

REPUBLIC INDONESIA  
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

# SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00202181313, 20 Desember 2021

## Pencipta

Nama : **Dr. Suherman, S.Pi., M.Sc.**  
Alamat : Taman Harapan Baru Jl. Vanda III Blok A9/3 RT 008 RW 026 Kel. Pejuang Kec. Medan Satria , Bekasi , JAWA BARAT, 17131  
Kewarganegaraan : Indonesia

## Pemegang Hak Cipta

Nama : **Dr. Suherman, S.Pi., M.Sc.**  
Alamat : Taman Harapan Baru Jl. Vanda III Blok A9/3 RT 008 RW 026 Kel. Pejuang Kec. Medan Satria , Bekasi , JAWA BARAT, 17131  
Kewarganegaraan : Indonesia

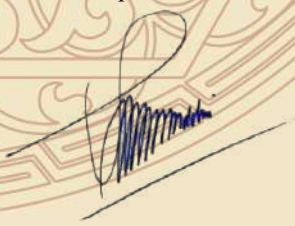
Jenis Ciptaan : **Diktat**  
Judul Ciptaan : **Mikrobiologi 1 (Bakteriologi)**  
Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 1 Oktober 2009, di Jakarta  
Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, dihitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.  
Nomor pencatatan : 000305150

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia  
Direktur Jenderal Kekayaan Intelektual  
u.b.  
Direktur Hak Cipta dan Desain Industri

  
Dr. Syarifuddin, S.T., M.H.  
NIP.197112182002121001

Disclaimer:

Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, Menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.

**Diktat**

**Mata Ajar**

**Mikrobiologi 1**  
**(Bakteriologi)**

**Oleh :**

**Dr. Suherman, S.Pi, M.Sc**

**Program Studi Kesehatan Masyarakat**  
**Fakultas Kedokteran dan Kesehatan**  
**Universitas Muhammadiyah Jakarta**  
**TA 2009/2010**

## **Kata Pengantar**

Puji syukur kehadiran Ilahi yang telah memungkinkan Diktat Mikrobiologi ini dapat diselesaikan setelah melalui pengolahan, penyuntingan dan koreksi secara keseluruhan. Diktat ini merupakan salah satu bahan pengajaran yang diperuntukkan bagi Mahasiswa Kesehatan Masyarakat yang mengambil mata Kuliah Mikrobiologi dan khalayak ramai yang menaruh minat keilmuan terkait.

Secara umum Diktat ini memberikan pengetahuan praktis tentang mikroba-mikroba terutama yang erat kaitannya dalam kehidupan masyarakat. Bagaimana sejarah, klasifikasi, struktur, peran mikroba yang dapat menyebabkan seseorang sakit, mengenal mikroba yang menguntungkan maupun yang merugikan dapat ditemukan uraiannya dalam diktat ini.

Semoga materi pengajaran yang sederhana ini banyak memberikan manfaat bagi mahasiswa dan pembaca setelah menyelesaikan kesarjanaannya dan terjun dimasyarakat.

Jakarta, Oktober 2009

Penulis

## Daftar isi

Kata Pengantar . . . . .	3
Sejarah Mikrobiologi . . . . .	4
Ciri-ciri, Bentuk, Klasifikasi dan Taksonomi Bakteri . . . . .	11
Struktur bakteri . . . . .	27
Sterilisasi dan Disinfeksi . . . . .	37
Metabolisme Kuman . . . . .	46
Pertumbuhan Kuman . . . . .	50
Rujukan . . . . .	57

## SEJARAH MIKROBIOLOGI

Mikrobiologi adalah ilmu pengetahuan tentang makhluk hidup yang sangat kecil (diameter kurang dari 0,1 mm) yang tidak dapat dilihat dengan mata telanjang (Bahasa Yunani mikros = kecil dan bios = kehidupan). Makhluk ini, yang dinamakan jasad renik atau mikroba (dalam bahasa sehari-hari kuman) terdapat dimana-mana. Ada yang bermanfaat (flora normal), tetapi banyak pula yang merugikan bagi kehidupan manusia antara lain yang menimbulkan berbagai penyakit (pathogen).

Pengetahuan mikrobiologi praktis sangat penting dalam bidang kedokteran dan bidang lain yang berkaitan. Sebagai contoh, salah satu tanggung jawab personil rumah sakit (dokter dan perawat) ialah melindungi penderita dari penyakit yang disebabkan oleh mikroba. Mikrobiologi meliputi berbagai disiplin ilmu yakni bakteriologi, virologi, mikologi, imunologi dan parasitologi. Ilmu-ilmu ini telah berkembang dengan pesatnya sehingga merupakan disiplin ilmu yang terpisah dan berdiri sendiri-sendiri.

Dalam mikrobiologi kedokteran, dipelajari jasad renik yang ada kaitannya dengan penyakit (infeksi); dan dicari jalan bagaimana cara pencegahan, penanggulangan serta pemberantasannya. Ilmu ini terus berkembang karena jasad renik mampu menyesuaikan diri terhadap lingkungannya yang baru, sehingga hal ini akan tetap merupakan tantangan bagi ilmu kedokteran. Sebagai contoh, dengan ditemukannya antibiotika yang merupakan suatu sumbangan besar bagi kemajuan ilmu kedokteran dalam memberantas kuman-kuman penyebab infeksi, tidaklah berarti bahwa kuman-kuman tersebut telah terkalahkan, karena kenyataannya mereka tetap mampu menimbulkan infeksi.

Penyakit infeksi sebenarnya sudah dikenal sejak zaman dulu. Mereka menganggap bahwa penyakit infeksi merupakan suatu kutukan para dewa atas dosa-dosa manusia sehingga untuk menyembuhkan penyakit tersebut ditebus dengan pengorbanan dan persembahan korban untuk meredakan kemarahan para dewa.

Kemudian muncul Hippocrates dengan anggapan bahwa penyebab infeksi terdiri dari dua faktor, yaitu faktor intrinsik yang berasal dari dalam tubuh penderita dan faktor ekstrinsik yang berasal dari luar yaitu yang berhubungan dengan udara yang karena sesuatu hal yang tidak diketahui berubah menjadi buruk (malaria) termasuk pula berbagai perubahan yang timbul karena gempa bumi, angin puyuh dan sebagainya.

Pada tahun 430 SM, Thucydides telah menerangkan bahwa beberapa jenis penyakit dapat menular, dan ia mengintroduksi pikiran adanya suatu jasad renik yang tidak dapat dilihat. Juga Aristoteles (385 SM) menafsirkan adanya suatu organisme yang tidak dapat dilihat, hidup, yang dapat menimbulkan, menularkan dan menyebarkan penyakit.

Giralamo Fracastoro (1478 – 1553) menerangkan bahwa penularan penyakit terjadi melalui kontak langsung. Ia menamakan penyebab penyakit tersebut “seminaria morbi”. Benih penyakit ini dianggapnya sebagai makhluk atau jasad hidup yang renik, yang menjangkiti manusia sehat melalui penularan dari manusia yang sakit, dengan menimbulkan penyakit yang sejenis. Pernyataan Fracastoro ini, pada waktu itu tidaklah terlalu menakutkan, karena berdasarkan atas adanya suatu jasad renik hidup yang hipotetis.

Pada masa itu kemudian muncul satu aliran generatio spontanea. Aliran ini beranggapan, bahwa makhluk hidup dapat berasal dari benda-benda mati. Aristoteles (384 – 322 SM) telah memikirkan bahwa binatang dapat berasal dari tanah. Teori generatio spontanea atau a-biogenesis hampir menguasai abad pertengahan. Teka-teki Simson mengenai lebah dengan madunya yang berasal dari bangkai singa mempunyai tandingannya dalam petunjuk Helmont (1652). Salah satu petunjuk Helmont adalah cara membiak tikus dari potongan kain kotor dan padi. Teori ini menjelaskan adanya ulat pada daging yang membusuk, ular dari rambut kuda dalam air yang ter-genang.

Francesco Redi (1626 – 1697) dengan percobaannya yaitu daging dimasukkan ke dalam wadah yang ditutup dengan kain tipis yang berlubang

halus untuk mencegah masuknya lalat, membuktikan bahwa belatung tidak terjadi secara spontan pada daging yang membusuk.

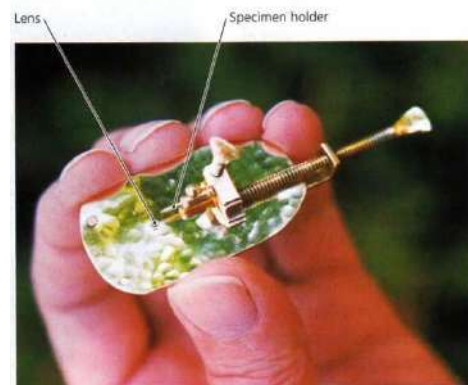
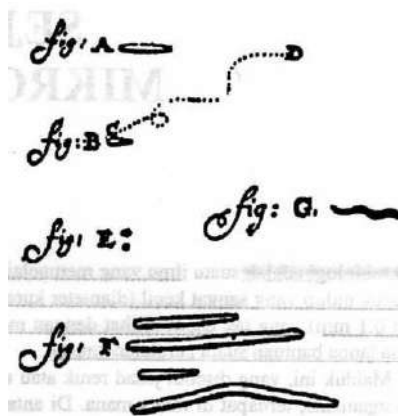
John Needham pada tahun 1749, menyatakan bahwa mikroba tumbuh dalam daging yang membusuk walaupun ia telah merebus, menutupnya dan melakukan langkah pencegahan dan ia menginterpretasi sebagai *generatio spontanea*. Selama periode itu terjadi kontro-versi, sewaktu Lazzaro Spallanzani (1729 – 1799), seorang pendeta, mengatakan bahwa Needham belum mengambil tindakan pencegahan yang memadai untuk menghalangi masuknya mikroba dari udara ke dalam perbenihannya. Franz Schultz (1815 – 1873) melewati udara kedalam asam kuat dan kemudian ke dalam kaldu yang dipanasi, lalu Theodor Schwann (1810 – 1882) melewati udara melalui tabung yang dipanasi dan di-amati tidak ada pertumbuhan.

Percobaan-percobaan Louis Pasteur dan John Tyndall memberikan sanggahan akhir terhadap teori *generatio spontanea*. Pasteur menuangkan kaldu daging ke dalam botol-botol, lalu menarik ujung setiap botol menjadi leher yang melengkung seperti huruf U yang memungkinkan udara dapat masuk tetapi menahan debu. Ia mendapatkan bahwa setelah perbenihan dipanaskan, perbenihan tetap steril, kecuali jika lengkung leher itu dipecahkan, yang memungkinkan debu masuk ke dalam perbenihan.

Louis Pasteur (1822 – 1895) dalam penelitiannya juga menerangkan bahwa kuman dibawa oleh debu udara. Dengan menahan debu udara dengan kapas, sebagai alat saring, ia dapat menjaga perbenihannya bebas dari kuman. Keterangan Pasteur tersebut kemudian dibenarkan oleh John Tyndall (1820 – 1893). Ia menerangkan bahwa perbenihan setelah direbus dapat disimpan terbuka dalam suatu ruangan kecil tanpa ada cemaran kuman, asal udara ruangan itu bebas debu. Adanya debu ia pastikan secara menyinari ruangan melalui sebuah tabung kecil. Dengan tidak tampaknya kekeruhan dalam sinar, maka udara dianggap bebas debu. Fenomena ini kini disebut efek Tyndall. Kebenaran teori Pasteur ini dibuktikan oleh Joseph Lister (1827 – 1912), seorang ahli bedah yang meletakkan dasar cara kerja antiseptik pada waktu pembedahan dengan membuktikan pentingnya penyemprotan ruang operasi dengan cairan

fenol, sehingga dapat mematikan mikroba-mikroba yang terdapat di udara. Dengan tindakannya ini angka kematian karena infeksi sesudah operasi ternyata sangat menurun.

Teori generatio spontanea ini kemudian ditinggalkan berkat penemuan-penemuan baru yang diawali dengan berhasilnya Antoni van Leeuwenhoek (1632 – 1723) melihat makhluk-makhluk kecil dalam berbagai cairan dengan mempergunakan “mikroskop” yang dapat memberikan pembesaran sampai 300 kali lineair. Dalam suratnya kepada para peneliti dari “The Royal Society of London”, Leeuwenhoek menggambarkan banyak binatang kecil (*animalcules*). Makhluk-makhluk kecil inilah yang kini dikenal sebagai kuman dengan bentuk bulat, batang dan spiral. Ia juga menulis tentang protozoa yang hidup di alam bebas, parasit dalam feses, jamur yang berbentuk filamen, dan tentang badan globuler yang sekarang dikenal sebagai ragi. Selain itu, ia juga melihat bentuk spermatozoa.



