

**BAHAN AJAR**

**MATA KULIAH : MIKROBIOLOGI AKUATIK**

**KODE MATA KULIAH : 06015307**

**3 SKS**



**DISUSUN OLEH :**

**Dr. Agustina, S.Pi.,M.Si.**

**JURUSAN BUDIDAYA PERAIRAN**

**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN**

**UNIVERSITAS MULAWARMAN**

**SAMARINDA**

**2021**

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
I. TINJAUAN UMUM MATA KULIAH.....	1
1.1. Deskripsi Singkat.....	1
1.2. Kegunaan atau Manfaat.....	1
1.3. Tujuan Instruksional Umum.....	1
1.4. Susunan Bahan Ajar.....	1
1.5. Petunjuk Bagi Dosen/Pengajar.....	2
1.6. Petunjuk Bagi mahasiswa.....	3
II. TINJAUAN UMUM DAN SEJARAH DUNIA MIKROBA.....	4
2.1. PENDAHULUAN.....	4
2.1.1. Deskripsi Singkat.....	4
2.1.2. Manfaat/Relevansi.....	4
2.1.3. Tujuan Instruksional Khusus.....	4
2.2. PENYAJIAN.....	4
2.2.1. Tinjauan Umum Dunia Mikroba.....	4
2.2.2. Sejarah Perkembangan Mikrobiologi.....	7
2.2.3. Kepentingan Mikroba di Lingkungan Perairan.....	14
2.3. PENUTUP.....	21
III. PROTISTA, PROKARIOT DAN EUKARIOT.....	22

3.1. PENDAHULUAN.....	22
3.1.1. Deskripsi Singkat.....	22
3.1.2. Manfaat/Relevansi.....	22
3.1.3. Tujuan Instruksional Khusus .....	22
3.2. PENYAJIAN .....	22
3.2.1. Protista .....	22
3.2.2. Prokariot .....	25
3.2.3. Eukariot.....	26
3.3. PENUTUP.....	32
IV. JASAD MIKROBA AKUATIK .....	33
4.1. PENDAHULUAN.....	33
4.1.1. Deskripsi Singkat.....	33
4.1.2. Manfaat/Relevansi.....	33
4.1.3. Tujuan Instruksional Khusus .....	33
4.2. PENYAJIAN .....	34
4.2.1. Lingkungan Akuatik Sebagai Habitat Jasad Mikroba .....	34
4.2.2. Penyebaran Mikroba Di Lingkungan Akuatik.....	37
4.2.3. Komposisi Mikroba Penyusun Lingkungan Akuatik.....	40
4.2.4. Jasad Mikroba Penting Dalam Lingkungan Akuatik.....	45
4.3. PENUTUP.....	66
V. METODE MIKROBIOLOGIS .....	67
5.1. PENDAHULUAN.....	67
5.1.1. Deskripsi Singkat.....	67
5.1.2. Manfaat/Relevansi.....	67
5.1.3. Tujuan Instruksional Khusus .....	68

5.2. PENYAJIAN .....	68
5.2.1. Uji Mikrobiologis.....	68
5.2.2. Sterilisasi .....	71
5.2.3. Media .....	72
5.2.4. Inokulasi/Kultivasi.....	73
5.2.5. Pengamatan Mikroorganisme .....	74
5.2.6. Hitungan Bakteri .....	77
5.2.7. Uji Coliform .....	77
5.3. PENUTUP.....	79
VI. GENETIKA MIKROBA DAN REKAYASA GENETIKA .....	80
6.1. PENDAHULUAN.....	80
6.1.1. Deskripsi Singkat.....	80
6.1.2. Manfaat/Relevansi.....	80
6.1.3. Tujuan Instruksional Khusus .....	81
6.2. PENYAJIAN .....	81
6.2.1. Genetika Bakteri .....	81
6.2.2. Pertukaran Materi Genetik Pada Bakteri .....	85
6.2.3. Mutasi.....	87
6.2.4. Genotif dan Fenotif Bakteri .....	89
6.2.5. Pengaturan Sintesis Protein Pada Prokariotik.....	90
6.2.6. Perbaikan Kerusakan DNA .....	100
6.2.7. Rekayasa Genetika.....	104
6.3. PENUTUP.....	113
VII. PENGENDALIAN MIKROBA.....	114
7.1. PENDAHULUAN.....	114

7.1.1. Deskripsi Singkat.....	114
7.1.2. Manfaat/Relevansi.....	114
7.1.3. Tujuan Instruksional Khusus .....	114
7.2. PENYAJIAN .....	114
7.2.1. Pertumbuhan Bakteri .....	114
7.2.2. Arti Pentingnya Pengendalian Mikroba.....	129
7.2.3. Pengendalian Secara Fisik dan Kimia.....	134
7.2.4. Antibiotik dan Resistensi .....	157
7.3. PENUTUP.....	161
VIII. MIKROBA LINGKUNGAN DAN TERAPAN.....	162
8.1. PENDAHULUAN.....	162
8.1.1. Deskripsi Singkat.....	162
8.1.2. Manfaat/Relevansi.....	162
8.1.3. Tujuan Instruksional Khusus .....	162
8.2. PENYAJIAN .....	163
8.2.1. Mikroba Lingkungan .....	163
8.2.2. Mikroba Air Dan Limbah .....	177
8.2.3. Mikroba Pangan Dan Industri.....	180
8.2.4. Aplikasi Mikroba Dalam Bidang Akuakultur .....	192
8.3. PENUTUP.....	206
Daftar Pustaka.....	207

## I. TINJAUAN MATA KULIAH

### 1.1. Deskripsi Singkat

Mata kuliah ini diajarkan sebanyak 13 kali pertemuan, 2 kali kuis dan 1 kali ujian semester. Setelah pertemuan ke-2 strategi pembelajaran pengajaran dilakukan dengan kegiatan praktikum. Mata kuliah ini membahas mengenai berbagai jenis mikroba perairan, metabolisme, genetika, isolasi dan identifikasinya disamping peranan mikroba di lingkungan perairan serta pengendaliannya.

### 1.2. Kegunaan atau Manfaat

Setelah mengikuti mata kuliah ini diharapkan mahasiswa mempunyai pengetahuan, dan wawasan mengenai kehidupan jasad mikroba terutama yang ada di lingkungan perairan. Pemanfaatan mikroba yang berperan menguntungkan serta pengendalian mikroba yang merugikan organisme perairan dan kehidupan manusia.

### 1.3. Tujuan Instruksional Umum

Setelah menyelesaikan mata kuliah ini mahasiswa akan mengetahui dan mampu menentukan golongan mikroba perairan serta mengetahui kepentingannya dan dapat menerapkan dalam kehidupan.

### 1.4. Susunan Bahan Ajar

Bahan ajar ini terdiri dari 7 bab, yaitu :

1. Bab I : Tinjauan Umum dan Sejarah Dunia Mikroba
2. Bab II : Protista, Prokariot dan Eukariot
3. Bab III : Jasad Mikroba Akuatik
4. Bab IV : Metode Isolasi, Kultivasi dan Identifikasi Mikroba
5. Bab V : Genetika Mikroba dan Rekayasa Genetika
6. Bab VI : Pengendalian Mikroba
7. Bab VII : Mikroba Lingkungan dan Terapan

### **1.5. Petunjuk Bagi Dosen/Pengajar**

Agar dapat melaksanakan proses belajar mengajar, maka seorang Dosen/Pengajar sebaiknya mengikuti langkah-langkah sebagai :

#### **Persiapan**

Sesuai dengan TIU dan TIK yang ingin dicapai, maka dalam proses belajar mengajar pemberian materi harus relevan dengan situasi dan kondisi serta kebutuhan di lapangan. Oleh karena itu dasar teori yang disampaikan lebih bersifat logika dan lebih ditekankan bagaimana mahasiswa memahami dan menerapkannya. Pada saat membahas materi, sebaiknya menggunakan metode analisis kejadian di lingkungan sekitar yang berhubungan dengan mikroba atau jasad renik serta pemecahannya, seperti kenapa terjadi, apa penyebabnya dan bagaimana mengatasinya.

Pemberian materi di kelas dapat menggunakan berbagai media pengajaran, seperti LCD, gambar/foto, movie, demo dan praktikum di laboratorium.

#### **Pelaksanaan**

Setiap kegiatan proses belajar mengajar sebaiknya :

1. Memberikan pertanyaan kepada mahasiswa tentang kasus kejadian alam atau lingkungan sekitar kita yang melibatkan mikroba, kemudian didiskusikan, dibahas dengan mengacu pada dasar teori yang ada.
2. Menyampaikan informasi yang pernah terjadi atau baru saja terjadi, selanjutnya dibahas dan disimpulkan.
3. Memberikan tugas mencari kasus di lapangan yang selanjutnya digunakan sebagai bahan diskusi. Hasilnya dibahas dan disimpulkan serta ditulis dalam bentuk laporan.

#### **Penilaian**

Pengajar/Dosen melakukan penilaian kepada Mahasiswa yang meliputi hasil tugas, kegiatan praktikum berupa keaktifan melakukan kerja, diskusi dan laporan, kegiatan diskusi atau presentasi di kelas, kuis dan ujian semester sesuai dengan kesepakatan antar Dosen dan Mahasiswa.

## **1.6. Petunjuk Bagi Mahasiswa**

Agar dapat mengikuti mata kuliah Mikrobiologi Perairan dengan baik, serta dapat memahami dan mengaplikasikannya sesuai TIU dan TIK yang ingin dicapai maka :

1. Mahasiswa mempelajari bahan ajar ini sebelum mengikuti kegiatan perkuliahan ataupun praktikum.
2. Mahasiswa melakukan kesepakatan proses belajar mengajar dengan Dosen di awal pertemuan.
3. Mahasiswa sebaiknya mengikuti seluruh proses belajar mengajar yang sudah ditetapkan, baik pertemuan di kelas, diskusi secara aktif di kelas maupun di laboratorium, mengumpulkan tugas dan melaksanakan kegiatan praktikum.
4. Mahasiswa secara aktif mencari kasus baik di lapangan atau melalui media informasi yang selanjutnya disampaikan dan dibahas pada saat kegiatan proses belajar mengajar.
5. Mahasiswa mengetahui kriteria penilaian yang telah disepakati dengan Dosen.



## II. TINJAUAN UMUM DAN SEJARAH DUNIA MIKROBA

### 2.1. PENDAHULUAN

#### 2.1.1. Deskripsi Singkat

Pada bab ini akan diuraikan cakupan secara umum tentang dunia mikroorganisme atau jasad renik dan sejarah perkembangan ilmu pengetahuan di bidang mikrobiologi. Sebagai gambaran umum hal-hal yang berkaitan dengan keberadaan mikroorganisme di alam khususnya di lingkungan perairan serta arti penting keberadaannya bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk kehidupan manusia.

Materi yang diuraikan pada bahan ajar Tinjauan Umum Mikrobiologi Perairan ini adalah sebagai berikut :

1. Tinjauan Umum Dunia Mikroba
2. Sejarah Perkembangan Mikrobiologi
3. Kepentingan Mikroba Di Lingkungan Perairan

#### 2.1.2. Manfaat/Relevansi

Bahan ajar Tinjauan Umum dan Sejarah Dunia Mikroba ini diharapkan bisa menjadi landasan berpikir mahasiswa mengenai cakupan secara luas tentang mikroorganisme di alam. Selanjutnya mahasiswa akan lebih mudah memahami materi yang diuraikan pada bab-bab berikutnya. Informasi yang disampaikan pada bahan ajar ini bersifat umum tetapi sangat penting bagi pemahaman mengenai manfaat dan aplikasi mikrobiologi dalam kehidupan, terutama dalam Kegiatan di lingkungan perairan.

#### 2.1.3. Tujuan Instruksional Khusus

Mahasiswa diharapkan mampu memahami manfaat mempelajari mikrobiologi perairan serta mengetahui sejarah dunia mikroba dan kepentingan mikroba perairan.

### 2.2. PENYAJIAN

#### 2.2.1. Tinjauan Umum Dunia Mikroba

Mikroba berukuran kecil ( $\mu\text{m}$ :  $1/10^6\text{m}$ ) sering disebut sebagai mikroba/jasad renik atau mikroorganisme. Mikrobiolog atau ahli di bidang mikrobiologi berpendapat bahwa yang termasuk mikroba jasad renik adalah prokariot. Jasad renik disebut sebagai mikroba bukan hanya karena ukurannya yang kecil, sehingga sukar dilihat dengan mata telanjang,

tetapi juga regulasi kehidupannya yang lebih sederhana dibandingkan dengan mikroba tingkat tinggi. Tanpa alat bantu kita tidak dapat melihat mikroba yang ukurannya kurang dari 0,1  $\mu\text{m}$ . Ukuran mikroba bisaanya dinyatakan dalam mikron, 1 mikron adalah 0,001 mm. Sel mikroba umumnya hanya dapat dilihat dengan alat pembesar atau mikroskop, walaupun demikian ada mikroba yang berukuran besar sehingga dapat dilihat tanpa alat pembesar.

Mikrobiologi adalah ilmu yang mempelajari mikroba. Mikrobiologi merupakan cabang ilmu dari biologi, dan memerlukan ilmu pendukung kimia, fisika, dan biokimia. Mikrobiologi sering disebut ilmu praktek dari biokimia. Dalam pengantar mikrobiologi diberikan pengertian dasar tentang sejarah penemuan mikroba, macam-macam mikroba di alam, struktur sel mikroba dan fungsinya, ekologi mikroba secara umum, pertumbuhan mikroba, mikrobiologi terapan di bidang perikanan terutama akuakultur.

Mikrobiologi telah berdivergen menjadi berbagai kajian ilmu antara lain virulogi, bakteriologi, mikologi, mikrobiologi pangan, mikrobiologi tanah, mikrobiologi air, dan sebagainya yang mempelajari mikroba spesifik secara lebih rinci atau menurut aplikasi kegunaannya. Pengetahuan mikrobiologi saat ini menjadi sangat penting karena peran dan penggunaan mikroba yang sangat luas. Di alam mikroorganisme dapat memberikan keuntungan bagi manusia namun juga dapat merugikan. Menguntungkan bila digunakan sebagai agen biologis dalam transformasi suatu substrat biologis misalnya fermentasi akan tetapi mikroorganisme tertentu juga dapat menyebabkan penyakit pada manusia dan hewan.

Perkembangan bioteknologi modern khususnya rekayasa genetika tidak lepas dari penggunaan mikroba sebagai agen misalnya plasmid dari *E.coli*, sumber enzim misalnya enzim yang diisolasi dari bakteri termotabil (tahan panas), penggunaan *E. coli* sebagai agen transformasi dan sebagainya. Dalam bidang biologi, mikroba digunakan sebagai model kajian dan sebaran ekologi, dalam bidang biokimia digunakan sebagai model pengkajian aktivitas molekuler. Disamping itu mikroba adalah sumber daya kehidupan yang murah dan tidak pernah habis akan tetapi jika pengelolaan yang tidak tepat akan sangat besar dampaknya bagi kehidupan.

Secara klasik mikroba hidup digolongkan menjadi dunia tumbuhan (kingdom plantae) dan dunia binatang (kingdom animalia). Mikroba hidup yang ukurannya besar dengan mudah dapat digolongkan ke dalam plantae atau animalia, tetapi mikroba yang ukurannya

sangat kecil ini sulit untuk digolongkan ke dalam plantae atau animalia. Selain karena ukurannya, sulitnya penggolongan juga disebabkan adanya mikroba yang mempunyai sifat transisi plantae dan animalia. Menurut teori evolusi, setiap mikroba akan berkembang ke tingkat organisasi makhluk hidup yang lebih kompleks yaitu menuju ke sifat plantae atau animalia. Hal ini digambarkan sebagai pengelompokan mikroba berturut-turut oleh Haeckel, Whittaker, dan Woese. Berdasarkan perbedaan organisasi selnya, Haeckel membedakan dunia tumbuhan (plantae) dan dunia binatang (animalia), dengan protista. Protista untuk menampung mikroba yang tidak dapat dimasukkan pada golongan plantae dan animalia. Protista terdiri dari alga atau ganggang, protozoa, jamur atau fungi, dan bakteri yang mempunyai sifat uniseluler, sonositik, atau multiseluler tanpa diferensiasi jaringan.

