang telah direkayasa untuk tujuan tertentu menjadikan cabang baru dalam mikrobiologi industri yang dikenal dengan **bioteknologi**.

Sudah selayaknya apabila Anda telah mampu memahami secara rinci tentang arti keberadaan mikroorganisme, pasti Anda akan menghargai dan mengaguminya, seperti bakteri, algae, protozoa, dan virus yang mempunyai potensi luar biasa bagi kelangsungan hidup manusia. Beberapa mikroorganisme dapat bersifat patogen bagi manusia, hewan, maupun tumbuhan, dan dapat pula menyebabkan lapuknya kayu dan korosi besi. Di sisi lain, mikroorganisme juga memiliki peran penting dalam lingkungan sebagai dekomposer dan dapat menghasilkan (*manufacture*) substansi penting di bidang kesehatan maupun industri makanan.

B. SEJARAH PERKEMBANGAN MIKROORGANISME

Takbir terungkapnya dunia mikroorganisme berawal dari ditemukannya mikroskop oleh **Anthony van Leeuwenhoek** (1633-1723). Pada mulanya, mikroskop temuan tersebut masih sangat sederhana, hanya dilengkapi satu lensa dengan jarak fokus yang sangat pendek, tetapi dapat menghasilkan bayangan jelas yang setara dengan perbesaran 50-300 kali. Pengamatan yang dilakukan oleh Leeuwenhoek di antaranya pengamatan terhadap struktur mikroskopis biji, jaringan tumbuhan, dan invertebrata kecil. Penemuan terbesar pada zamannya dan diketahui sebagai dunia mikroorganisme, yang disebut sebagai **animalculus** atau **hewan kecil**. **Animalculus** adalah berbagai jenis mikroorganisme yang sekarang diketahui sebagai protozoa, algae, khamir, dan bakteri.

1. Konflik Generatio Spontanea

Penemuan Leewenhoek tentang hewan kecil tersebut menjadi perdebatan sangat serius di kalangan ahli mikrobiologi. Berkaitan dengan temuan Leewenhoek muncullah dua silang pendapat, satu mengatakan bahwa munculnya hewan kecil karena proses pembusukan tanaman atau hewan, ataupun melalui proses fermentasi. Pendapat ini mendukung teori yang mengatakan bahwa makhluk hidup berasal dari benda mati atau **abiogenesis**, dan konsepnya dikenal dengan **generatio spontanea**. Pendapat lain mengatakan bahwa hewan kecil tersebut berasal dari hewan kecil sebelumnya seperti halnya organisme tingkat tinggi. Pendapat atau teori yang mengatakan hal tersebut dikenal dengan **biogenesis**. Adanya perbedaan pendapat tersebut menyebabkan mikrobiologi tidak berkembang dan hal ini berlangsung sampai perdebatan terselesaikan dengan dibuktikannya kebenaran teori biogenesis. Pembuktian ini memerlukan berbagai macam eksperimen yang nampaknya sederhana tetapi memerlukan waktu lebih dari 100 tahun.

a. Pembuktian Ketidakbenaran Abiogenesis

Francesco Redi (1626-1697) dengan hasil eksperimennya membuktikan bahwa ulat yang terdapat pada daging busuk adalah larva yang berasal dari telur lalat, bukan berasal dari benda mati (teori *Generatio Spontanea*). Bagaimana dengan asal usul mikroorganisme yang hanya dapat dilihat dengan mikroskop? **John Needham** (1713-1781) melakukan eksperimen dengan cara memasak sepotong daging untuk menghilangkan organisme yang ada, kemudian menempatkannya dalam toples terbuka. Berdasarkan pengamatannya ditemukan adanya koloni pada permukaan daging tersebut, sehingga disimpulkan bahwa mikroorganisme terjadi secara spontan dari daging.

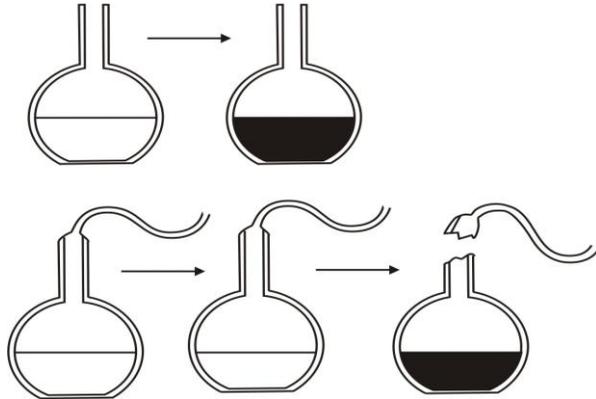
Pada tahun 1769, **Lazarro Spalanzani** (1729-1799) melakukan eksperimen dengan cara merebus kaldu daging selama 1 jam dan menempatkannya pada toples yang ditutup rapat, hasil percobaan menunjukkan tidak ditemukannya mikroorganisme dalam kaldu tersebut. Jadi eksperimen Lazarro Spalanzani menentang teori *Abiogenesis*. Sebaliknya, Needham mengatakan bahwa berdasarkan eksperimennya sumber makhluk hidup berasal dari udara sementara pada percobaan Spalanzani tidak berinteraksi langsung dengan udara. Setelah hampir 100 tahun percobaan Needham berlangsung dan tidak ada kepastian kebenaran di antara kedua eksperimen tersebut, muncullah dua peneliti yang mencoba memecahkan

kontroversi tentang peran udara tersebut. Pada tahun 1836, **Franz Schulze** melakukan eksperimen dengan cara melewatkan larutan asam kuat ke dalam tabung tertutup yang berisi daging yang telah dimasak. Pada tahun 1837, **Theodore Schwann** melakukan eksperimen dengan cara mengalirkan udara melalui pipa panas ke dalam tabung tertutup yang bersisi kaldu. Keduanya tidak menemukan adanya mikroorganisme sebab mikroorganisme telah mati oleh adanya asam kuat maupun panas, tetapi para pendukung teori *Generatio Spontanea* berpendapat bahwa adanya asam kuat dan panas akan mengubah udara sehingga tidak mendukung pertumbuhan mikroorganisme. Akhirnya pada tahun 1954 muncul peneliti yang menyelesaikan perdebatan tersebut, dengan melakukan percobaan menggunakan tabung tertutup berisi kaldu yang telah dipanaskan. Kemudian ke dalam tabung tersebut dimasukkan pipa yang pada sebagiannya diisi dengan kapas dan ujungnya dibiarkan terbuka, dengan demikian mikroorganisme akan tersaring dan udara tetap bisa masuk. Hasilnya, tidak ditemukan mikroorganisme dalam kaldu daging tersebut, hal ini membuktikan bahwa teori *Generatio Spontanea* adalah **salah**.

b. Bukti Teori Biogenesis

Pada periode yang sama muncul ilmuwan baru dari Perancis **Louis Pasteur** (1822–1895) seorang ahli kimia yang menaruh perhatian pada mikroorganisme. Pasteur tertarik untuk meneliti peran mikroorganisme dalam industri anggur, terutama dalam pembuatan alkohol. Salah satu pendukung teori *Generatio Spontanea* yang hidup pada masa Louis Pasteur adalah **Felix Archimede Pouchet** (1800-1872). Pada tahun 1859 Pouchet banyak mempublikasikan tulisan yang mendukung teori *Abiogenesis*, namun ia tidak dapat membantah penemuan-penemuan Pasteur. Pasteur sebagai ilmuwan, untuk memastikan pendapatnya, melakukan serangkaian eksperimen. Salah satu eksperimen Pasteur yaitu menggunakan bejana leher panjang yang dibengkokkan dan dikenal dengan leher angsa (Gambar 1.1). Bejana ini diisi dengan kaldu kemudian dipanaskan. Pada kondisi tersebut udara dapat dengan bebas melewati tabung atau pipa leher angsa tetapi di daerah kaldu tidak ditemukan adanya mikroorganisme. Hasil analisis menunjukkan bahwa mikroorganisme beserta debu akan mengendap pada bagian tabung yang berbentuk U sehingga tidak dapat mencapai kaldu. Pasteur melalui eksperimen yang sama, membawa tabung tersebut ke pegunungan Pyrenes dan Alpen. Hasil pengamatan menemukan bahwa mikroorganisme terbawa debu oleh udara, sehingga Pasteur menyimpulkan bahwa semakin

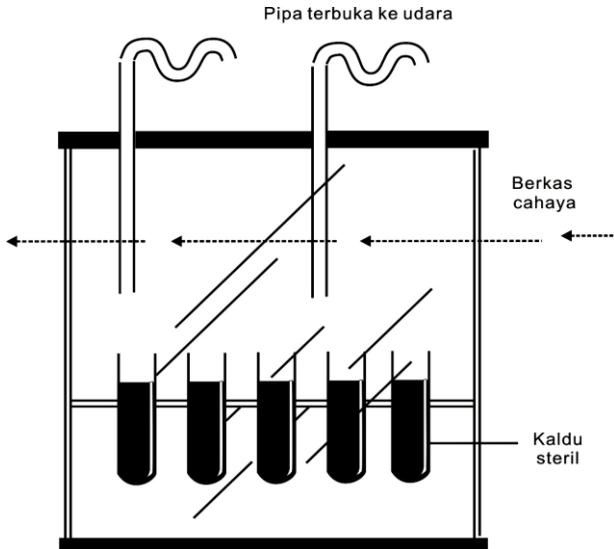
bersih/murni udara yang masuk ke dalam bejana, semakin sedikit kontaminasi yang terjadi.



Gambar 1.1.

Botol Pasteur Berleher Angsa tetap Steril karena Lengkung pada Leher Menahan Partikel Debu

Salah satu argumen klasik untuk menentang teori *Biogenesis* adalah panas yang digunakan untuk mensterilkan udara atau bahan dianggap dapat merusak energi vital, karena tanpa adanya *vital force* tersebut mikroorganismenya tidak dapat muncul serta spontan. **John Tyndall** merespon argumen tersebut dengan mengatakan bahwa udara dapat mudah dibebaskan dari mikroorganismenya melalui serangkaian percobaan yaitu meletakkan tabung reaksi berisi kaldu steril ke dalam kotak tertutup. Udara dari luar masuk ke dalam kotak melalui pipa yang sudah dibengkokkan membentuk dasar U seperti spiral (Gambar 1.2). Terbukti bahwa meskipun udara luar dapat masuk ke dalam kotak yang berisi tabung dengan kaldu di dalamnya, namun tetap tidak ditemukan adanya mikroorganismenya. Hasil percobaan Pasteur dan Tyndall memacu diterimanya konsep biogenesis. Selanjutnya Pasteur lebih memfokuskan penelitiannya pada peran mikroorganismenya dalam pembuatan anggur dan mikroorganismenya yang menyebabkan penyakit.



Gambar 1.2.

Air Kaldu tetap Steril dalam Ruang Inkubasi Tyndall yang Bebas Debu. Pada Kedua Kasus tersebut Kaldu Dihadapkan ke Udara, tetapi Bebas Debu

2. Teori Tentang Fermentasi

Salah satu contoh proses fermentasi dapat terjadi jika jus anggur dibiarkan, pada proses tersebut terjadi serangkaian perubahan biokimia, alkohol, dan senyawa lain yang pada akhirnya dihasilkan anggur (*wine*). Alasan Pasteur, menentang pendapat *Generatio Spontanea* karena keyakinannya bahwa produk fermentasi anggur merupakan hasil dari mikroorganisme yang ada, bukan fermentasi menghasilkan mikroorganisme sebagaimana yang dipercaya pada waktu itu. Pada tahun 1850-an Pasteur memecahkan masalah yang muncul dalam industri anggur, yakni dengan melakukan penelitian terhadap anggur yang baik dan anggur kurang bagus maka ditemukan mikroorganisme yang berbeda. Mikroorganisme tertentu mendominasi anggur yang bagus, sementara mikroorganisme tipe lain mendominasi anggur kurang bagus. Pasteur menyimpulkan bahwa pemilihan mikroorganisme yang sesuai akan menghasilkan produk anggur bagus. Berdasarkan analisis tersebut Pasteur memusnahkan mikroorganisme yang terdapat dalam sari buah anggur dengan cara memanaskannya. Setelah dingin ke dalam sari buah tersebut diinokulasikan anggur yang berkualitas baik dengan kandungan mikroorganisme sesuai yang diinginkan. Hasilnya

menunjukkan bahwa anggur yang diperoleh memiliki kualitas baik dan tidak mengalami perubahan aroma selama disimpan karena sebelumnya telah dipanasi selama beberapa menit pada suhu 50-60°C. Proses ini dikenal dengan **pasteurisasi** yang saat ini sudah digunakan secara luas di bidang industri makanan. Padahal, sebelumnya orang meningkatkan produk fermentasi melalui *trial and error*, karena ketidaktahuan mereka bahwa kualitas produk tergantung pada mikroorganisme tertentu.

3. Penemuan Bakteri Berspora

John Tyndall (1820-1893), juga mendukung pendapat Pasteur, melalui eksperimennya dengan menggunakan cairan bahan organik yang sudah dipanaskan dalam air garam mendidih selama 5 menit dan diletakkan di dalam ruangan bebas debu, ternyata cairan bahan organik tidak membusuk walaupun disimpan dalam waktu berbulan-bulan. Apabila tanpa dilakukan pemanasan maka akan terjadi pembusukan. Tyndall dalam percobaannya menemukan adanya fase **termolabil** (bakteri saat melakukan pertumbuhan tidak tahan pemanasan) dan **termoresisten** pada bakteri (tahan terhadap pemanasan). Hasil penyelidikan seorang ahli botani Jerman bernama **Ferdinand Cohn**, dapat diketahui secara mikroskopis bahwa pada fase termoresisten, bakteri dapat membentuk endospora. Berdasarkan penemuan tersebut, maka dicarilah cara untuk sterilisasi bahan yang mengandung bakteri pembentuk spora. Cara yang dimaksud adalah dengan pemanasan yang terputus dan diulang beberapa kali, proses tersebut dikenal sebagai **Tyndallisasi**. Proses pemanasannya sebagai berikut, pada awalnya pemanasan dilakukan pada suhu 100°C selama 30 menit, kemudian dibiarkan pada suhu kamar selama 24 jam, cara ini diulang sebanyak 3 kali. Saat dibiarkan pada suhu kamar, bakteri berspora yang masih hidup akan berkecambah membentuk fase pertumbuhan/termolabil, sehingga dapat dimatikan pada pemanasan berikutnya.