Gambar : Bakteri asal mulut dan mikroskop yang pertama dibuat oleh Leeuwenhoek

Bersamaan waktunya dengan Pasteur, seorang dokter Jerman Robert Koch (1876) mengadakan penelitian terhadap kuman-kuman anthrax yang menyerang ternak. Dalam penelitiannya ini ia berhasil mengasingkan kuman anthrax dalam bentuk biakan murni dengan mempergunakan perbenihan kuman



(medium) dan membuktikan bahwa kuman-kuman yang diasingkan ini mampu menimbulkan penyakit yang sama bila dimasukkan ke dalam tubuh binatang percobaan yang peka.

Berdasarkan percobaan-percobaannya, Koch menyusun kriteria yang perlu dipenuhi agar sejenis kuman tertentu dapat diterima sebagai penyebab penyakit tertentu. Kriteria ini kini dikenal sebagai Postulat Koch, yaitu :

1. Kuman harus selalu dapat ditemukan pada binatang yang sakit, tetapi tidak pada binatang yang sehat
2. Kuman tersebut harus dapat diasingkan dari binatang sakit dan dibiakkan dalam bentuk biakan murni di luar tubuh binatang tadi.
3. Biakan murni kuman tersebut harus mampu menimbulkan penyakit yang sama pada binatang percobaan yang peka
4. Kuman tersebut dapat diasingkan kembali dari binatang percobaan tadi

Postulat Koch ini sebetulnya adalah teori Jacob Henle, guru daripada Koch sendiri. Pada masa itu tidak seorang pun yang dapat memenuhi persyaratan tersebut. Berkat jasa-jasa Pasteur, Lister, Koch dan Abbe, maka teori kuman daripada Jacob Henle dapat dicetuskan menjadi sebuah postulat. Selain itu, Koch (1881) memperkenalkan perbenihan lempeng gelatin yang merupakan suatu perbenihan padat untuk pembiakan kuman. Pada tahun 1882, Koch menggemparkan dunia kesehatan dengan ditemukannya kuman penyebab penyakit tuberkulosis, yakni *Mycobacterium tuberculosis*.

Joseph Lister pada tahun 1878 memberikan sumbangannya untuk memperoleh biakan murni. Lister menggunakan jarum untuk membuat serangkaian pengenceran dalam per-benihan cair untuk mendapat biakan murni. Adalah jasa Ernest Abbe (1840 – 1905) yang memungkinkan adanya mikroskop yang kuat. Ia mengadakan perubahan dasar pada mikroskop kompon Jansen-Galileo. Dengan penambahan objektif celup minyak dan kondensor, maka berhasillah ia pada tahun 1880 mencapai pembesaran hingga 1000 kali.

Sumbangan Petrie (1887) dalam bentuk lempeng terbuat dari gelas sederhana, namun sangat tinggi nilainya karena mempermudah pembuatan perbenihan padat. Paul Ehrlich (1854 – 1915) meletakkan dasar pewarnaan kuman. Ia adalah orang pertama yang mewarnai kuman dengan larutan zat warna anilin.

Hans Christian Gram (1853 – 1938) menguraikan, bahwa beberapa jenis kuman tidak melepaskan zat warna jika diolah dengan alkohol, sedangkan golongan kuman lainnya melepaskannya. Hingga kini, cara pewarnaan menurut Gram tersebut masih dipakai bahkan merupakan cara pewarnaan diferensiasi yang dipergunakan sehari-hari.

Franz Ziehl (1857 – 1926) dan Friederich Neelsen (1854 – 1894) telah mengadakan cara pewarnaan kuman tuberculosis. Cara tersebut hingga sekarang masih dipakai, dengan memakai nama mereka Ziehl-Neelsen.

Masa 20 tahun setelah penyelidikan Koch merupakan zaman keemasan bagi bakteriologi. Pada tahun 1900, hampir semua penyebab penyakit infeksi utama telah dapat diketahui. Penyebab penyakit antrax adalah *Bacillus anthracis*, untuk difteri adalah *Corynebacterium diphtheriae*, untuk demam tifoid adalah *Salmonella typhosa*, untuk gonorrhoea adalah *Neisseria gonorrhoea*, untuk gas gangren adalah *Clostridium perfringens*, untuk tetanus adalah *Clostridium tetani*, untuk disentri adalah *Shigella dysenteriae*, dan untuk sifilis adalah *Treponema pallidum*.

Dengan majunya teknologi dan semakin lengkapnya peralatan maka berhasil pula dite-mukan jasad renik yang lebih kecil dari kuman yang mampu menembus saringan kuman yaitu yang disebut virus. Beberapa contoh, virus mosaik tembakau yang ditemukan oleh Iwanowsky (1892) dan Beyerinck (1899), virus penyebab penyakit kaki dan mulut pada tenak (Löffler & Frosch, 1898), virus demam kuning pada manusia (Walter Reed dkk, 1900), virus kuman atau bakteriofaga (Twort & d'Herelle 1915).

Melihat kenyataan bahwa seseorang yang sembuh dari suatu penyakit tidak mudah untuk mendapatkan penyakit yang sama untuk kedua kalinya, telah menimbulkan motivasi para penyelidik untuk melakukan penelitian tentang kekebalan.

Edward Jenner (1749 – 1823) melihat bahwa pemerah susu sapi yang mendapatkan infeksi cacar sapi (cowpox) ternyata kebal terhadap penyakit cacar (smallpox atau variola). Ia kemudian menyusun suatu konsep tentang vaksinasi dan berhasil menimbulkan kekebalan pada orang-orang terhadap cacar (smallpox). Kemudian Pasteur dapat pula membuat vaksin terhadap penyakit kolera, antrax dan rabies.

Selain bidang kekebalan, juga telah dilakukan percobaan-percobaan dengan bahan-bahan kimia untuk mengobati suatu infeksi. Perkembangan kemoterapi ini diawali tahun 1935, ketika Domagk menemukan bahwa prontosil (sulfanilamida) sangat bermanfaat terhadap infeksi oleh streptokokus. Penemuan penisilin oleh Alexander Fleming (1929), dilanjutkan oleh Florey & Chain (1940) untuk mempergunakannya dalam pengobatan, yang ternyata hasilnya sangat memuaskan. Penemuan penisilin ini kemudian disusul oleh penemuan-penemuan antibiotika lainnya yang jumlahnya sangat banyak.

Ternyata kemoterapi ini selain bermanfaat, juga menimbulkan masalah-masalah baru, seperti misalnya kuman yang semula sensitif terhadap sesuatu antibiotika, berubah menjadi resisten, juga timbulnya reaksi-reaksi alergi serta gangguan pada flora normal yang terdapat dalam tubuh manusia.

Dengan demikian mikrobiologi telah mengubah pandangan manusia mengenai timbulnya penyakit-penyakit dan menyingkirkan kepercayaan terhadap generatio spontanea serta menempatkan proses pembusukan atau fenomena lain yang serupa pada tempat yang sebenarnya dalam siklus benda, baik yang hidup maupun yang mati.

## **CIRI-CIRI, BENTUK, KLASIFIKASI DAN TAKSONOMI BAKTERI**

Bakteri merupakan organisme yang paling banyak jumlahnya dan lebih tersebar luas dibandingkan makhluk hidup yang lain. Bakteri memiliki ratusan ribu spesies yang hidup di darat hingga lautan dan pada tempat-tempat yang ekstrim. Bakteri ada yang menguntungkan tetapi ada pula yang merugikan. Bakteri memiliki ciri-ciri yang membedakannya dengan makhluk hidup yang lain. Bakteri adalah organisme uniseluler dan prokariot serta umumnya tidak memiliki klorofil dan berukuran renik (mikroskopis).

### **Ciri-ciri Bakteri**

Bakteri memiliki ciri-ciri yang membedakannya dengan makhluk hidup lain yaitu :

1. Organisme multiseluler
2. Prokariot (tidak memiliki membran inti sel )
3. Umumnya tidak memiliki klorofil
4. Memiliki ukuran tubuh yang bervariasi antara 0,12 s/d ratusan mikron umumnya memiliki ukuran rata-rata 1 s/d 5 mikron.
5. Memiliki bentuk tubuh yang beraneka ragam
6. Hidup bebas atau parasit
7. Yang hidup di lingkungan ekstrim seperti pada mata air panas, kawah atau gambut dinding selnya tidak mengandung peptidoglikan
8. Yang hidupnya kosmopolit diberbagai lingkungan dinding selnya mengandung peptidoglikan

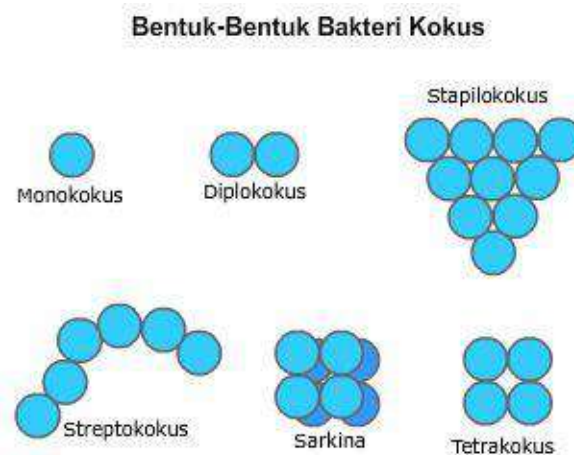
## Bentuk Bakteri

Bentuk dasar bakteri terdiri atas bentuk bulat (kokus), batang (basil), dan spiral (spirilia) serta terdapat bentuk antara kokus dan basil yang disebut kokobasil.

Berbagai macam bentuk bakteri :

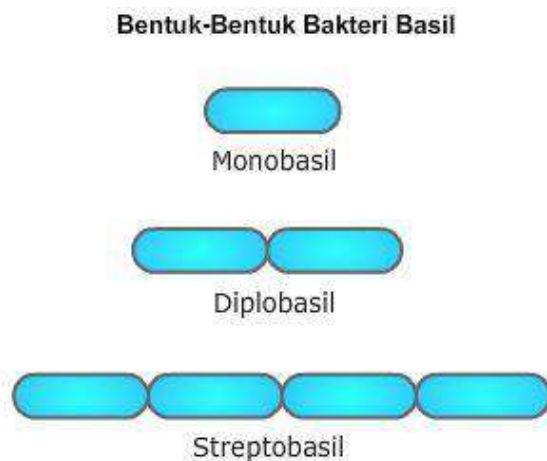
### 1. Bakteri Kokus : kuman berbentuk bulat

- a. Monokokus yaitu berupa sel bakteri kokus tunggal
- b. Diplokokus yaitu dua sel bakteri kokus berdempetan
- c. Tetrakokus yaitu empat sel bakteri kokus berdempetan berbentuk segi empat.
- d. Sarkina yaitu delapan sel bakteri kokus berdempetan membentuk kubus
- e. Streptokokus yaitu lebih dari empat sel bakteri kokus berdempetan membentuk rantai.
- f. Stapilokokus yaitu lebih dari empat sel bakteri kokus berdempetan seperti buah anggur



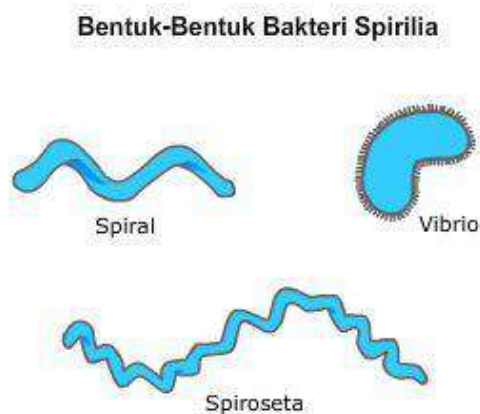
**2. Bakteri Basil :** kuman berbentuk silinder/batang

- a. Monobasil yaitu berupa sel bakteri basil tunggal
- b. Diplobasil yaitu berupa dua sel bakteri basil berdempetan
- c. Streptobasil yaitu beberapa sel bakteri basil berdempetan membentuk rantai



**3. Bakteri Spirilia :** kuman berbentuk melingkar

- a. Spiral yaitu bentuk sel bergelombang
- b. Spiroseta yaitu bentuk sel seperti sekrup
- c. Vibrio yaitu bentuk sel seperti tanda baca koma



## **Klasifikasi dan taksonomi kuman**

Klasifikasi dapat didefinisikan sebagai pengaturan organisme kedalam kelompok takso-nomi atas dasar kesamaan atau kekeluargaan. Klasifikasi organisme prokariota seperti bakteri membutuhkan pengetahuan yang diperoleh melalui eksperimen maupun tehnik observasi, karena sifat biokimia, fisiologi, genetik dan morfologi seringkali perlu untuk diskripsi adekuat dari taxon.