Whittaker membagi mikroba hidup menjadi tiga tingkat perkembangan, yaitu: (1) Mikroba prokariotik yaitu bakteri dan ganggang biru (Divisio Monera), (2) Mikroba eukariotik uniseluler yaitu alga sel tunggal, khamir dan protozoa (Divisio Protista), dan (3) Mikroba eukariotik multiseluler dan multinukleat yaitu Divisio Fungi, Divisio Plantae, dan Divisio Animalia. Sedangkan Woese menggolongkan mikroba hidup terutama berdasarkan susunan kimia makromolekul yang terdapat di dalam sel. Pembagiannya yaitu terdiri Arkhaebacteria, Eukaryota (Protozoa, Fungi, Tumbuhan dan Binatang), dan Eubacteria.

Mikroba di alam secara umum berperanan sebagai produsen, konsumen, maupun reduksen/dekomposer. Mikroba produsen menghasilkan bahan organik dari bahan anorganik dengan memanfaatkan energi sinar matahari. Mikroba yang berperan sebagai produsen adalah alga dan bakteri fotosintetik. Mikroba konsumen menggunakan bahan organik yang dihasilkan oleh produsen. Contoh mikroba konsumen adalah protozoa. Mikroba dekomposer menguraikan bahan organik dan sisa-sisa mikroba hidup yang mati menjadi unsur-unsur kimia (mineralisasi bahan organik), sehingga di alam terjadi siklus unsur-unsur kimia. Contoh mikroba dekomposer adalah bakteri dan jamur (fungi).

Sel mikroba yang ukurannya sangat kecil ini merupakan unit dasar kehidupan. Banyak mikroba yang terdiri dari satu sel saja (uniseluler), sehingga aktivitas kehidupan berlangsung hanya dalam satu sel. Mikroba ada yang mempunyai banyak sel (multiseluler). Pada mikroba multiseluler umumnya sudah terdapat pembagian tugas diantara sel atau kelompok selnya, walaupun organisasi selnya belum sempurna. Setelah ditemukan mikroskop elektron, dapat dilihat struktur halus di dalam sel hidup, sehingga diketahui menurut perkembangan selnya terdapat dua tipe mikroba, yaitu:

1. Prokariota (mikroba prokariotik), yaitu mikroba yang perkembangan selnya belum sempurna.
2. Eukariota (mikroba eukariotik), yaitu mikroba yang perkembangan selnya telah sempurna.

Selain yang bersifat seluler, ada mikroba yang bersifat nonseluler, yaitu virus. Virus adalah mikroba hidup yang bersifat parasit obligat, berukuran super kecil atau submikroskopik. Virus hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron. Struktur virus terutama terdiri dari materi genetic berupa asam nukleat. Virus bukan berbentuk sel dan tidak dapat membentuk sistem sendiri serta tidak dapat berbiak tanpa menggunakan mikroba hidup lain.

Selain virus ada mikroba hidup yang disebut viroid, yaitu bahan genetik berupa RNA yang bersifat infeksius (dapat menginfeksi) sel inang. Viroid membawa sifat genetiknya sendiri yang dapat diekspresikan di dalam sel inang. Mikroba yang lebih sederhana dari virus adalah prion, yang terdiri suatu molekul protein yang infeksius. Adanya kenyataan ini merupakan perkecualian sistem biologi, sebab prion menyimpan sifat genetiknya di dalam rangkaian polipeptida, bukan di dalam RNA atau DNA. Prion dapat menggandakan diri di dalam sel inang dengan mekanisme yang belum diketahui dengan jelas.

## **2.2.2. SEJARAH PERKEMBANGAN MIKROBIOLOGI**

### **PENEMUAN ANIMALCULUS**

Awal terungkapnya dunia mikroba adalah dengan ditemukannya mikroskop oleh Leeuwenhoek (1633-1723). Mikroskop temuan tersebut masih sangat sederhana, dilengkapi satu lensa dengan jarak fokus yang sangat pendek, tetapi dapat menghasilkan bayangan jelas yang perbesarannya antara 50-300 kali. Leeuwenhoek melakukan pengamatan tentang struktur mikroskopis biji, jaringan tumbuhan dan invertebrata kecil, tetapi penemuan yang terbesar adalah diketahuinya dunia mikroba yang disebut sebagai "animalculus" atau hewan kecil. Animalculus adalah jenis-jenis mikroba yang sekarang diketahui sebagai protozoa, algae, khamir, dan bakteri.

### **TEORI ABIOGENESIS DAN BIOGENESIS**

Penemuan animalculus di alam, menimbulkan rasa ingin tahu mengenai asal usulnya. Menurut teori abiogenesis, animalculus timbul dengan sendirinya dari bahan-bahan mati. Doktrin abiogenesis dianut sampai jaman Renaissance, seiring dengan

kemajuan pengetahuan mengenai mikroba, semakin lama doktrin tersebut menjadi tidak terbukti. Sebagian ahli menganut teori biogenesis, dengan pendapat bahwa animalculus terbentuk dari “benih” animalculus yang selalu berada di udara. Untuk mempertahankan pendapat tersebut maka penganut teori ini mencoba membuktikan dengan berbagai percobaan.

Fransisco Redi (1665), memperoleh hasil dari percobaannya bahwa ulat yang berkembang biak di dalam daging busuk, tidak akan terjadi apabila daging tersebut disimpan di dalam suatu tempat tertutup yang tidak dapat disentuh oleh lalat. Jadi dapat disimpulkan bahwa ulat tidak secara spontan berkembang dari daging. Percobaan lain yang dilakukan oleh Lazzaro Spalanzani memberi bukti yang menguatkan bahwa mikroba tidak muncul dengan sendirinya, pada percobaan menggunakan kaldu ternyata pemanasan dapat menyebabkan animalculus tidak tumbuh. Percobaan ini juga dapat menunjukkan bahwa perkembangan mikroba di dalam suatu bahan, dalam arti terbatas menyebabkan terjadinya perubahan kimiawi pada bahan tersebut.

Percobaan yang dilakukan oleh Louis Pasteur juga banyak membuktikan bahwa teori abiogenesis tidak mungkin, tetapi tetap tidak dapat menjawab asal usul animalculus. Penemuan Louis Pasteur yang penting adalah (1) Udara mengandung mikroba yang pembagiannya tidak merata, (2) Cara pembebasan cairan dan bahan-bahan dari mikroba, yang sekarang dikenal sebagai pasteurisasi dan sterilisasi. Pasteurisasi adalah cara untuk mematikan beberapa jenis mikroba tertentu dengan menggunakan uap air panas, suhunya kurang lebih 62o C. Sterilisasi adalah cara untuk mematikan mikroba dengan pemanasan dan tekanan tinggi, cara ini merupakan penemuan bersama ahli yang lain.

### **PENEMUAN BAKTERI BERSPORA**

John Tyndall (1820-1893), dalam suatu percobaannya juga mendukung pendapat Pasteur. Cairan bahan organik yang sudah dipanaskan dalam air garam yang mendidih selama 5 menit dan diletakkan di dalam ruangan bebas debu, ternyata tidak akan membusuk walaupun disimpan dalam waktu berbulan-bulan, tetapi apabila tanpa pemanasan maka akan terjadi pembusukan. Dari percobaan Tyndall ditemukan adanya fase termolabil (tidak tahan pemanasan, saat bakteri melakukan pertumbuhan) dan termoresisten pada bakteri (sangat tahan terhadap panas).

Dari penyelidikan ahli botani Jerman yang bernama Ferdinand Cohn, dapat diketahui secara mikroskopis bahwa pada fase termoresisten, bakteri dapat membentuk endospora. Dengan penemuan tersebut, maka dicari cara untuk sterilisasi bahan yang mengandung bakteri pembentuk spora, yaitu dengan pemanasan yang terputus dan diulang beberapa kali atau dikenal sebagai Tyndallisasi. Pemanasan dilakukan pada suhu 100 derajat 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.

### **PERAN MIKROBA DALAM TRANSFORMASI BAHAN ORGANIK**

Suatu bahan yang ditumbuhi oleh mikroba akan mengalami perubahan susunan kimianya. Perubahan kimia yang terjadi ada yang dikenal sebagai fermentasi (pengkhamiran) dan pembusukan (putrefaction). Fermentasi merupakan proses yang menghasilkan 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 zat gula yang mengalami fermentasi alkohol selalu dijumpai adanya khamir. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan gula menjadi alkohol dan CO<sub>2</sub> merupakan fungsi fisiologis dari sel khamir tersebut. Teori biologis ini ditentang oleh J. Berzelius, J. Liebig, dan F. Wöhler. Mereka berpendapat bahwa fermentasi dan pembusukan merupakan reaksi kimia biasa. Hal ini dapat dibuktikan pada tahun 1828 telah berhasil disintesa senyawa organik urea dari senyawa anorganik.

Pasteur banyak meneliti tentang proses fermentasi (1857-1876). 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. Dari kenyataan ini, selanjutnya dibuktikan bahwa setiap proses fermentasi tertentu disebabkan oleh aktivitas mikroba 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*.

### **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. Dari hal ini kemudian dibuat 2 istilah, (1) kehidupan anaerob, untuk mikroba yang tidak memerlukan Oksigen, dan (2) kehidupan aerob, untuk mikroba yang memerlukan Oksigen. Secara fisiologis adanya fermentasi dapat digunakan untuk mengetahui beberapa hal. Oksigen umumnya diperlukan mikroba sebagai agensia untuk mengoksidasi senyawa organik menjadi CO<sub>2</sub>. Reaksi oksidasi tersebut dikenal sebagai “respirasi aerob”, yang menghasilkan tenaga untuk kehidupan jasad dan pertumbuhannya.

Mikroba lain dapat memperoleh tenaga dengan jalan memecahkan senyawa organik secara fermentasi anaerob, tanpa memerlukan Oksigen. Beberapa jenis mikroba 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.

### **PENEMUAN ENZIM**

Menurut Pasteur, proses fermentasi merupakan proses vital untuk kehidupan. Pendapat tersebut ditentang oleh Bernard (1875), bahwa khamir dapat memecah gula menjadi alkohol dan CO<sub>2</sub> karena mengandung katalisator biologis dalam selnya. Katalisator biologis tersebut dapat diekstrak sebagai larutan yang tetap dapat menunjukkan kemampuan fermentasi, sehingga fermentasi dapat dibuat sebagai proses yang tidak vital lagi (tanpa sel).

Pada tahun 1897, Buchner dapat membuktikan gagasan Bernard, yaitu pada saat menggerus sel khamir dengan pasir dan ditambahkan sejumlah besar gula, terlihat dari campuran tersebut dibebaskan CO<sub>2</sub> dan sedikit alkohol. Penemuan ini membuka jalan ke

perkembangan biokimia modern. Akhirnya dapat diketahui bahwa pembentukan alkohol dari gula oleh khamir, merupakan hasil urutan beberapa reaksi kimia, yang masing-masing dikatalisir oleh biokatalisator yang spesifik atau dikenal sebagai enzim.

### **MIKROBA PENYEBAB PENYAKIT**

Pasteur menggunakan istilah khusus untuk mengatakan kerusakan pada minuman anggur oleh mikroba, yaitu disebut penyakit Bir. Ia juga mempunyai dugaan kuat tentang adanya peran mikroba dalam menyebabkan timbulnya penyakit pada jasad tingkat tinggi. Bukti-buktinya adalah dengan ditemukannya jamur penyebab penyakit pada tanaman gandum (1813), tanaman kentang (1845), dan penyakit pada ulat sutera serta kulit manusia. Pada tahun 1850 diketahui bahwa dalam darah hewan yang sakit antraks, terdapat bakteri berbentuk batang.

Davaine (1863-1868) membuktikan bahwa bakteri tersebut hanya terdapat pada hewan yang sakit, dan penularan buatan menggunakan darah hewan yang sakit pada hewan yang sehat dapat menimbulkan penyakit yang sama. Pembuktian bahwa antraks disebabkan oleh bakteri dilakukan oleh Robert Koch (1876), sehingga ditemukan "postulat Koch" yang merupakan langkah-langkah untuk membuktikan bahwa suatu mikroba adalah penyebab penyakit.

Postulat Koch dalam bentuk umum adalah sebagai berikut:

1. Suatu mikroba yang diduga sebagai penyebab penyakit harus ada pada setiap tingkatan penyakit.
2. Mikroba tersebut dapat diisolasi dari jasad sakit dan ditumbuhkan dalam bentuk biakan murni.
3. Apabila biakan murni tersebut disuntikkan pada hewan yang sehat dan peka, dapat menimbulkan penyakit yang sama.
4. Mikroba dapat diisolasi kembali dari jasad yang telah dijadikan sakit tersebut.

### **PENEMUAN VIRUS**

Iwanowsky menemukan bahwa filtrat bebas bakteri -(cairan yang telah disaring dengan saringan bakteri)- dari ekstrak tanaman tembakau yang terkena penyakit mosaik, ternyata masih tetap dapat menimbulkan infeksi pada tanaman tembakau yang sehat. Dari kenyataan ini kemudian diketahui adanya jasad hidup yang mempunyai ukuran jauh



lebih kecil dari bakteri (submikroskopik) karena dapat melalui saringan bakteri, yaitu dikenal sebagai virus.

Untuk membuktikan penyakit yang disebabkan oleh virus, dapat digunakan postulat River (1937), yaitu:

1. Virus harus berada di dalam sel inang.
2. Filtrat bahan yang terinfeksi tidak mengandung bakteri atau mikroba lain yang dapat ditumbuhkan di dalam media buatan.
3. Filtrat dapat menimbulkan penyakit pada jasad yang peka.
4. Filtrat yang sama yang berasal dari hospes peka tersebut harus dapat menimbulkan kembali penyakit yang sama.

### **MIKROBIOLOGI TANAH**

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa mikroba berperan atas perubahan kimiawi yang terjadi di dalam tanah. Peranan mikroba dalam beberapa siklus unsur hara yang penting, seperti siklus Karbon, Nitrogen, Sulfur, ditunjukkan oleh Winogradsky dan Beijerinck. Winogradsky menemukan bakteri yang mempunyai fisiologis khusus, yang disebut bakteri autotrof. Bakteri ini dapat tumbuh pada lingkungan yang seluruhnya anorganik. Energi diperoleh dari hasil oksidasi senyawa anorganik tereduksi, dan menggunakan CO<sub>2</sub> sebagai sumber Karbon. Bakteri autotrof dapat dicirikan dari kemampuannya menggunakan sumber anorganik tertentu. Sebagai contoh, bakteri Belerang dapat mengoksidasi senyawa Belerang anorganik. Penemuan lain bersama Beijerinck adalah adanya bakteri penambat Nitrogen nonsimbiotik dan simbiotik, yang dapat memanfaatkan Nitrogen dalam bentuk gas N<sub>2</sub>.

### **GENERATIO SPONTANEA (ABIogenesis) MENURUT PANDANGAN BARU**

Bukti-bukti baru mendukung bahwa kehidupan terjadi dari berbagai unsur kimia, dengan rangkaian reaksi yang mirip dengan reaksi yang terjadi di alam. Menurut pendapat Oparin (1938) dan Haldane (1932), bumi pada jaman prebiotik mempunyai atmosfer yang bersifat anaerob. Atmosfer bumi saat itu mengandung sejumlah besar Nitrogen, Hidrogen, CO<sub>2</sub>, uap air, sejumlah ammonia, CO, dan H<sub>2</sub>S. Di atmosfer Oksigen hampir tidak ada, dan lapisan ozon sangat tipis, sehingga sinar ultra violet banyak mengenai bumi.

Radiasi uv, suhu tinggi dan loncatan bunga api listrik, menyebabkan sejumlah bahan anorganik yang ada berubah menjadi bahan organik, serta terjadinya evolusi pada bahan-bahan organik menjadi lebih kompleks, atau mulai terbentuk makromolekul. Diduga makromolekul akan saling bergabung membentuk semacam membran, yang kemudian mengelilingi suatu cairan, dan akhirnya terbentuk suatu organisme seluler. Selanjutnya untuk mengevolusikan jasad bersel tunggal menjadi bersel majemuk memerlukan waktu kurang lebih 2,5 milyar tahun.