4. Peran Mikroorganisme dalam Transformasi Bahan Organik

Berbagai bahan yang ditumbuhi mikroorganisme akan mengalami perubahan susunan kimia. Perubahan susunan kimia yang terjadi dikenal sebagai fermentasi (pengkhamiran) dan pembusukan (*putrefaction*). **Fermentasi** merupakan proses pemecahan senyawa organik menjadi senyawa sederhana yang hasil akhirnya alkohol atau asam organik, misalnya terjadi pada bahan yang mengandung karbohidrat. **Pembusukan** merupakan

proses peruraian yang menghasilkan bau busuk, seperti pada peruraian bahan yang mengandung protein. Pada tahun 1837, **C. Latour**, **Th. Schwann**, dan **F. Kützing** secara terpisah menemukan bahwa pada zat gula yang mengalami fermentasi alkohol selalu dijumpai adanya khamir, sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan gula menjadi alkohol dan CO_2 merupakan fungsi fisiologis dari sel khamir tersebut. Teori biologis ini ditentang oleh **J. Berzelius**, **J. Liebig**, dan **F. Wahler**. Mereka berpendapat bahwa fermentasi dan pembusukan merupakan reaksi kimia biasa. Hal ini dapat dibuktikan pada tahun 1812 telah berhasil disintesis senyawa organik urea dari senyawa anorganik. Pasteur banyak meneliti tentang proses fermentasi (1875-1876). Suatu saat perusahaan pembuat anggur dari gula bit, menghasilkan anggur yang masam. Berdasarkan pengamatannya secara mikroskopis, sebagian dari sel khamir diganti kedudukannya oleh sel lain yang berbentuk bulat dan batang dengan ukuran sel lebih kecil. Adanya sel-sel yang lebih kecil ini ternyata mengakibatkan sebagian besar proses fermentasi alkohol tersebut didesak oleh proses fermentasi lain, yaitu fermentasi asam laktat. Berdasarkan kenyataan ini, selanjutnya dibuktikan bahwa setiap proses fermentasi tertentu disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme tertentu pula, yang spesifik untuk proses fermentasi tersebut. Sebagai contoh fermentasi alkohol oleh khamir, fermentasi asam laktat oleh bakteri *Lactobacillus*, dan fermentasi asam sitrat oleh jamur *Aspergillus*.

5. Penemuan Kehidupan Anaerob

Selama meneliti fermentasi asam butirat, Pasteur menemukan adanya proses kehidupan yang tidak membutuhkan udara. Pasteur menunjukkan bahwa jika udara dihembuskan ke dalam bejana fermentasi butirat, proses fermentasi menjadi terhambat, bahkan dapat terhenti sama sekali. Atas dasar pengamatan tersebut muncullah 2 istilah kehidupan mikroorganisme, yaitu (1) kehidupan **anaerob**, untuk mikroorganisme yang tidak memerlukan oksigen, dan (2) kehidupan **aerob**, untuk mikroorganisme yang memerlukan oksigen.

Secara fisiologis adanya fermentasi dapat digunakan untuk mengetahui beberapa hal. Oksigen umumnya diperlukan mikroorganisme sebagai agensia untuk mengoksidasi senyawa organik menjadi CO_2 . Reaksi oksidasi tersebut dikenal sebagai “respirasi aerob”, yang menghasilkan tenaga untuk kehidupan jasad dan pertumbuhannya. Mikroorganisme lain dapat memperoleh tenaga dengan jalan memecahkan senyawa organik secara

fermentasi **anaerob**, tanpa memerlukan oksigen. Beberapa jenis mikroorganisme bersifat **obligat anaerob** atau **anaerob sempurna**. Jenis lain bersifat **fakultatif anaerob**, yaitu mempunyai dua mekanisme untuk mendapatkan energi. Apabila ada oksigen, energi diperoleh secara respirasi aerob, apabila tidak ada oksigen energi diperoleh secara fermentasi anaerob. Pasteur mendapatkan bahwa respirasi aerob adalah proses yang efisien untuk menghasilkan energi.

6. Penemuan Enzim

Menurut Pasteur, proses fermentasi merupakan proses vital bagi kehidupan mikroorganisme. Pendapat tersebut ditentang oleh **Bernard** (1875), bahwa khamir dapat memecah gula menjadi alkohol dan CO₂ karena mengandung katalisator biologis dalam selnya. Katalisator biologis tersebut dapat diekstrak sebagai larutan tetap yang dapat menunjukkan kemampuan fermentasi, sehingga fermentasi dapat dibuat sebagai proses yang tidak vital lagi (tanpa sel).

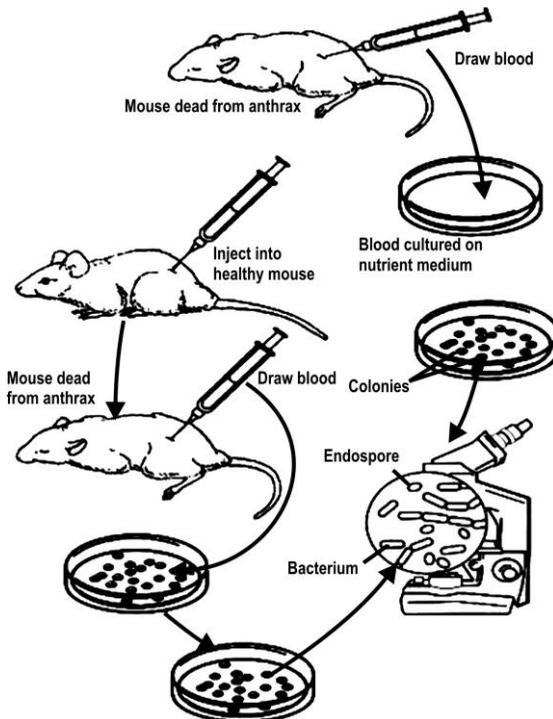
Pada tahun 1897, **Buchner** mampu membuktikan gagasan Bernard, yaitu pada saat menggerus sel khamir dengan pasir dan ditambahkan sejumlah besar gula, terlihat dari campuran tersebut dibebaskan CO₂ dan sedikit alkohol. Penemuan tersebut membuka jalan ke perkembangan biokimia modern. Pada akhirnya dapat diketahui bahwa pembentukan alkohol dari gula oleh khamir, merupakan hasil urutan beberapa reaksi kimia, yang masing-masing dikatalisir oleh biokatalisator spesifik atau dikenal sebagai **enzim**.

7. Mikroorganisme Penyebab Penyakit

Pasteur menggunakan istilah khusus untuk mengatakan kerusakan pada minuman anggur oleh mikroorganisme, disebutnya sebagai **penyakit Bir**. Pasteur juga menduga kuat tentang adanya peran mikroorganisme dalam penyebab timbulnya penyakit pada jasad tingkat tinggi. Hal ini terbukti dengan ditemukannya jamur penyebab penyakit pada tanaman gandum (1813), tanaman kentang (1845), penyakit pada ulat sutera, dan pada kulit manusia. Pada tahun 1850 diketahui bahwa dalam darah hewan yang terkena penyakit antraks terdapat bakteri berbentuk batang. **Davaine** (1863-1868) membuktikan bahwa bakteri tersebut hanya terdapat pada hewan sakit, melalui penularan buatan dengan menggunakan darah hewan sakit yang diinfeksi pada hewan sehat sehingga kemudian hewan sehat terjangkit penyakit yang sama. Pembuktian bahwa antraks disebabkan oleh bakteri juga

dilakukan oleh **Robert Koch** (1876), sampai ditemukannya **postulat Koch** yang merupakan langkah-langkah untuk pembuktian bahwa suatu mikroorganisme merupakan penyebab penyakit (Gambar 1.3). Postulat Koch dalam bentuk umum adalah sebagai berikut.

- Suatu mikroorganisme yang diduga sebagai penyebab penyakit harus ada pada setiap tingkatan penyakit.
- Mikroorganisme tersebut dapat diisolasi dari jasad yang sakit dan ditumbuhkan dalam bentuk biakan murni.
- Apabila biakan murni tersebut disuntikkan pada hewan sehat dan peka, maka akan dapat menimbulkan penyakit yang sama.
- Mikroorganisme dapat diisolasi kembali dari jasad yang telah dijadikan sakit tersebut.



Gambar 1.3.
Ilustrasi Langkah-langkah Postulat Koch

8. Penemuan Virus

Iwanowsky melalui eksperimennya menemukan adanya kemampuan filtrat bebas bakteri (cairan yang telah disaring dengan saringan bakteri) berasal dari ekstrak tanaman tembakau terkena penyakit mozaik, ternyata masih tetap dapat menimbulkan infeksi pada tanaman tembakau yang sehat. Berdasarkan kenyataan tersebut dapat diketahui adanya jasad hidup yang memiliki ukuran jauh lebih kecil daripada bakteri (submikroskopik) karena mampu lolos dari saringan bakteri, dan jasad tersebut dikenal sebagai **virus**. Pembuktian penyakit yang disebabkan oleh virus, dapat digunakan **postulat River** (1937), sebagai berikut.

- a. Virus harus berada di dalam sel inang.
- b. Filtrat bahan yang terinfeksi tidak mengandung bakteri atau mikroorganisme lain yang dapat ditumbuhkan di dalam media buatan.
- c. Filtrat dapat menimbulkan penyakit pada jasad yang peka.
- d. Filtrat yang sama dan berasal dari hospes peka tersebut harus dapat menimbulkan kembali penyakit yang sama.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Mengapa **Antonie van Leeuwenhoek**, dianggap sebagai bapak “Bakteriologi”?
- 2) Jelaskan teori tentang *Generatio Spontanea*!
- 3) Jelaskan sumbangan apa saja yang diberikan oleh **Louis Pasteur**!
- 4) Jelaskan bahwa konsep abiogenesis adalah tidak benar!
- 5) Jelaskan tentang fermentasi dan berikan contohnya!
- 6) Jelaskan tentang postulat **Koch** dan postulat **River**!

Petunjuk Jawaban Latihan

Latihan soal tersebut di atas dapat dijawab, apabila Anda baca kembali tentang uraian tentang:

- 1) Ruang lingkup mikrobiologi.
- 2) Beberapa percobaan yang dilakukan oleh **Antonie Van Leeuwenhoek**, **F. Redi**, sampai dengan **Lazzaro Spallanzani**.
- 3) Pendapat **Louis Pasteur**.

- 4) Konflik *Generatio Spontanea*.
- 5) Teori fermentasi.
- 6) Postulat Koch dan postulat River.



RANGKUMAN

Mikrobiologi merupakan cabang ilmu biologi yang mempelajari mikroorganisme dan untuk memahaminya perlu didukung beberapa ilmu dasar seperti ilmu fisika, kimia, dan biokimia. Mikrobiologi telah mengalami perkembangan yang pesat menjadi beragam ilmu, antara lain virologi, bakteriologi, mikologi, mikrobiologi pangan, mikrobiologi tanah, dan mikrobiologi industri.

Perkembangan mikrobiologi meliputi: Periode pertama, sekitar tahun 1675 dimulai dengan terbukanya rahasia suatu dunia mikroorganisme melalui pengamatan Leeuwenhoek. Periode ke dua, pertentangan atau konflik *generatio spontanea* sampai dipatahkannya konsep abiogenesis. Pada periode ke tiga, ditemukannya penyakit dan fermentasi sehingga dihasilkan postulat Koch dan postulat River, yang digunakan sampai sekarang. Konsep penting: Mikrobiologi mempelajari tentang mikroorganisme kecil yang tidak bisa dilihat dengan mata telanjang.



TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Ilmu yang mempelajari tentang organisme yang berukuran mikroskopis disebut
 - A. virologi
 - B. bakteriologi
 - C. mikrobiologi
 - D. biologi

- 2) Konsep mengenai kehidupan yang berasal dari bahan mati, dikenal sebagai *Generatio Spontanea* atau
 - A. *Abiogenesis*
 - B. *Biogenesis Spontanea*
 - C. *Abiogenesis Spontanea*
 - D. *Generatio Spontanea*

- 3) Berdasarkan logika yang wajar, pada akhirnya kita memahami bahwa semua makhluk hidup berasal dari makhluk hidup juga. Lebih lanjut berdasarkan keyakinan kita, maka nenek moyang keragaman spesies awal makhluk hidup muncul dan ada karena
 - A. proses pembentukan sifat
 - B. alam berproses tiada henti
 - C. penciptaan oleh Allah yang maha kuasa
 - D. peristiwa spontan di alam

- 4) Menurut Schwann fermentasi oleh ragi akan berjalan lancar jika jumlah ragi yang digunakan cukup banyak. Ragi yang dimaksud adalah
 - A. *Saccharomyces cerevisiae*
 - B. *Bacillus* sp.
 - C. *Candida* sp.
 - D. *Rhizopus oligosporus*

- 5) Seorang ahli fisika Inggris yang memberikan sanggahan akhir terhadap *Generatio Spontanea* adalah
 - A. John Tyndall
 - B. John Needham
 - C. Francesco Redi
 - D. Spallanzani

- 6) Salah satu pendukung teori *Generatio Spontanea* yang hidup pada masa Louis Pasteur yang banyak mempublikasikan tulisan yang mendukung teori *Abiogenesis* adalah
 - A. Felix Archimede Pouchet
 - B. John Needham
 - C. Robert Koch
 - D. J. Liebig

- 7) Ilmuwan yang pertama kali mendeskripsikan mengenai bakteri adalah....
 - A. Iwanowsky
 - B. F. Wahler
 - C. Anthony van Leeuwenhoek
 - D. Felix Archimede Pouchet

- 8) Penggunaan utama dari postulat koch adalah untuk
 - A. mengidentifikasi dan mengkarakterisasi mikroorganisme tertentu
 - B. mengisolasi mikroorganisme dari hewan yang sakit
 - C. mengembangkan vaksin untuk penyakit tertentu
 - D. menunjukkan bahwa penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisme

- Pilihlah A jika 1 dan 2 benar**
B jika 1 dan 3 benar
C jika 2 dan 3 benar
D jika 1, 2, dan 3 benar

- 9) Percobaan Tyndall ditemukan adanya fase
1. termolabil
 2. termostabil
 3. termoresisten
- 10) Proses utama pada bioremediasi adalah
1. biodegradasi
 2. biotransformasi
 3. biokatalis

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

- Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
 80 - 89% = baik
 70 - 79% = cukup
 < 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Perkembangan Teknik dan Cara Kerja Laboratorium Mikrobiologi

A. TEKNIK MEMPELAJARI MIKROORGANISME

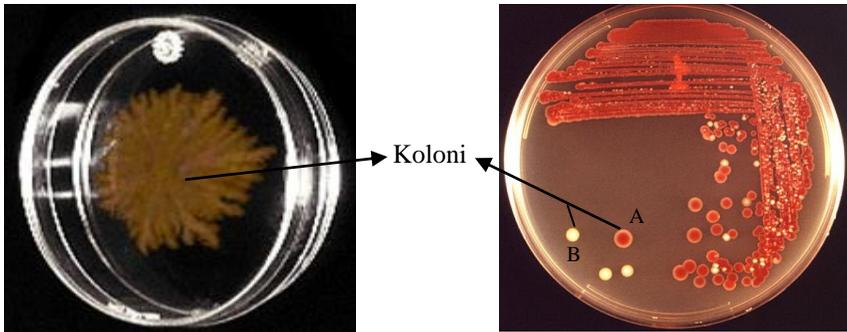
Penelitian mikroorganisme penyebab penyakit membutuhkan suatu metode laboratorium yang memadai. Koch dan rekannya mengembangkan metodologi di laboratorium antara lain prosedur untuk mewarnai bakteri agar mudah diperiksa dan diamati, serta teknik menumbuhkan mikroorganisme di laboratorium.

Satu teknik yang dikembangkan adalah penggunaan media dengan suatu substrat yang padat dan tembus pandang pada suhu inkubasi (suhu yang cocok untuk pertumbuhan) untuk menumbuhkan bakteri. Pada awalnya digunakan **gelatin** untuk tujuan ini ternyata hasilnya kurang memadai karena pada suhu tubuh menjadi cair. Kemudian, digunakan media lain seperti **irisan kentang** atau **wortel** hasilnya pun kurang baik, karena kekurangan nutrisi untuk mikroorganisme terutama yang berkaitan dengan tubuh manusia.

Pada akhirnya masalah tersebut dapat teratasi dengan menggunakan ekstrak ganggang laut tertentu. Ekstrak ganggang tersebut dinamakan **agar-agar** (kadang-kadang disebut *agar*), dapat dilarutkan dalam larutan nutrisi dan bila menjadi gel akan tetap padat dalam kisaran temperatur yang luas.

1. Konsep Biakan Murni

Media *agar* merupakan substrat yang sangat baik untuk pertumbuhan mikroorganisme, dengan media *agar* campuran mikroorganisme akan tumbuh terpisah sehingga mudah untuk diamati. Teknik yang digunakan untuk menumbuhkan mikroorganisme pada media *agar* menyebabkan mikroorganisme tumbuh secara agak berjauhan antarsesamanya, atau mungkin juga setiap selnya tumbuh berhimpun membentuk **koloni**, yaitu sekelompok massa sel yang dapat dilihat dengan mata biasa tanpa alat (Gambar 1.4).



<http://polymer.bu.edu/ogaf/html/chp51.htm>

<https://www.meducation.net/syllabus/30090>

Gambar 1.4.

Koloni-koloni mikroorganisme pada medium cawan Petri. Perhatikan adanya dua macam koloni yang menunjukkan dua macam bakteri yang berbeda dan satu koloni jamur

Semua sel dalam koloni itu sama artinya semuanya dianggap merupakan satu keturunan (progeni) atau satu mikroorganisme oleh karena itu mewakili yang disebut sebagai **biakan murni**. Penggunaan *agar* pada media mikrobiologi yang diusulkan oleh Koch pada awal 1880-an sampai sekarang masih tetap digunakan. Untuk mendapatkan satu spesies biakan harus memisahkan biakan campuran dengan cara sebagai berikut:

Pada mulanya contoh diambil dari udara, tanah, atau kotoran selanjutnya disebarkan pada medium steril, maka akan tumbuh koloni yang mempunyai bentuk dan warna berbeda-beda, tergantung pada sifat kekhasan masing-masing bakteri. Selanjutnya koloni yang berbeda tersebut ditumbuhkan pada medium steril secara terpisah sehingga akan didapatkan biakan murni.

2. Teknik Biakan Murni

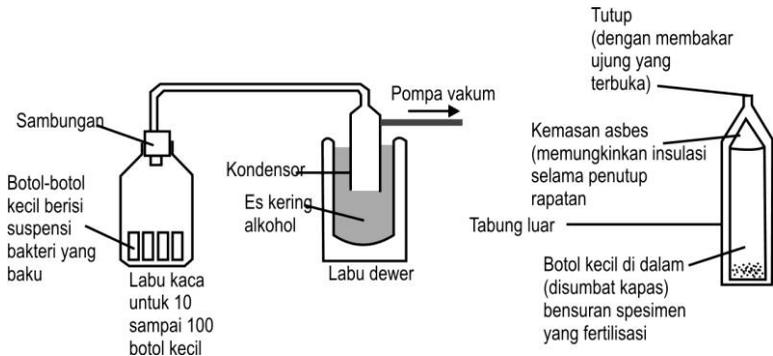
Alam di sekitar kita memiliki populasi mikroorganisme sangat banyak. Beratus-ratus spesies dari berbagai mikroorganisme menghuni pada bagian tubuh kita, termasuk mulut, saluran pencernaan, dan kulit. Mikroorganisme tersebut terdapat dalam jumlah yang luar biasa besarnya. Penelitian mengenai mikroorganisme dalam berbagai habitat ini memerlukan teknik untuk dapat memisahkan antara populasi campuran yang rumit atau biakan campuran,

menjadi spesies-spesies yang berbeda sebagai biakan murni. Biakan murni terdiri atas suatu populasi sel yang semuanya berasal dari satu sel induk.

a. *Pembiakan dan isolasi kultur murni*

Di dalam laboratorium, mikroorganismenya dibiakkan pada bahan nutrisi yang disebut **medium**. Banyak sekali medium yang tersedia, penggunaannya tergantung pada beberapa faktor, salah satu di antaranya ialah jenis mikroorganismenya yang akan ditumbuhkan.

Prosedur yang digunakan dalam pengawetan bakteri cukup banyak. Metode yang dipilih sangat tergantung pada sifat mikroorganismenya yang akan dibiakkan. Selain itu, juga sangat tergantung dari tujuan pengawetan biakan. Apakah biakan tersebut akan disimpan untuk waktu pendek (berbulan-bulan) ataukah disimpan selama waktu tak terhingga (bertahun-tahun). Proses pemeliharaan jangka pendek, biakan dapat disimpan pada suhu lemari es (0-10°C), sedangkan untuk pemeliharaan jangka panjang, dapat disimpan dalam nitrogen cair pada suhu -196°C atau dapat juga didehidrasi dalam tabung dengan dibekukan dan ditutup rapat dalam ruangan hampa. Proses ini dinamakan **liofilisasi** (Gambar 1.5).



Gambar 1.5.
Proses Liofilisasi

Beberapa botol kecil bersumbatkan kapas yang berisi suspensi beku organismenya diletakkan dalam labu kaca, yang dihubungkan dengan kondensor. Kondensor tersebut dihubungkan dengan pompa vakum tinggi, dan sistem ini mendehidrasi biakan. Setelah dehidrasi, botol dikeluarkan, lalu ditempatkan

satu-satu dalam tabung yang lebih besar, ditutup dengan kemasan asbes, dan ditutup rapat-rapat dalam ruang hampa.

b. Teknik pencirian mikroorganisme

Apabila biakan murni dari suatu jasad renik sudah diperoleh, maka selanjutnya dilakukan pemeriksaan di laboratorium, sehingga diperoleh keterangan mengenai sifat mikroorganisme. Kesahihan uji laboratorium ditentukan oleh tujuan dari uji tersebut. Apakah biakan tersebut suatu jenis mikroorganisme yang baru ataukah mikroorganisme yang sudah dikenal. Biakan perlu dicirikan secara ekstensif. Berbagai uji/metode untuk mencirikan mikroorganisme dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1.
Metode untuk Mencirikan Mikroorganisme

No.	Ciri utama	Metode
1.	Morfologi	Pengamatan spesimen dengan bantuan mikroskop cahaya atau elektron, baik diwarnai atau tidak. Teknik mikroskop elektron memungkinkan pengamatan irisan ultra tipis sel-sel mikroorganisme.
2.	Nutrisional	Penentuan substansi kimiawi dan keadaan fisik yang khusus (suhu, cahaya, dan gas) yang diperlukan untuk menunjang pertumbuhan mikroorganisme.
3.	Kultur	Penentuan bentuk koloni pertumbuhan mikroorganisme pada berbagai macam medium laboratorium, baik yang cair maupun yang padat.
4.	Metabolik	Identifikasi dan pengukuran perubahan kimiawi yang dilakukan mikroorganisme. Beberapa uji mudah dilakukan, namun hanya untuk mengetahui apakah mikroorganisme menyebabkan perubahan kimia pada suatu substansi khusus atau tidak. Contoh mengubah karbohidrat menjadi asam. Pada uji yang lain, ada metode yang mengidentifikasi sebagian besar senyawa kimia yang terlihat dalam proses metabolisme, hal ini memungkinkan untuk merekonstruksi langkah demi langkah bagaimana mikroorganisme itu menyebabkan perubahan-perubahan.
5.	Susunan kimiawi	Penentuan susunan kimiawi sebagai komponen sel. Berbagai teknik untuk memecahkan sel dan mengisolasi komponen-komponen sel yang khusus dari campuran yang diperoleh misalnya fragmen dinding sel, perubahan nukleus, dan membran. Tersedia pula prosedur laboratoris untuk menentukan susunan masing-masing komponen tersebut.
6.	Susunan antigen	Pencirian mikroorganisme, terutama pada bakteri dan virus, dengan cara penelaahan antigen, substansi kimia yang ada pada permukaannya. Antigen adalah substansi kimiawi suatu

No.	Ciri utama	Metode
7.	Patogenik	mikroorganisme yang apabila disuntikkan pada hewan akan membentuk substansi kimiawi (antibodi) yang dapat diidentifikasi dengan prosedur-prosedur laboratoris. Antigen dan antibodi merupakan bagian dari sistem imunologi yang kompleks. Penentuan potensi suatu biakan mikroorganisme. Untuk menimbulkan penyakit dilakukan dengan menginokulasi hewan atau tumbuhan dengan biakan murni mikroorganisme yang bersangkutan.

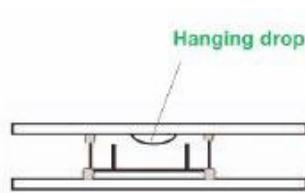
3. Pewarnaan Mikroorganisme

Biasanya untuk dapat melihat bentuk dan spesies mikroorganisme digunakan dua teknik yang umum. Dua teknik yang umum digunakan dalam mempersiapkan material atau spesimen tersebut adalah:

- a. Suspensi organisme dalam suatu cairan, dan
- b. Menggunakan lapisan tipis atau olesan spesimen yang dikeringkan, di fiksasi, dan diwarnai.

a. Teknik lekapan basah dan teknik tetes gantung

Preparat basah atau preparat tetes gantung memungkinkan untuk pemeriksaan organisme hidup yang tersuspensi dalam zat alir. Preparat basah diperoleh dengan cara menaruh setetes zat alir yang mengandung organisme pada kaca objek dan menutupnya dengan kaca sangat tipis yang dinamakan **kaca penutup**. Untuk mengurangi laju penguapan dan meniadakan aliran udara pada tetesan ini biasanya di samping kaca objek dilingkari dengan **jeli petroleum**. Kaca objek khusus dengan daerah cekung ke dalam untuk preparat tetes gantung. Preparat tetes gantung terutama berguna apabila ingin mengidentifikasi mikroorganisme tetapi morfologi mikroorganisme yang diperiksa akan rusak karena perlakuan bahan kimia atau panas, dan sukar diwarnai (Gambar 1.6).