Nomenklatur adalah pemberian nama suatu organisme melalui aturan internasional atas dasar karakteristiknya.

Sebelum penemuan mikro-organisme, semua benda hidup yang dikenal dianggap sebagai tumbuhan atau binatang, tidak terpikirkan adanya jenis-jenis peralihan. Namun pada abad ke-19 menjadi jelas bahwa mikro-organisme memiliki semua kemungkinan kombinasi sifat-sifat tumbuhan dan binatang. Sekarang telah diakui secara umum bahwa mikro-organisme berkembang dengan perubahan yang relatif sedikit, dari leluhur tumbuhan dan binatang.

Dalam susunan taksonomi awal, mikroorganisme telah ditempatkan dalam kingdom tumbuhan dan secara taksonomi telah diberi ordo, keluarga, genus dan spesies. Suatu usulan untuk menghindari penempatan sewenang-wenang kelompok-kelompok dalam kingdom yang satu atau lainnya, telah dilakukan oleh Haeckel (1866), ketika beliau me-nyarankan pembentukan kingdom ketiga yaitu Protista yang mencakup semua mikro-organisme (algae, protozoa, fungi dan bakteria).

Penemuan selama 2 dekade lalu bahwa dunia ini didiami oleh jenis sel yang sangat beragam (yakni sel eukariota dann prokariota) telah menyebabkan munculnya usulan yang lebih lanjut bahwa mikroorganisme eukariota (algae, protozoa, fungi) dianggap sebagai protista tinggi dan prokariota (bakteri dan bakteri hijau) sebagai protista rendah.

Bakteri dan bakteri hijau diklasifikasikan sebagai tumbuhan primitif karena :

- mempunyai dinding sel seperti tumbuhan
- beberapa jenis bakteri dan semua bakteri hijau mengandung klorofil dan menghasilkan oksigen sebagai hasil samping dari fotosintesa

Namun melalui mikroskop elektron terungkap bahwa satu kelompok utama (dulu dinamakan bakteri hijau) sebenarnya merupakan prokariota sejati dan kemudian dinamakan sianobakteria. Selain itu terdapat lagi tipe-tipe sel yang paling primitif sehingga perlu diklasifikasikan secara terpisah sebagai arkhebakteria (bakteri purba).

Dengan demikian suatu klasifikasi mikroorganisme yang terbaru dapat diberikan sebagai berikut :

- I. Eukariota
  - A. Algae
  - B. Protozoa
  - C. Fungi
  
- II. Prokariota
  - A. Bakteria
  - B. Sianobakteria
  - C. Arkhebakteria

Dengan catatan Chlamydia dan Rickettsia termasuk dalam bakteria, yang perbedaannya dari bakteria adalah dalam ukurannya yang lebih kecil dan sifatnya parasit obligat intra-seluler.

Untuk klasifikasi dan determinasi bakteri dipakai buku "Bergey's Manual of Determinative Bacteriology" (edisi 8, 1974) yang menggambarkan sifat-sifat bakteri secara terperinci. Dalam buku tersebut bakteria dan sianobakteria dimasukkan dalam satu golongan tersendiri yang disebut prokariota.

Prokariota mempunyai inti primitif dan berkembang biak secara amitosis menjadi 2 bagian. Inti terdiri dari DNA yang terbuka dan tidak terbungkus dalam suatu



selaput atau membran. Yang patogen terhadap manusia adalah bakteri (Eubacteria = bakteri sejati), sedangkan eukariota mempunyai inti yang sebenarnya dan mengalami mitosis (untuk berkembang biak).

Bakteria dibagi dalam 3 kelas dan pembagian selanjutnya adalah :

- Ordo yang berakhiran - ales
- Keluarga yang berakhiran - aceae
- Genus
- Spesies

Contoh :

Ordo : Spirochaetales  
Keluarga : Spirochaetaceae  
Genus : Treponema  
Spesies : *Treponema pallidum*

### **Nomenklatur (pemberian nama)**

Seperti halnya tumbuhan, bakteri juga menggunakan 2 nama yaitu nama binomial yang diusulkan oleh Linnaeus untuk tumbuhan dalam tahun 1753. Jadi nama bakteri selalu ter-diri dari 2 kata dalam bahasa Latin. Kata pertama dimulai dengan huruf besar dan menunjukkan genus, dan kata kedua ditulis dengan huruf kecil yang menunjukkan spesies.

Misalnya : *Staphylococcus aureus* (bakteri yang tergolong dalam genus Staphylococcus dan spesies aureus).

Nama kuman dapat berasal dari kata baru yang disesuaikan dalam bahasa Latin atau nama seorang penemu yang dilatinkan.

Contoh :

Streptococcus : rantai  
Staphylococcus : gerombol  
Bacillus : batang  
Clostridium : spindle, pintalan yang halus  
Micrococcus : butir kecil

Erwinia	: dari nama Erwin
Pasteurella	: dari nama Pasteur
Salmonella	: dari nama Salmon
<i>Salmonella typhi</i>	: typhi merupakan penyebab tifoid
<i>Salmonella pullorum</i>	: ditemukan pada ayam
Brucella	: dari nama Bruce
<i>Brucella abortus</i>	: penyebab abortus pada ternak
<i>Haemophilus influenzae</i>	: pertama kali diasingkan dari penderita influenza dan disangka sebagai penyebab influenza
<i>Clostridium welchii</i>	: ditemukan oleh Welch

Nama-nama di atas adalah nama ilmiah, sedangkan nama sehari-hari yang lebih banyak dipakai adalah :

<i>Neisseria gonorrhoeae</i>	: gonococcus – go
<i>Treponema pallidum</i>	: sifilis
<i>Mycobacterium leprae</i>	: Hansen, lepra
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	: Koch, tbc
<i>Streptococcus pneumoniae</i>	: pneumococcus

### **Klasifikasi bakteri**

Tidak ada klasifikasi alam dari bakteri yang dapat diterima dimana-mana, karena tidak ada mekanisme untuk menentukan evolusi spesies bakteri sendiri-sendiri dan kita sama sekali tidak mengetahui mengenai evolusi bakteri-bakteri.

Namun, kendatipun ada keberatan-keberatan, suatu usaha klasifikasi bakteri secara filo-genetik telah diterbitkan di Amerika Serikat sebagai “*Bergey’s Manual of Determinative Bacteriology*”. Pertama kali diterbitkan pada tahun 1923, dan telah mengalami beberapa kali revisi dan sekarang sedang mengalami revisi ke-9. Pada edisi ke-6 dalam tahun 1948, bakteri digolongkan dalam 6 ordo yang terdiri atas 36 keluarga. Pada edisi ke-7 dalam tahun 1957, genus-genus diatur kembali dalam 10 ordo dan 47 keluarga. Edisi ke-8 dalam tahun 1974 mengelompokkan bakteri-bakteri dalam 19 “bagian”

KLASIFIKASI BAKTERI : Bergey's Manual of Determinative Bacteriology (ed. 8, 1974)

## BAKTERI POSITIF GRAM

### COCCUS

#### a. Aerob dan/atau fakultatif anaerob

##### \* Micrococcaceae

Genus : Micrococcus

*Micrococcus luteus*

*Micrococcus roseus*

Genus : Staphylococcus

*Staphylococcus aureus*

*Staphylococcus epidermidis*

##### \* Streptococcaceae

Genus : Streptococcus

*Streptococcus pyogenes*

*Streptococcus pneumoniae*

*Streptococcus agalactiae*

Genus : Leuconostoc

#### b. Anaerob

##### \* Peptococcaceae

Genus : Peptococcus

Genus : Peptostreptococcus

*Peptostreptococcus anaerobius*

Genus : Sarcina

*Sarcina lutea*

## BATANG PEMBENTUK SPORA

### \* Bacillaceae

Genus : Bacillus

*Bacillus anthracis*

Genus : Clostridium

*Clostridium botulinum*

*Clostridium perfringens*

*Clostridium tetani*

## BATANG TAK BERSPORA DAN ACTINOMYCETES

### \* Lactobacillaceae

Genus : Lactobacillus

*Lactobacillus acidophilus*

Genus : Listeria

*Listeria monocytogenes*

Genus : Erysipelothrix

*Erysipelothrix rhusiopathiae*

### \* Propionibacteriaceae

Genus : Propionibacterium

*Propionibacterium acnes*

Genus : Eubacterium

*Eubacterium lentum*

### \* Corynebacteriaceae

Genus : Corynebacterium

*Corynebacterium diphtheriae*

### \* Mycobacteriaceae

Genus : Mycobacterium

*Mycobacterium tuberculosis*

*Mycobacterium leprae*

### \* Nocardiaceae

Genus : Nocardia

*Nocardia asteroides*

\* Actinomycetaceae

Genus : Actinomyces

*Actinomyces israeli*

*Actinomyces naeslundii*

Genus : Arachnia

*Arachnia propionica*

Genus : Bifidobacterium

*Bifidobacterium eriksonii*

Genus : Bacterionema

*Bacterionema matruchotii*

Genus : Rothia

*Rothia dentocariosa*

\* Micromonosporaceae

Genus : Micropolyspora

*Micropolyspora faeni*

## **BAKTERI GRAM NEGATIF**

### **COCCUS DAN COCCOBACILLUS**

\* Neisseriaceae

Genus : Neisseria

*Neisseria meningitidis*

*Neisseria gonorrhoeae*

Genus : Branhamella

*Branhamella catarrhalis*

Genus : Moraxella

*Moraxella lacunata*

Genus : Acinetobacter

### **COCCUS ANAEROB**

\* Veillonellaceae

Genus : Veillonella

*Veillonella parvula*

Genus : Acidaminococcus

*Acidaminococcus fermentana*

## **BACILLUS DAN COCCUS AEROB**

### \* Pseudomonadaceae

Genus : Pseudomonas

*Pseudomonas aeruginosa*

### \* Genera of uncertain affiliation

Genus : Brucella

*Brucella abortus*

*Brucella melitensis*

*Brucella suis*

Genus : Bordetella

*Bordetella pertussis*

Genus : Francisella

*Francisella tularensis*

Genus : Alcaligenes

*Alcaligenes faecalis*

Genus : Acetobacter

## **BACILLUS ANAEROB FAKULTATIF**

### \* Enterobacteriaceae

Genus : Escherichia

*Escheria coli*

Genus : Edwardsiella

*Edwardsiella tarda*

Genus : Citrobacter

*Citrobacter freundii*

Genus : Salmonella

*Salmonella typhi*

*Salmonella sp*

Genus : Shigella

*Shigella dysenteriae*

*Shigella flexneri*

*Shigella sonnei*

Genus : Klebsiella

*Klebsiella pneumoniae*

Genus : Enterobacter

*Enterobacter aerogenes*

Genus : Serratia

*Serratia marcescens*

Genus : Hafnia

Genus : Proteus

*Proteus mirabilis*

*Proteus vulgaris*

Genus : Yersinia

*Yersinia enterocolitica*

*Yersinia pestis*

Genus : Erwinia

\* Vibrionaceae

Genus : Vibrio

*Vibrio cholerae*

*Vibrio parahaemolyticus*

Genus : Aeromonas

*Aeromonas hydrophila*

Genus : Plesiomonas

*Plesiomonas shigelloides*

\* Genera of uncertain affiliation

Genus : Chromobacterium

*Chromobacterium violaceum*

Genus : Flavobacterium

*Flavobacterium meningosepticum*

Genus : Haemophilus

*Haemophilus influenzae*

Genus : Pasteurella

*Pasteurella multocida*

Genus : Actinobacillus

*Actinobacillus lignieresii*

Genus : Cardiobacterium

*Cardiobacterium hominis*

Genus : Streptobacillus

*Streptobacillus moniliformis*

Genus : Calymatobacterium

*Calymatobacterium granulomatis*

## **BACILLUS ANAEROB**

\* Bacteroidaceae

Genus : Bacteroides

*Bacteroides fragilis*

Genus : Fusobacterium

*Fusobacterium nucleatum*

Genus : Leptotrichia

*Leptotrichia buccalis*

## **HELICAL CELLS**

\* Spirochaetaceae

Genus : Treponema

*Treponema pallidum*

Genus : Borrelia

*Borrelia recurrentis*

Genus : Leptospira

*Leptospira interrogans*

## **SPIRAL AND CURVED BACTERIA**

\* Spirillaceae

Genus : Spirillum

*Spirillum minor*

Genus : Campylobacter

*Campylobacter fetus*

## **RICKETTSIAS**

\* Rickettsiaceae

Genus : Rickettsia

*Rickettsia rickettsii*



Genus : Rochalimaea

*Rochalimaea quintana*

Genus : Coxiella

*Coxiella burnetii*

\* Bartonellaceae

Genus : Bartonella

*Bartonella bacilliformis*

\* Chlamydiaceae

Genus : Chlamydia

*Chlamydia trachomatis*

## **BENTUK TIDAK BERDINDING SEL**

\* Mycoplasmataceae

Genus : Mycoplasma

*Mycoplasma pneumoniae*

\*\* Modified from Buchanan and Gibbons : *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 8<sup>th</sup> ed. 1974, Courtesy of Williams & Wilkins.