Untuk mengevolusikan jasad bersel majemuk menjadi reptil sampai binatang menyusui memerlukan waktu milyaran tahun lagi. Teori asal mula kehidupan diatas didukung oleh penemuan S. Miller (1957) dan H. Urey (1954). Bejana Miller diisi dengan gas CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, dan H<sub>2</sub>. Gas-gas tersebut dibiarkan bersirkulasi terus-menerus melalui loncatan bunga api listrik, kondensor, dan air mendidih. Seminggu kemudian ternyata menunjukkan terbentuknya senyawa organik seperti asam amino glisin dan alanin, serta asam organik seperti asam suksinat. Dengan merubah bahan dasar dan energi yang diberikan dalam aparat Miller, maka dapat disintesa senyawa-senyawa lain seperti polipeptida, purin, dan ATP. Makromolekul inilah yang diduga sebagai awal terbentuknya kehidupan.

## **PENGGUNAAN MIKROBA**

1. Penggunaan mikroba untuk proses-proses klasik, seperti khamir untuk membuat anggur dan roti, bakteri asam laktat untuk yogurt dan kefir, bakteri asam asetat untuk vinegar, jamur *Aspergillus* sp. untuk kecap, dan jamur *Rhizopus* sp. untuk tempe.
2. Penggunaan mikroba untuk produksi antibiotik, antara lain penisilin oleh jamur *Penicillium* sp., streptomisin oleh actinomycetes *Streptomyces* sp.
3. Penggunaan mikroba untuk proses-proses baru, misalnya karotenoid dan steroid oleh jamur, asam glutamat oleh mutan *Corynebacterium glutamicum*, pembuatan enzim amilase, proteinase, pektinase, dan lain-lain.
4. Penggunaan mikroba dalam teknik genetika modern, seperti untuk pemindahan gen dari manusia, binatang, atau tumbuhan ke dalam sel mikroba, penghasiian hormon, antigen, antibodi, dan senyawa lain misalnya insulin, interferon, dan lain-lain.
5. Penggunaan mikroba di bidang pertanian, misalnya untuk pupuk hayati (biofertilizer), biopestisida, pengomposan, dan sebagainya.

6. Penggunaan mikroba di bidang pertambangan, seperti untuk proses leaching di tambang emas, desulfurisasi batubara, maupun untuk proses penambangan minyak bumi.
7. Penggunaan mikroba di bidang lingkungan, misalnya untuk mengatasi pencemaran limbah organik maupun anorganik termasuk logam berat dan senyawa xenobiotik.

### **2.2.3. Kepentingan Mikroba Di Lingkungan Perairan**

Peran mikroorganisme sangat penting dalam siklus kehidupan air. Kontribusi mikroorganisme ini mampu menguraikan bahan-bahan organik dan mempercepat kemungkinan kembalinya unsur-unsur anorganik penting ke dalam siklus zat organik baru. Kehadiran mikroba di dalam air, mungkin akan mendatangkan keuntungan tetapi juga mungkin mendatangkan kerugian.

#### **1) Mendatangkan keuntungan (peran positif)**

- a. Banyak plankton, baik yang terdiri dari plankton-tumbuhan (fitoplankton) ataupun plankton-hewan (zooplankton), merupakan makanan utama ikan-ikan kecil. Sehingga kehadirannya merupakan tanda kesuburan kolam ikan misalnya, untuk perikanan. Ini misalnya untuk jenis-jenis microalgae yaitu *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Hydrodictyon*, *Pinnularia*, *Sinedra*, dan sebagainya.
- b. Banyak jenis bakteri atau fungi di dalam badan air berlaku sebagai jasad decomposer. Artinya jasad tersebut mempunyai kemampuan untuk mengurai atau merombak senyawa yang berada (masuk) ke dalam badan air. Sehingga kehadirannya telah dimanfaatkan di dalam rangka pengolahan buangan di dalam air secara biologis.
- c. Pada umumnya microalgae mempunyai klorofil, sehingga dapat melakukan proses fotosintesis dengan menghasilkan oksigen. Di dalam air, Kegiatan fotosintesis tersebut akan menambah jumlah (kadar) oksigen di dalamnya, sehingga nilai kelarutan oksigen (umumnya disebut DO atau dissolved oxygen) akan naik atau bertambah.
- d. Kehadiran hasil uraian senyawa hasil rombakan bakteri atau fungi, ternyata digunakan atau dimanfaatkan oleh jasad-jasad lain, antara lain oleh microalgae, oleh bakteri atau fungi sendiri. Sehingga dalam masalah ini jasad-jasad pengguna tersebut dinamakan consumer atau jasad pemakai. Tanpa adanya jasad pemakai,

kemungkinan besar penimbunan (akumulasi) hasil uraian tersebut dapat mengakibatkan keracunan terhadap jasad lain, khususnya ikan.

e. Penggunaan Bakteri dalam Menguraikan Detergen

Alkil benzil sulfonat (ABS) adalah komponen detergen, yang merupakan zat aktif yang dapat menurunkan tegangan muka sehingga dapat digunakan sebagai pembersih. ABS mempunyai Na-sulfonat polar dan ujung alkil non-polar. Pada proses pencucian, ujung polar ini menghadap ke kotoran (lemak) dan ujung polarnya menghadap ke luar (ke-air). Bagian alkil dari ABS ada yang linier dan non-linier (bercabang). Bagian yang bercabang ABS-nya lebih kuat dan berbusa, tetapi lebih sukar terurai sehingga menyebabkan badan air berbuih. Sulitnya peruraian ini disebabkan karena atom C tersier memblokir beta-oksidasi pada alkil. Hal ini dapat dihindari apabila ABS mempunyai alkil yang linier. Namun ada beberapa bakteri yang dapat menguraikan ABS meskipun memakan waktu yang cukup lama. Bakteri pengurai deterjen antara lain *Basilus subtilis*, *Vibrio coma*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Escherichia coli*.

2) Mikroorganisme yang merugikan (peran negatif)

Yang paling dikhawatirkan adalah kalau di dalam badan air terdapat jasad-jasad mikro penyebab penyakit atau mikroorganisme yang dapat merusak kualitas air sehingga menghasilkan senyawa beracun bagi organisme akuatik bahkan manusia.

a) *Salmonella* penyebab penyakit tifus adalah bakteri gram negatif berbentuk batang, tidak membentuk spora namun bersifat patogen, baik pada manusia ataupun hewan. Dapat menyebabkan demam typhoid (typhoid fever). Sebenarnya penyakit demam typhoid dapat dipindahkan dengan perantara makanan yang terkontaminasi dan dengan kontak langsung dengan si penderita. Namun yang paling umum sebagai fakta penyebab adalah air. Air dapat terkontaminasi oleh bakteri ini karena kesalahan metode pemurnian air atau kontaminasi silang (Cross contaminant) antara pipa air dengan saluran air limbah (Tarigan, 1988).

b) *Clostridium prefringens* adalah bakteri gram positif pembentuk spora yang sering ditemukan dalam usus manusia, tetapi kadang-kadang juga ditemukan di luar usus manusia (tanah, debu, lingkungan dan sebagainya).

c) *Escherichia coli* adalah bakteri gram negatif berbentuk batang yang tidak membentuk spora dan merupakan flora normal di dalam usus. *E.coli* termasuk bakteri

komensal yang umumnya bukan patogen penyebab penyakit namun bilamana jumlahnya melampaui normal maka dapat pula menyebabkan penyakit. *E. coli* merupakan salah satu bakteri coliform.

d) *Leptospira* merupakan bakteri berbentuk spiral dan lentur yang merupakan penyebab penyakit leptosporosis. Penyakit ini merupakan penyakit zoonosis atau penyakit hewan yang bisa berpindah ke manusia. Pada umumnya penyebaran bakteri ini adalah pada saat banjir.

e) *Shigella dysenteriae* adalah basil gram negatif, tidak bergerak. Bakteri ini menyebabkan penyakit disentri (mejan). Spesies lain seperti *S. sonnei* dan *S. paradysenteriae* juga menyebabkan penyakit disentri .

f) *Vibrio comma* adalah bakteri yang berbentuk agak melengkung, gram negatif dan monotrik. Bakteri ini menyebabkan penyakit kolera yang endemis di Indonesia dan sewaktu-waktu berjangkit serta memakan banyak korban.

g) *Ascaris* penyebab penyakit cacing, dan banyak contoh-contoh lainnya. Juga didalam air banyak ditemukan mikroba penghasil toksin (racun) yang sangat berbahaya, seperti:

1. Hidup secara anaerobic seperti *Clostridium*
2. Hidup secara aerobic seperti *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Staphylococcus*, dan sebagainya.
3. Toksin juga dihasilkan oleh beberapa jenis microalgae seperti *Anabaena* dan *Microcystis*

h) Kelompok bakteri besi (contoh, *Crenothrix* dan *Sphaerotilus*) yang mampu mengoksidasi senyawa besi (II) menjadi besi (III). Akibat kehadiran mikroorganisme tersebut, air sering mengalami perubahan warna kalau disimpan lama yaitu berwarna kehitam-hitaman, kecoklat-coklatan, dan lain-lain.

i) Kelompok bakteri belerang (contoh, *Chromatium* dan *Thiobacillus*) yang mampu mereduksi senyawa sulfat menjadi H<sub>2</sub>S. Akibatnya kalau air disimpan lama akan tercium bau busuk.

j) Kelompok mikroalga (misalnya yang termasuk kelompok mikroalga hijaubiru, biru, dan kersik), sehingga jika air disimpan lama di dalamnya akan nampak kelompok mikroorganisme yang berwarna hijau, biru atau kekuningkuningan, tergantung dominasi mikroalga yang terdapat dalam air serta lingkungan yang mempengaruhinya.

Suatu proses yang sering terjadi di danau atau kolam seluruh permukaan airnya ditumbuhi oleh pertumbuhan massa alga yang sangat banyak (*blooming*). *Blooming* menyebabkan perairan berwarna, ada endapan, dan bau amis, disebabkan oleh meningkatnya pertumbuhan mikroalga (*Anabaena flos-aquae* dan *Microcystis aeruginosa*). Dalam keadaan *blooming* sering terjadi :

1. Ikan mati disebabkan jenis-jenis mikroalga yang terdapat di dalam air menghasilkan toksin yang dapat meracuni ikan
  2. Korosi/pengkaratan terhadap logam karena di dalam massa mikroalga didapatkan pula bakteri besi atau belerang penghasil asam yang korosif
  3. Kekurangan oksigen karena mikroalga yang menutupi permukaan kolam sehingga menyebabkan ikan mati.
- k) Lebih jauh lagi akibat kehadiran kelompok bakteri dan mikroalga dalam air, dapat mendatangkan kerugian. Kehadiran kelompok bakteri dan mikroalga tersebut di dalam air, dapat menyebabkan terjadinya penurunan turbiditas dan hambatan aliran, karena kelompok bakteri besi dan belerang dapat membentuk serat atau lendir. Akibat lainnya adalah terjadinya proses korosi (pengkaratan) terhadap benda-benda logam yang berada di dalamnya, menjadi bau, berubah warna, dan sebagainya.

Berikut ini diuraikan mengenai peranan mikroorganisme dalam siklus unsur hara di perairan :

### **1. Siklus Nitrogen**

Nitrogen merupakan "*limiting factor*" yang harus diperhatikan dalam suatu ekosistem perairan. Nitrogen di perairan terdapat dalam bentuk gas  $N_2$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_3$  dan  $NH_4^+$  serta sejumlah N yang berikatan dalam organik kompleks. Akumulasi kandungan nitrogen dalam air dapat menjadi sumber penurunan kualitas air. Sumber nitrogen terbesar berasal dari udara, sekitar 80% dalam bentuk nitrogen bebas yang masuk melalui sistem fiksasi biologis dalam kondisi aerobik.

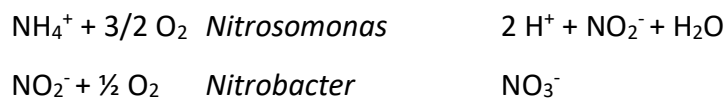
Keberadaan nitrogen di perairan dapat berupa nitrogen anorganik dan organik. Nitrogen anorganik terdiri atas ion nitrit ( $NO_2^-$ ), ion nitrat ( $NO_3^-$ ), ammonia ( $NH_3$ ), ion ammonium ( $NH_4^+$ ) dan molekul  $N_2$  yang larut dalam air, sedangkan nitrogen organik berupa protein, asam amino dan urea akan mengendap dalam air. Ikatan nitrogen dalam air sangat mudah berubah bentuknya. Menurut Effendi (2003) nitrogen organik berupa asam amino,

protein, dan urea, bentuk-bentuk tersebut mengalami transformasi sebagai bagian dari siklus nitrogen. Senyawa nitrogen organik dapat ditransformasi menjadi nitrogen, amonium dan dioksida menjadi nitrogen nitrat dan nitrit dalam sistem biologis. Transformasi nitrogen secara mikrobiologi mencakup hal-hal sebagai berikut:

1. Asimilasi nitrogen anorganik (nitrat dan amonium) oleh tumbuhan dan mikroorganisme (bakteri autorof) untuk membentuk nitrogen organik misalnya asam amino dan protein.
2. Fiksasi gas nitrogen menjadi ammonia dan nitrogen organik oleh mikroorganisme. Fiksasi gas nitrogen secara langsung dapat dilakukan oleh beberapa jenis alga Cyanophyta (alga biru) dan bakteri.



3. Nitrifikasi yaitu oksidasi ammonia menjadi nitrit dan nitrat dapat dilakukan oleh bakteri aerob. Nitrifikasi berjalan secara optimum pada pH 8 dan berkurang secara nyata pada pH < 7.



Hasil oksidasi ini sangat reaktif dan mudah sekali larut, sehingga dapat langsung digunakan dalam proses biologis

4. Amonifikasi nitrogen organik untuk menghasilkan ammonia selama proses dekomposisi bahan organik. Proses ini banyak dilakukan oleh mikroba dan jamur yang membutuhkan oksigen untuk mengubah senyawa organik menjadi karbondioksida. Selain itu, autolisis atau pecahnya sel dan ekskresi ammonia oleh zooplankton dan ikan juga berperan sebagai pemasok ammonia.
5. Denitrifikasi yaitu reduksi nitrat menjadi nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ), dinitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ) dan molekul nitrogen ( $\text{N}_2$ ). Proses reduksi nitrat berjalan optimal  $28^\circ\text{C}$  pada kondisi anaerob (tak ada oksigen). Dinitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ) adalah produk utama dari denitrifikasi pada perairan dengan kadar oksigen sangat rendah, sedangkan molekul nitrogen ( $\text{N}_2$ ) adalah produk utama dari proses denitrifikasi pada kondisi anaerob. Proses denitrifikasi akan berkurang atau lambat pada kondisi pH dan suhu rendah, tetapi akan berjalan optimum pada suhu rata-rata danau pada umumnya. Kondisi anaerob di sedimen membuat proses denitrifikasi lebih besar, yaitu dengan

laju rata-rata 1 mg /liter per hari. Kadar nitrogen yang tinggi dalam perairan dapat merangsang pertumbuhan alga secara tak terkendali (*blooming*). Konsentrasi nitrogen organik di perairan berkisar 0,1 sampai 5 mg/l, sedangkan di perairan tercemar berat kadar nitrogen bisa mencapai 100 mg/l. Konsentrasi nitrit yang tinggi dapat menyebabkan perairan menjadi tercemar. Schmit (1978) dalam Wardoyo (1989) menyatakan bahwa pencemaran perairan dapat dinilai berdasarkan kandungan nitritnya (Tabel 1).

Tabel 1. Status kualitas air berdasarkan kandungan nitrit (Schmit, 1978 dalam Wardoyo, 1989)

No	Kadar nitrit (mg/l)	Status kualitas air
1	< 0,003	Tidak tercemar sampai tercemar sangat ringan
2	0,003 – 0,014	Tercemar sedang
3	0,014 – 0,10	Tercemar berat

## 2. Siklus Karbon

Pada ekosistem air, pertukaran CO<sub>2</sub> dengan atmosfer berjalan secara tidak langsung. Karbon dioksida berikatan dengan air membentuk asam karbonat yang akan terurai menjadi ion bikarbonat. Bikarbonat adalah sumber karbon bagi alga yang memproduksi makanan untuk diri mereka sendiri dan organisme heterotrof lain. Sebaliknya, saat organisme air berespirasi, CO<sub>2</sub> yang mereka keluarkan menjadi bikarbonat. Jumlah bikarbonat dalam air adalah seimbang dengan jumlah CO<sub>2</sub> di air.