Sumber: <http://www.nuffieldfoundation.org/practical-biology/observing-protocista-water-using-hanging-drop-technique>

Gambar 1.6.
teknik tetes gantung

b. *Teknik pewarnaan*

Keuntungan dari teknik pewarnaan ini adalah dapat:

- 1) mengamati dengan lebih baik morfologi mikroorganisme secara kasar;
- 2) mengidentifikasi bagian-bagian struktural sel mikroorganisme;
- 3) membantu mengidentifikasi dan atau membedakan organisme yang serupa.

Langkah-langkah utama dalam teknik pewarnaan ialah:

- 1) penempatan olesan atau lapisan tipis spesimen, pada kaca objek;
- 2) fiksasi olesan pada kaca objek tersebut dengan pemanasan, yaitu dengan cara melewatkan di atas api beberapa kali, agar mikroorganisme tersebut dapat melekat pada kaca objek;
- 3) diwarnai dengan pewarna tunggal (pewarnaan sederhana) atau serangkaian larutan pewarna (pewarnaan diferensial).

c. *Macam-macam pewarnaan*

1) Pewarnaan Sederhana

Pemberian warna pada bakteri atau jasad renik lain dengan menggunakan larutan tunggal suatu pewarna pada lapisan tipis atau olesan yang sudah di fiksasi, dinamakan **pewarnaan sederhana**. Lapisan tadi dimasukkan dalam larutan pewarna selama jangka waktu tertentu, kemudian larutan itu dicuci dengan air dan kaca objeknya dikeringkan dengan kertas penghisap. Sel akan terwarnai merata, kecuali bagian-bagian tertentu akan tampak terwarnai lebih gelap.

2) Pewarnaan Diferensial

Prosedur pewarnaan yang dapat menghasilkan perbedaan di antara sel-sel mikroorganisme atau bagian-bagian sel mikroorganisme

disebut teknik **pewarnaan diferensial**. Teknik ini menggunakan lebih dari satu larutan zat pewarna.

3) Pewarnaan Gram

Salah satu teknik pewarnaan diferensial yang penting dan paling luas digunakan untuk bakteri ialah **pewarnaan Gram**. Dalam proses ini olesan bakteri yang terfiksasi dikenai larutan-larutan ungu kristal, larutan yodium, alkohol (sebagai bahan pemucat), dan safranin atau beberapa pewarna tandingan lain yang sesuai. Hasil pewarnaan bakteri dengan metode Gram ini menghasilkan dua kelompok bakteri yaitu:

Bakteri Gram positif yaitu bakteri yang mempertahankan zat pewarna ungu kristal dan karenanya tampak ungu tua. Kelompok yang lain adalah **bakteri Gram negatif**, yaitu bakteri yang akan kehilangan ungu kristal ketika dicuci dengan alkohol, dan sewaktu diberi pewarna tandingan dengan warna merah safranin, tampak berwarna merah. Perbedaan warna bakteri menjadi ungu dan merah disebabkan oleh perbedaan struktur kimiawi bakteri tersebut. Teknik pewarnaan Gram ini pertama kali dipublikasikan pada tahun 1884 oleh seorang ahli Bakteriologi Denmark, Christian Gram.

B. PENCEGAHAN DAN PENGOBATAN PENYAKIT YANG DISEBABKAN MIKROORGANISME

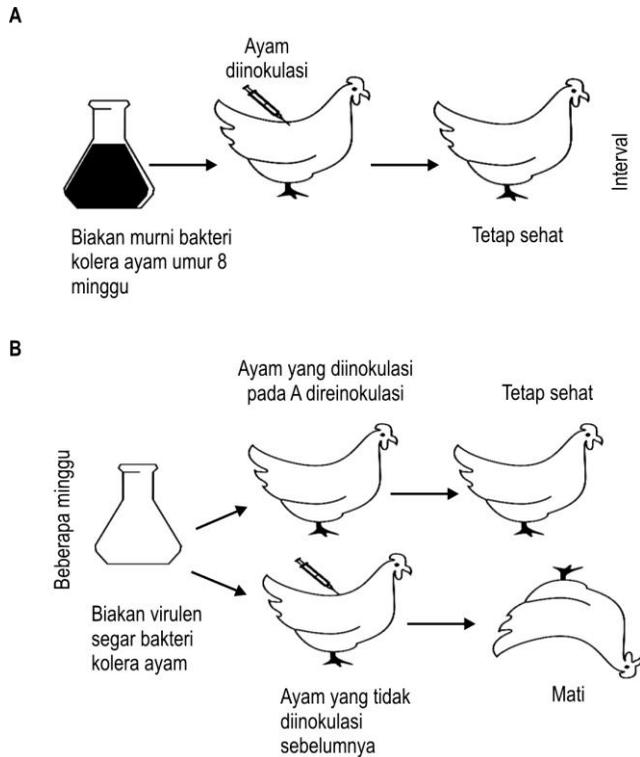
Sejak dipastikannya jasad renik merupakan penyebab penyakit tertentu, banyak perhatian ditujukan pada upaya pencegahan dan pengobatan terhadap penyakit tersebut. **Penyebab etiologis** (agen kausatif) untuk sebagian penyebab penyakit bakterial seperti pes, difteri, cacar, dan kolera yang dikenal sampai sekarang, merupakan penyakit yang telah ditemukan sejak berabad-abad lamanya.

Beberapa metode pencegahan dan pengobatan bertujuan untuk memberantas penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisme berkembang sampai sekarang antara lain, imunisasi (misalnya vaksinasi), antiseptis (cara-cara untuk meniadakan atau mengurangi kemungkinan infeksi), kemoterapi (perawatan pasien dengan bahan kimia), dan cara-cara kesehatan di dalam masyarakat (misalnya pemurnian air, pembuangan limbah, dan pengawetan makanan).

1. Imunisasi

Pasteur melanjutkan penemuan mengenai penyebab dan pencegahan penyakit menular. Sekitar tahun 1880 Pasteur mengisolasi bakteri yang menjadi penyebab kolera ayam dan menumbuhkannya pada biakan murni. Sebagai bukti bahwa Pasteur sudah berhasil mengisolasi bakteri penyebab penyakit tersebut maka Pasteur menggunakan teknik-teknik dasar yang dikemukakan Koch.

Gambar 1.7 memberikan ilustrasi serangkaian percobaan yang dilakukan Pasteur di depan masyarakat secara demonstrasi. Diawali dengan penyuntikan biakan murni terhadap ayam-ayam sehat, hingga ditunggu sampai terserang kolera ayam, yang pada akhirnya nanti akan mati. Ternyata ayam-ayam itu tidak menjadi sakit apalagi mati. Setelah ditelusuri pada setiap langkah dalam percobaannya, maka diketahui bahwa secara tidak sengaja telah digunakan biakan yang sudah disimpan beberapa minggu. Bukan biakan segar yang khusus ditumbuhkan untuk percobaan tersebut. Percobaan diulang kembali dengan dua kelompok ayam. Kelompok pertama, pada awalnya diinokulasi dengan biakan tua yang tidak efektif dan kelompok kedua, yang belum pernah dikenai biakan tersebut. Kemudian kedua kelompok tersebut diinokulasi dengan bakteri dari biakan segar dan baru. Kelompok kedua menjadi sakit dan mati, tetapi pada kelompok pertama tetap sehat. Hal ini menyebabkan Pasteur terheran-heran, namun segera diketahui penjelasannya. Pasteur menemukan bahwa bakteri dapat kehilangan **virulensinya**, atau kemampuannya untuk menimbulkan penyakit, setelah dibiarkan tumbuh dan menjadi tua. Bakteri yang **teratenuasi** (kurang virulen) tersebut masih dapat merangsang inangnya (dalam hal ini ayam) untuk membentuk antibodi yang merupakan substansi pelindung bagi inang terhadap infeksi berikutnya oleh organisme virulen atau bakteri yang sama.



Gambar 1.7.
Dua Kelompok Ayam Percobaan Pasteur

Prinsip imunisasi sebagaimana didemonstrasikan oleh Pasteur, sebagai berikut. Pada awalnya ayam-ayam diinokulasi dengan biakan bakteri kolera berumur beberapa minggu namun ayam-ayam tersebut masih tetap sehat. Beberapa minggu kemudian, Pasteur menginokulasi ayam-ayam tersebut dengan biakan segar bakteri kolera ayam. Biakan virulen yang segar ini **tidak** membuat ayam-ayam itu sakit, tetapi membunuh ayam-ayam yang belum diinokulasi dengan biakan yang diatenuasikan sebelumnya. Percobaan ini menunjukkan bahwa biakan tua bakteri kolera ayam, tidak mampu menimbulkan penyakit, tetapi dapat menyebabkan ayam tersebut menghasilkan substansi pelindung yang disebut **antibodi** di dalam darahnya.

Pada tahap berikutnya Pasteur menerapkan prinsip inokulasi dengan biakan yang diatenuasi (dilemahkan sehingga menjadi kurang virulen)

terhadap pencegahan antraks, dan ternyata berhasil juga. Biakan bakteri yang diatenuasi tersebut dinamakan **vaksin** (istilah yang diturunkan dari bahasa latin *vacca* yang berarti sapi) dan imunisasi dengan biakan bakteri yang diatenuasi disebut **vaksinasi**. Pasteur mendukung pendapat Edward Jenner (1749-1823) yang telah berhasil memvaksinasi seorang anak laki-laki terhadap cacar pada tahun 1796.

Pasteur menjadi terkenal di seluruh Perancis, dan banyak orang mengira bahwa dia dapat berbuat keajaiban dengan bakteri dan pengendalian infeksi. Tidaklah mengherankan apabila Pasteur disuruh membuat vaksin untuk **hidrofobia** atau **rabies**, yaitu suatu penyakit yang ditularkan pada manusia melalui gigitan anjing, kucing, atau binatang lain. Walaupun penyebab penyakit rabies belum diketahui, namun Pasteur mempunyai keyakinan bahwa yang menyebabkan penyakit tersebut adalah mikroorganisme. Pasteur mencoba membuat vaksin yang diawali dengan menginokulasi kelinci dengan cara menyuntik kelinci tersebut dengan air liur anjing yang sakit gila. Pada akhirnya kelinci itu mati, selanjutnya Pasteur mengeluarkan otak dan urat saraf tulang belakang kelinci, kemudian dikeringkan selama beberapa hari, ditumbuk halus, dan disuspensikan di dalam cairan. Anjing yang diinokulasi dengan campuran ini menjadi terlindung dari penyakit rabies. Pada langkah berikutnya vaksin tersebut juga dicobakan untuk pertama kalinya kepada seorang anak bernama Joseph Meister yang digigit anjing gila dan anak tersebut berhasil selamat.

2. Fagositosis

Dalam waktu yang bersamaan, **Elie Metchnikoff** (1845-1916) yang bekerja di laboratorium Pasteur, mengamati bahwa leukosit sejenis sel dalam darah manusia, dapat memakan bakteri penyebab penyakit yang ada dalam tubuh. Pelindung terhadap infeksi ini dinamakan **fagosit** atau pemakan sel dan prosesnya disebut **fagositosis** (Gambar 1.8). Menurut hasil pengamatan tersebut, Metchnikoff membuat hipotesis bahwa fagosit merupakan barisan pertahanan pertama terpenting bagi si penderita terhadap mikroorganisme yang menyerang tubuhnya. **Fagositosis** adalah suatu mekanisme pertahanan alamiah terhadap penyakit. Serangkaian (tiga langkah) proses fagositosis diperlihatkan dalam Gambar 1.8, yaitu dimakannya (ditelannya) benda-benda partikulat oleh sel-sel terte.



Gambar 1.8.
Fagositosis

3. Antiseptis

Dalam pengertian umum, kata septis berarti infeksi, **antiseptis** adalah cara-cara pemberantasan atau pencegahan suatu infeksi. Pada tahun 1860-an seorang ahli bedah Inggris, **Joseph Lister** (1827-1912), mempelajari cara-cara menjauhkan mikroorganisme dari luka dan torehan yang dibuat para ahli bedah. Hal ini terjadi karena angka kasus kematian akibat pembedahan tersebut tinggi sekali, sebagai contoh pada tahun 1864, Lister mencatat 45% pasiennya sendiri meninggal setelah pembedahan. Pada waktu itu belum dikenal desinfektan, tetapi sudah diketahui bahwa asam karbolat (fenol) memiliki kemampuan dapat membunuh bakteri. Akhirnya Lister memutuskan untuk menggunakan larutan encer asam tersebut guna merendat perlengkapan bedah dan menyemprot ruang bedah. Luka dan torehan pada tubuh pasien yang dilindungi dengan cara demikian, menyebabkan jarang terkena infeksi dan mempercepat pasien menjadi sembuh. Demikian gemilangnya keberhasilan tersebut sehingga tekniknya cepat diterima oleh para ahli bedah lain. Praktik antiseptis inilah yang mendasari prinsip teknik aseptik masa kini yang digunakan untuk mencegah masuknya mikroorganisme ke dalam luka atau insisi (torehan).

Sekarang banyak sekali zat kimia seperti alkohol, larutan yodium, dan juga teknik fisika seperti penggunaan saringan udara dan lampu ultra violet germisidal (dapat membunuh kuman), dapat digunakan untuk menurunkan jumlah mikroorganisme di tempat-tempat seperti kamar bedah dan kamar anak untuk perawatan bayi prematur.