Skema identifikasi : "*Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*", ed. 9

I. Gram-negative eubacteria that have cell walls

Group 1 : The spirochetes

Treponema

Borrelia

Leptospira

Group 2 : Aerobic/microaerophilic, motile helical/  
vibroid gram-negative bacteria

Campylobacter

Helicobacter

Spirillum

Group 3 : Nonmotile (or rarely motile) curved bacteria      None

Group 4 : Gram-negative aerobic/microaerophilic rods  
and cocci

Alcaligenes

Moraxella

<u>Bordetella</u>	<u>Neisseria</u>
<u>Brucella</u>	<u>Neisseria</u>
<u>Francisella</u>	<u>Pseudomonas</u>
<u>Legionella</u>	<u>Rochalimaea</u>

Bacteroides (some species)

Group 5 : Facultatively anaerobic gram-negative rods

Escherichia (and related coliform bacteria)

Klebsiella

Proteus

Yersinia

Providencia

Vibrio

Salmonella

Haemophilus

Shigella

Pasteurella

Group 6 : Gram-negative, anaerobic, straight, curved,  
and helical rods

Bacteroides

Fusobacterium

Prevotella

Group 7 : Dissimilatory sulfate- or sulfur-reducing  
bacteria

None

Group 8 : Anaerobic gram-negative cocci

None

Group 9 : The rickettsiae and chlamydiae

Rickettsia

Coxiella

Chlamydia

Group 10: Anoxygenic phototrophic bacteria

None

Group 11: Oxygenic phototrophic bacteria

None

Group 12: Aerobic chemolithotrophic bacteria and  
assorted organisms

None

Group 13: Budding or appendaged bacteria

None

Group 14: Sheathed bacteria

None

Group 15: Nonphotosynthetic, nonfruiting gliding  
bacteria

Capnocytophaga

Group 16: Fruiting gliding bacteria : the myxobacteria

None

II. Gram-positive bacteria that have cell walls

Group 17: Gram-positive cocci

Enterococcus

	Peptostreptococcus
	<u>Staphylococcus</u>
	<u>Streptococcus</u>
Group 18: Endospore-forming gram-positive rods and cocci	
	<u>Bacillus</u>
	<u>Clostridium</u>
Group 19: Regular, nonsporing gram-positive rods	Erysipelothrix
	Listeria
Group 20: Irregular, nonsporing gram-positive rods	Actinomyces
	<u>Corynebacterium</u>
	Mobiluncus
Group 21: The mycobacteria	
	<u>Mycobacterium</u>
Groups 22-29: Actinomycetes	Nocardia
	Streptomyces
	Rhodococcus
III. Cell wall-less eubacteria : The mycoplasmas or mollicutes	
Group 30: Mycoplasmas	<u>Mycoplasma</u>
	Ureaplasma
IV. Archebacteria	
Group 31: The methanogens	None
Group 32: Archaeal sulfate reducers	None
Group 33: Extremely halophilic archaeobacteria	None
Group 34: Cell wall-less archaeobacteria	None
Group 35: Extremely thermophilic and hyper-thermophilic sulfur metabolizers	None

## STRUKTUR BAKTERI

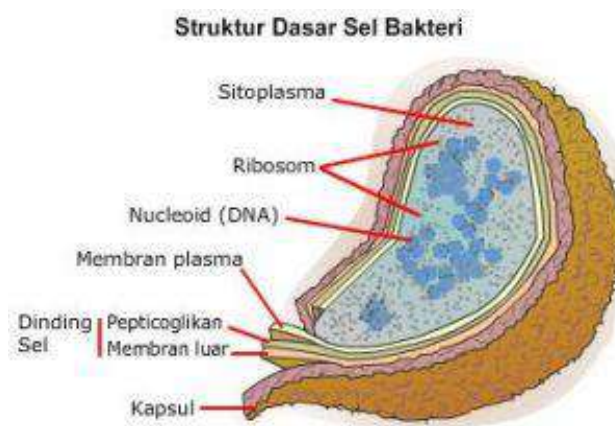
### Struktur Bakteri

Bakteri termasuk dalam golongan prokariota, yang strukturnya lebih sederhana dari eukariota.

Struktur bakteri terbagi menjadi dua yaitu:

1. Struktur dasar (dimiliki oleh hampir semua jenis bakteri)  
Meliputi: dinding sel, membran plasma, sitoplasma, ribosom, DNA, dan granula penyimpanan
2. Struktur tambahan (dimiliki oleh jenis bakteri tertentu)  
Meliputi kapsul, flagelum, pilus, fimbria, klorosom, Vakuola gas dan endospora.

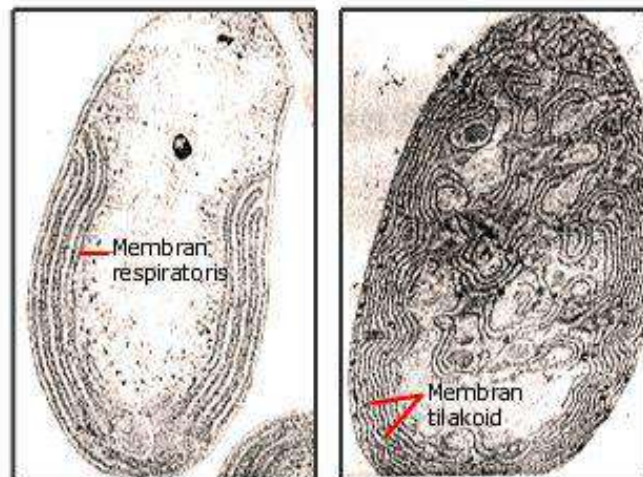
### Struktur dasar sel bakteri



Struktur dasar bakteri :

1. Dinding sel tersusun dari peptidoglikan yaitu gabungan protein dan polisakarida (ketebalan peptidoglikan membagi bakteri menjadi bakteri gram positif bila peptidoglikannya tebal dan bakteri gram negatif bila peptidoglikannya tipis).
2. Membran plasma adalah membran yang menyelubungi sitoplasma tersusun atas lapisan fosfolipid dan protein.

3. Sitoplasma adalah cairan sel.
4. Ribosom adalah organel yang tersebar dalam sitoplasma, tersusun atas protein dan RNA.
5. Granula penyimpanan, karena bakteri menyimpan cadangan makanan yang dibutuhkan.



granula

#### **Struktur tambahan bakteri :**

1. Kapsul atau lapisan lendir adalah lapisan di luar dinding sel pada jenis bakteri tertentu, bila lapisannya tebal disebut kapsul dan bila lapisannya tipis disebut lapisan lendir. Kapsul dan lapisan lendir tersusun atas polisakarida dan air.
2. Flagelum atau bulu cambuk adalah struktur berbentuk batang atau spiral yang menonjol dari dinding sel.
3. Pilus dan fimbria adalah struktur berbentuk seperti rambut halus yang menonjol dari dinding sel, pilus mirip dengan flagelum tetapi lebih pendek, kaku dan berdiameter lebih kecil dan tersusun dari protein dan hanya terdapat pada bakteri gram negatif. Fimbria adalah struktur sejenis pilus tetapi lebih pendek daripada pilus.

4. Klorosom adalah struktur yang berada tepat dibawah membran plasma dan mengandung pigmen klorofil dan pigmen lainnya untuk proses fotosintesis. Klorosom hanya terdapat pada bakteri yang melakukan fotosintesis.
5. Vakuola gas terdapat pada bakteri yang hidup di air dan berfotosintesis.
6. Endospora adalah bentuk istirahat (laten) dari beberapa jenis bakteri gram positif dan terbentuk didalam sel bakteri jika kondisi tidak menguntungkan bagi kehidupan bakteri. Endospora mengandung sedikit sitoplasma, materi genetik, dan ribosom. Dinding endospora yang tebal tersusun atas protein dan menyebabkan endospora tahan terhadap kekeringan, radiasi cahaya, suhu tinggi dan zat kimia. Jika kondisi lingkungan menguntungkan endospora akan tumbuh menjadi sel bakteri baru.

### **Flagel**

Flagel adalah filamen panjang yang berbentuk heliks terdapat di permukaan sel, yang menyebabkan bakteri dapat bergerak pada lingkungan sekitarnya. Dapat terbatas pada satu kutub, tunggal (polar, monotrich) atau dalam berkas (lophotrich) atau pada kedua kutub (amphitrich) dan tersebar di seluruh permukaan sel (peritrich). Kemampuan bakteri untuk bergerak sendiri disebut motilitas. Motilitas dapat berupa positif dan negatif respons terhadap rangsangan kimia (kemotaksis). Hampir semua bakteri berbentuk spiral dan sebagian besar basil bersifat motil. Sebaliknya, kokus adalah tidak motil. Flagella terdiri dari komponen protein (flagellin), bersifat antigenik yang kuat. Antigen ini, H antigen, adalah target penting dalam respons antibodi protektif.

### **Pili (fimbriae)**

Pili lebih kaku dibandingkan dengan flagella dan berfungsi sebagai pengikat, baik terhadap bakteri lain ('sex pili') atau terhadap sel pejamu ('pili biasa'). Perlekatan pada sel pejamu termasuk interaksi khas antara komponen molekul pili (adhesin) dan molekul membran sel pejamu. Sebagai contoh, adhesin *Escherichia coli* berinteraksi dengan molekul mannanosa pada permukaan sel epitel usus halus. Adanya pili dapat membantu untuk mencegah fagositosis, mengurangi daya tahan pejamu terhadap infeksi bakteri

## **Kapsul**

Berbagai spesies kuman yang patogen mensintesa ekstrasel (pada umumnya polisakarida, tetapi bisa juga polipeptida) yang berkondensasi dan membentuk lapisan sekeliling dinding sel yang disebut kapsul. Kapsul merupakan faktor virulensi daripada kuman patogen untuk mencegah fagositosis. Pada infeksi oleh *Streptococcus pneumoniae*, hanya beberapa jenis berkapsul yang menyebabkan infeksi fatal, sedangkan mutan yang tidak berkapsul tidak menimbulkan penyakit. Pada perbenihan agar, koloni kuman berkapsul tampak sebagai koloni berlendir. Pada pewarnaan yang biasa digunakan di laboratorium seperti Gram kapsul sukar dapat dilihat. Untuk menunjukkan adanya kapsul, diperlukan pewarnaan khusus yaitu *Gins Burry*, dimana kapsul tampak tidak berwarna dengan latar belakang yang hitam.

## **Dinding sel**

Adanya kuman dengan pelbagai bentuk menunjukkan bahwa ia mempunyai dinding sel yang cukup kuat dan tegang untuk memberi bentuk pada kuman. Tekanan osmotik di dalam kuman berkisar antara 5-20 atm, karena adanya transport aktif yang menyebabkan tingginya konsentrasi larutan di dalam sel. Karena adanya dinding sel kuman yang relatif sangat kuat, maka meskipun tekanan osmotiknya tinggi sel kuman tidak pecah.

Dinding sel kuman terdiri dari lapisan peptidoglikan, yang disebut juga sebagai lapisan murein atau mukopeptida. Kuman dibagi atas kuman yang positif Gram dan negatif Gram, tergantung pada responsnya bila diwarnai dengan pewarnaan Gram. Sebagai tambahan, kuman *mycobacteria* mempunyai dinding sel yang tahan asam, dan *mycoplasma* tidak mempunyai dinding sel.

Dinding sel kuman positif Gram terdiri dari lapisan peptidoglikan yang sangat tebal. Karena lapisan ini merupakan komponen utama dari dinding sel positif Gram maka banyak antibiotika efektif terhadap kuman positif Gram (seperti penisilin) dengan cara mencegah terbentuknya peptidoglikan. Kuman negatif Gram, yang mempunyai lapisan peptidoglikan lebih tipis dan struktur dinding sel yang berbeda, kurang dipengaruhi antibiotika tersebut. Komponen lain daripada

dinding sel kuman positif Gram adalah asam teikhoat (melekat pada peptidoglikan) dan asam lipoteikhoat (melekat pada membran sitoplasma)

Dinding sel kuman negatif Gram mempunyai komposisi dua lapisan. Lapisan dalam peptidoglikan lebih tipis daripada dinding sel positif Gram. Lapisan luar dari peptidoglikan ada tambahan membran terdiri dari protein, fosfolipid dan lipopolisakarida (LPS). LPS ini bisa menimbulkan demam dan shok pada penderita terinfeksi kuman negatif Gram.