Karbon adalah bahan penyusun dasar semua senyawa organik. Dalam siklus karbon terjadi proses timbal balik fotosintesis dan respirasi seluler. Tumbuhan mendapatkan karbon, dalam bentuk CO<sub>2</sub> dari atmosfer melalui proses fotosintesis yang dapat menghasilkan O<sub>2</sub> yang nantinya akan digunakan oleh tumbuhan dan hewan untuk berespirasi. Hewan dan tumbuhan yang mati, dalam waktu yang lama akan membentuk batubara di dalam tanah. Batubara akan dimanfaatkan lagi sebagai bahan bakar yang juga menambah kadar CO<sub>2</sub> di udara. Sejumlah karbon bisa dipindahkan dari siklus tersebut dalam waktu yang lebih lama ketika karbon terakumulasi di dalam kayu dan bahan organik oleh detritivora akhirnya didaur ulang karbon ke atmosfer sebagai CO<sub>2</sub>. Hal ini dapat sebagai kembalinya CO<sub>2</sub> ke atmosfer.



### 3. Siklus Fosfor

Proses daur fosfor yang terjadi di perairan hampir sama dengan proses daur fosfor yang terjadi di daratan. Molekul fosfat yang terdapat di dalam air digunakan oleh fitoplankton, ganggang, dan tumbuhan air untuk metabolisme tubuhnya. Melalui rantai makanan fosfat masuk ke dalam tubuh hewan di perairan. Selanjutnya melalui proses dekomposisi organisme mati (zat organik) oleh bakteri dan fungi, fosfor kembali dilepaskan ke lingkungan perairan. Beberapa bakteri dan fungi mampu memecah senyawa-senyawa organik fosfor dan mampu melepaskan fosfat dari dan kembali dalam siklus materi. Beberapa bakteri yang dapat mendekomposisi  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  adalah genus *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Escherichia*, *Bacillus* dan *Micrococcus*

Molekul fosfat yang terbawa oleh aliran air tidak seluruhnya diserap oleh tumbuhan. Sebagian terus terbawa menuju lautan dan mengendap di dasar laut. Endapan tersebut lama kelamaan semakin banyak dan oleh proses geologis selama bertahun-tahun membentuk batuan atau endapan yang mengandung fosfat.

Pembuangan air deterjen yang mengandung fosfat ke dalam perairan dapat menyebabkan pertumbuhan ganggang yang berlebihan. Ganggang yang jumlahnya tidak terkendali menyebabkan oksigen di air berkurang, selanjutnya akan menyebabkan ikan-ikan di perairan mati. Peristiwa tersebut dinamakan eutrofikasi.

### 4. Siklus Besi dan Mangan

Bakteri besi umumnya terdapat pada perairan air tawar dan sering terdapat pada sumur-sumur dan sumber-sumber air. Kadang-kadang bakteri tersebut dalam jumlah besar terdapat pada air mengalir dan empang. Bakteri-bakteri tersebut sering menimbulkan kerusakan pada pipa-pipa besi.

Bakteri *Thiobacillus (Ferrobacillus) ferrooxydans* dapat mengoksidasi senyawa ferro menjadi ferri pada reaksi asam. Bakteri besi yang tersebar luas adalah *Leptothrix ochracea* dan *Crenothrix polyspora*. Mikroorganisme juga mampu membentuk logam organik dan kompleks mangan (chelate). Berbagai fungi dapat mensintesis senyawa kompleks yang berbeda. Senyawa logam organik dan kompleksnya dapat dipecah lagi oleh mikroorganisme. Dekomposisi ini memainkan peran dalam siklus besi dan mangan.

### **Kegiatan**

Dalam proses belajar mengajar agar TIU dan TIK pada materi ini tercapai maka Kegiatan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mahasiswa mendengarkan penjelasan yang dilakukan oleh dosen
2. Dosen memberikan pertanyaan sebagai umpan balik
3. Mahasiswa mampu menjawab pertanyaan yang berkaitan dengan materi yang disampaikan

### **Rangkuman**

Pada bahan ajar Tinjauan Umum dan Sejarah Perkembangan Duni Mikroba secara ringkas di pelajari beberapa hal yaitu :

1. Mikrobiologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang mikroorganisme atau jasad renik yang hanya bisa diamati dengan menggunakan mikroskop.
2. Mikroorganisme yang berhasil ditemukan adalah bakteri, virus, alga, jamur atau fungi, dan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologinya semakin berkembang sampai sekarang terutama dengan perkembangan bioteknologi.
3. Mikroorganisme terutama yang hidup di lingkungan perairan memiliki arti penting atau peranan baik yang menguntungkan maupun merugikan bagi organisme akuatik dan manusia.

## **2.3. PENUTUP**

### **Tes formatif**

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan jelas !

1. Apa yang dimaksud dengan mikroorganisme atau jasad renik ?
2. Sebutkan perbedaan teori abiogenesis dan biogenesis !
3. Sebutkan masing-masing dua peranan positif dan negatif mikroorganisme di lingkungan perairan !

### III. PROTISTA, PROKARIOT DAN EUKARIOT

#### 3.1. PENDAHULUAN

##### 3.1.1. Deskripsi Singkat

Pada bab ini akan diuraikan cakupan secara umum tentang mikroorganisme yang dikelompokkan dalam dunia Protista meliputi Prokariot dan Eukariot. Perbedaan mikroorganisme yang bersifat prokariotik dan eukariotik berdasarkan struktur atau komponen penyusun sistem selulernya.

Materi yang diuraikan pada bahan ajar Protista, Prokariot dan Eukariot ini adalah sebagai berikut :

1. Protista
2. Prokariot
3. Eukariot

##### 3.1.2. Manfaat/Relevansi

Bahan ajar Protista, Prokariot dan Eukariot ini diharapkan bisa dijadikan landasan berpikir mahasiswa mengenai cakupan secara luas tentang mikroorganisme dalam yang dikelompokkan dalam dunia protista. Selanjutnya mahasiswa akan lebih mudah memahami perbedaan kelompok Protista yang bersifat prokariotik dan eukariotik.

Pemahaman akan materi-materi pada bahan ajar Protista, Prokariot dan Eukariot ini sangat penting bagi kemampuan untuk memahami mengenai materi-materi berikutnya mengenai sifat dan peranan mikroorganisme baik yang bersifat prokariotik maupun eukariotik serta pengendalian dan pengembangannya untuk Kegiatan di bidang perikanan.

##### 3.1.3. Tujuan Instruksional Khusus

Mahasiswa diharapkan mampu memahami dan menjelaskan penggolongan mikroba.

#### 3.2. PENYAJIAN

##### 3.2.1. Protista

Istilah sel pertama kali dikemukakan oleh **Robert Hooke**, Ilmuwan Inggris, pada tahun 1665 yang berarti ruangan kosong. Ia meneliti sayatan gabus di bawah mikroskop yang

terdiri atas ruangan-ruangan yang dibatasi oleh dinding. Hal tersebut benar karena sel-sel gabus merupakan sel-sel yang telah mati sehingga di dalam sel tersebut kosong, tidak berisi.

Pada tahun 1839, seorang biolog Perancis, **Felix Durjadin** meneliti beberapa jenis sel hidup dan menemukan isi dalam rongga sel yang penyusunnya disebut sarcode. **Johanes Purkinje** (1789-1869) mengadakan perubahan nama Sarcode menjadi protoplasma. **Max Schultze** (1825-1874), seorang anatomi mengemukakan protoplasma merupakan dasar fisik kehidupan.

**Theodore Schwann** (1801-1881), seorang pakar zoologi Jerman, meneliti secara cermat dan intensif sel-sel hewan; dan **Mathias Schleiden** (1804-1881), pakar botani Jerman meneliti sel-sel tumbuhan. Berdasarkan hasil pengamatannya, kedua peneliti tersebut mengemukakan bahwa baik tubuh hewan maupun tubuh tumbuhan terdiri atas sel-sel.

**Robert Brown** (1831), seorang biolog Skotlandia, menemukan benda kecil yang melayang-layang dalam protoplasma. Benda tersebut diberi nama Inti (Nukleus). Sedangkan **Rudolf Virchow** mengatakan sel berasal dari sel "Omnis Cellula Cellula". Dengan demikian sel merupakan kesatuan hereditas.

Perkembangan pengetahuan tentang sel tidak terlepas dari perkembangan ilmu di bidang lainnya. Dengan teknik pewarnaan secara histokimia dan menggunakan mikroskop elektron, terungkap bahwa di dalam sitoplasma, terdapat berbagai macam organel (organ kecil).

Semua sel mempunyai sifat-sifat dasar secara umum. Semua sel dibatasi oleh membran plasma. Di dalamnya terdapat bahan semicair yang dinamakan sitosol yang mengandung organel-organel. Semua sel mengandung kromosom, yang membawa gen-gen (DNA, asam nukleat deoksiribosa). Semua sel mengandung ribosom yang merupakan organel kecil yang berfungsi membentuk protein menurut instruksi dari gen.

Berdasarkan keadaan intinya, sel dibedakan dalam dua macam, yaitu:

1. sel prokariotik.

Pada sel prokariotik, materi inti (DNA) terdapat dalam nukleoid yang tidak dibatasi oleh membran inti. Contoh sel prokariotik ialah bakteri, dan ganggang biru (Sianobakteria) yang termasuk Monera.

2. sel eukariotik.

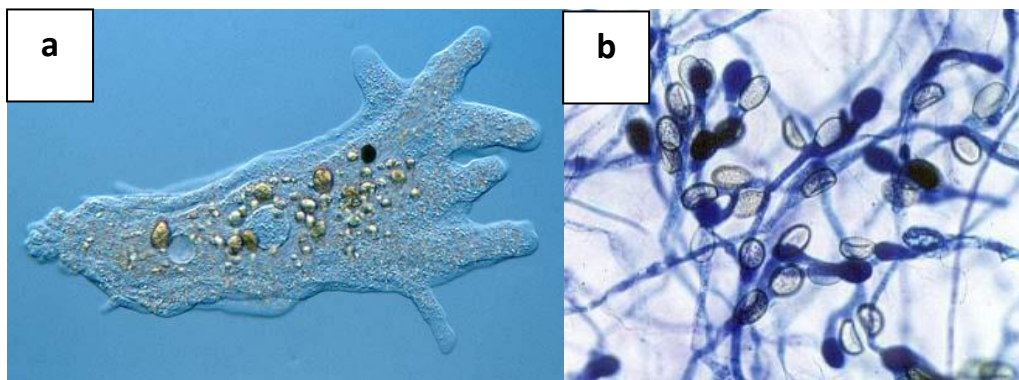
Sel eukariotik dijumpai pada tumbuhan, hewan, dan Protista (protozoa, alga dan jamur).

Kingdom Protista adalah kelompok organisme yang memiliki struktur sel eukariotik, uniseluler maupun multiseluler, tidak memiliki jaringan yang sebenarnya dan tidak termasuk hewan, tumbuhan, dan fungi. Tetapi anggota Protista ada yang menyerupai sifat-sifat jamur, hewan, dan tumbuhan.

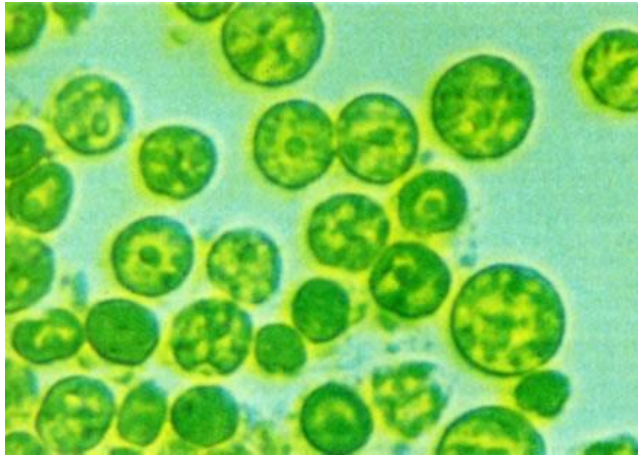
Kingdom Protista mempunyai ciri-ciri sebagai berikut :

- a. Bersel satu (*uniseluler / monoseluler*) atau bersel banyak (*multiseluler*) yang masih belum terdiferensiasi.
- b. Sel termasuk tipe eukariotik (memiliki dinding / membrane inti sel).
- c. Ada yang dapat membuat makanan sendiri (autotrof, terutama fotoautotrof) maupun tak dapat membuat makanan sendiri (heterotrof, baik ada yang sebagai parasit , maupun ada juga yang sebagai saprofit).
- d. Umumnya ditemukan di tempat yang lembab dan lingkungan berair. Beberapa di antaranya hidup diperairan air tawar maupun air laut.
- e. Berkembangbiak (pada umumnya) secara aseksual (vegetatif) dengan cara pembelahan sel, fragmentasi (pada yang hidup berkoloni). Dan secara seksual (generatif ) dengan cara konjugasi, peleburan gamet sederhana.

Beberapa contoh mikroorganisme yang termasuk dalam kelompok Protista mirip hewan antara lain : *Amoeba sp*, *Paramecium caudatum*, *Plasmodium malariae* dan lain sebagainya. Sedangkan contoh mikroorganisme yang termasuk dalam kelompok Protista mirip tumbuhan, antara lain : *Chlorella*, *Spirogyra sp*, *Eucheuma spinosum* dan lain sebagainya. Sementara itu, contoh mikroorganisme yang termasuk kelompok Protista mirip jamur , antara lain : *Saprolegnia*, *Pythophora sp*, *Pythium*, dan lainnya.



Gambar 1. a. *Amoeba proteus* (Protista mirip hewan), b. *Citridiales sp.* (Protista mirip jamur)

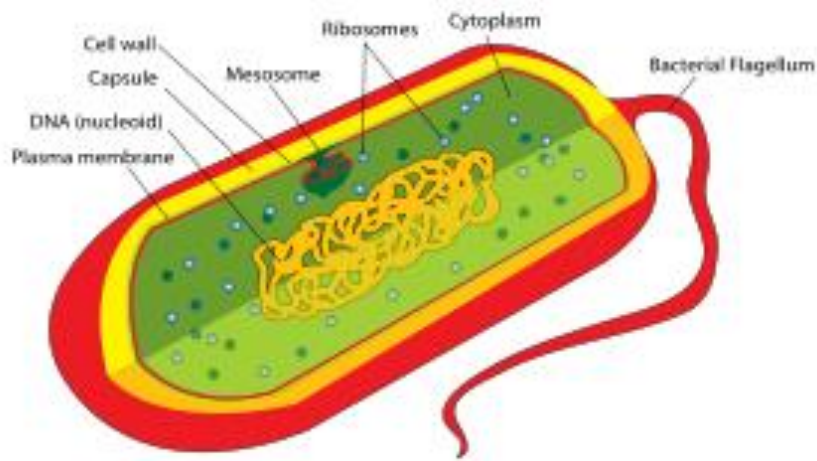


Gambar 2. *Chlorella* sp. (Protista mirip tumbuhan)

### 3.2.2. Prokariot

Sel prokariotik yaitu sel yang tidak memiliki membran inti. Makhluk hidup uniseluler termasuk golongan sel prokariotik, yaitu bakteri (Bacteria) dan sianobakteri (Cyanobacteria). Struktur sel prokariotik sebagai berikut :

1. **Dinding sel** tersusun dari peptidoglikan, lipid, dan protein. Dinding sel berfungsi sebagai pelindung dan pemberi bentuk tubuh.
2. **Membran plasma** tersusun dari molekul lipid atau protein. Membran plasma berfungsi sebagai pelindung molekuler sel terhadap lingkungan di sekitarnya.
3. **Sitoplasma** tersusun dari air, protein, lipid, mineral, dan enzim-enzim. Enzim-enzim untuk mencerna makanan secara intraseluler dan untuk melakukan proses metabolisme sel.
4. **Mesosom** berfungsi sebagai penghasil energi. Pada membran mesosom terdapat enzim-enzim pernapasan yang berperan dalam reaksi-reaksi oksidasi untuk menghasilkan energi.
5. **Ribosom** berfungsi sebagai tempat berlangsungnya sintesis protein.
6. **DNA** tersusun dari gula deoksiribosa, fosfat, dan basabasa nitrogen. DNA berfungsi sebagai pembawa informasi genetik yaitu sifat-sifat yang harus diwariskan kepada keturunannya.
7. **RNA** merupakan persenyawaan hasil transkripsi DNA. RNA berfungsi membuat kode-kode genetik sesuai pesanan DNA, kemudian akan diterjemahkan dalam bentuk urutan asam amino dalam proses sintesis protein.