4. Kemoterapi

Bahan kimia telah digunakan sejak lama untuk memberantas penyakit, seperti air raksa digunakan untuk mengobati sipilis sejak tahun 1495 dan pegagan Kina di Amerika Selatan digunakan sejak Abad ke-17 untuk melawan Malaria. Namun demikian, baru setelah ada penelitian dan tulisan yang cemerlang oleh ahli fisika Jerman **Paul Ehrlich** (1845-1915),

kemoterapi modern baru dimulai. Penelitian Ehrlich bertujuan untuk mengembangkan bahan-bahan kimia yang bersifat mampu membunuh mikroorganisme-mikroorganisme tertentu tanpa merugikan penderita. Secara sistematis Ehrlich mensintesis beratus-ratus senyawa dalam usahanya mencari bahan kemoterapeutik yang berpotensi. Pada tahun 1909 diketahui bahwa senyawa arsenat **Salvarsan** yaitu senyawa ke-606 dari suatu seri yang disintesis Ehrlich mampu membunuh bakteri penyebab sifilis.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan konsep biakan murni!
- 2) Jelaskan cara mewarnai mikroorganisme sehingga mudah dilihat dengan mikroskop dan ada berapa macam pewarnaan!
- 3) Jelaskan prinsip-prinsip pencirian mikroorganisme!
- 4) Jelaskan beberapa cara pencegahan penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisme!
- 5) Jelaskan proses fagositosis!

Petunjuk Jawaban Latihan

Latihan soal tersebut di atas dapat dijawab, apabila Anda baca kembali tentang:

- 1) Topik konsepsi biakan murni, pasti Anda dapat menjawabnya!
- 2) Topik pewarnaan mikroorganisme.
- 3) Langkah-langkah pencirian mikroorganisme.
- 4) Cara pencegahan dan penanggulangan penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisme.
- 5) Proses fagositosis!



RANGKUMAN

Selama periode tahun 1860 dan tahun 1900, banyak dilakukan penemuan dasar yang penting. Perkembangan teori nutfah penyakit pada tahun 1876, secara tiba-tiba menimbulkan minat terhadap prosedur laboratoris untuk mengisolasi dan mencirikan mikroorganisme. Pada periode ini ditemukan banyak mikroorganisme penyebab penyakit dan metode-metode untuk mencegah, mendiagnosis, serta mengobati penyakit-penyakit tersebut. Penemuan-penemuan di bidang mikrobiologi kedokteran membawa perombakan yang besar dan cepat di dalam praktek kedokteran. Ditemukannya berbagai metode pewarnaan bakteri juga sangat mendukung perkembangan penelitian tentang penyakit, terutama setelah ditemukan media *agar* untuk pertumbuhan mikroorganisme.

Penelaahan mikroorganisme di laboratorium dilakukan untuk berbagai tujuan. Salah satu contoh untuk mengetahui ciri-ciri di antara mikroorganisme yang berbeda secara morfologi, atau untuk mengetahui proses fisiologi yang dilakukan mikroorganisme. Pada umumnya metode-metode yang tersedia bagi para mikrobiologiawan memungkinkan untuk pencirian mikroorganisme.



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Sekelompok massa sel yang dapat dilihat dengan kasat mata dalam lempeng Petri disebut
 - A. biakan murni
 - B. biakan
 - C. sel mikroorganisme
 - D. koloni

- 2) Suatu cara untuk meniadakan atau mengurangi infeksi disebut sebagai
 - A. septis
 - B. antiseptis
 - C. desinfektan
 - D. sterilisasi

- 3) Seorang ahli yang pertama kali melihat mikroorganisme dengan menggunakan mikroskop adalah
 - A. John Needham
 - B. Louis Pasteur
 - C. Leeuwenhoek
 - D. John Tyndall

- 4) Langkah pada pewarnaan Gram yang bertujuan agar mikroorganisme melekat pada gelas objek disebut
 - A. olesan
 - B. fiksasi
 - C. pewarnaan
 - D. penempelan

- 5) Pada pewarnaan Gram, bakteri Gram positif akan
 - A. mempertahankan zat warna safranin (merah)
 - B. kehilangan ungu kristal ketika dicuci alkohol
 - C. kehilangan warna safranin menjadi tidak berwarna
 - D. mempertahankan zat pewarna ungu

- 6) Biakan murni terdiri atas
 - A. suatu populasi sel yang semuanya berasal dari satu sel induk
 - B. suatu populasi sel yang semuanya berasal dari dua sel induk
 - C. suatu populasi sel yang sebagian berasal dari satu sel induk
 - D. suatu populasi sel yang sebagian berasal dari satu sel induk

- 7) Proses pengawetan mikroorganisme dengan cara didehidrasi dalam tabung dengan dibekukan dan ditutup rapat dalam ruangan hampa ini dinamakan
 - A. liofilisasi
 - B. fagositosis
 - C. sterilisasi
 - D. fermentasi

- Pilihlah A jika 1 dan 2 benar**
B jika 1 dan 3 benar
C jika 2 dan 3 benar
D jika 1, 2, dan 3 benar

- 8) Zat kimia yang dapat digunakan untuk menurunkan jumlah mikroorganisme adalah
1. alkohol
 2. larutan yodium
 3. lugol
- 9) Berbagai metode pewarnaan bakteri antara lain pewarnaan
1. sederhana
 2. diferensial
 3. Gram
- 10) Beberapa metode pencegahan dan pengobatan bertujuan untuk memberantas penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisme antara lain
1. imunisasi (misalnya vaksinasi), kemoterapi (perawatan pasien dengan bahan kimia)
 2. cara-cara kesehatan di dalam masyarakat (misalnya pemurnian air, pembuangan limbah, dan pengawetan makanan)
 3. antiseptis (cara-cara untuk meniadakan atau mengurangi kemungkinan infeksi)

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

- Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 3. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 3

Kegunaan Mikrobiologi

Mikrobiologi berkembang seiring dengan kebutuhan dan masalah yang ada di alam ini. Masalah yang dimaksud di antaranya masalah pangan, lingkungan, dan juga penyakit yang akhirnya menghasilkan teknik baru untuk memanipulasi mikroorganisme yang ada guna memenuhi kepentingan hidup manusia, dan dikenal dengan **bioteknologi**.

Bioteknologi berasal dari istilah latin yaitu *bio* (hidup), *tekno* (teknologi = penerapan), dan *logos* (ilmu), secara harfiah berarti ilmu yang menerapkan prinsip-prinsip biologi. Pengertian bioteknologi yang lebih lengkap adalah pemanfaatan prinsip-prinsip dan kereyakasaan terhadap organisme, sistem, atau proses biologis untuk menghasilkan atau meningkatkan potensi organisme maupun menghasilkan produk dan jasa bagi kepentingan hidup manusia.

Dalam hal produk misalnya, mikroorganisme menghasilkan berbagai macam zat seperti vitamin, asam organik, membantu manusia membuat berbagai macam minuman seperti alkohol, anggur, berbagai macam makanan seperti kecap, tauco, oncom, tempe, terasi, pindang, dan sebagainya. Dalam hal jasa, mikroorganisme dapat membantu manusia untuk menganalisis kandungan suatu bahan tertentu (*bioassay*), membantu manusia dalam hal menambang logam-logam tertentu (*biomining*). Terakhir di dalam rekayasa genetika, jasa mikroorganisme seperti virus amat dibutuhkan untuk memindahkan potongan DNA dari suatu sel ke sel yang lain.

Mikroorganisme dapat juga menjadi musuh manusia, karena kerugian yang ditimbulkannya. Kerugian yang dimaksud seperti timbulnya penyakit pada manusia, hewan ternak, dan tanaman budidaya. Penyakit pada manusia dari penyakit ringan seperti panu, ketombe, sampai penyakit berat seperti TBC, paru-paru basah, dan AIDS. Penyakit-penyakit tersebut disebabkan oleh mikroorganisme. Mikroorganisme juga dapat menyebabkan kerusakan pada bahan pangan dan menimbulkan keracunan. Banyak mikroorganisme yang menghasilkan racun berbahaya bagi manusia.

A. APLIKASI MIKROBIOLOGI DAN PERANAN MIKROORGANISME MENGUNTUNGAN

Keberadaan mikroorganisme di alam ini, ada yang menguntungkan namun ada juga yang merugikan kehidupan manusia. Berikut ini diberikan beberapa contoh terapan mikrobiologi yang menguntungkan dalam kehidupan manusia.

1. Fermentasi

Mikroorganisme memiliki kemampuan mengubah nilai gizi makanan atau minuman. Proses fermentasi merupakan perubahan enzimatik substrat secara anaerob, dari senyawa organik menjadi produk organik yang lebih sederhana. Aktivitas mikroorganisme dalam fermentasi antara lain mampu mengubah ampas tahu atau kacang kedelai menjadi oncom, mampu mengubah kacang kedelai menjadi tempe atau kecap, mengubah buah anggur menjadi minuman anggur, dan mengubah ketan hitam atau putih menjadi arak hitam atau putih.

Pada proses fermentasi mikroorganisme menyebabkan perubahan senyawa-senyawa kompleks pada makanan atau minuman menjadi senyawa lebih sederhana dan mampu meningkatkan cita rasa dan aroma makanan atau minuman. Perubahan ini disebabkan oleh pengaruh mikroorganisme seperti *Neurospora* dengan enzim yang dikandungnya.

Neurospora mengeluarkan enzim amilase, lipase, dan protease yang aktif selama proses fermentasi. Selain itu, juga menguraikan bahan-bahan dinding sel ampas kacang kedelai, singkong, atau kelapa. Fermentasi pada pembuatan oncom menyebabkan terbentuknya sedikit alkohol dan berbagai ester yang beraroma sedap.

Contoh proses fermentasi lainnya terjadi pada beberapa proses berikut.

- a. Kedelai diubah menjadi tempe. Tempe memiliki nilai lebih tinggi daripada kedelai karena lebih mudah dicerna, dan dapat dimanipulasi menjadi banyak jenis makanan dibandingkan kedelai.
- b. Ikan dan udang yang membusuk, setelah difermentasi menjadi terasi oleh mikroorganisme, dapat dimanfaatkan kembali untuk bahan makanan.
- c. Glukosa melalui fermentasi secara sinergisme, dapat dihasilkan beragam produk menggunakan jasa mikroorganisme. Sinergis itu terjadi pada proses perubahan tepung menjadi glukosa, kemudian glukosa diubah

menjadi alkohol, asam cuka, dan selanjutnya menjadi metana. Gas yang terakhir ini dikenal dengan nama **biogas**.

Pada proses tersebut di atas terlibat beberapa mikroorganisme seperti *Aspergillus* (jamur/kapang), *Saccharomyces* (jamur/khamir), *Acetobacter* (bakteri), dan *Methanobacterium* (bakteri). Contoh lain pemanfaatan jasa mikroorganisme ini ialah pada proses hidrolisis pati dengan menggunakan mikroorganisme *Bacillus subtilis* yang memiliki enzim amilase dan *Aspergillus niger* yang memiliki enzim amiloglukosidase, fermentasi susu dan turunannya menggunakan jasa *Streptococcus* dan *Lactobacillus*.

Beberapa contoh produk fermentasi, bahan baku, dan mikroorganisme pelaku ditunjukkan pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2.
Daftar Makanan Hasil Fermentasi

Nama makanan/ minuman	Bahan baku	Mikrobia Pelaku
Keju	Susu	<i>Lactobacillus</i>
Yoghurt	Susu	<i>Streptococcus/Lactobacillus</i>
Acar	Mentimun	<i>Pediococcus</i>
Sake	Padi	<i>Aspergillus oryzae</i> <i>Saccharomyces sake</i>
Bir	Gandum	<i>Saccharomyces</i> sp.
Saus kedelai	Biji kedelai	<i>Aspergillus</i>
Vinegar	Etanol anggur	<i>Acetobacter</i>
Anggur (wine)	Buah anggur	<i>Saccharomyces</i>
Roti	Tepung terigu	<i>Saccharomyces</i>
Tempe	Kedelai	<i>Rhizopus oligosporus</i>
Tempe bongkrek	Ampas kelapa + kedelai	<i>R. oligosporus</i>
Oncom	Ampas kacang tanah	<i>R. stolonifer</i>
Kecap	Kedelai hitam	<i>Neurospora crassa</i>
Tauco	Kedelai	<i>A. wendtii</i>
Pindang Makassar	Ikan laut	<i>R. oligosporus</i>
Terasi	Ikan + tepung	<i>Lactobacillus</i>
Pindang Garut	Ikan air tawar	<i>Lactobacillus</i>
Petis	Ikan/udang	<i>Lactobacillus</i>
Asinan	Sayur/buah	<i>Lactobacillus</i>

Contoh fermentasi lainnya adalah pembuatan kefir. **Kefir** merupakan produk susu yang berasa asam, alkoholik, dan karbonat. Di Rusia, kefir merupakan minuman populer yang diproduksi dan diperdagangkan dalam

jumlah besar. Butiran bibit kefir yang dibutuhkan untuk membuat susu kefir banyak dijual di toko-toko makanan. Para ibu rumah tangga biasanya membuat kefir untuk keluarganya. Kefir juga dapat diproduksi di Eropa Barat dan Amerika Serikat. Pembuatan kefir merupakan salah satu cara yang murah untuk mengawetkan susu. Metode pembuatannya pun cukup sederhana sehingga dapat dilakukan dalam skala rumah tangga. Kefir dibuat dari susu dan butiran bibit kefir. Bahan susu dapat diambil dari susu kambing, domba, atau sapi. Bibit kefir dapat dibeli atau diperoleh dari "sisa" kefir sebelumnya. Apabila disimpan secara benar, bibit kefir dapat digunakan kembali untuk beberapa kali tanpa batas.