### **Membran sitoplasma**

Membran sitoplasma (disebut juga membran sel ) adalah membran lipoprotein yang mengelilingi sitoplasma dan komposisinya terdiri dari fosfolipid dan protein, tetapi tidak mengandung sterol kecuali Mycoplasma. Membran sitoplasma mengatur transport bahan makanan melalui membran, bekerja sebagai barrier tekanan osmotik dan merupakan tempat rantai transport elektron dimana enersi dihasilkan. Di tempat-tempat tertentu pada membran sitoplasma terdapat lekukan ke dalam (invaginasi) yang disebut *mesosom*. Ada 2 jenis mesosom yaitu septal mesosom yang berfungsi dalam pembelahan sel dan lateral mesosom. Kromosom bakteri (DNA) melekat pada septal mesosom.

### **Spora**

Beberapa genus kuman dapat membentuk spora. Yang paling sering membentuk spora adalah kuman batang positif Gram dari genus *Bacillus* dan *Clostridium*. Kuman-kuman ini mengadakan diferensiasi membentuk spora bila keadaan lingkungannya menjadi buruk, misalnya bila medium disekitarnya kekurangan nutrisi. Masing-masing sel akan membentuk spora, sedangkan sel induknya akan mengalami oto-lisis. Spora adalah kuman dalam bentuk istirahat. Spora bersifat sangat resisten terhadap pemanasan, pengeringan dan zat kimiawi. Sifat ini harus diperhitungkan bila ingin membuat steril bahan-bahan untuk keperluan kedokteran. Sebaiknya spora kuman dimatikan dengan pemanasan basah dengan tekanan tinggi (otoklaf). Bila kondisi lingkungan telah baik kembali, spora dapat kembali melakukan germinasi dan memproduksi sel vegetatif.



Spora terdiri dari :

- a. *Core* : adalah sitoplasma dari spora. Di dalamnya terkandung semua unsur untuk kehi-dupan kuman seperti kromosom yang lengkap, komponen-komponen untuk sintesis protein dan lain sebagainya.
- b. Dinding spora : lapisan paling dalam dari spora, terdiri dari dinding peptidoglikan dan akan menjadi dinding sel bila spora kembali ke bentuk vegetatif
- c. *Korteks* : adalah lapisan yang tebal dari spora envelope. Juga terdiri dari lapisan peptidoglikan tetapi dalam bentuk yang istimewa
- d. *Coat* : terdiri dari zat semacam keratin, dan keratin inilah yang menyebabkan spora relatif tahan terhadap pengaruh luar
- e. *Eksosporium* : adalah lipoprotein membran yang terdapat paling luar.

Pada waktu germinasi dimana spora kembali menjadi sel vegetatif terjadi beberapa peristiwa sebagai berikut :

1. Aktivasi : meskipun lingkungan membaik, spora tidak akan melakukan germinasi sampai terjadi aktivasi yang diawali oleh adanya suatu zat yang merusak coat dari spora seperti panas, asam komponen sulfhidril dan lain sebagainya.
2. Inisiasi : setelah teraktivasi maka spora akan melakukan germinasi dengan menggunakan sumber makanan dari media/lingkungannya
3. Outgrowth : kemudian terjadi degradasi dari korteks dan sel vegetatif baru keluar dan hidup seperti semula

### Inti sel (Nukleus)

Di dalam sel kuman terdapat zat nukleoprotein yang merupakan bahan utama inti sel. Nukleoprotein ini ternyata terdiri dari zat-zat DNA dan RNA (DNA = deoxyribonucleic acid. RNA = ribonucleic acid). Dengan pewarnaan Fuelgen, inti sel prokariota dapat dilihat dengan hanya menggunakan mikroskop cahaya biasa. Pewarnaan Fuelgen sebetulnya mewarnai molekul DNA. Dengan mikroskop elektron tampak bahwa badan inti tidak mempunyai dinding inti/membran inti. Di dalamnya terdapat benang DNA (DNA fibril) yang bila diekstraksi, berupa molekul tunggal dan utuh dari DNA dengan berat molekul  $2-3 \times 10^9$  Benang DNA inilah yang disebut kromosom yang panjangnya kira-kira 1

mm. Estraksi DNA dilakukan dengan melisiskan dinding sel secara hati-hati, kemudian dilakukan sen-trifugasi; maka benang DNA akan terpisah dari materi sel lainnya dan dapat dimurnikan.

### **Granula**

Pada beberapa macam kuman dapat dilihat bintik-bintik di dalam sitoplasma. Pada kuman *Corynebacterium* dikenal sebagai granula **Babes-Ernst**. Granula kuman ada yang terdiri dari zat nukleoprotein, tetapi ada pula yang terdiri dari polisakarida atau lipid. Granula Babes-Ernst ternyata terdiri dari polifosfat yang mempunyai peranan penting dalam metabolisme.

### **Alat Gerak Bakteri**

Alat gerak pada bakteri berupa flagellum atau bulu cambuk adalah struktur berbentuk batang atau spiral yang menonjol dari dinding sel. Flagellum memungkinkan bakteri bergerak menuju kondisi lingkungan yang menguntungkan dan menghindar dari lingkungan yang merugikan bagi kehidupannya. Flagellum memiliki jumlah yang berbeda-beda pada bakteri dan letak yang berbeda-beda pula yaitu

1. Monotrik : bila hanya berjumlah satu
2. Lofotrik : bila banyak flagellum disatu sisi
3. Amfitrik : bila banyak flagellum dikedua ujung
4. Peritrik : bila tersebar diseluruh permukaan sel bakteri

### **Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Pertumbuhan Bakteri**

Pertumbuhan pada bakteri mempunyai arti perbanyakan sel dan peningkatan ukuran populasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri atau kondisi untuk pertumbuhan optimum adalah :

1. Suhu
2. Derajat keasaman atau pH
3. Konsentrasi garam

4. Sumber nutrisi
5. Zat-zat sisa metabolisme
6. Zat kimia

Hal tersebut diatas bervariasi menurut spesies bakterinya.

#### **Cara Perkembangbiakan bakteri:**

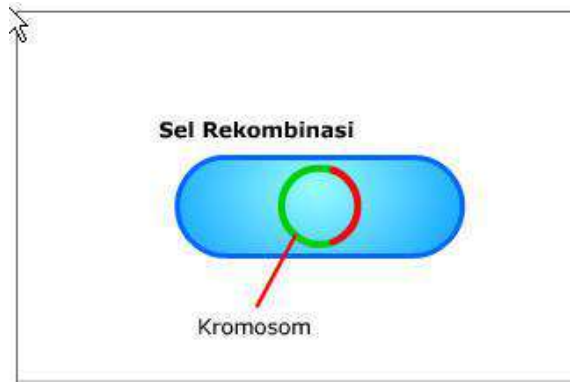
Bakteri umumnya melakukan reproduksi atau berkembang biak secara aseksual (vegetatif = tak kawin) dengan membelah diri. Pembelahan sel pada bakteri adalah pembelahan biner yaitu setiap sel membelah menjadi dua. Reproduksi bakteri secara seksual yaitu dengan pertukaran materi genetik dengan bakteri lainnya. Pertukaran materi genetik disebut rekombinasi genetik atau rekombinasi DNA.

Rekombinasi genetik ialah pembentukan suatu genotype baru melalui pemilihan kembali gen-gen setelah terjadinya pertukaran bahan genetik antara dua kromosom yang berbeda dan mempunyai gen-gen serupa pada situs-situs yang bersangkutan. Kromosom ini disebut kromosom homolog. Turunan yang dihasilkan dari rekombinasi mempunyai kombinasi gen-gen yang berbeda dari yang ada pada sel induk.

Rekombinasi genetik dapat dihasilkan dari 3 tipe pemindahan gen :

1. Transformasi. Pemindahan DNA bebas sel yang mengandung sejumlah terbatas informasi DNA, dari 1 sel ke sel yang lain
2. Transduksi. Pemindahan gen dari 1 sel ke sel yang lain oleh bakteriofaga
3. Konjugasi. Pemindahan gen antara sel-sel yang kontak satu dengan yang lain secara fisik.

1. Transformasi adalah pemindahan sedikit materi genetik, bahkan satu gen saja dari satu sel bakteri ke sel bakteri yang lainnya.



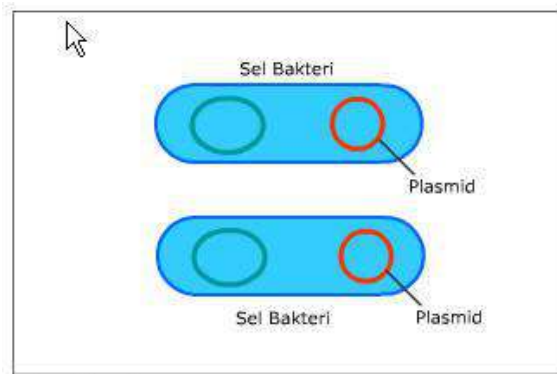
transformasi

2. Transduksi adalah pemindahan materi genetik satu sel bakteri ke sel bakteri lainnya dgn perantara organisme yang lain yaitu bakteriofage (virus bakteri).



transduksi

3. Konjugasi adalah pemindahan materi genetik berupa plasmid secara langsung melalui kontak sel dengan membentuk struktur seperti jembatan diantara dua sel bakteri yang berdekatan. Umumnya terjadi pada bakteri gram negatif.



konjugasi

## Peranan Bakteri

Dalam kehidupan manusia bakteri mempunyai peranan yang menguntungkan maupun yang merugikan. Bakteri yang menguntungkan adalah :

1. Pembusukan (penguraian sisa-sisa makhluk hidup contohnya *Escherichia coli*).
2. Pembuatan makanan dan minuman hasil fermentasi contohnya *Acetobacter* pada pembuatan asam cuka, *Lactobacillus bulgaricus* pada pembuatan yoghurt, *Acetobacter xylinum* pada pembuatan nata de coco dan *Lactobacillus casei* pada pembuatan keju yoghurt.
3. Berperan dalam siklus nitrogen sebagai bakteri pengikat nitrogen yaitu *Rhizobium leguminosarum* yang hidup bersimbiosis dengan akar tanaman kacang-kacangan dan *Azotobacter chlorococcum*.
4. Penyubur tanah contohnya *Nitrosococcus* dan *Nitrosomonas* yang berperan dalam proses nitrifikasi menghasilkan ion nitrat yang dibutuhkan tanaman.
5. Penghasil antibiotik contohnya adalah *Bacillus polymyxa* (penghasil antibiotik polimiksin B untuk pengobatan infeksi bakteri gram negatif, *Bacillus subtilis* penghasil antibiotik untuk pengobatan infeksi bakteri gram positif, *Streptomyces griseus* penghasil antibiotik streptomisin untuk pengobatan bakteri gram negatif termasuk bakteri penyebab TBC dan *Streptomyces rimosus* penghasil antibiotik terasiklin untuk berbagai bakteri.
6. Pembuatan zat kimia misalnya aseton dan butanol oleh *Clostridium acetobutylicum*
7. Berperan dalam proses pembusukan sampah dan kotoran hewan sehingga menghasilkan energi alternatif metana berupa biogas. Contohnya *methanobacterium*
8. Penelitian rekayasa genetika dalam berbagai bidang. sebagai contoh dalam bidang kedokteran dihasilkan obat-obatan dan produk kimia bermanfaat yang disintesis oleh bakteri, misalnya enzim, vitamin dan hormon.

Bakteri yang merugikan sebagai berikut :

1. Pembusukan makanan contohnya *Clostridium botulinum*
2. Penyebab penyakit pada manusia contohnya *Mycobacterium tuberculosis* (penyebab penyakit TBC), *Vibrio cholerae* ( penyebab kolera atau muntaber ), *Clostridium tetani* (penyebab penyakit tetanus) dan *Mycobacterium leprae* (penyebab penyakit lepra)
3. Penyebab penyakit pada hewan contohnya *Bacillus anthracis* (penyebab penyakit antraks pada sapi)
4. Penyebab penyakit pada tanaman budidaya contohnya *Pseudomonas solanacearum* (penyebab penyakit pada tanaman tomat, lombok, terung dan tembakau) serta *Agrobacterium tumefaciens* (penyebab tumor pada tumbuhan).

## **STERILISASI DAN DISINFEKSI**

Pengetahuan dasar perihal sterilisasi dan disinfeksi adalah penting sekali dalam klinik dan laboratorium

Sejak dahulu pengawasan terhadap mikroba penyebab penyakit telah menjadi pemikiran para ahli sejak penyakit-penyakit mulai dikenal. Berbagai macam cara telah dicoba untuk memilih yang paling tepat guna menghilangkan pencemaran oleh mikroba terhadap benda-benda baik hidup maupun mati.