Gambar 3. Struktur dasar sel prokariot : sel bakteri

Sel bakteri dibatasi oleh membran plasma. Di dalamnya terdapat nukleoid (DNA) tanpa dibatasi oleh membran inti, dan ribosom. Di sebelah luar dari membran plasma terdapat dinding sel yang disusun oleh peptidoglikan (kompleks gula dan protein). Pada sebagian bakteri sel tersebut dibungkus oleh kapsul (disusun oleh gula). Bakteri mempunyai alat gerak berupa flagel. Pada permukaan sel bakteri terdapat pili yang dapat digunakan untuk menempel pada substratnya. Pada bakteri fotosintetik dan ganggang hijau biru terdapat klorofil yang tersebar dalam sitoplasma, tanpa membran yang membatasinya dengan bagian sel lainnya. Jadi, sel prokariotik ada yang mempunyai klorofil tetapi tidak dalam kloroflas (placid yang berwarna hijau). Sel prokariotik mempunyai ukuran yang jauh lebih kecil (kurang lebih sepersepuluhnya) dari sel eukariotik.

### 3.2.3. Eukariot

Sel eukariotik yaitu sel yang memiliki membran inti dan sistem endomembran. Sistem endomembran yaitu organel-organel bermembran seperti retikulum endoplasma, badan golgi (kompleks golgi), mitokondria, dan lisosom. Sel hewan dan sel tumbuhan tergolong sel eukariotik. Struktur sel eukariotik terdiri atas tiga komponen utama yaitu membran plasma, sitoplasma, dan organel-organel sel. Pada sel tumbuhan, sel hewan, dan sel eukariotik lainnya, selain membran plasma yang membatasi sel dengan lingkungan luarnya, juga terdapat sistem membran dalam (internal) yang membatasi organel-organel di bagian dalam sel dengan sitoplasma. Nukleus (inti) dibatasi oleh membran inti sehingga bahan-bahan

yang ada di dalamnya terpisah dari sitoplasma. Vakuola terpisah dari sitoplasma karena dibatasi oleh membran (tonoplas). Demikian juga pada organel bermembran lainnya, yang terpisah satu sama lain sehingga masing-masing organel menyelenggarakan reaksi-reaksi kimia secara terpisah. Dengan kata lain, sel eukariotik telah mengalami kompartementasi, terbagi dalam beberapa ruang.

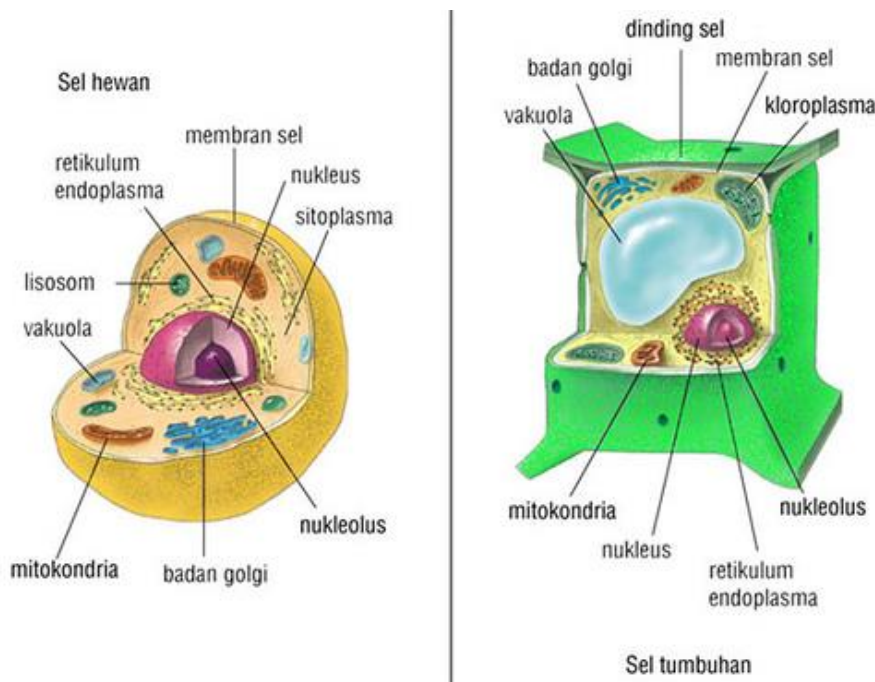
Secara ringkas, perbedaan sel prokariotik dan sel eukariotik dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbedaan sel prokariotik dan sel eukariotik

Struktur	Prokariotik	Eukariotik
Membran nukleus	-	+
Membran plastida	-	+
Nukleus	+	+
Plastida	-	+/-
Mitokondria	-	+
Badan Golgi	-	+
DNA	+	+
RNA	+	+
Histon	-	+
Pigmen	+	+

Keterangan: – (tidak ada); + (ada)

Sel eukariotik pada sel tumbuhan dan sel hewan berbeda. Pada Gambar 4 terlihat perbandingan antara sel hewan dengan sel tumbuhan.



Gambar 4. Perbandingan struktur sel eukariotik : sel hewan dan sel tumbuhan



Adapun keterangan mengenai struktur selnya sebagai berikut :

#### **a. Membran Plasma**

Membran plasma merupakan bagian terluar sel yang melindungi protoplasma. Membran plasma bersifat selektif permeabel, artinya hanya dapat dilalui molekul-molekul tertentu seperti glukosa, asam amino, gliserol, dan berbagai ion. Membran plasma berfungsi melindungi isi sel, mengatur ke luar masuknya berbagai zat, dan sebagai tempat reaksi respirasi dan oksidasi.

Membran plasma terdiri atas lapisan protein dan lapisan lipid (lipoprotein). Lapisan lipid disusun oleh fosfolipid, glikolipid, dan sterol. Lapisan protein membran sel terdiri atas glikoprotein. Lapisan protein membentuk dua macam lapisan yaitu lapisan protein perifer dan integral.

Membran sel sangat tipis dan hanya terdiri atas dua lapis fosfolipid. Bagian kepala (fosfat) yang bersifat hidrofilik (senang air) berada di bagian luar membran sel. Adapun bagian ekor (lipid) berada di bagian dalam membran sel dan bersifat hidrofobik (tidak senang air). Jadi, satu sisi menghadap ke bagian luar sel, sedangkan sisi lainnya menghadap ke bagian dalam sel. Hal tersebut mencegah sitoplasma larut dengan lingkungan sekitarnya dan mencegah zat-zat asing di sekitar sel masuk ke dalam sel.

#### **b. Sitoplasma**

Sitoplasma adalah cairan sel yang berada di luar membran inti. Komponen utama penyusun sitoplasma sebagai berikut :

- 1) Cairan seperti gel yang disebut sitosol.
- 2) Substansi genetik simpanan dalam sitoplasma.
- 3) Sitoskeleton yang berfungsi sebagai kerangka sel.
- 4) Organel-organel sel.

Sifat-sifat fisikawi matriks sitoplasma meliputi efek Tyndal, gerak Brown, gerak siklosis, memiliki tegangan permukaan, dan bersifat elektrolit. Sifat biologis matriks sitoplasma meliputi mampu mengenali rangsang (iritabilita) dan mengantar rangsang (konduktivitas). Adapun fungsi sitoplasma yaitu sebagai sumber bahan kimia penting bagi sel dan tempat terjadinya reaksi metabolisme.

### **c. Organel-Organel Sel**

Sebagian besar organel sel diselubungi oleh lapisan membran dengan struktur yang sama dengan lapisan membran sel. Di dalam sel terdapat banyak struktur kecil yang disebut organel. Organel-organel sel terdapat dalam sitoplasma.

Macam-macam organel penyusun sel sebagai berikut :

#### **1) Inti Sel (Nukleus)**

Nukleus merupakan organel terbesar yang berada dalam sel dengan diameter sekitar 10  $\mu\text{m}$ . Nukleus berfungsi sebagai pengatur pembelahan sel, pengendali seluruh Kegiatan sel, dan pembawa informasi genetik.

Inti sel terdiri atas beberapa bagian, yaitu membran, kromatin, anak inti (*nukleolus*), dan cairan inti (*nuclear sap*). Cairan inti merupakan cairan yang di dalamnya terdapat nukleolus dan kromatin. Kromatin mengandung materi genetik berupa DNA serta protein. Ketika sel membelah, kromosom dapat terlihat sebagai bentuk tebal dan memanjang. Kromosom adalah cetak-biru (blue print) sel. Kromosom mengatur kapan dan bagaimana sel membelah diri, menghasilkan protein-protein tertentu, serta berdiferensiasi.

Nukleus merupakan struktur yang jelas terlihat pada saat sel belum membelah diri. Nukleus terlibat dalam pembentukan ribosom—suatu organel sel yang berperan dalam pembentukan protein. Nukleus mengatur sintesis protein dalam sitoplasma dengan mengirimkan pesan genetik dalam bentuk ribonucleic acid(RNA). RNA ini disebut messengerRNA (mRNA). Pembentukan mRNA terjadi di nukleus berdasarkan instruksi yang diberikan DNA. Setelah itu, mRNA membawa pesan genetik ke sitoplasma melalui pori membran inti untuk diterjemahkan di ribosom menjadi protein.

Protein ini akan digunakan untuk menggantikan protein yang hilang, membentuk enzim, atau mengirimkan sinyal pada bagian sel yang lain. Membran inti memiliki struktur yang sama dengan struktur membran sel. Di membran inti, terdapat pori atau lubang-lubang yang memungkinkan keluar-masuknya benda atau zat tertentu. Dengan kata lain, melalui lubang-lubang tersebut, inti sel 'berkomunikasi' dengan bagian-bagian sel serta sel yang lain.

#### **2). Retikulum Endoplasma (RE)**

Retikulum endoplasma merupakan jaringan yang tersusun oleh membran yang berbentuk seperti jala. Terdapat dua tipe retikulum endoplasma yaitu RE kasar dan RE halus. RE kasar adalah RE yang ditempeli ribosom dan tampak berbintil-bintil. RE halus adalah RE yang tidak ditempeli ribosom.

Retikulum Endoplasma memiliki beberapa fungsi sebagai berikut :

- a) Mensintesis lemak dan kolesterol (RE kasar dan RE halus).
- b) Menampung protein yang disintesis oleh ribosom (RE kasar).
- c) Transportasi molekul-molekul (RE kasar dan RE halus).
- d) Menetralkan racun (detoksifikasi).

Dilihat secara tiga dimensi, sistem membran pada retikulum endoplasma bersatu dengan membran sel dan membran inti. Retikulum endoplasma ada yang tampak kasar (RE kasar) dan ada pula yang tampak halus (RE halus). Pada permukaan membran RE kasar terdapat ribosom yang menempel. Ribosom yang menempel membuat RE terlihat kasar RE kasar berperan dalam pembentukan membran dan protein. Adapun RE halus berperan dalam pembentukan lemak, menetralkan racun, dan penyimpanan kalsium yang berguna pada kontraksi sel otot.

### **3).Ribosom**

Pada permukaan dalam membran retikulum endoplasma sel eukariotik tersebar organel-organel. Salah satu organel tersebut adalah ribosom. Ribosom berperan penting dalam proses pembentukan protein. Pada sel yang aktif, terdapat ribosom dalam yang banyak. Selain di RE, ribosom banyak terdapat juga di anak inti (nukleolus).

### **4).Kompleks Golgi/ Badan Golgi**

Kompleks Golgi tersebar dalam sitoplasma dan merupakan salah satu komponen terbesar dalam sel. Kompleks Golgi mempunyai hubungan yang erat dengan RE dalam sintesis protein. Selain itu, kompleks Golgi juga mempunyai beberapa fungsi sebagai berikut.

- a) Tempat sintesis polisakarida seperti mukus, selulosa, hemiselulosa, dan pektin.
- b) Membentuk membran plasma.
- c) Membentuk kantong sekresi untuk membungkus zat yang akan dikeluarkan sel.
- d) Membentuk akrosom pada sperma, kuning telur pada sel telur, dan lisosom.

Badan Golgi berbentuk seperti kantung yang pipih, dibatasi oleh membran. Beberapa badan Golgi sering terlihat berdekatan dan membentuk kantung-kantung yang bertumpuk. Badan Golgi diduga sebagai salah satu bentuk dari sistem membran pada RE. Badan Golgi kadang terlihat berada berdekatan dengan RE.

Fungsi badan Golgi terutama dalam pengolahan protein yang baru disintesis. Badan Golgi memotong protein berukuran besar yang dihasilkan ribosom menjadi protein-protein berukuran kecil seperti hormon dan neurotransmitter(bahan penerus informasi pada sistem

saraf). Badan Golgi juga berfungsi menambahkan molekul glukosa ketika proses sintesis glikoprotein. Pada sel-sel kelenjar, jumlah badan Golgi lebih melimpah dibandingkan sel-sel lain. Hal ini berhubungan dengan pembentukan sekresi mukus berupa mukopolisakarida yang melibatkan badan Golgi.

### **5). Mitokondria**

Mitokondria memiliki dua jenis membran yaitu membran luar dan membran dalam. Kedua membran ini bersifat kuat, fleksibel, stabil, dan tersusun dari lipoprotein. Membran dalam membentuk tonjolan-tonjolan yang disebut krista. Tonjolan-tonjolan tersebut berfungsi untuk memperluas permukaan agar penyerapan oksigen lebih efektif.

Banyaknya jumlah mitokondria dalam sel, bergantung pada seberapa aktif sel-sel tersebut. Misalnya, pada sel otot, memiliki mitokondria lebih banyak dibandingkan sel yang pasif. Semakin banyak mitokondria, semakin tinggi frekuensi proses respirasi. Organel-organel yang telah diuraikan sebelumnya adalah organel-organel yang dimiliki oleh sel hewan dan sel tumbuhan. Beberapa organel berikutnya, hanya ditemukan pada sel hewan atau sel tumbuhan saja.

### **KEGIATAN**

Dalam proses belajar mengajar agar TIU dan TIK pada materi ini tercapai maka Kegiatan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mahasiswa mendengarkan penjelasan yang dilakukan oleh dosen mengenai protista, sel prokariot dan sel eukariot.
2. Dosen memberikan tugas rumah untuk membuat paper “protista di lingkungan akuatik”.
3. Mahasiswa menyusun paper dan dikumpul pada pertemuan berikutnya.
4. Pelaksanaan praktikum di laboratorium.

### **RANGKUMAN**

Pada bahan ajar Protista, Prokariot dan Eukariot secara ringkas dipelajari beberapa hal yaitu :

1. Para ahli membagi makhluk hidup dalam 3 kingdom yaitu hewan, tumbuhan dan protista.

2. Berdasarkan struktur selularnya maka kelompok sel dibagi dalam sel prokariot atau prokariotik dan sel eukariot atau eukariotik.
3. Perbedaan sistem selular sel prokariotik dan eukarioti terletak pada sistem dinding sel internal yang tidak dimiliki oleh prokariotik, tetapi dimiliki oleh eukariotik.
4. Makhluk hidup prokariotik terdiri dari bakteri dan sianobakteri, dan eukariotik terdiri dari hewan, tumbuhan dan Protista.
5. Protista merupakan kelompok makhluk hidup bersifat uniseluler dan multiseluler yang terdiri dari Protista mirip hewan (protozoa), Protista mirip tumbuhan (alga) dan Protista mirip jamur.

### **3.3. PENUTUP**

#### **Tes formatif**

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan jelas !

1. Apa yang dimaksud dengan protista ?
2. Sebutkan perbedaan sel prokariotik dan eukariotik !
3. Sebutkan fungsi dari organel berikut ini : dinding sel, nukleus dan retikulum endoplasma !

## **IV. JASAD MIKROBA AKUATIK**

### **4.1. PENDAHULUAN**

#### **4.1.1. Deskripsi Singkat**

Pada bab Jasad Mikroba Akuatik akan diuraikan tentang kondisi fisik dan kimia air sebagai lingkungan hidup atau habitat mikroba, penyebaran serta karakteristik beberapa mikroba atau jasad renik di lingkungan akuatik. Mikroorganisme tersebut berupa virus, bakteri, jamur, alga dan protozoa yang umum ditemukan di lingkungan akuatik. Aspek biologi dan ekologi dari beberapa jasad mikroba tersebut dikaitkan dengan kepentingan manusia pada lingkungan akuatik.