Susu bahan kefir mula-mula dipasteurisasi (dipanaskan pada suhu 85°C selama 30 menit) dan didinginkan dalam wadah berbahan gelas hingga mencapai suhu kamar (18-25°C). Kemudian ditambahkan butiran bibit kefir sebanyak 5-6% (50-60 g bibit kefir untuk 1 liter susu). Campuran susu dan bibit kefir diinkubasi dengan cara ditinggalkan pada suhu kamar selama 24-48 jam, sampai terjadi penggumpalan sempurna. Selanjutnya, kefir disaring untuk memisahkan butiran kefir yang dapat digunakan untuk pembuatan kefir berikutnya. Susu kefir hasil saringan dapat ditingkatkan cita rasanya (*flavor*) dengan menginkubasikan kembali selama 24 jam pada suhu kamar atau akan lebih baik kalau disimpan dalam lemari es pada suhu 8°C selama 24 jam. Susu kefir dapat disimpan pada suhu tersebut minimal selama satu minggu.

Bibit kefir terdiri atas granula (butiran) yang berukuran kira-kira sebesar biji gandum sampai biji kenari. Butiran itu tumbuh dari ukuran sangat kecil dan akan terus tumbuh selama inkubasi. Sebanyak 50 g butiran kefir basah dapat tumbuh menjadi dua kali lipat dalam 7-10 hari jika dipindahkan ke dalam 500 ml susu segar dalam waktu enam minggu. Cara untuk menumbuhkan bibit kefir dapat digunakan susu penuh, susu skim, atau *whey* susu yang telah dinetralkan.

Butiran-butiran bibit kefir terdiri atas mikroorganisme yang dikelilingi oleh matriks berbentuk lendir, Matriks tersebut terdiri atas gula polisakarida yang disebut **kefiran** (ini diproduksi oleh bakteri tertentu). Bibit kefir juga terdiri atas campuran berbagai bakteri dan khamir (*ragi*) yang masing-masing mikroorganisme tersebut berperan dalam pembentukan cita rasa dan struktur kefir.

Beberapa spesies yang terdapat dalam bibit kefir di antaranya *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus acidophilus*, *L. kefir*, *L. kefirgranum*, dan *L. parakefir* yang berfungsi dalam pembentukan asam laktat dari laktosa.

L. kefiranofaciens sebagai pembentuk lendir (matriks butiran kefir), *Leuconostoc* sp. membentuk diasetil dari sitrat, dan *Candida kefir* pembentuk etanol dan karbondioksida dari laktosa. Selain itu juga ditemukan *L. brevis* dan khamir (*Torulopsis holmii* dan *Saccharomyces delbrueckii*).

Bibit kefir tidak dapat dikeringkan dengan pemanasan karena sebagian mikroorganisme di dalamnya akan mati. Bibit kefir masih aktif jika diawetkan dengan cara pengeringan beku (*freeze drying*). Cara terbaik menyimpan bibit kefir adalah dengan memindahkan bibit kefir lama ke dalam susu yang dipasteurisasi secara berkala, kemudian diinkubasi semalam dan disimpan dalam lemari es bersuhu 4-7°C. Dalam kondisi seperti ini bibit kefir tetap aktif selama kurang lebih sebulan.

Selama proses fermentasi terjadi perubahan biokimia dari substrat akibat aktivitas bakteri asam laktat heterofermentasi dan khamir alkoholik. Keasaman kefir meningkat dari 0,85% menjadi 1,0% (dihitung sebagai asam laktat) dan pH menurun sampai di bawah 3,0. Selain itu, terbentuk karbon dioksida sehingga produk mempunyai rasa karbonat. Perubahan itu membentuk cita rasa kefir seperti yang diinginkan. Selama fermentasi terbentuk polimer yang terdiri atas unit-unit gula (galaktosa dan glukosa) dalam jumlah sama yang disebut **kefiran**. Kefiran berjumlah sekitar 25% dari berat kering butiran kefir dan disintesis bersama sel mikroorganisme baru. Selama fermentasi juga terbentuk senyawa aseton dan diasetil.

Kandungan gizi kefir hampir sama dengan gizi susu bahan kefir. Kelebihan gizi kefir dibandingkan dengan susu segar adalah karena asam yang terbentuk dapat memperpanjang masa simpan, mencegah pertumbuhan mikroorganisme pembusuk sehingga mencegah kerusakan susu, dan mencegah pertumbuhan mikroorganisme patogen sehingga meningkatkan keamanan produk kefir.

Bakteri asam laktat dalam kefir mempunyai berbagai manfaat untuk kesehatan. Di antaranya sebagai probiotik yang mampu menekan pertumbuhan bakteri penyebab penyakit saluran pencernaan, karena bakteri asam laktat memproduksi senyawa antimikroorganisme, antara lain bakteriosin, hidrogen peroksida, dan berbagai antibiotik. Bakteri asam laktat membentuk koloni dan menciptakan lingkungan dalam saluran pencernaan sedemikian rupa sehingga dapat mencegah pertumbuhan bakteri patogen yang masuk ke tubuh, dengan demikian mampu mencegah diare yang disebabkan bakteri patogen.

Bakteri asam laktat juga dapat mencegah infeksi saluran urine, mengurangi risiko timbulnya kanker atau tumor pada saluran pencernaan dan organ lain, menurunkan kadar kolesterol serum darah, mengurangi risiko penyakit jantung koroner, merangsang terbentuknya sistem imun, membantu penderita *lactose intolerance* dalam mengonsumsi susu, dan memperlancar buang air besar. Oleh karena bermanfaat untuk kesehatan, kefir digolongkan dalam minuman fungsional.

Dasar ilmiah atas dugaan bahwa mengonsumsi produk fermentasi susu yang mengandung bakteri asam laktat mampu menurunkan kadar kolesterol serum darah sehingga menurunkan risiko penyakit jantung koroner, belum terbukti secara ilmiah. Namun begitu, terdapat beberapa penelitian yang memperkuat dugaan tersebut, yaitu:

1. Beberapa galur (*strain*) bakteri asam laktat mampu melakukan metabolisme kolesterol dari makanan dalam usus halus sehingga tidak diserap tubuh.
2. Beberapa galur bakteri asam laktat mampu melakukan dekonjugasi garam bila dalam usus halus untuk mencegah absorpsi kembali oleh tubuh sehingga merangsang hati untuk mensintesis lebih banyak garam bila dari kolesterol serum. Dua hal tersebut dapat menurunkan kadar kolesterol serum.

Selain itu beberapa penelitian juga membuktikan bahwa mengonsumsi produk fermentasi susu yang mengandung bakteri asam laktat dapat menurunkan risiko timbulnya kanker atau tumor dalam saluran pencernaan. Sebab, bakteri asam laktat yang hidup dalam produk fermentasi susu menekan pertumbuhan bakteri lain di dalam saluran pencernaan. Sementara bakteri yang tidak diinginkan dalam saluran pencernaan memproduksi beberapa enzim tertentu, misalnya betaglukuronidase dan azoreduktase yang dapat mengubah senyawa prokarsinogen dalam makanan menjadi karsinogen (misalnya nitrit menjadi nitrosamin), yaitu senyawa penyebab kanker.

Kontrol terhadap pertumbuhan bakteri yang tidak diinginkan itu dapat menurunkan pembentukan karsinogen sehingga mengurangi risiko kanker kolon (usus besar). Bakteri asam laktat juga merangsang pergerakan isi saluran pencernaan sehingga menurunkan konsentrasi prokarsinogen dan karsinogen dalam saluran pencernaan.

Lactose-intolerance atau ketidakmampuan mencerna laktosa itu terjadi karena seseorang tidak dapat memproduksi enzim beta-galaktosidase oleh sel

epitel usus halus akibat kelainan genetik. Jika orang tersebut mengonsumsi susu, laktosa dalam usus halus tidak dapat dicerna menjadi galaktosa dan glukosa sebelum diangkut ke dalam tubuh untuk metabolisme lebih lanjut. Molekul laktosa yang tidak dapat diserap tubuh kemudian masuk ke dalam usus besar dan dihidrolisis oleh bakteri yang memproduksi beta-galaktosidase. Galaktosa dan glukosa yang terbentuk akan dimetabolisme oleh bakteri homofermentatif dan heterofermentatif yang menghasilkan asam dan sejumlah gas di dalam usus besar sehingga orang tersebut akan menderita diare, kembung, dan sakit perut.

Produk fermentasi susu sangat baik bagi penderita *lactose-intolerance* karena sebagian besar laktosa sudah dipecah oleh bakteri asam laktat sehingga kandungan laktosanya rendah. Selain itu bibit (*starter*) kefir juga merupakan sumber enzim beta-galaktosidase untuk memecah laktosa dalam susu.

2. Protein Sel Tunggal

Protein sel tunggal adalah pemanfaatan mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan algae untuk memenuhi kebutuhan protein manusia. Protein sel tunggal ini dikembangkan karena melihat sifat mikroorganisme yang mampu melakukan reproduksi jauh lebih cepat daripada hewan dan tumbuhan. Bakteri mampu berbiak hanya dalam waktu kurang dari 1 jam pada kondisi yang optimum. Waktu generasi ragi 1-3 jam, algae 2-6 jam, sementara yang agak lama ialah kapang 4-12 jam. Keunggulan tersebut dan ditambah dengan kenyataan bahwa sel-sel mikroorganisme umumnya kaya akan protein yaitu kurang lebih 80%-nya menyebabkan dapat diproduksi protein sel tunggal.

Bertolak dari dua pokok pikiran tersebut, maka kemampuan mikroorganisme untuk menghasilkan protein jauh lebih cepat daripada organisme yang manapun. Sebagai bahan perbandingan: 500 kg sapi mampu menghasilkan protein hanya berjumlah 1 kg/hari, 500 kg tanaman kedelai hanya mampu menghasilkan protein 40 kg per hari. Sementara itu, 500 kg ragi mampu menghasilkan 50 ton protein per hari (McKane, 1996).

Produksi protein yang demikian cepat dan kandungan asam amino esensial yang lengkap dari organisme yang digunakan sebagai **protein sel tunggal (PST)** mempunyai nilai komparatif lebih baik dari pada protein yang dihasilkan oleh tumbuhan yang cenderung terjadi defisiensi asam amino lisin. Alasan penting lainnya adalah bahwa protein sel tunggal dapat diproduksi dengan biaya murah dengan bahan baku yang amat berlimpah di Indonesia.

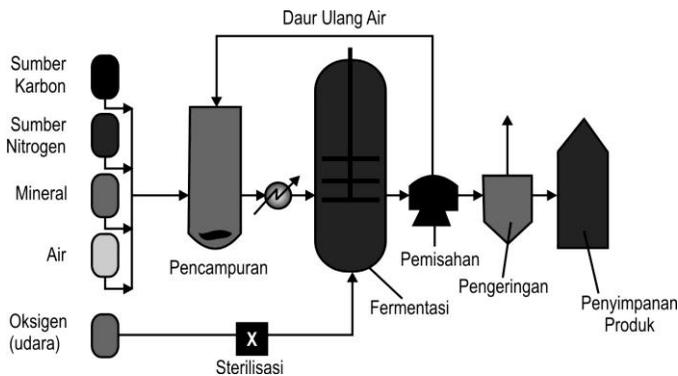
Bahan baku protein sel tunggal dapat berasal dari berbagai limbah, limbah pabrik kulit, limbah pabrik kertas, minyak bumi, dan sebagainya.

Pada proses pembuatan protein sel tunggal, mikroorganisme potensial dibiakkan di dalam substrat yang terbuat dari berbagai macam limbah tadi. Di Indonesia pernah dicoba pembuatan PST dengan menggunakan bahan baku minyak bumi, tepung tapioka, molase, sulfit (limbah pabrik kertas), dan sebagainya. Minyak bumi merupakan bahan baku yang pertama dan paling efisien di dalam pembuatan PST. Namun minyak bumi juga sangat diperlukan sebagai bahan bakar, sehingga tidak populer. Indonesia sebagai negara agraris amat kaya dengan bahan baku lain.

Tidak semua mikroorganisme dapat digunakan dalam proses pembuatan PST, beberapa persyaratan yang perlu dipenuhi, antara lain:

- Selama proses tidak menghasilkan racun.
- Tidak memerlukan persyaratan hidup yang rumit.
- Cepat tumbuh dan berbiak.
- Mudah dipanen.

Beberapa mikroba yang memiliki potensial dalam produksi PST antara lain dari kelompok bakteri: *Bacillus*, *Hydrogenomonas*, *Methanomonas*, *Pseudomonas*, kelompok ragi: *Candida*, *Rhodotularia*, *Endomycopsis*, *Saccharomyces*, kelompok jamur: *Pleurotus*, *Agaricus*, *Lentinus*, dan kelompok mikroalga: *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Spirulina*. *Chlorella*, selain sebagai bahan baku produksi PST, juga merupakan bahan makanan tambahan untuk manusia yang banyak dipasarkan pada saat sekarang yang dijual dalam bentuk kemasan kaleng. Demikian pula dengan *Spirulina*. Diagram proses produksi PST disajikan dalam Gambar 1.9 berikut.



Gambar 1.9.

Diagram Umum Proses/Tahapan Produksi SCP (*Single Cell Protein*)

3. Biosensor

Biosensor ialah alat yang mengandung materi biologi (organisme hidup atau produk sel) dan memiliki kemampuan merespon terhadap zat kimia spesifik. Respon inilah yang dihubungkan dengan sistem sensor dan dipantau melalui instrumen elektrik yang dapat dibaca. Biosensor banyak digunakan di bidang pemantauan lingkungan dan kesehatan, sebagai contoh: racun metabolik yang terdapat di dalam air dapat dideteksi dengan mengukur intensitas cahaya yang dihasilkan oleh sel-sel bakteri pada peristiwa luminisens.

Bakteri *Photobacterium phosphoreum* dapat menghasilkan cahaya bila tersedia ATP. Oleh karena itu senyawa yang menghambat metabolisme (yang berarti juga menghambat pembentukan ATP) akan mereduksi kemampuan sel untuk menghasilkan cahaya, dengan detektor cahaya dapat dibaca intensitas cahaya yang dihasilkan, yang kemudian diterjemahkan ke dalam ada atau tidak adanya senyawa racun metabolik tadi.