Bahan anti mikroba yang ditemukan memiliki keefektifan yang bermacam-macam, dan penggunaannya ditujukan terhadap hal-hal yang berbeda pula.

Antiseptika dan disinfektan misalnya, berbeda dalam cara digunakannya. Antiseptika dipakai terhadap jaringan hidup, sedangkan disinfektan untuk bahan-bahan mati seperti dahak dan sebagainya.

## Tindakan sterilisasi dan disinfeksi

Tindakan sterilisasi dan disinfeksi dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu cara fisika dan kimia. Dalam cara fisika dimasukkan antara lain :

1. pemanasan yang dibagi atas : - pemanasan basah  
- pemanasan kering
2. pendinginan
3. penyaringan
4. radiasi

### **Pemanasan basah**

#### **Otoklaf**

Teknik sterilisasi yang paling pasti adalah pemanasan uap air disertai tekanan yang dilakukan dalam suatu alat yang dikenal sebagai otoklaf. Otoklaf memiliki suatu ruangan yang mampu menahan tekanan di atas 1 atm. Alat-alat yang akan disterilkan dimasukkan ke dalam ruangan ini. Setelah udara dalam ruangan ini digantikan oleh uap air, maka ruangan ini ditutup rapat sehingga tekanannya akan meningkat, yang juga akan diikuti oleh kenaikan suhunya.

Dengan cara ini akan dapat dicapai tekanan 1 ½ atm dan suhu 121° C, sehingga dalam waktu 10 – 12 menit semua bentuk hidup berikutan spora akan dimatikan. Di dalam otoklaf yang mensterilkan adalah panas basah dan bukan tekanannya. Oleh karena itu, setelah air di dalam tangki mendidih dan mulai dibentuk uap air, maka uap air ini dialirkan ke ruang pensteril guna mendesak keluar semua udara didalamnya. Apabila masih ada udara yang tersisa, maka udara ini akan menambah tekanan di dalam ruang pensteril yang akan mengganggu naiknya suhu dalam ruang tersebut.

#### **Perebusan (boiling)**

Perebusan tidak dapat dipercaya untuk tindakan sterilisasi, namun merupakan cara yang termudah dan termurah untuk tindakan disinfeksi. Waktu disinfeksi yang dianjurkan adalah 15 menit dihitung setelah air mendidih. Bentuk vegetatif akan dimatikan dalam waktu 5 – 10 menit pemaparan. Tetapi bentuk spora dan kebanyakan virus mampu bertahan berjam-jam dengan cara ini.

Jadi, jelas bahwa cara perebusan ini :

1. tidak sporosida dan karena itu tidak tepat dianggap untuk tindakan sterilisasi
2. alat-alat menjadi rusak oleh korosi karena berkarat dan elektrolisa
3. alat-alat yang direbus lekas tercemar kembali karena tidak dapat dikemas dengan baik
4. air rebusan akan tercemar pada waktu alat-alat semprit dan sebagainya dikeluarkan

### **Pasteurisasi**

Pasteurisasi adalah suatu cara sterilisasi dengan pemanasan, yang untuk pertama kalinya dilakukan oleh Pasteur dengan maksud untuk mengurangi jumlah mikroba pembusuk di dalam anggur tanpa merusak anggur tadi.

Cara ini ternyata dapat juga dilakukan terhadap susu, karena terbukti bahwa kuman-kuman pathogen yang mungkin terdapat di dalam susu seperti kuman tbc, brucella, streptokokus, stafilocokus, salmonella, shigella dan difteri, dapat dibunuh sedangkan susu tidak rusak.

Kemampuan mikroba bertahan dari panas bervariasi, tetapi hampir semua species yang penting secara klinis hancur oleh pajanan ke panas-lembab antara 50° – 70° C selama 20-30 menit..

### **Pemanasan kering**

#### **Pembakaran (insineration )**

Pembakaran merupakan cara sterilisasi yang 100% efektif, tetapi cara ini terbatas penggunaannya. Cara ini biasa dipakai untuk mensterilkan alat sengkeli (ose) yaitu dengan membakarnya hingga pijar. Dengan cara ini semua bentuk hidup akan dibunuh. Pembakaran ini juga dilakukan terhadap bangkai binatang percobaan yang mati.

#### **Sterilisasi dengan udara panas**

Alat-alat yang akan disterilkan dengan cara ini ditempatkan di dalam oven, dimana suhu yang dipakai umumnya antara 160° C – 180° C. Caranya adalah dengan memanaskan udara di dalam oven tersebut dengan gas atau listrik. Oleh karena daya penetrasi panas kering tidak sebaik panas basah, maka waktu yang diperlukan pada cara sterilisasi ini lebih lama yaitu 1 – 2 jam.



Sterilisasi dengan cara ini baik dipergunakan untuk mensterilkan alat-alat gelas seperti lempeng Petri, pipet, tabung reaksi, labu dan sebagainya.

### Penyaringan (filtration)

Penyaringan dilakukan dengan mengalirkan cairan atau gas melalui suatu bahan penyaring yang memiliki pori-pori cukup kecil untuk menahan mikroba dengan ukuran tertentu.

Dulu dipakai :

1. saringan Chamberland, dibuat dari kaolin atau porselin
2. saringan Berkefeld, dibuat dari tanah diatomae
3. saringan Seitz, dibuat dari asbes
4. saringan bubuk gelas, dibuat dari bubuk gelas yang dibentuk sebagai disk

Sekarang dipakai saringan yang dibuat dari cellulose.

Penyaringan dilakukan untuk mensterilkan bahan yang peka terhadap panas seperti serum, cairan enzim, toksin kuman dan sebagainya.

### Radiasi ultra violet

Mikroba yang terdapat di udara dapat dibunuh dengan penyinaran memakai sinar ultra violet. Panjang gelombang yang membunuh mikroba adalah 220 – 290 nm. Radiasi yang paling efektif adalah 253,7 nm. Faktor penghambat dari sinar ultra violet adalah daya penetrasinya yang lemah. Untuk memperoleh hasil yang baik, maka bahan-bahan yang akan disterilkan baik yang berupa cairan atau gas harus dilewatkan atau ditempatkan langsung dibawah sinar ultra violet dalam lapisan-lapisan yang tipis.

Orang-orang yang bekerja dengan atau dekat sumber sinar ultra violet harus memakai kaca mata khusus guna melindungi kornea terhadap iritasi atau kerusakan yang mungkin bersifat permanen.

### Disinfeksi dengan cara kimia

Bahan kimia yang dipakai untuk mengontrol jasad renik yang terdapat pada badan dan benda-benda mati, umumnya disebut disinfektan atau germisida. Tergolong padanya adalah bahan antiseptik, bahan sanitasi dan disinfektan. Pada beberapa keadaan tidaklah mungkin untuk memperoleh

sterilitas atau pada mana sterilitas bukan merupakan tujuan, melainkan yang dituju hanyalah mengurangi populasi mikroba sampai batas keamanan atau menghilangkan bentuk vegetatif kuman patogen saja.

Bahan disinfektan yang dipakai sebaiknya mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. mematikan semua bentuk kuman dalam waktu yang praktis
2. hanya bereaksi dengan kuman pada kadar tertentu
3. terhadap jaringan tubuh tidak bersifat iritasi, alergi dan toksis
4. tidak bersifat korosif, diskolorisasi dan merusak, serta tidak meninggalkan bekas yang toksis pada alat-alat
5. membuat kontak yang efektif, ini berarti mudah larut dan mempunyai penetrasi yang besar
6. larut dalam air
7. stabil dalam keadaannya dan tidak mudah menguap. Kadar yang tinggi tidak merusak jaringan tubuh
8. mempunyai jarak efektivitas yang luas pada penipisan
9. tidak berbau agresif
10. tidak meninggalkan bercak
11. murah harganya

### Yodium

Larutan yodium, baik dalam air maupun dalam alkohol bersifat sangat antiseptik dan telah dipakai sejak lama sebagai antiseptik kulit sebelum pembedahan.

Pada konsentrasi yang tepat, yodium tidak mengganggu kulit, namun penggunaan tinctura yodii mewarnai jaringan dan menyebabkan iritasi lokal pada kulit dan kadang-kadang reaksi alergi.

### Klor

Elemen klor dan sediaan ikatan klor anorganik dipakai pada sanitasi, purifikasi dan disinfeksi. Klor elemental dipakai untuk purifikasi air.

Hipoklorit dan lain-lain sediaan yang melepaskan Cl dipakai sebagai pemutih dan sanitasi pada perusahaan susu, tempat pemotongan hewan, kolam renang dan juga dalam rumah tangga.

Hipoklorit menghancurkan berbagai mikroba dan efektif terhadap virus hepatitis B dan virus HIV.

### Alkohol

Alkohol merupakan zat yang paling efektif dan dapat diandalkan untuk sterilisasi dan disinfeksi. Alkohol mendenaturasi protein dengan jalan dehidrasi dan juga merupakan pelarut lemak. Oleh karenanya, membran sel akan dirusak dan enzim-enzim akan diinaktifkan oleh alkohol.

Ada 3 jenis alkohol yang dipergunakan yaitu metanol, etanol dan isopropanol.

Menurut ketentuan, semakin tinggi berat molekulnya semakin meningkat pula daya bakterisidnya. Yang dipergunakan di dalam praktek adalah solusi alkohol 70-80% dalam air. Konsentrasi di atas 90% atau di bawah 50% biasanya kurang efektif, kecuali untuk isopropanol yang masih tetap efektif sampai konsentrasi 99%. Waktu 10 menit sudah cukup untuk membunuh sel vegetatif, tetapi spora tidak

Alkohol bisa digunakan tunggal atau dalam bentuk kombinasi, dan sering dipakai sebagai antiseptik kulit. Suatu hapusan dengan alkohol secara cepat, tidak cukup mensterilkan tetapi hanya mengurangi jumlah populasi dan dengan demikian juga mengurangi kemungkinan timbulnya infeksi. Telah menjadi kebiasaan kita di dalam praktek untuk mencelupkan alat-slat seperti gunting, pinset ke dalam alkohol dan kemudian membakarnya. Keefektifan cara ini masih dipertanyakan, dan hendaknya jangan dipakai untuk menggantikan cara-cara sterilisasi yang lebih baik.

### Fenol

Fenol (asam karbol) untuk pertama kalinya dipergunakan Joseph Lister di dalam ruang bedah sebagai germisida untuk mencegah timbulnya infeksi pasca bedah.

Pada konsentrasi rendah, daya membunuhnya disebabkan karena fenol mempresipitasikan protein secara aktif dan selain ini juga merusak membran sel dengan menurunkan tegangan permukaannya. Fenol merupakan standard pembanding untuk menentukan aktivitas sesuatu disinfektan.

Fenol dan kresol berbau khas dan bersifat korosif terhadap jaringan. Kurang efektif terhadap spora. Penambahan halogen seperti klor akan meningkatkan aktivitas fenol. Heksaklorofen merupakan derivat fenol yang paling berguna. Dikombinasikan dengan sabun akan merupakan disinfektan kulit yang sangat efektif, tetapi lambat kerjanya.

### Peroksida

Peroksida hidrogen (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) merupakan antiseptik yang efektif dan non-toksik. Molekulnya tidak stabil dan apabila dipanaskan akan terurai menjadi air dan oksigen.

Pada konsentrasi 0,3-6,0% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dipakai untuk disinfeksi dan pada konsentrasi 6.0-25% dipakai untuk sterilisasi. Terdapat bukti bahwa H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% bersifat bakterisid dan sporisid.

### Surfaktan

Surfaktan adalah bahan yang aktif permukaan, menurunkan tekanan permukaan pelarut dan pembasah. Dalam surfaktan dimasukkan golongan sabun dan deterjen.

### Sabun

Sabun yang dipakai dalam kosmetik adalah garam Na atau K dari pada asam lemak tinggi. Sangat bernilai dalam tindakan kontrol kuman, meskipun sabun tidak aktif langsung antimikroba. Khasiatnya diperoleh dengan menghilangkan kuman melalui menghapus kotoran secara mengemulsi lapisan lemak pada kulit, tempat bersarang mikroba. Sebagai aksi menambah emulsi kepada sabun dapat diberikan bahan aktif antimikroba yang disamping berkhasiat bakteristatik, juga menghilangkan bau badan.