Materi yang diuraikan pada bahan ajar Jasad Mikroba Akuatik ini adalah sebagai berikut :

4. Lingkungan akuatik sebagai habitat jasad mikroba
5. Penyebaran mikroba di lingkungan akuatik
6. Komposisi mikroba penyusun lingkungan akuatik
7. Jasad mikroba penting dalam lingkungan akuatik

#### **4.1.2. Manfaat/Relevansi**

Bahan ajar Jasad Mikroba Akuatik ini diharapkan bisa menjadi landasan berpikir mahasiswa mengenai cakupan secara luas tentang mikroorganisme di lingkungan akuatik. Informasi yang disampaikan dalam bab ini diharapkan mampu diterima oleh mahasiswa dalam mempelajari secara spesifik beberapa jasad mikroba yang berperan positif maupun negatif dalam Kegiatan di lingkungan akuatik dan pengolahan produk perikanan.

Pemahaman akan materi-materi pada bahan ajar Jasad Mikroba Akuatik ini sangat penting bagi kemampuan untuk memahami mengenai pemanfaatan mikroorganisme sejalan dengan perkembangan mikrobiologi di masa yang akan datang, hal ini berkaitan dengan keberadaan mikroorganisme di lingkungan perairan serta pemanfaatannya dalam keberhasilan usaha di bidang perikanan.

#### **4.1.3. Tujuan Instruksional Khusus**

Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan golongan mikroba akuatik dan kepentingannya.

## 4.2. PENYAJIAN

### 4.2.1. Lingkungan Akuatik Sebagai Habitat Jasad Mikroba

Wilayah perairan atau lingkungan akuatik merupakan bagian terbesar dari bumi. Hampir 75% permukaan bumi terdiri dari lingkungan ini. Air merupakan unsur penting bagi kehidupan di muka bumi, alasan yang mendasar selain sebagai habitat atau tempat hidup makhluk hidup, air merupakan penyusun tubuh makro dan mikroorganisme. Sebagai sebuah ekosistem, perairan memiliki hubungan yang erat dengan makhluk hidup atau faktor biotik yang ada di dalamnya baik makro maupun mikroorganisme. Selain itu lingkungan ini juga sangat dipengaruhi oleh faktor abiotik lain seperti kondisi iklim atau cuaca dan kondisi tanah, disamping aktivitas manusia yang ada di sekitarnya.

Berbagai macam mikroorganisme ditemukan dalam lingkungan akuatik, penyebarluasannya ditentukan oleh faktor kimia dan fisik yang terdapat dalam lingkungan tersebut. Faktor lingkungan ini sangat berbeda satu dengan yang lainnya seperti suhu, tekanan hidrostatik, cahaya, salinitas, turbiditas, pH, dan nutrien.

#### a. Temperatur

Temperatur air permukaan berkisar antara 0 °C di daerah kutub sampai 40°C di daerah equator. Di bawah permukaan lebih dari 90% lingkungan laut memiliki temperatur di bawah 5 °C, suatu kondisi yang disukai untuk pertumbuhan mikroorganisme psikrofilik. Sejumlah bakteri termofilik dapat diisolasi dari endapan anaerobik dekat palung pada dasar lautan. Sebagai contoh, archaeobacteria *Pyrodictium occultum*, diisolasi dari bawah laut dekat pulau Volcano, Itali, dimana air bertemperatur 103°C.

Dari hasil penelitian di laboratorium, bakteri tersebut dapat tumbuh secara optimum pada temperatur 105°C dan tidak tumbuh pada temperatur di bawah 82°C. *Pyrodictium occultum* merupakan bakteri autotrof anaerobik yang tumbuh melalui pembentukan hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) dari gas hidrogen (H<sub>2</sub>) dan unsur sulfur (S). *Pyrobaculum organotrophum*, mewakili kelompok baru archaeobacteria hipertermofilik dari laut pada bagian dunia yang berbeda. Spesies dari genus ini dapat tumbuh optimal pada temperatur 100 °C, merupakan bakteri bentuk batang, gram negatif, anaerob sempurna, dan bergerak dengan flagela.

#### b. Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik merupakan tekanan pada dasar suatu kolom vertikal air. Tekanan tersebut meningkat menurut kedalaman pada kisaran 1 atmosfer tekanan (14,7 psi) dari

setiap 10 m. Pada daerah yang sangat dalam, seperti dekat dasar lautan, tekanan hidrostatis sangat besar dan dapat menyebabkan perubahan dan mempengaruhi sistem biologik, seperti perubahan kecepatan reaksi kimia, kelarutan nutrisi, dan titik didih air.

Organisme barofilik merupakan organisme yang tidak dapat tumbuh pada tekanan atmosfer normal. Sejumlah bakteri barofilik dapat diisolasi dari parit lautan Pasifik pada kedalaman antara 1000-10.000 m. Isolasi membutuhkan alat-alat khusus yang memelihara tekanan tinggi pada sampel dari waktu pengambilan sampai, dan selama masa pembiakan. Umumnya bakteri barofilik dapat tumbuh baik pada tekanan yang kurang dari tempat asalnya dan hampir seluruhnya diinkubasi pada temperatur psikrofilik (sekitar 2 °C).

### **c. Cahaya**

Sebagian besar bentuk kehidupan akuatik bergantung (baik langsung maupun tidak langsung) pada produk metabolik organisme fotosintetik. Organisme fotosintetik utama dalam sebagian besar habitat akuatik adalah alga dan *Cyanobacteria* pertumbuhannya dibatasi oleh lapisan permukaan air dimana cahaya dapat menembus. Bagian dalam air dimana terjadi fotosintesis disebut zona fotik. Ukuran zona ini berbeda bergantung pada kondisi daerah seperti posisi matahari, musim, dan khususnya kekeruhan air. Umumnya, aktivitas fotosintetik dibatasi pada kedalaman kurang dari 50-125 m badan air, bergantung pada kejernihan air.

### **d. Salinitas**

Salinitas atau konsentrasi NaCl air alami berkisar antara 0% dalam air-tawar sampai 32% NaCl dalam danau asin seperti *the Great Salt Lake* di Utah. Air laut mengandung NaCl sekitar 2,75%; konsentrasi garam total air laut (NaCl ditambah garam lainnya) berkisar antara 3,3 – 3,7%. Di samping NaCl garam lain yang ditemukan dalam air ialah natrium karbonat, sulfat dan kalium sulfat, klorida dan karbonat, kalsium dan magnesium. Konsentrasi garam pada daerah yang dangkal dan dekat mulut/hilir sungai bisaanya rendah. Pada daerah estuari, konsentrasi garam berbeda dari dasar sampai permukaan, dari hulu sampai hilir, dan dari musim ke musim, menciptakan bahkan merubah kondisi bentuk kehidupan yang menempati badan air tersebut. Sebagian besar mikroorganisme laut merupakan halofilik, yang tumbuh dengan baik pada konsentrasi NaCl kurang dari 2,5 - 4,0%. Dengan kata lain, mikroorganisme dari danau dan sungai dapat dihambat pertumbuhannya dengan konsentrasi NaCl lebih dari 1%.



#### **e. Turbiditas**

Turbiditas atau kekeruhan menandakan perbedaan dalam kejernihan air. Laut Adriatik bersih dan berkilauan pada bagian kedalaman sedangkan sungai Mississippi sangat keruh. Bahan yang tercampur yang mampu mengeruhkan air adalah :

1. Partikel bahan mineral;
2. *Detritus*, partikel bahan organik seperti potongan selulosa, hemiselulosa, dan kitin dari hasil dekomposisi hewan dan tumbuhan;
3. Suspensi mikroorganisme

Air yang sangat keruh, menyebabkan kurang tembus cahaya, zona fotik kurang dalam. Partikel bahan-bahan juga tersedia sebagai tempat menempelnya mikroorganisme. Beberapa spesies bakteri menempel pada permukaan yang padat dengan maksud berkolonisasi, misalnya Epibakteria. Partikel tersebut juga tersedia sebagai substrat untuk metabolisme mikroorganisme.

#### **f. Konsentrasi Ion Hidrogen (pH)**

Mikroorganisme akuatik biasanya tumbuh baik pada pH 6,5-8,5. Air laut memiliki pH 7,5-8,5, dan sebagian besar mikroorganisme laut tumbuh baik pada media kultur dengan pH 7,2-7,6. Danau dan sungai dapat memiliki kisaran pH yang luas bergantung pada kondisi lingkungan setempat. Sebagai contoh, archaeobakteria dapat diisolasi dari danau garam di Afrika, dimana pH tinggi sekitar 11,5, spesies archaeobakteria lain dapat hidup pada pH sangat rendah 1,0 atau kurang.

#### **g. Nutrien**

Jumlah dan macam bahan organik dan anorganik (nutrien) yang terdapat dalam lingkungan akuatik secara nyata membantu pertumbuhan mikroorganisme. Nitrat dan fosfat merupakan unsur anorganik yang mendukung pertumbuhan alga. Kelebihan nitrat dan/atau fosfat dapat menyebabkan kelebihan pertumbuhan alga (*'blooming'*) pada badan air dan memperbesar penggunaan oksigen dalam air, juga menutupi permukaan air, sehingga air sulit ditembus cahaya, dan akhirnya mematikan semua kehidupan dalam air. Jumlah nutrien dalam badan air mengarah pada penimbunan nutrien dalam suatu lingkungan. Air dekat-pantai, yang menerima air limbah domestik yang mengandung senyawa organik dan anorganik, merupakan daerah yang mengalami peningkatan dan penurunan secara singkat

timbunan nutrien, sedangkan laut lepas memiliki timbunan nutrien yang lebih rendah dan stabil.

Limbah industri dan limbah pertanian dapat mengandung zat antimikroba, merkuri dan logam berat lain juga dapat memasuki daerah estuari dan air pantai. Sejumlah alga akuatik menghasilkan toksin yang mematikan ikan dan hewan lain. Toksin tersebut dikeluarkan dari sel atau melalui dekomposisi alga oleh bakteri dalam kondisi "blooming". Alga laut tertentu (*Gymnodinium* dan *Gonyaulax*) dapat menghasilkan neurotoksin yang mematikan hewan akuatik. Toksin tertentu dapat terkonsentrasi dalam kelenjar pencernaan moluska (kerang-kerangan) dan menyebabkan paralisis pada manusia yang mengkonsumsi kerang beracun tersebut.

#### **4.2.2. Penyebaran Mikroba Di Lingkungan Akuatik**

Mikroorganisme merupakan bagian komponen biologis, dimana komposisi dan ukurannya tergantung dari kondisi fisik dan kimiawi. Bakteri dan fungi berdistribusi hampir pada semua air, namun memiliki jumlah dan jenis yang berbeda-beda antara sungai, danau dan laut. Bakteri dan fungi heterofilik dapat hidup hanya dengan menggunakan bahan-bahan organik, baik yang disintesis dan diresintesis oleh organisme yang lain dalam mendapatkan nutriennya. Penyebaran atau distribusi mikroorganisme dalam air merupakan hasil dari interaksi semua faktor biotik dan faktor abiotik. Tipe air seperti sungai, danau, dan laut juga mempengaruhi distribusi dari bakteri dan fungi.

##### **a) Distribusi pada Mata Air dan Sungai**

Hanya sedikit bakteri yang ditemukan dalam mata air, karena nutriennya sedikit. Jumlah total bakteri berkisar dari ratusan hingga ribuan per mililiter dan jumlah saprofit umumnya antara 10 sampai beberapa ribu. Hal ini karena mata air mengandung konsentrasi nutrien yang rendah, dan biasanya terdapat bakteri yang sangat kecil berbentuk kokus dan batang pendek bila dilihat dengan mikroskop cahaya. Pada beberapa mata air, khususnya pada tepi mata air, Cyanophyta juga ditemukan. Komposisi spesies tergantung pada temperatur dan mineral. *Synechococcus lividus* ditemukan pada sumber air panas di Taman Nasional Yellowstone pada suhu 73-74°C. Biomassa terbesar juga ditemukan pada sumber mata air panas Hunter di Oregon, Amerika Serikat. Disamping itu juga ditemukan lapisan bakteri fototropik.

Pada temperatur di bawah 53°C *Oscillatoria terebriformis* juga dapat berkembang, dan pada suhu 47-48°C digantikan oleh *Pleurocapsa* dan *Calothrix*. Di Islandia dan Selandia Baru, *Mastigicladus laminosus* ditemukan pada suhu 63-64°C. Temperatur ini menunjukkan batas teratas untuk kehidupan tumbuhan hijau. Pada sumber mata air panas di atas suhu 50°C hanya bakteri dan Cyanophyta yang dapat hidup. Jadi pada lingkungan tersebut hanya prokariot yang dapat hidup.

Jumlah bakteri saprofit di sungai dan mata air tergantung dari musim. Pada musim panas dan musim dingin akan memiliki jumlah yang berbeda dan mengalami fluktuasi. Jumlah bakteri tertinggi pernah dihitung selama musim dingin dengan keadaan temperatur rendah dengan nutrisi yang didapatkan dari limbah. Jumlah yeast di sungai meningkat karena limbah yang dibuang ke sungai cukup besar. Pada arus air yang jernih yeast jarang ditemukan. Spora-spora jamur tingkat tinggi secara melimpah berada di sungai dan merupakan bagian penting dari peningkatan limbah. Sedangkan komposisi populasi fungi tingkat rendah tergantung dari jumlah bahan organik yang masuk.

#### b) Distribusi pada Danau

Jumlah bakteri saprofit di danau tergantung dari tipe danau. Pada danau tipe oligotrofik berbeda dengan tipe danau mesotrofik, danau eutrofik, dan distrofik. Jumlah terbesar bisaanya pada tipe danau eutrofik. Pada danau yang jernih jumlah tertinggi bakteri pada saat jumlah nutrisi fitoplankton diproduksi paling tinggi. Distribusi vertikal bakteri tergantung dari perbedaan musim. Selama musim panas yang paling berkembang adalah alga dan bakteri. Tidak hanya jumlah total bakteri pada berbagai zona yang berbeda tetapi juga komposisi dari spesiesnya. Bakteri heterotrofik mencapai jumlah maksimum bila berada dalam zona termoklin dan yang kedua di atas dasar danau.

Distribusi mikroba pada danau mesotrofik dipengaruhi oleh persediaan oksigen. Bakteri *Metallogenium personatum* ditemukan pada lapisan 10 meter dari permukaan. Pada kedalaman 10,75 meter, dimana H<sub>2</sub>S selalu ada maka bakteri sulfur seperti *Rhodospira rubra* dan *Thiocapsa* sp. mencapai jumlah maksimum. Bakteri sulfur hijau, misalnya *Pelodictyon luteolum* di bawah kedalaman 11-11,5 meter menjadi paling dominan jumlahnya. Sejumlah bakteri coklat *Chlorochromatium* dan *Pelodictyon roseoviride* juga didapatkan pada kedalaman 11-12 meter. Bakteri *Peloploca pulchra* didapatkan pada kedalaman 13,0-22,5 meter. Jumlah terbesar bakteri fotototrof yang pernah diobservasi di

danau eutrofik bergaram adalah 48 juta per ml, dan pada danau oligotrofik air tawar mencapai 3,5 juta per ml.

Cyanophyta tersebar luas dalam danau perairan dalam. Pada danau oligotrofik, fitoplankton ini tergolong sangat kecil. Proses peningkatan dengan cara eutrofikasi. Dalam danau eutrofik, Cyanophyta terdapat pada musim panas dan nampak warna kehijauan pada air. Hal ini terjadi pada lapisan sekitar 1-2 meter. Peningkatan eutrofikasi juga meningkatkan perubahan populasi Cyanophyta, misalnya *Oscillatoria rubescens*.

#### c) Distribusi pada Laut

Kebutuhan akan nutrisi merupakan bagian pada laut terbuka sehingga mempengaruhi flora normal. Jumlah bakteri saprofit pada berbagai bagian laut berbeda-beda. Hal ini karena perbedaan tempat dan fluktuasi musim. Jumlah bakteri saprofit pada suatu teluk lebih tinggi daripada laut terbuka. Pantai yang tercemar juga mengandung banyak bakteri saprofit karena mengandung bahan-bahan organik yang cukup tinggi, sedangkan jumlah bakteri saprofit bisa saja rendah. Distribusi vertikal bakteri saprofit mencapai jumlah tertinggi pada zona eufotik, tetapi tidak pada zona atas dengan kedalaman 10-50 meter. Di bawah 200 meter hanya sangat kecil jumlah bakteri saprofit yang ditemukan, dan di bawah 1000 meter jumlah sangat sedikit.