Penggunaan lain dari biosensor ialah untuk mengukur kadar glukosa di dalam darah. Alat ini terdiri atas reseptor glukosa. Bila reseptor glukosa ini ditetesi dengan sampel darah yang akan diukur maka akan mengikat glukosa yang terdapat di dalam darah tersebut. Berapa banyak molekul glukosa yang berikatan dengan reseptor glukosa ini menunjukkan kadar glukosa darah dan dapat dibaca pada skala yang tersedia pada alat tersebut.

4. Pengendalian Hayati

Pengendalian hayati menawarkan pilihan atau tambahan yang atraktif terhadap penggunaan metode konvensional untuk mengendalikan penyakit tanaman. Agensi pengendali hayati mikroorganisme lebih disukai karena kurang merugikan terhadap lingkungan tetapi kinerja aksinya lebih rumit sehingga membuat agensi tidak mudah mengembangkan ketahanannya.

Keberhasilan dan kegagalan pengendalian hayati di dalam mengendalikan patogen tanaman sangat tergantung pada mekanisme yang dipunyai agensi pengendali hayati. Setiap mikroorganisme antagonis mempunyai mekanisme tersendiri, dan dapat mempunyai lebih dari satu mekanisme penghambatan. Mekanisme penghambatan suatu agensi pengendali hayati untuk jamur antagonis berbeda dengan bakteri antagonis, juga dengan lainnya. Mekanisme utama dapat berupa parasitisme langsung (misalnya mikoparasitisme, infeksi bakteriofag) dan persaingan nutrisi atau antibiosis. Persaingan nutrisi memegang peran utama pada hampir semua agensi

pengendali hayati. Di samping persaingan akan nutrisi, juga persaingan ruang hidup. Nutrisi dapat memengaruhi produksi antibiotika, dan nutrisi itu sendiri dipengaruhi oleh ketersediaan air. Antarjamur antagonis dapat menunjukkan mekanisme penghambatan yang berbeda (Tabel 1.3).

Tabel 1.3.
Beberapa Contoh Mekanisme Penekanan Penyakit oleh Agenia Pengendali Hayati

Mekanisme	<i>Agensia pengendali hayati</i>	<i>Penyakit (patogen)</i>	<i>Inang</i>
Persaingan	<i>Pseudomonas putida</i>	Rebah semai (<i>Pythium ultimum</i>)	kapri, kedelai
	<i>Erwinia herbicola</i>	Kerusakan suhu beku (<i>Pseudomonas syringae</i> , <i>Erwinia herbicola</i>)	jagung
	<i>Pseudomonas syringae</i>	Kerusakan suhu beku (<i>Pseudomonas syringae</i>)	jagung, buncis
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Rebah semai (<i>Pythium ultimum</i>)	kapas
	<i>Pseudomonas putida</i>	Layu <i>Fusarium</i> (<i>Fusarium oxysporum</i>)	anyelir
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Rebah semai (<i>Pythium splendans</i>)	tomat
Parasitisme/ Predasi	<i>Enterobacter cloacea</i>	Rebah semai (<i>Pythium ultimum</i>)	mentimun
	<i>Serratia marcescens</i>	Layu kapri (<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>pisi</i>)	kapri
	<i>Escherichia coli</i> <i>Pseudomonas</i> spp. (rekombinan penghasil kitinase)	Busuk akar <i>Rhizoctonia</i> (<i>Rhizoctonia solani</i>) Busuk akar <i>Sclerotium</i> (<i>Sclerotium rolfsii</i>) Layu lobak (<i>Fusarium Oxysporum</i> f.sp. <i>redolens</i>)	Buncis buncis lobak
ISR	<i>Pseudomonas</i> spp. <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Layu <i>Fusarium</i> (<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>dianthi</i>)	Anyelir
		Hawar halo (<i>Pseudomonas syringae</i>)	buncis

Mekanisme penghambatan agensia pengendali hayati biasanya menggunakan hasil metabolisme sekunder, baik berupa antibiotika, toksin, enzim, hormon, atau parasitisme. Pendekatan yang kuat untuk mengerti

mekanisme adalah menggunakan ekspresi gen dari mutan untuk fungsi pengendalian hayati. Dasar biokimia untuk ekspresi gen (misalnya hilangnya produksi antibiotika atau siderofor) dapat ditentukan. Akhirnya, fungsi dapat dibuat melalui teknik pelengkapan gen, bersamaan dengan pemulihan keaktifan pengendalian hayati. Syarat percobaan yang teruji untuk melibatkan mekanisme tertentu dalam pengendalian hayati telah diformula.

Postulat pelibatan mekanisme dalam pengendalian hayati mikroorganisme (Handelsman & Parke, 1989 *dalam* Andrews, 1990) sebagai berikut.

- a. Mekanisme (persaingan, mikoparasitisme, atau lainnya) yang dipertalikan dengan strain efektif sebagai agensia pengendali hayati.
- b. Mekanisme yang dipertalikan dengan pengaruh langsung (daya hidup, pertumbuhan).
- c. Kehilangan mekanisme dalam mutan yang dipertalikan dengan kehilangan keefektifan relatif pada jenis liar.
- d. Pemulihan mekanisme yang dipertalikan dengan pemulihan keefektifan.
- e. Ketoleranan patogen (mutan) terhadap mekanisme yang dipertalikan dengan pengimbasan penyakit yang tidak dirintangi dalam keberadaan agensia pengendali hayati.
- f. Kerentanan patogen (mutan) yang dipulihkan terhadap mekanisme yang dipertalikan dengan kehilangan kemampuan menyebabkan penyakit dalam keberadaan agensia pengendali hayati.

Mikroorganisme lain yang digunakan dan telah banyak dipasarkan secara luas di seluruh dunia dalam bentuk kaleng dengan merek “DOOM”, dengan mikroorganisme yang dikandungnya ialah *Bacillus thuringiensis*. Bakteri tersebut mampu menghasilkan spora berupa kristal racun yang disebut racun **botulinin**. Setiap strain bakteri ini mampu menghasilkan racun spesifik untuk serangga tertentu.

Bakteri atau racun yang sudah dimurnikan, kemudian dikeringkan dan disemprotkan pada tanaman. Apabila termakan oleh ulat atau larva serangga hama akan menyebabkan kerusakan pada alat pencernaan makanannya. Kelemahan dari racun ini ialah cepat hilang bila disemprotkan, karena mengalami deteriorasi di lapangan. Cara untuk mengatasi hal ini maka pestisida ini dikemas dalam bentuk sel mati.

Anda tentu juga akrab dengan beberapa istilah seperti *bioassay*, *biomining*, bioremediasi, biodegradasi, dan seterusnya. Istilah-istilah tersebut

erat kaitannya dengan peranan mikroorganisme menguntungkan, dan dalam proses-proses itu jasa mikroorganisme dimanfaatkan oleh manusia. Pada *bioassay*, mikroorganisme dimanfaatkan untuk menganalisis kandungan zat tertentu yang terdapat di dalam suatu bahan. Teknologi berkembang berkat kemampuan orang untuk melihat adanya perubahan “tingkah laku” mikroorganisme karena adanya suatu zat tertentu, sebagai contoh *Aspergillus niger* yang memiliki spora berwarna hitam, dan akan berubah warna menjadi abu-abu bila di dalam zat di mana mikroorganisme tersebut ditumbuhkan tidak mengandung tembaga. Atas dasar pengetahuan tersebut orang dapat memanfaatkan *Aspergillus niger* ini untuk mengetahui apakah tembaga terdapat di dalam bahan tertentu dengan melihat perubahan warna spora jamur tadi.

5. Biomining

Istilah *biomining* ditujukan pada proses pemanfaatan jasa mikroorganisme untuk menambang logam tertentu dari bijihnya. Penambangan melalui pemanfaatan mikroorganisme ini sangat baik dilakukan terutama bila kadar logam yang ditambang itu berkualitas rendah sehingga tidak ekonomis jika ditambang dengan cara-cara biasa. Di Amerika Serikat ternyata 10% kebutuhan tembaga negara itu dipasok melalui proses *biomining* ini.

6. Biodegradasi

Istilah ini lebih ditujukan kepada proses penguraian bahan-bahan oleh aktivitas mikroorganisme. Contoh penguraian sisa-sisa hewan dan tumbuhan oleh mikroorganisme sedemikian rupa sehingga kembali menjadi mineral-mineral penyusunnya. Proses pengomposan (mengubah sampah menjadi kompos) merupakan contoh pemanfaatan proses biodegradasi. Namun tidak semua zat dapat diuraikan menggunakan jasa mikroorganisme ini. Bila Anda perhatikan plastik, karet, dan sebagainya, apakah zat tersebut dapat dengan mudah terurai? Apa yang terjadi kalau sampah-sampah itu tidak terurai?

Akhir-akhir ini pencemaran lingkungan terjadi karena penimbunan zat-zat pencemar di dalam lingkungan. Penimbunan tersebut dapat terjadi sebagai akibat penurunan katabolisme molekul organik yang mudah terbiodegradasi dan adanya zat xenobiotik rekalsitran. Fenomena tersebut menurut Gunalan (1993) dapat terjadi karena beberapa faktor berikut.

- a. kegagalan mikroorganisme perombak alami berkembang menjadi populasi aktif;
- b. kandungan hara yang diperlukan oleh mikroorganisme alami di lingkungan berada dalam keadaan minimum;
- c. keterbatasan oksigen atau reseptor elektron lain dalam memenuhi kebutuhan minimal bagi kelangsungan metabolisme perombakan polutan organik secara aerobik atau anaerobik; atau
- d. ketidakmampuan mikroorganisme unsur karbon penyusun polutan organik sebagai sumber energi metabolisme.

7. Bioremediasi

Bioremediasi adalah pemanfaatan organisme untuk membersihkan senyawa pencemar dari lingkungan. Pada proses ini terjadi biotransformasi atau biodegradasi senyawa toksik menjadi senyawa yang kurang toksik atau tidak toksik. Proses utama pada bioremediasi adalah **biodegradasi**, **biotransformasi**, dan **biokatalis**.

Pada bioremediasi terdapat faktor-faktor utama yang menentukan mikroorganisme, yaitu populasi mikroorganisme, konsentrasi nutrisi, pasokan oksigen, suhu, dan kelembaban. Terdapat 3 macam bioremediasi yang melibatkan mikroorganisme, yaitu:

- a. merangsang pertumbuhan mikroorganisme endogenik (**biostimulasi**),
- b. menambahkan mikroorganisme yang sudah beradaptasi pada daerah yang tercemar sehingga meningkatkan kemampuan populasi mikroorganisme endogen (**bioaugmentasi**) dalam biotransformasi, dan
- c. bioremediasi tanpa campur tangan manusia (**bioremediasi intrinsik**).
Bioremediasi berdasarkan lokasi terdapat 2 macam yaitu:
 - 1) bioremediasi *in situ* (proses bioremediasi yang digunakan berada pada tempat lokasi limbah tersebut), dan
 - 2) bioremediasi *ex situ* (bioremediasi yang dilakukan dengan mengambil limbah tersebut lalu di-*treatment* di tempat lain, setelah itu baru dikembalikan ke tempat asal).

Proses bioremediasi *in situ* pada lapisan *surface* ditentukan oleh faktor bio-kimiawi dan hidrogeologi. Bioremediasi dapat dilakukan melalui beberapa pendekatan, antara lain memanfaatkan mikroorganisme alami yang sudah ada dengan memperbaiki kondisi hara dan akseptor elektron mikroorganisme bersangkutan. Pendekatan lain adalah inokulasi daerah

tercemar menggunakan inokulan mikroorganisme perombak polutan yang telah diisolasi dan dibiakkan di dalam laboratorium.

Peranan mikroorganisme dalam mengolah limbah telah juga dilakukan. Penelitian tersebut dilakukan di lokasi di mana peristiwa pencemaran itu terjadi (*in situ*), maupun di dalam reaktor (*ex situ*) dengan bahan diambil dari lokasi pencemaran, kemudian diolah di dalam reaktor tersebut. Cara *ex situ* yang sudah dilakukan orang ialah Bourquin (1990) dengan mengambil bahan yang tercemar kemudian diolah di dalam reaktor. Penelitian Bourquin ini menggunakan bioreaktor untuk mengolah lumpur atau air tanah di North Dakota, Amerika Serikat (AS) yang tercemar berat oleh 2,4-D dan zat-zat lain akibat kebakaran gudang penyimpanan pestisida. Pada penelitian ini bakteri *Alcaligenes eutrophus*, nitrogen, dan fosfor dimasukkan ke dalam reaktor untuk mempercepat biodegradasi polutan organik. Selama penelitian ini sekitar 11.000 meter kubik tanah dan bahan padat lain serta 24 juta liter air tanah dapat dilenyapkan polutannya, sehingga lokasi yang telah dibioremediasi tersebut dapat dimanfaatkan kembali.

Bioremediasi secara *in situ* dilakukan orang dengan menstimulasi pertumbuhan mikroorganisme pengolah polutan yang sudah ada di lingkungan. Contoh adalah bioremediasi *in situ* untuk mengatasi pencemaran di selat Prince William (Alaska, Amerika Serikat) akibat tenggelamnya tanker milik Exxon pada tahun 1989 (Gunalan, 1993). Pada proses itu pencemaran diatasi dengan meningkatkan pertumbuhan dan aktivitas katabolisme bahan pencemar. Keadaan tersebut diperoleh melalui pemberian pupuk oleofilik berbentuk mikroemulsi. Pupuk tersebut mengandung urea, lauril fosfat, dan asam oleat yang berturut-turut sebagai sumber nitrogen, fosfat, dan karbon. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dalam waktu 10 hari setelah perlakuan, pasir dan batuan pantai yang berminyak dan berwarna hitam berubah menjadi putih dan bebas minyak.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan manfaat mikroorganisme dalam kehidupan manusia!
- 2) Jelaskan tentang fermentasi dan berikan contohnya sehingga Anda memahami betul pentingnya mikroorganisme di alam!