### Detergen

Detergen adalah bahan pembersih surfaktan yang sintetis. Sebagai bahan pembersih dianggap lebih unggul dari pada sabun karena tidak membentuk presipitat atau endapan. Detergen dibagi atas : detergen anion, kation dan non-ion

### Detergen anion

Daya pembersih terletak pada bagian anion molekul (negatif). Detergen ini dipakai sebagai bubuk cuci detergen pakaian. Seperti halnya dengan sabun, menghilangkan cemaran kuman secara menghilangkan kotoran lemak partikel lain.

### Detergen kation

Anggota detergen kation dikenal sebagai disinfektan-antiseptik-sanitasi. Secara kimia, mengandung ion positif-onium : ion amonium, ion fosfonium dan ion sulfonium.

Yang terkenal luas adalah sediaan ion amonium kwaterner. Kerjanya adalah secara denaturasi protein dan inaktivasi enzim.

### Formaldehida

Formaldehida kadang-kadang dipakai dalam bentuk gas sebagai fumigan atau dalam bentuk larutan sebagai formalin.

Aplikasi tidak luas karena :

1. mengiritasi jaringan tubuh
2. daya tembus rendah
3. bekerja lambat
4. mudah berpolimerasi menjadi endapan putih

Pada kadar tinggi berkhasiat sporosida. Dapat dipakai untuk sterilisasi alat-alat yang sukar tersterilisasi dengan cara lain misalnya kateter, endoskop dan sebagainya.

### Glutaradehida

Merupakan keluarga formaldehida dengan dua gugusan aldehida dan karenanya tergolong dalam di-aldehida. Mempunyai spektrum yang luas, jika dipakai dalam larutan dapar 2% berkhasiat bakterisida, tuberkulosida dan virusida dalam 10 menit serta sporosida dalam 10 jam.

Pada kulit beriritasi ringan, tetapi keras pada selaput mata, karena itu tidak dipakai sebagai antiseptik

### Etilen oksida

Mempunyai daya penetrasi yang tinggi sebagai gas dan bekerja tanpa pemanasan dan uap air. Dipakai untuk sterilisasi pelbagai bahan kedokteran misalnya kateter, alat-alat kedokteran gigi, alat-alat laboratorium dan sebagainya. Bersifat toksik bila masuk pernapasan dan pada kulit menimbulkan lepuh.

### Beta-propiolakton

Dipakai sebagai fumigan dalam bentuk gas, lebih berkhasiat dari pada formadehida. Dalam bentuk cairan dipakai untuk mensterilkan vaksin, jaringan dan serum. Dalam bentuk uap, relatif bersifat non-toksik, namun betapropiolaktan cair bersifat karsinogenik.

### Logam-logam berat

Logam berat berperan sebagai antimikroba, oleh karena dapat mempresipitasikan enzim-enzim atau lain-lain protein esensial dalam sel. Logam-logam berat yang umum dipakai adalah Hg, Ag, As dan Zn.

Daya antimikrobanya lazim pula disebut sebagai daya oligodinamik.

Hg :  $\text{HgCl}_2$  pernah merupakan disinfektan yang populer, tetapi kini sudah tidak dipakai lagi, karena dapat diinaktifkan oleh bahan organik. Senyawa Hg organik efektif untuk mengobati luka-luka kecil (ringan) dan sebagai preservatif di dalam serum dan vaksin

Ag : Pada konsentrasi 1%,  $\text{AgNO}_3$  biasa dipakai untuk mencegah kemungkinan terjadinya infeksi gonokokus pada mata bayi yang baru lahir.

As : Arsen pernah terkenal sebagai obat pertama untuk penyakit sifilis, dan kini masih dipakai untuk pengobatan infeksi oleh protozoa.

Zn : Dalam bentuk pasta dipakai untuk mengobati infeksi karena kuman atau jamur

### Memilih jenis disinfektan

1. Menurut khasiatnya :
  - disinfektan
  - antiseptik
2. Aplikasinya :
  - alat-alat rumah seperti barang-barang, lantai
  - alat-alat yang berkontak tubuh seperti thermometer
  - kulit dan mukosa

## METABOLISME KUMAN

Sel kuman mengadakan kegiatan di dalam sel untuk pertumbuhan, pembelahan sel, gerak, pembaharuan komponen dan lain-lain. Seluruh proses pengolahan setelah bahan makanan masuk dalam sel dinamakan metabolisme.

Metabolisme dapat dibagi dalam 2 bagian :

1. Anabolisme/Asimilasi meliputi proses sintesa (pembangunan)
2. Katabolisme/Desimilasi meliputi proses degradasi (perombakan)

Sebelum proses diperlukan pengaktifan subunit yang akan dipakai dan energi tinggi yaitu ATP (Adenosin Triphosphate). Energi untuk metabolisme diambil dari proses fermentasi, respirasi dan fotosintesa. Hasil reduksi-oksidasi pada semua proses selalu dibentuk ATP, dimana energi yang dibebaskan tersimpan untuk proses selanjutnya. Senyawa dengan tingkat tinggi adalah CoA (KoenzimA) yang sering dipakai sebagai penyalur energi. Pada fermentasi dan respirasi energi diperoleh dari proses katabolisme karbohidrat.

Kuman tumbuh dengan 2 cara yaitu :

1. Kuman heterotrof.

Kuman heterotrof, termasuk kuman patogen memakai zat organik sebagai sumber C untuk mendapat energi.

Kuman saprofit, mengambil bahan organik dari bahan mati atau ekskreta organisme lain.

Kuman parasit, tumbuh pada organisme lain dan dari organisme tersebut mendapat sumber C dalam bentuk zat organik.

2. Kuman autotrof.

Kuman autotrof membutuhkan C dalam bentuk anorganik. Kuman autotrof kemosintetik mendapat energi dengan oksidasi bahan anorganik seperti Fe, NH<sub>3</sub> dan SO<sub>4</sub>. Kuman autotrof fotosintetik mendapat energi untuk proses sintesa dari cahaya matahari yang diolah menjadi energi kimia.

Enzim yang memegang peranan penting dalam metabolisme adalah :

- Dehidrogenase (melancarkan reaksi reduksi-oksidasi)
- Flavoprotein (transport zat H dalam proses respirasi)
- Sitokrom (proses respirasi pada kuman aerob untuk transport zat H ke O<sub>2</sub>)

Melalui proses fermentasi, piruvat dapat dipecah menjadi ethanol, asam laktat, asam butirat, asam propionat dan asam asetat.

Fermentasi dengan pembentukan asam campuran adalah khas untuk keluarga *Enterobacteriaceae*.

Fermentasi dengan pembentukan asam butirat dilakukan oleh *Clostridium*.

#### Jalur biokimia dari glukosa ----- piruvat.

Awalnya karbohidrat untuk fermentasi bakteri adalah oksidasi → glukosa. Bila bakteri menggunakan gula lain sebagai sumber C, pertama gula tersebut harus diubah menjadi glukosa, yang prosesnya dilakukan melalui salah 1 dari 3 jalur biokimia utama dalam memecah glukosa → piruvat sebagai berikut :

1. Embden Meyerhof-Parnas (EMP) glycolytic pathway
2. Pentose-Phosphate pathway
3. Entner-Doudoroff pathway

Piruvat kemudian dapat diproses baik secara fermentatif atau oksidatif.

Pemecahan piruvat secara anaerob (fermentasi)

1. Peragian alkohol

Hasil akhir adalah etanol. Jalur ini digunakan oleh ragi pada peragian glukosa untuk menghasilkan etanol.

2. Peragian homo-laktat

Hasil akhir kebanyakan asam laktat. Semua anggota genus *Streptococcus* dan kebanyakan genus *Lactobacillus* meragi piruvat melalui jalur ini

3. Peragian hetero-laktat

Beberapa *Lactobacillus* menggunakan jalur peragian campuran, dimana selain membentuk laktat, hasil akhir termasuk CO<sub>2</sub>, alkohol, formiat dan asetat.

4. Peragian propionat

Asam propionat adalah hasil akhir utama pada peragian oleh *Propionibacterium acnes* dan beberapa basil Gram positif anaerob tidak berspora.

5. Peragian campuran (mixed acid fermentation)

Anggota dari genus *Escherichia*, *Salmonella* dan *Shigella* menggunakan jalur ini pada peragian gula dan menghasilkan sejumlah asam sebagai hasil akhir yaitu asam laktat, asam asetat, asam succinat dan asam formiat.



#### 6. Peragian butanediol

Anggota dari genus *Klebsiella*, *Enterobacter*, dan *Serratia* menggunakan jalur ini.

Hasil akhir adalah acetoin (asetil metil karbinol) dan 2,3 butanediol.

Acetoin merupakan dasar reaksi V-P (Voges Proskauer). Biasanya organisme yang V-P nya positif, tes merah metil adalah negatif.

#### 7. Peragian butir

Kuman anaerob tertentu termasuk *Clostridium*, *Fusobacterium* dan *Eubacterium* menghasilkan asam butir sebagai hasil akhir primer, dengan tambahan asam asetat, CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>.

Pemecahan piruvat secara aerobik (oksidasi)

Jalur yang paling penting untuk oksidasi lengkap substrat pada keadaan aerob adalah Krebs atau TCA (Tricarboxylic acid) cycle, melalui proses respirasi secara aerob, glikolisis diteruskan hingga piruvat terpecah menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Energi yang dilepaskan, diikat dalam bentuk ATP. Oksidasi substrat yang dipakai melalui TCA atau Krebs, O<sub>2</sub> berfungsi sebagai reseptor H. Urutan sistem enzim yang dipakai dalam transport zat H ke O<sub>2</sub> dalam rantai respirasi ini adalah sebagai berikut :

Flavoprotein – sitokrom b – sitokrom c – sitokrom a - O<sub>2</sub>

Dalam proses respirasi secara anaerob, zat seperti nitrat atau sulfat (bukan O<sub>2</sub>) yang berfungsi sebagai reseptor H.

#### Metabolisme karbohidrat

Karbohidrat dipecah menjadi triosa dalam bentuk fosfat dan piruvat. Metabolisme glukosa menjadi piruvat menurut EMP sebagai berikut :

Glukosa – glukosa 6 fosfat – fosfogliseraldehid – fosfoglisarat – fosfoenolpiruvat – iruvat

NAD dan senyawa fosfor turut berperan dalam proses ini, seperti dalam reaksi berikut :

Glukosa + 2 NAD + 2 ADP + 2 P → piruvat + 2 NADH + ATP

Metabolisme dengan cara lain, misalnya :

1. Cara melalui pentosa fosfat (Pentosa Phosphate pathway)

Glukosa – glukosa 6 fosfat – 6 fosfoglukonat – pentosa fosfat

2. Cara menurut Entner-Doudoroff

Glukosa – 6 fosfoglukonat – ketodeoksiglukonat – piruvat + gliseraldehid

Cara ini dipakai pada beberapa *Pseudomonas* dan *E. Coli*.

### Metabolisme lemak

Pemecahan lemak secara hidrolisis terjadi melalui kegiatan enzim pemecah lemak atau lipase.

Lemak sederhana diuraikan menjadi gliserol dan asam-asam lemak.

### Metabolisme protein

Hidrolisis protein atau proteolisis mengenal 2 tingkat yaitu

1. Pemecahan protein menjadi polipeptida. Pemecahan ini dilakukan oleh enzim proteinase
2. Pemecahan polipeptida menjadi asam amino. Dilakukan oleh enzim peptidase

Untuk mengukur aktivitas proteolitik daripada kuman pada pemeriksaan bakteriologi, daya mencairkan gelatin diambil sebagai pegangan.

Caranya :

Dalam suatu perbenihan gelatin 10%, dibiakkan kuman secara tusukan.

Biakan ini disimpan pada 25 C selama 1 hari. Hasil :

- a. Proteolisis terdapat pada permukaan perbenihan dan pada daerah sekitar tusukan. Jenis kuman yang dibiakkan : anaerob-anaerob fakultatif
- b. Pencairan hanya timbul pada permukaan perbenihan. Jenis kuman yang dibiakkan : aerob obligat
- c. Pencairan hanya timbul pada bagian bawah tusukan. Jenis kuman adalah anaerob obligat.

## **PERTUMBUHAN KUMAN**

Pada pertumbuhan kuman terjadi pembentukan yang khas dan berimbang dari komponen-komponen protoplasma dari bahan-bahan gizi yang terdapat dalam lingkungannya. Ini merupakan proses yang terus berlangsung menurut waktu dan merupakan sifat utama makhluk hidup.

Kuman merupakan kelompok organisme yang sangat omnivor (pemakan segala) dan mampu melaksanakan proses metabolisme yang memanfaatkan segala macam bahan makanan, mulai dari bahan anorganik sampai bahan organik yang sangat kompleks. Meskipun diantara bermacam-macam spesies kuman terdapat perbedaan-perbedaan dalam keperluannya akan bahan gizi, tetapi ada bahan-bahan gizi yang agaknya diperlukan oleh setiap jenis kuman.