Cyanophyta berperan penting sebagai fitoplankton di laut. Anggota dari genus *Trichodesmium* tersebar luas di perairan tropis. Cyanophyta tidak hanya dapat diobservasi dari zona fotik tetapi juga dapat diambil dari laut yang lebih dalam. Misalnya genus *Nostoc* dan spesies *Dactylococopsis* dari Samudera Indonesia dan Samudera Atlantik. *Nostoc planktonicum* juga didapatkan pada kedalaman 1000 meter.

Distribusi *Phycomycetes* laut telah diteliti di laut utara dan laut Atlantik Tenggara. Jumlah tertinggi sebanyak 2000 fungi per liter didapatkan pada tanah di dekat laut terbuka. Perbedaan jumlah disebabkan pengaruh musim. Sedangkan distribusi yeast di laut juga telah dipelajari. Jumlah yeast relatif tinggi dalam pantai yang banyak limbah. Walaupun demikian, yeast masih dapat ditemukan pada laut terbuka, misalnya di Samudera Indonesia pada kedalaman 2000 meter.

#### d) Distribusi pada Sedimen Perairan Dalam

Koloni mikroorganisme dalam jumlah besar bisa didapatkan dari lapisan atas lumpur suatu danau karena memiliki bahan organik yang tinggi. Keberadaan mikroorganisme tersebut dapat dihitung dengan hitung mikroskopik langsung. Jumlah bakteri yang

ditemukan antara 1.000.000 sampai dengan beberapa ratus juta per gram lumpur. Jumlah bakteri saprofit secara umum sebanyak beberapa puluh ribu sampai beberapa ratus ribu per gram lumpur. Pada air yang tercemar didapatkan jumlah yang lebih besar.

Lumpur yang berisi bakteri dan bahan-bahan organik yang telah terurai dapat didapatkan dari kedalaman lumpur yang hanya beberapa sentimeter. Pada kedalaman 1 m jumlah bakteri hanya sedikit dibandingkan pada permukaan. Hampir dalam semua endapan danau, di samping Eubacteria, Actinomycetes juga dapat dideteksi. Jumlah Actinomycetes menurun sesuai dengan kedalaman. Demikian juga, jumlah fungi dalam lumpur danau juga menurun dengan meningkatnya kedalaman sedimen.

#### e) Distribusi pada Sedimen Laut

Bakteri dan fungi didapatkan juga dari sedimen laut seperti yang ditemukan pada laut dalam. Mikroorganisme dapat mengabsorpsi partikel-partikel dalam sedimen, sehingga hal ini salah satu kesulitan dalam hal menghitung jumlahnya. Jumlah total bakteri pada lapisan atas tergantung pada macam sedimen dan kedalaman air, yakni jumlahnya antara beberapa ratus ribu sampai beberapa puluh juta per  $\text{cm}^3$ .

Jumlah bakteri saprofit dalam sedimen menurun karena terjadi penurunan bahan-bahan organik semakin ke dalam. Jumlah tertinggi bakteri dan fungi hampir semua didapatkan hanya dari beberapa sentimeter lapisan atas sedimen. Setiap 10 cm di bawah permukaan jumlah bakteri berkurang beberapa persen, di bawah 100 m dari permukaan sedimen jumlah bakteri dan saprofit menurun jauh.

### 4.2.3. Komposisi Mikroba Penyusun Lingkungan Akuatik

Seperti umumnya di dalam habitat atau tempat hidup lainnya, kelompok yang didapatkan hidup di air terdiri dari bakteri, fungi, mikroalga, virus dan protozoa. Kelompok-kelompok tersebut kehadirannya dalam air ada yang mendatangkan keuntungan, tetapi juga banyak yang mendatangkan kerugian. Secara umum mikroorganisme yang terdapat di air akan diuraikan seperti di bawah ini, penjelasan lebih mendalam akan disampaikan pada bab-bab berikutnya.

#### 1. Bakteri

Jenis komposisi habitat bakteri akuatik tidak hanya tergantung pada zat organik dan zat anorganik, pH, turbiditas dan temperatur, tetapi juga sumber asal mikroorganisme yang masuk ke air. Kebanyakan bakteri akuatik adalah heterotropik, yakni hidup dengan

menggunakan zat organik. Secara morfologis bakteri akuatik mempunyai bentuk yang hampir sama dengan tipe bentuk dasar bakteri yang terdapat di darat. Kebanyakan bakteri akuatik adalah motil dengan flagella. Fimbriae juga ditemukan sebagai tambahan flagella. Mereka berkoloni membentuk bentukan koloni seperti bintang, fimbriae atau pili secara umum lebih tipis daripada flagella.

#### a. Bakteri pada Perairan Dalam

Bakteri flora pada permukaan perairan lebih banyak dan bervariasi daripada perairan subterania. Komposisi bakterinya tergantung dari siplai nutrisi-nutrisi dalam air. Pada air mengalir dengan nutrisi yang miskin, bakteri gram negatif berbentuk batang nonspora lebih dominan dan juga terdapat bakteri seperti *Hyphomicrobium*, *Caulobacter*, *Gallionella* serta *Pseudomonas*.

Sungai-sungai membawa banyak limbah dengan banyak bakteri. Contohnya bakteri *Escherichia coli* yang dinamakan strain koliform dan *Salmonella* patogenik sebagai penyebab demam tifoid. Limbah sungai juga mengandung bakteri *Proteus vulgaris* dan *Clostridia*. Bakteri *Desulphovibrio desulfuricans* yang mampu mereduksi sulfat juga sering ditemukan. Bakteri yang berada dalam danau seperti genus dari *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Brevibacterium*, *Vibrio*, *Spirillum*, *Micrococcus*, *Sarcina*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Nocardia*, *Streptomyces*, *Micromonospora* dan *Cytophaga*. Jumlah genus yang lain tergantung tipe danau dan kondisi setempat.

Pada danau eutropik terdapat secara melimpah bakteri sulfur nonpigmen, misalnya *Thiospira*, *Thiothrix* dan *Thioploch* serta bakteri yang mengoksidasi metana seperti *Pseudomonas methanica*. Bakteri khemoototrof juga terdapat dalam danau, misalnya bakteri *Nitrosomonas europea*, *Nitrobacter winogradskyi*, *Thiobacillus*, dan bakteri besi. Bagian penting dalam danau eutropik adalah bakteri fotototrof. Bakteri-bakteri tersebut adalah kelompok bakteri yang sedikit menerima cahaya. Berikut merupakan gambar dari bakteri perairan dalam.

#### b. Bakteri pada Danau Bergaram

Pada dekade tahun terakhir telah ditemukan bakteri yang dapat hidup di danau besar bergaram di Utah (Amerika Serikat) dan Laut Mati, yaitu terdapat air yang mengandung kadar garam sangat tinggi. Mayoritas bakteri yang hidup di danau bergaram dengan kadar garam yang tinggi yaitu bakteri halofilik. Kebanyakan organisme halofilik ekstrim dapat berkembang secara optimal dengan kadar garam 20-30%. Mereka mempunyai pigmen

merah, contohnya adalah *Halobacterium* dan *Halococcus*. Genus bakteri *Halobacterium* memiliki kemampuan tumbuh dengan kadar garam di atas 12%.

Di samping bakteri *Halobacterium*, Larsen (1962) dalam Rheinheimer, 1980 mengelompokkan bakteri halofilik yang ekstrim pada organisme yang berbentuk kokoid. Berbagai strain *Halococcus morrhuae* telah diisolasi dari Laut Mati. Organisme tersebut menunjukkan pigmentasi warna merah. Mereka dapat tumbuh paling baik pada konsentrasi garam 20-25% dan tidak dapat hidup dengan konsentrasi garam di bawah 10%. Selain itu pada danau bergaram juga terdapat bakteri halofilik moderat dengan kadar garam optimum 5-20%. *Chromobacterium maris-mortui* dapat tumbuh dengan kadar garam optimum 12%. Pada danau yang mengandung hydrogen sulfida yang berkembang dalam jumlah besar terdapat bakteri hijau dan ungu, misalnya *Chlorobium*, *Pelodictyon*, *Prosthecochloris*, *Chromatium*, *Ectothiorhodospira*, dan *Thiocapsa*. Berikut merupakan gambar dari bakteri pada danau bergaram.

#### c. Bakteri Laut

Laut memiliki konsentrasi garam rata-rata 3,5% yang merupakan konsentrasi optimal bagi kebanyakan bakteri-bakteri di laut. Kebanyakan bakteri laut bersifat anaerob fakultatif, tetapi dapat tumbuh lebih baik dengan adanya oksigen. Beberapa bakteri laut dapat tumbuh pada temperatur rendah antara 0-4°C dan temperatur optimalnya 18-22°C. Sebagian besar bakteri laut bersifat gram negatif, berflagella, batang tak berspora. Pada umumnya bakteri yang berhabitat di laut antara lain *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Spirillum*, *Achromobacter* dan *Flavobacterium*.

Pada beberapa tempat di laut tersebar bakteri luminesensi yang menarik. Bakteri ini memiliki kemampuan dalam mentransfer energi kimia ke dalam energi cahaya dan menghasilkan cahaya kehijauan yang terang/cerah. Beberapa bakteri luminesensi digolongkan menjadi dua, yaitu genus *Photobacterium* dan genus *Vibrio*. Disamping bakteri heterotrofik, bakteri fototropik dan bakteri kemototrofik juga terdapat di laut. Organisme fototropik ada apabila terdapat hydrogen sulfida dan cahaya untuk proses fotosintesis. Bakteri kemototrofik dapat ditemukan di air teluk terutama pada laut terbuka. Spesies pengoksidasi sulfur, yakni *Thiobacillus* merupakan bakteri yang berhabitat di laut yang menghasilkan hydrogen sulfida, misalnya pada air pantai yang tercemar.

Bakteri nitrit (yang mengoksidasi ammonia menjadi nitrit atau mengoksidasi nitrit menjadi nitrat) terdapat di Laut Utara dan Lautan Atlantik. Bakteri pertama yang ditemukan

adalah bakteri *Nitrosocystis oceanus* yang terdapat pada kedalaman yang bervariasi pada Lautan Atlantik. Bakteri besi dan bakteri mangan (yang mengoksidasi  $Fe^{2+}$  menjadi  $Fe^{3+}$  dan mengoksidasi  $Mn^{2+}$  menjadi  $Mn^{3+}$ ) juga didapatkan pada habitat laut.

## 2. Cyanophyta

Cyanophyta atau alga hijau biru adalah termasuk prokariot, dan istilah yang lain adalah Cyanobacteria. Mempunyai membrane plastid dan mitokondria, berpigmen klorofil a,  $\beta$ -karoten dan fikobilin yang berfungsi untuk pigmen fotosintesis. Beberapa spesies memiliki ciri khas warna hijau biru yang dinamakan fikosianin. Beberapa yang lain memiliki pigmen hijau kekuningan dan warna merah yang dinamakan fikoerithrin. Morfologi Cyanophyta bermacam-macam. Bentuknya ada yang sferis, telur, koloni seperti pita yang terjadi atau terdiri dari sel yang lebih banyak atau lebih sedikit sekitar selubungnya. Cyanophyta memainkan peran penting dalam kehidupan di permukaan air. Ada yang hidup bebas dan ada bentuk yang tidak bebas, yang dapat tersebar pada permukaan tumbuhan dan hewan air sebagai substratnya. Beberapa spesies tumbuh dengan bersimbiosis dengan tumbuhan dan hewan tingkat rendah.

### a. Cyanophyta pada Perairan Dalam

Perairan dalam merupakan habitat utama Cyanophyta dan memainkan peran sebagai bagian bagian transformasi materi. Keberadaan alga di sungai mengikuti aliran air. Pada air yang mengalir deras terdapat antara lain *Pleurocapsa*, *Hidrocooccus* dan *Chamaesiphon* dan berada pada permukaan batu. Pada air pegunungan didapatkan bentuk *Rvularia haematites*. *Nostoc verrucosum* juga dapat tumbuh pada aliran air yang deras. Pada sungai besar, keberadaan plankton lebih dominan, misalnya *Aphanizomenon flosaquae*. Beberapa ratus spesies Cyanophyta diketahui terdapat di danau. Mereka meliputi Cyanophyta Chroococcal dan Hormogonal. Berikut gambar cyanophyta di perairan dalam.

### b. Cyanophyta pada Danau Bergaram

Beberapa spesies Cyanophyta relatif toleransi terhadap kadar garam tinggi. Misalkan yang ditemukan di Laut Kaspia. Diantara spesies yang menyebabkan *blooming* plankton adalah *Aphanizomenon flos-aquae*, genus *Aphanothece*, *Coelosphaerium*, *Chroococcus*, *Gomphosphaeria*, *Anabaena* dan *Oscillatoria*. Berikut merupakan gambar cyanophyta danau bergaram.



### c. Cyanophyta Laut

Pada habitat laut, Cyanophyta tidak memainkan peran yang penting seperti halnya pada danau perairan dalam, terkecuali di daerah Artik dan Antartika. *Trichodesmium* berkembang baik pada perairan tropis. Genus ini yang berbentuk filamen dapat menyebabkan *blooming* plankton.

### 3. Fungi/Jamur

Jamur merupakan organisme heterotrofik, yang tergantung terhadap kehadiran senyawa-senyawa organik. Bentuk-bentuk saprofitik dalam air yang ditemukan seperti halnya parasit yang menyerang sebagian besar tanaman air dan binatang air. Ada jamur yang hanya mampu sebagai saprofitik atau sebagai parasitik, tetapi ada juga yang bertindak sebagai parasit fakultatif, dimana mereka mendapatkan makanan dari bahan-bahan yang telah mati atau hidup parasit pada organisme lain. Ada juga fungi yang mampu dengan mekanisme yang canggih memangsa Protozoa, Rotatoria atau Nematoda. Fungi yang demikian dinamakan predator.

Kebanyakan fungi akuatik memerlukan oksigen bebas. Beberapa fungi dapat tumbuh pada pH 3,2 – 9,6; misalkan *Achlya racemosa* dan *Saprolegnia manoica*. Fungi lebih banyak memiliki variasi morfologis dibandingkan bakteri dan mempunyai sel yang lebih besar. Fungi tingkat rendah akuatik bersifat uniseluler, pada bentukan yang lebih tinggi mampu menghasilkan miselium. Kehidupan fungi berkoloni atau hidup pada bahan-bahan yang telah mati. Fungi tingkat tinggi yang sebagian besar diwakili oleh Ascomycetes juga didapatkan pada air, sedangkan Basidiomycetes memainkan peran yang kecil pada habitat akuatik.

#### a. Fungi pada Perairan Tawar

Mikroflora fungi pada air subteranea tidak begitu memainkan peran yang penting. Dalam air bersih fungi hampir tidak didapatkan, karena kekurangan nutrisi. Tetapi fungi dapat berada dalam sumber air bersih dan sungai. Beberapa koloni dapat tumbuh dengan nutrisi yang sedikit atau pada aliran air eutrofik. Sejumlah Phycomycetes parasitik dalam air tidak hanya menyerang alga dan binatang-binatang kecil, tetapi juga menyerang telur dan larva Crustacea dan ikan.

Phycomycetes merupakan mikroflora penting dalam danau. Kelompok ini yang dominan adalah adalah *Chytridiales* dan *Saprolegniales* yang bertindak sebagai spesies parasitik dan

saprofitik. Anggota genus *Leptolegnia*, *Achlya*, dan *Aphanomyces* juga sering dijumpai di danau.

b. Fungi pada Danau Bergaram

Sejumlah fungi yang diketahui terdapat di laut juga terdapat di danau bergaram dengan konsentrasi garam yang rendah. Anastasiou, 1963 dalam Rheiheimer, 1980 menemukan Ascomycetes di Laut Salton, California. *Rhizopidium halophilum* tumbuh pada habitat perairan bergaram atau pada sebuah teluk.

c. Fungi Laut

Organisme dari genus *Olpidium*, *Rozella*, *Chytridium*, *Rhizophyidium*, *Sirolpidium* dan *Ectrogella* yang berperan sebagai parasit di laut. Ada sekitar 91 spesies yang didapatkan di laut. Basidiomycetes yang berada dalam laut antara lain *Nia vibrissa*, *Diditatispora marina* dan *Melanotaenium ruppiae*.