- 3) Sebutkan contoh fermentasi susu yang sekarang banyak dikembangkan dan jelaskan juga kegunaannya dan cara pembuatan!
- 4) Jelaskan keunggulan dari protein sel tunggal dan buatlah diagram untuk menghasilkan PST tersebut!
- 5) Jelaskan keuntungan pengendalian hayati dan berikan contohnya!
- 6) Jelaskan manfaat mikroorganisme untuk proses biodegradasi!
- 7) Jelaskan apa beda biodegradasi dan bioremediasi!

Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk membantu Anda menjawab latihan, Anda diminta untuk membaca sekali lagi secara teliti materi bahan belajar pada Kegiatan Belajar 3 ini. Jawaban soal yang diminta pada latihan sebagian besar tercantum pada materi bahan belajar tersebut. Selamat mencoba!



RANGKUMAN

Mikroorganisme memegang peranan penting dalam kehidupan manusia, karena mikroorganisme memberikan keuntungan sekaligus kerugian bagi manusia. Mikroorganisme yang menguntungkan memungkinkan manusia untuk memanfaatkan jasa dan produknya sekaligus. Sementara itu mikroorganisme yang merugikan dapat menyebabkan penyakit pada tanaman, hewan ternak, bahkan manusia itu sendiri.

Mikroorganisme dapat dimanfaatkan sesuai dengan kehendak kita di antaranya digunakan untuk proses fermentasi, untuk menghasilkan makanan yang mempunyai cita rasa enak, untuk menghasilkan protein, dan juga untuk mengendikan patogen pada tanaman. Selain itu, juga dapat digunakan untuk agen pembuat kompos, bioremediasi, dan biodegradasi dari senyawa pencemar sehingga lingkungan menjadi sehat kembali. Manusia, untuk meminimalkan kerugian yang ditimbulkan oleh mikroorganisme, maka menerapkan berbagai teknologi untuk mengendalikan populasi mikroorganisme yang merugikan tersebut. Pengendalian dilakukan secara kimiawi, fisikawi, mekanis, dan sebagainya.

**TES FORMATIF 3**

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Pernyataan berikut ini merupakan contoh mikrobiologi murni
 - A. ekologi mikroorganisme
 - B. mikrobiologi industri
 - C. mikrobiologi makanan
 - D. virologi

- 2) Berikut ini merupakan bahan makanan hasil produk fermentasi mikroorganisme menggunakan bioteknologi konvensional, *kecuali*
 - A. tempe
 - B. insulin
 - C. terasi
 - D. pindang

- 3) Protein Sel Tunggal (PST) dapat menjadi tumpuan harapan untuk pemenuhan kebutuhan akan protein di masa depan. Hal berikut ini merupakan alasannya, *kecuali*
 - A. kandungan proteinnya sangat tinggi kurang lebih 80% nya
 - B. waktu generasi mikroorganisme amat cepat, 1-3 jam
 - C. bahan baku yang digunakan murah, karena berasal dari limbah
 - D. dapat membantu mengatasi persoalan limbah yang menumpuk

- 4) Persyaratan yang harus dipenuhi oleh mikroorganisme yang akan digunakan dalam pembuatan PST ialah
 - A. selama proses tidak menghasilkan racun
 - B. tidak memerlukan persyaratan hidup yang rumit
 - C. tidak mudah dipanen
 - D. cepat hidup dan berbiak

- 5) Bakteri tertentu dapat menghasilkan cahaya bila tersedia ATP, oleh karena itu cahaya yang menghambat pembentukan ATP akan mereduksi kemampuan sel untuk menghasilkan cahaya. Dengan detektor cahaya dapat diukur intensitas cahaya yang dihasilkan, yang kemudian diterjemahkan ke dalam ada atau tidaknya sampah beracun dari proses metabolisme. Prinsip ini mendasari penggunaan
 - A. *biomining*
 - B. bioremediasi

- C. biosensor
 - D. *bioassay*
- 6) Pada proses pemupukan organik dengan menggunakan pupuk kandang, merupakan manifestasi dari
- A. bioremediasi
 - B. biodegradasi
 - C. *biomining*
 - D. *bioassay*
- 7) Pengendalian hayati menggunakan bakteri *B. thuringiensis* disebabkan bakteri tersebut dapat
- A. menghasilkan kristal protein
 - B. dapat hidup baik kalau dikulturkan
 - C. mampu bertahan hidup lama di habitatnya
 - D. mampu berkompetisi dengan mikroorganisme pesaing
- 8) Bioremediasi yang melibatkan mikroorganisme dengan merangsang pertumbuhan mikroorganisme endogenik, yaitu
- A. biostimulasi
 - B. bioaugmentasi
 - C. biodegradasi
 - D. *biomining*
- 9) Mikroorganisme yang memiliki potensial dalam produksi PST seperti di bawah ini, *kecuali*
- A. *Photobacterium phosphoreum*
 - B. *Rhodotularia*
 - C. *Spirulina*
 - D. *Chlorella*
- 10) Persyaratan yang perlu dipenuhi dalam proses pembuatan PST, *kecuali*
- A. selama proses tidak menghasilkan racun
 - B. memerlukan persyaratan hidup yang tidak mudah
 - C. cepat tumbuh dan berbiak
 - D. mudah dipanen

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 3 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 3.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 3, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) A, salah, virologi bagian dari mikrobiologi.
B, salah, bakteriologi bagian dari mikrobiologi.
C, benar, mikrobiologi adalah ilmu yang mempelajari semua organisme berukuran kecil.
D, salah, biologi, bakteriologi bagian dari semua organisme hidup.
- 2) A, benar, generatio spontanea disebut juga abiogenesis.
B, salah, bukan sebutan lain melainkan persamaan.
C, salah, bukan abiogenesis spontanea melainkan abiogenesis.
D, salah.
- 3) C, cukup jelas jawaban yang benar adalah penciptaan oleh Allah yang maha kuasa.
- 4) A, benar salah satu nama ragi adalah *Saccharomyces cerevisiae*.
B, salah, *Bacillus* sp. adalah nama bakteri.
C, salah *Candida* sp. adalah nama jamur.
D, salah *Rhizopus oligosporus* adalah nama jamur.
- 5) A, benar, jawaban cukup jelas John Tyndall adalah orang yang menentang teori biogenesis.
- 6) A, benar Felix Archimede Pouchet.
- 7) C, benar Anthony van Leeuwenhoek.
- 8) D, benar kegunaan Postulat Koch adalah untuk menunjukkan penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisme.
- 9) C, (2 dan 3 benar) termostabil dan termoresisten.
- 10) D, (1, 2 dan 3 benar) biodegradasi, biotransformasi, biokatalis.

Tes Formatif 2

- 1) D, koloni.
- 2) B, antiseptis.
- 3) C, Leeuwenhoek.
- 4) B, fiksasi.
- 5) C, kehilangan warna safranin menjadi tidak berwarna.
- 6) A, suatu populasi sel yang semuanya berasal dari satu sel induk.
- 7) A, liofilisasi.
- 8) A, (1 dan 2 benar) alkohol dan larutan yodium.

- 9) D, (1, 2 dan 3 benar)
1. sederhana
 2. diferensial
 3. Gram
- 10) D, (1, 2 dan 3 benar)
1. imunisasi (misalnya vaksinasi), kemoterapi (perawatan pasien dengan bahan kimia).
 2. cara-cara kesehatan di dalam masyarakat (misalnya pemurnian air, pembuangan limbah, dan pengawetan makanan).
 3. antiseptis (cara-cara untuk meniadakan atau mengurangi kemungkinan infeksi).

Tes Formatif 3

- 1) D, virologi.
- 2) B, insulin.
- 3) D, dapat membantu mengatasi persoalan limbah yang menumpuk.
- 4) C, tidak mudah dipanen.
- 5) C, biosensor.
- 6) B, biodegradasi.
- 7) A, menghasilkan kristal protein.
- 8) A, biostimulasi.
- 9) A, *Photobacterium phosphoreum*.
- 10) B, memerlukan persyaratan hidup yang tidak mudah.

Glosarium

Aerob	: mikroba yang membutuhkan molekul oksigen bebas untuk hidupnya, contoh <i>Micrococcus</i> dan <i>Pseudomonas</i> .
Anabolisme	: sintesis senyawa di dalam sel
Antibiotik	: senyawa organik yang dihasilkan oleh mikroba yang mampu menghambat atau membunuh mikroba lain.
Antibodi	: protein serum yang dihasilkan oleh sel plasma yang merupakan respon terhadap rangsangan dari antigen.
Bakteriologi	: ilmu yang mempelajari struktur dan fungsi bakteri dan peranannya dalam kehidupan manusia.
Exon	: bagian ADN eukariot yang mampu mengkode sifat tertentu.
Fikologi	: ilmu yang mempelajari struktur dan fungsi algae dan peranannya bagi kehidupan manusia.
Fotosintesis	: proses menggunakan cahaya untuk menghasilkan ATP dan NADPH dan menggunakan ATP dan NADPH untuk memfiksasi karbondioksida.
Generatio Spontanea	: suatu teori yang berpendapat bahwa makhluk hidup berasal dari benda mati dan terjadi secara tiba-tiba.
Hibridoma	: hasil fusi protoplasma sel plasma normal dengan sel plasma kanker, yang mampu menghasilkan antibodi monoklonal.
Intron	: bagian benang ADN eukariot yang tidak mengandung kode untuk sifat tertentu.
Kemolitotrof	: mikroba yang memperoleh energi dari zat kimia anorganik seperti H ₂ S atau amonium.
Kemoheterotrof	: mikroba yang memperoleh energi dan karbon dari senyawa sejumlah senyawa kimia organik, kecuali CO ₂
Konyugasi	: (pada bakteri) adalah perpindahan materi genetik satu arah pada bakteri, dari donor ke resipien. Perpindahan ini membutuhkan kontak antarsel.
Laboratorium	: dapat berupa ruang tertutup atau lahan terbuka di mana seseorang menemukan dan memecahkan masalah.
Mikrobiologi	: ilmu yang mempelajari struktur dan fungsi mikroba

- serta perannya dalam berbagai aspek kehidupan manusia.
- Mikologi : ilmu yang mempelajari struktur dan fungsi jamur dan perannya bagi kehidupan manusia.
- Parasitologi : ilmu yang mempelajari struktur dan fungsi hewan-hewan parasit dan perannya bagi kehidupan manusia.
- Palindromik : bagian benang ADN yang urutan nukleotidanya arah 5' –3' sama dengan arah 3' – 5', merupakan tempat pemotongan yang dilakukan oleh enzim restriksi endonuklease.
- Plasmid : utas kecil materi genetis (ADN) di luar genom utama berbentuk sirkuler terdiri dari 5-100 gen.
- Protozoologi : ilmu yang mempelajari struktur dan fungsi hewan-hewan bersel satu dan perannya bagi kehidupan manusia.
- Sianobakteri : bakteri fotosintetik dan menghasilkan oksigen dari proses fotosintesisnya. Sering juga dikenal dengan nama bakteri biru atau algae biru.
- Siklus Calvin : rangkaian siklus reaksi kimia di mana sejumlah karbondioksida difiksasi menjadi molekul organik. Disebut juga dengan reaksi gelap fotosintesis.
- Tautomeric shift : perubahan keadaan awal elektron dan proton di dalam suatu molekul sehingga menyebabkan molekul yang bersangkutan memiliki sifat yang berbeda dengan aslinya.
- Transformasi : masuknya ADN asing (viroid) ke dalam sel mikroba yang diikuti dengan terjadinya rekombinasi ADN tersebut dengan materi genetis dari sel yang dimasuki itu.
- Virologi : ilmu yang mempelajari tentang virus.
- Virion : sebuah virus.
- Viroid : Molekul ARN/ADN yang mampu menginfeksi berbagai tipe sel tumbuhan.
- Virus : asam inti yang dibungkus oleh selubung protein yang dapat menginfeksi semua tipe sel.

Daftar Pustaka

- Alacamo, I.E. (1984). *Fundamental of Microbiology 2nd*. Adison - Wesley Publishing Company, Inc.
- Bonang, G dan Koeswardono, E.S. (1982). *Mikrobiologi Kedokteran untuk Laboratorium dan Klinik*. Jakarta: Gramedia.
- Gupte, S. (1990). *Mikrobiologi Dasar*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- <http://inspireteacher.blogspot.com/2011/04/ftp-unim-mikrobiologi-umum-sejarah.html>
- <http://polymer.bu.edu/ogaf/html/chp51.htm>
- <https://www.meducation.net/syllabus/30090>
- Hadioetomo, R.I. (1990). *Mikrobiologi Dasar dalam Praktek Prosedur Dasar Laboratorium*. Jakarta: Gramedia.
- Jawetz, E., Menick, and Adelberg, E.A. (1993). *Review of Medical Microbiologi*. Los Altos California: Lange Medical Publication.
- Lay, D.W dan Hastowo, S. (1992). *Mikrobiologi*. Jakarta: Rajawali Press.
- Pelzar, M.J and Chan, E.C.S. (1986). *Elements of Microbiology*. Mc.Graw-Hill Company.
- Star Pengajar FKUI. (1994). *Mikrobiologi Kedokteran*. Jakarta: Binarupa Aksara.