Semua kuman memerlukan 3 bahan nutrisi utama untuk pertumbuhan yaitu sumber karbon, nitrogen dan energi (ATP). Sejumlah kecil molekul seperti fosfat (untuk asam nukleat) dan berbagai logam dan ion (untuk aktivitas enzimatik) perlu diadakan..

Jadi, dalam garis besarnya ada 2 jenis bahan yang perlu diperhatikan, yakni

1. Bahan makanan umum seperti air, gula, pepton dan mineral (garam)
2. Bahan makanan khusus untuk pertumbuhan antara lain vitamin atau untuk kuman tertentu asam amino yang khas

### Air

Kuman memerlukan air dalam konsentrasi tinggi disekitarnya, karena diperlukan bagi pertumbuhan dan perkembangbiakannya. Air merupakan pengantar semua bahan gizi yang diperlukan sel untuk membuang semua zat-zat yang tidak diperlukan keluar sel. Selain untuk melancarkan reaksi-reaksi metabolik, air juga merupakan bagian terbesar di protoplasma.

### Nitrogen

Nitrogen yang dipakai oleh kuman, diambil dalam bentuk  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$  dan  $\text{R-NH}_2$  (R-radikal organik).

## Karbon

C02 diperlukan dalam proses-proses sintesa dengan timbulnya asimilasi C02 di dalam sel. Dalam banyak hal, cukup banyak C02 yang dihasilkan selama katabolisme untuk memenuhi kebutuhan air. Namun, sering pertumbuhan tidak dapat dimulai bila tidak ada C02 disekitarnya. Untuk organisme fotosintetik, C02 adalah sumber satu-satunya. Organisme lain menggunakan pula sumber enersi organik sebagai sumber C.

Berdasarkan jenis sumber karbon C yang diperlukan, kuman dibagi dalam 2 golongan :

### 1. Kuman autotrof (litotrof)

Adalah kuman yang hanya memerlukan air, garam anorganik dan C02 sebagai sumber karbon bagi pertumbuhannya, mensintesa sebagian besar metabolik organiknya dari C02. Enersi yang diperlukan diperoleh dari cahaya atau oksidasi bahan-bahan kimia.

Kuman autotrof fotosintetik memperoleh enersi dari cahaya, sedangkan kuman autotrof kemosintetik memperoleh enersi dari oksidasi substrat anorganik seperti Fe, S, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub> dan sebagainya.

### 2. Kuman heterotrof (organotrof)

Adalah kuman yang memerlukan karbon dalam bentuk senyawaan organik untuk pertumbuhannya. Dalam golongan ini termasuk semua jenis kuman yang patogen bagi manusia. Dalam laboratorium biasanya dipakai glukosa sebagai sumber C. Enersi yang diperlukan diperoleh dari cahaya atau oksidasi senyawaan organik.

## Mineral

Disamping karbon dan nitrogen, sel-sel memerlukan sejumlah mineral (dalam bentuk garam) untuk pertumbuhannya.

- Belerang (sulfur) : seperti halnya dengan nitrogen, sulfur juga merupakan komponen substansi sel. Sebagian besar sulfur berupa gugus sulfhidril pada protein. Ada kuman yang mengambil sulfur sebagai H<sub>2</sub>S, tetapi kebanyakan mengambilnya dalam bentuk S<sub>04</sub> (sulfat)

- Fosfat (PO<sub>4</sub>) : diperlukan sebagai komponen ATP, asam-asam nukleat dan koenzim
- Aktivator enzim : sejumlah mineral diperlukan sebagai aktivator enzim seperti Mg, Fe, Mn, K, dan Ca
- Co (cobalt) : penting sekali bagi penyusunan vitamin B12 oleh kuman
- Cu : diperlukan kuman untuk membentuk pigmen
- Fe : diperlukan kuman differi untuk membuat toksin.

### Faktor pertumbuhan

Merupakan suatu persenyawaan organik yang harus terdapat dalam sel supaya dapat tumbuh pada kuman tertentu. Substansi ini dimasukkan pada perbenihan dalam bentuk :

- ekstrak ragi
- darah
- vitamin B kompleks (untuk koenzim)
- asam amino (subunit protein)
- purin & pirimidin (komponen asam nukleat)

### Tipe media untuk pertumbuhan

Medium pertumbuhan di laboratorium dimana mengandung bahan sederhana dinamakan medium minimal. Media yang lebih kompleks dan terdiri dari ekstrak daging atau soy beans adalah media nutrisi. (seperti nutrient broth, trypticase soy broth).

Medium pertumbuhan yang disertai faktor pertumbuhan seperti darah, vitamin dan ekstrak ragi dikenal sebagai media diperkaya (seperti agar darah, agar coklat).

Medium yang mengandung tambahan yang menghambat pertumbuhan beberapa bakteri tertentu dinamakan medium selektif (seperti agar MacConkey)

Medium yang menggambarkan perbedaan metabolik antara pelbagai spesies bakteri disebut medium diferensial.

Bila diperlukan waktu antara pengiriman spesimen dan pembiakan digunakan medium transport. Medium transport adalah medium untuk mengawetkan

viabilitas kuman dalam spesimen tetapi tidak memungkinkan adanya multiplikasi.(seperti medium Stuart, Amies dan Cary-Blair)

Faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan

Terdapat 3 faktor yang mempengaruhi rata-rata pertumbuhan bakteri yang harus diperhatikan :

- suhu
- pH (derajat keasaman)
- aerasi (O<sub>2</sub>)

### Suhu

Peranan suhu penting sekali dalam proses pertumbuhan dan kematian kuman. Sebagian besar daripada reaksi kimia dalam proses biologik akan bertambah kecepataannya kalau suhu bertambah dan kecepatan ini akan berpengaruh pada waktu generasi.

Tiap jenis kuman mempunyai suhu optimal yaitu suhu dimana kuman tersebut tumbuh sebaik-baiknya dan batas-batas suhu dimana pertumbuhan dapat terjadi.

Berdasarkan batas suhu pertumbuhan, kuman dibagi atas 3 golongan :

#### 1. Psikrofilik

Tumbuh pada suhu 0° C hingga 20° C. Suhu pertumbuhan optimal adalah dibawah 15° C dan dapat tumbuh walaupun lambat pada suhu serendah 0° C.

#### 2. Mesofilik

Disini kuman tumbuh optimal pada suhu 20° C – 40° C

Kebanyakan bakteri yang telah adaptasi pada manusia adalah kuman mesofil

yang tumbuh baik pada suhu badan (37° C)

#### 3. Termofilik

Disini kuman tumbuh baik pada suhu tinggi. Suhu optimal 50° C – 60° C

## pH

pH perbenihan juga mempengaruhi pertumbuhan kuman. Sebagian besar organisme tumbuh baik pada pH 6.0 – 8.0

Kebanyakan kuman patogen mempunyai range pH yang lebih sempit daripada kuman non-patogen. Walaupun pH optimalnya terletak sekitar pH 7.0 (pH optimal 7.2 – 7.6), pH antara 4.0 dan 6.0 sampai 8.0 dan 9.0 merupakan batas-batas bagi pertumbuhan kuman. pH dibawah 4.0 hanya dapat ditoleransi oleh ragi atau fungus. Kuman patogen yang tumbuh pada saluran cerna (coli, typhi, disentri) mempunyai toleransi terhadap pH yang lebih rendah bila dibandingkan dengan kuman patogen yang tumbuh dalam darah (kokus patogen, brucella, bacillus)

## 02 (aerasi)

Berdasarkan keperluan akan oksigen, kuman dibagi atas :

1. Kuman anaerob obligat  
Hidup tanpa 02. 02 adalah toksis terhadap golongan kuman ini. Misal Clostridium tetani
2. Kuman anaerob aerotoleran  
Tidak mati dengan adanya 02
3. Kuman anaerob fakultatif  
Mampu hidup baik dalam suasana 02 (aerob) atau tanpa 02 (anaerob)  
Misal : Streptococcus
4. Kuman aerob obligat  
Tumbuh baik bila ada 02 dalam jumlah besar
5. Kuman mikroaerofilik  
Hanya tumbuh baik dalam tekanan 02 yang rendah.  
Misal : Campylobacter

## Kekuatan ion dan tekanan osmotik

Walaupun kecil, faktor-faktor seperti tekanan osmotik dan konsentrasi garam harus dapat dikendalikan. Bagi kebanyakan kuman sifat-sifat pada perbenihan yang biasa dipergunakan sudah memuaskan, tetapi bagi kuman-kuman yang berasal dari laut dan kuman yang diadaptasikan terhadap

pertumbuhan dalam larutan gula yang pekat, faktor-faktor tersebut perlu diperhatikan.

Kuman-kuman yang memerlukan kadar garam tinggi disebut halofilik, sedangkan yang membutuhkan tekanan osmotik yang tinggi disebut osmofilik.

### Reproduksi kuman

Reproduksi kuman dapat berlangsung secara :

- a-seksual
- seksual

Termasuk dalam reproduksi secara a-seksual adalah pembelahan, pembentukan tunas/cabang dan pembentukan filamen.

### Reproduksi secara a-seksual

#### 1. Pembelahan

Umumnya kuman berkembang biak secara amitosis dengan membelah menjadi 2 bagian (pembelahan biner), diartikan bahwa setiap kuman membentuk dinding sel baru melintasi diameter pendeknya, lalu memisahkan menjadi 2 sel. Waktu diantara 2 pembelahan disebut waktu generasi (generation time) dan ini berlainan untuk tiap jenis kuman, bervariasi antara 20 menit sampai 15 jam. Sebagai contoh : kuman tbc mempunyai waktu generasi 15 jam, tumbuhnya lambat.

#### 2. Pembentukan tunas/cabang

Kuman membentuk tunas, tunas akan melepaskan diri dan membentuk kuman baru. Dapat dijumpai pada kuman dari keluarga Streptomycetaceae

#### 3. Pembentukan filamen

Pada pembentukan filamen, sel mengeluarkan serabut panjang, yang tidak bercabang. Bahan kromosom kemudian masuk ke dalam filamen. Filamen terputus-putus menjadi beberapa bagian. Tiap bagian membentuk kuman baru. Dijumpai terutama dalam keadaan abnormal misalnya bila kuman *Haemophilus influenzae* dalam perbenihan yang basah.



### Reproduksi secara seksual

Pembelahan kuman disini didahului oleh peleburan bahan kromosom dari 2 kuman. Akibatnya timbul sel-sel kuman dengan sifat-sifat yang berasal dari ke-2 sel induknya. Reproduksi semacam ini hanya terjadi antara kuman sejenis dari 1 keluarga misalnya : Enterobacteriaceae antara E. coli dengan Sh. Dysenteriae atau E.coli dengan Salmonella typhosa.

### Pertumbuhan kuman

Bila kuman ditanam dalam perbenihan yang sesuai dan pada waktu tertentu ditinjau jumlah kuman yang hidup, maka akan dijumpai 4 fase yaitu :

1. Fase penyesuaian diri (lag phase)

Waktu penyesuaian ini umumnya berlangsung selama 2 jam. Kuman belum berkembang biak dalam fase ini, tetapi aktivitas metabolismenya sangat tinggi. Fase ini merupakan persiapan untuk fase berikutnya.

2. Fase pembelahan (log phase, exponential phase)

Kuman berkembang biak dengan berlipat 2, jumlah kuman meningkat secara eksponensial. Untuk kebanyakan kuman, fase ini berlangsung 18-24 jam.

3. Fase stasioner (stationary phase)

Dengan meningkatnya jumlah kuman, meningkat juga jumlah hasil metabolisme yang toksis. Kuman mulai ada yang mati, pembelahan terhambat. Pada suatu saat terjadi jumlah kuman yang hidup tetap sama.

4. Fase kemunduran/penurunan (period of decline, death phase)

Jumlah kuman hidup berkurang dan menurun. Keadaan lingkungan menjadi sangat buruk. Pada beberapa jenis kuman timbul bentuk abnormal (bentuk involusi)

## Rujukan

Jawetz, Melnick dan Adelberg's. Medical Microbioligy, ed 22. California: Appleton and Lange, 2001.

Bahan Kuliah Mikrobiologi, Fakultas Kedokteran Universitas Tarumanagara 2009.

Koes Irianto. 2006. Mikrobiologi (Menguak Dunia Mikroorganisme). Penerbit CV. Yrama Widya, Bandung.

Penuntun Praktikum Mikrobiologi Kedokteran. Bagian Mikrobiologi Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia. 1991.

Penuntun Praktikum Mikrobiologi Kedokteran. Staf Pengajar Depatemen Mikrobiologi. Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia. 2006.