4. Virus

Virus juga terdapat di dalam air. Virus sebagian besar terdiri dari asam nukleat yang dinamakan materi genetic. Asam nukleat ini dikelilingi oleh suatu selubung protein yang dinamakan kapsid. Virus juga didapatkan pada sejumlah hewan air, yang meliputi virus DNA dan virus RNA. Lebih banyak virus yang menyebabkan penyakit pada ikan dan menyebabkan kerugian ekonomis. Virus juga ditemukan pada alga uniseluler dan alga multiseluler seperti juga yang ditemukan pada sejumlah hewan air.

Ilmuwan berhasil menemukan virus terbesar yang pernah ada di Bumi di perairan Chile yang diberi nama *Megavirus chilensis*. Virus ini memiliki ukuran 10-20 kali lebih besar dibanding virus rata-rata. *Megavirus chilensis* ini memiliki ukuran sedikit lebih besar daripada Mimivirus yang sempat memegang julukan virus terbesar dunia itu. Mimivirus ditemukan di perairan dingin di Inggris pada 1992. Virus ini lebih besar dari beberapa bakteri. Tak butuh mikroskop electron untuk melihatnya. Virus ini bisa dilihat dengan mikroskop cahaya biasa.

#### 4.2.4. Jasad Mikroba Penting Dalam Lingkungan Akuatik

##### Virus

**Virus** adalah parasit berukuran mikroskopik yang menginfeksi sel organisme biologis. Virus hanya dapat bereproduksi di dalam material hidup dengan menginvasi dan memanfaatkan sel makhluk hidup karena virus tidak memiliki perlengkapan selular untuk bereproduksi sendiri. Dalam sel inang, virus merupakan parasit obligat dan di luar inangnya

menjadi tak berdaya. Biasanya virus mengandung sejumlah kecil asam nukleat yang diselubungi semacam bahan pelindung yang terdiri atas protein, lipid, glikoprotein, atau kombinasi ketiganya. Genom virus menyandi baik protein yang digunakan untuk memuat bahan genetik maupun protein yang dibutuhkan dalam daur hidupnya.

Istilah *virus* biasanya merujuk pada partikel-partikel yang menginfeksi sel-sel eukariota (organisme multisel dan banyak jenis organisme sel tunggal), sementara istilah *bakteriofag* atau *fag* digunakan untuk jenis yang menyerang jenis-jenis sel prokariota (bakteri dan organisme lain yang tidak berinti sel).

Virus sering diperdebatkan statusnya sebagai makhluk hidup karena ia tidak dapat menjalankan fungsi biologisnya secara bebas. Karena karakteristik khasnya ini virus selalu terasosiasi dengan penyakit tertentu, baik pada manusia (misalnya virus influenza dan HIV), hewan (misalnya virus flu burung), atau tanaman (misalnya virus mosaik tembakau).

### **Sejarah virus**

Menurut para ahli biologi, virus merupakan organisme peralihan antara makhluk hidup dan benda mati. Dikatakan peralihan karena virus mempunyai ciri-ciri makhluk hidup, misalnya mempunyai DNA (asam deoksiribonukleat) dan dapat berkembang biak pada sel hidup. Memiliki ciri-ciri benda mati seperti tidak memiliki protoplasma dan dapat dikristalkan. Para penemu virus antara lain D. Iwanoski (1892) pada tanaman tembakau, dilanjutkan M. Beijerinck (1898), Loffern dan Frooch (1897) menemukan dan memisahkan virus penyebab penyakit mulut dan kaki (food and mouth diseases), Reed (1900) berhasil menemukan virus penyebab kuning (yellow fever), Twort dan Herelle (1917) penemu Bakteriofage, Wendell M. Stanley (1935) berhasil mengkristalkan virus mosaik pada tembakau. Pengetahuan tentang virus terus berkembang sampai lahir ilmu cabang biologi yang mempelajari virus disebut virology.

#### **1. Ciri-ciri Virus :**

- Berukuran ultra mikroskopis
- Parasit sejati/parasit obligat
- Berbentuk oval, bulat, batang, huruf T, kumparan
- Kapsid tersusun dari protein yang berisi DNA saja atau RNA
- Dapat dikristalkan
- Aktivasinya harus di sel makhluk hidup

## 2. Struktur dan anatomi Virus

Untuk mengetahui struktur virus secara umum kita gunakan bakteriofage (virus T), strukturnya terdiri dari:

### a. Kepala

Kepala virus berisi DNA dan bagian luarnya diselubungi kapsid. Satu unit protein yang menyusun kapsid disebut kapsomer.

### b. Kapsid

Kapsid adalah selubung yang berupa protein. Kapsid terdiri atas kapsomer. Kapsid juga dapat terdiri atas protein monomer yang terdiri dari rantai polipeptida. Fungsi kapsid untuk memberi bentuk virus sekaligus sebagai pelindung virus dari kondisi lingkungan yang merugikan virus.

### c. Isi tubuh

Bagian isi tersusun atas asam inti, yakni DNA saja atau RNA saja. Bagian isi disebut sebagai virion. DNA atau RNA merupakan materi genetik yang berisi kode-kode pembawa sifat virus. Berdasarkan isi yang dikandungnya, virus dapat dibedakan menjadi virus DNA (virus T, virus cacar) dan virus RNA (virus influenza, HIV, H5N1). Selain itu di dalam isi virus terdapat beberapa enzim.

### d. Ekor

Ekor virus merupakan alat untuk menempel pada inangnya. Ekor virus terdiri atas tubuh bersumbat yang dilengkapi benang atau serabut. Virus yang menginfeksi sel eukariotik tidak mempunyai ekor.

Virus terkecil berdiameter hanya 20 nm (lebih kecil daripada ribosom), sedangkan virus terbesar sekalipun sukar dilihat dengan mikroskop cahaya. Asam nukleat genom virus dapat berupa DNA ataupun RNA. Genom virus dapat terdiri dari DNA untai ganda, DNA untai tunggal, RNA untai ganda, atau RNA untai tunggal. Selain itu, asam nukleat genom virus dapat berbentuk linear tunggal atau sirkuler. Jumlah gen virus bervariasi dari empat untuk yang terkecil sampai dengan beberapa ratus untuk yang terbesar. Bahan genetik kebanyakan virus hewan dan manusia berupa DNA, dan pada virus tumbuhan kebanyakan adalah RNA yang berantai tunggal.

Bahan genetik virus diselubungi oleh suatu lapisan pelindung. Protein yang menjadi lapisan pelindung tersebut disebut *kapsid*. Bergantung pada tipe virusnya, kapsid bisa berbentuk bulat (sferik), heliks, polihedral, atau bentuk yang lebih kompleks dan terdiri atas

protein yang disandikan oleh genom virus. Kapsid terbentuk dari banyak subunit protein yang disebut *kapsomer*.

### **3. Reproduksi Virus**

Cara reproduksi virus dikenal sebagai proliferasi yang terdiri dari :

#### **a. Daur litik (litic cycle)**

##### **1. Fase Adsorpsi (fase penempelan)**

Ditandai dengan melekatnya ekor virus pada sel bakteri. Setelah menempel virus mengeluarkan enzim lisozim (enzim penghancur) sehingga terbentuk lubang pada dinding bakteri untuk memasukkan asam inti virus.

##### **2. Fase Injeksi (memasukkan asam inti)**

Setelah terbentuk lubang pada sel bakteri maka virus akan memasukkan asam inti (DNA) ke dalam tubuh sel bakteri. Jadi kapsid virus tetap berada di luar sel bakteri dan berfungsi lagi.

##### **3. Fase Sintesis (pembentukan)**

DNA virus akan mempengaruhi DNA bakteri untuk mereplikasi bagian-bagian virus, sehingga terbentuklah bagian-bagian virus. Di dalam sel bakteri yang tidak berdaya itu disintesis virus dan protein yang dijadikan sebagai kapsid virus, dalam kendali DNA virus.

##### **4. Fase Asemblin (perakitan)**

Bagian-bagian virus yang telah terbentuk, oleh bakteri akan dirakit menjadi virus sempurna. Jumlah virus yang terbentuk sekitar 100-200 buah dalam satu daur litik.

##### **5. Fase Litik (pemecahan sel inang)**

Ketika perakitan selesai, maka virus akan menghancurkan dinding sel bakteri dengan enzim lisozim, akhirnya virus akan mencari inang baru.

#### **b. Daur lisogenik (lisogenic cycle)**

##### **1. Fase Penggabungan**

Dalam menyisip ke DNA bakteri DNA virus harus memutus DNA bakteri, kemudian DNA virus menyisip di antara benang DNA bakteri yang terputus tersebut. Dengan kata lain, di dalam DNA bakteri terkandung materi genetik virus.

##### **2. Fase Pembelahan**

Setelah menyisip DNA virus tidak aktif disebut profag. Kemudian DNA bakteri mereplikasi untuk melakukan pembelahan.

##### **3. Fase Sintesis**

DNA virus melakukan sintesis untuk membentuk bagian-bagian viirus

#### 4. Fase Perakitan

Setelah virus membentuk bagian-bagian virus, dan kemudian DNA masuk ke dalam akan membentuk virus baru

#### 5. Fase Litik

Setelah perakitan selesai terjadilah lisis sel bakteri. Virus yang terlepas dari inang akan mencari inang baru

### **4. Klasifikasi Virus**

Menurut klasifikasi Bergey, virus termasuk ke dalam divisio Protozoa, kelas Mikrotatobiotas dan ordo Virales (Virus). Pada tahun 1976 ICTV (International Committee on Taxonomy of Virus) mempublikasikan bahwa virus diklasifikasikan struktur dan komposisi tubuh, yakni berdasarkan kandungan asam. Pada dasarnya virus dibedakan atas dua golongan yaitu virus DNA dan virus RNA.

#### **a. Virus DNA mempunyai beberapa famili:**

1. Famili Parvoviridae seperti genus Parvovirus
2. Famili Papovaviridae seperti genus Aviadenovirus
3. Famili Adenoviridae seperti genus Mastadenovirus
4. Famili Herpesviridae seperti genus Herpesvirus
5. Famili Iridoviridae seperti genus Iridovirus
6. Famili Poxviridae seperti genus Orthopoxvirus

#### **b. Virus RNA mempunyai beberapa famili:**

1. Famili Picornaviridae seperti genus Enterivirus
2. Famili Reoviridae seperti genus Reovirus
3. Famili Togaviridae seperti genus Alphavirus
4. Famili Paramyxoviridae seperti genus Pneumovirus
5. Famili Orthomyxoviridae seperti genus Influenzavirus
6. Famili Retroviridae seperti genus Leukovirus
7. Famili Rhabdoviridae seperti genus Lyssavirus
8. Famili Arenaviridae seperti genus Arenavirus

### **5. Peran Virus dalam Kehidupan Manusia**

#### **a. Virus yang menguntungkan, berfungsi untuk:**

1. Membuat antitoksin

2. Melemahkan bakteri

3. Memproduksi vaksin

4. Menyerang patogen

b. Virus yang merugikan, penyakit-penyakit yang disebabkan virus antara lain:

1. Pada Tumbuh-tumbuhan

Mozaik pada daun tembakau Tobacco Mozaic Virus

Mozaik pada kentang Potato Mozaic Virus

2. Mozaik pada tomat Tomato Aucuba Mozaic Virus

Kerusakan floem pada jeruk Citrus Vein Phloem Degeneration

3. Pada Hewan

Tetelo pada Unggas New Castle Disease Virus

Cacar pada sapi Vicinia Virus

Lidah biru pada biri-biri Orbivirus

Tumor kelenjar susu monyet Monkey Mammary Tumor Virus

4. Pada Manusia

Influenza Influenzavirus

AIDS Retrovirus

SARS Coronavirus

Flu burung Avianvirus

## **6. Pertahanan Diri Terhadap Serangan Virus**

Kemampuan virus untuk menyebabkan penyakit disebut virulensi. Virulensi virus ditentukan oleh:

a. keberadaan dan aktivitas reseptor pada permukaan inang yang memudahkan virus untuk melekat

b. kemampuan virus menginfeksi sel

c. kecepatan replikasi virus dalam sel inang

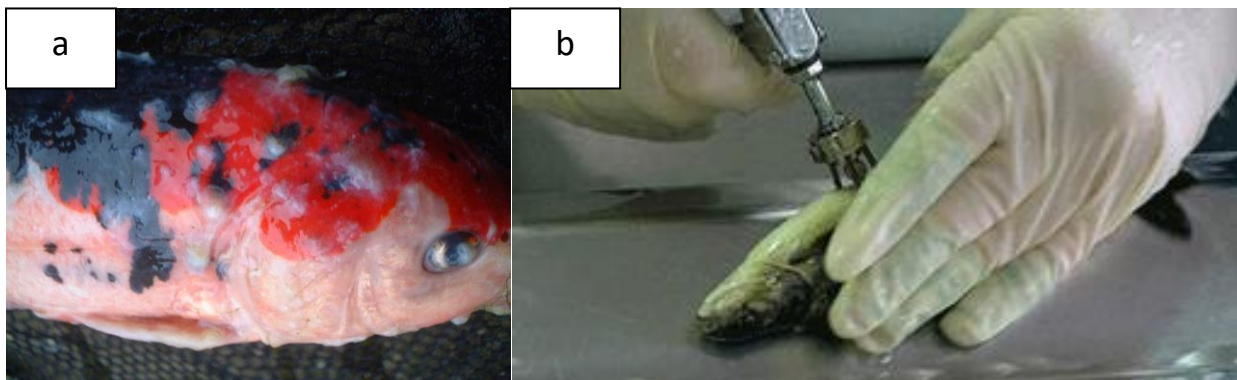
d. kemampuan sel inang dalam menahan serangan virus

Sebagian besar virus masuk ke tubuh manusia melalui mulut dan hidung, kulit yang luka. Jika ada virus yang masuk, sel tubuh akan mempertahankan dengan menghasilkan sel fagosit, antibodi, dan interferon (protein khas).

### Contoh pengaruh virus dalam perikanan

Satu virus baru yang dapat menyebabkan kematian secara masal telah menyerang ikan mas (*Cyprinus carpio*) dan koi (*Cyprinus carpio koi*) dilaporkan mulai terjadi pada awal Tahun 1996 di Inggris, musim semi Tahun 1998 di Israel, dan Korea dan menyebar ke Amerika Utara, Eropa dan Asia Tenggara, termasuk Indonesia. Di Jepang, wabah penyakit ini terjadi pada Oktober 2003 di Danau Kasumigura yang merupakan tempat utama produksi budidaya ikan mas, sedangkan di Amerika, isolat virus sudah didapatkan pada Tahun 1998 dan wabah penyakit ini sudah menyebabkan kematian pada ikan mas liar di Sungai Chadakoin pada Tahun 2004. Penyakit ini dapat menyerang berbagai ukuran ikan mulai larva hingga induk, biasanya terjadi pada kisaran suhu 18-28 oC dan dapat menyebabkan kematian 80-100%. Pada ikan sakit, paling sering teramati luka pada insang, sisik, ginjal, limfa, jantung dan sistem gastrointestinal. Secara visual pada bagian eksternal tubuh, dapat teramati adanya warna sisik yang gelap dan nekrosis insang yang akut dan hemoragik pada dasar sirip punggung, sisip dada, dan sirip anus, sedangkan secara histologi dapat teramati adanya perubahan pada insang berupa kehilangan lamela.

Serangan virus ini telah menyebabkan kerugian yang sangat besar pada industri akuakultur mengingat dua jenis ikan yang diserang merupakan komoditas utama ikan konsumsi dan ikan hias. Di Israel, penyakit ini telah menyebar ke 90% budidaya ikan mas di semua bagian negara. Hal serupa juga terjadi di Indonesia, penyebaran penyakit ini telah melintasi hampir semua daerah budidaya ikan mas. Kegiatan budidaya yang intensif, pameran ikan koi dan perdagangan aktif domestik dan internasional yang hampir tidak ada pembatasan dan pemeriksaan atau penerapan program karantina merupakan penyebab penyebaran yang sangat cepat penyakit ini secara global.



Gambar 5.a. ikan koi yang terinfeksi KHV, b. Vaksinasi pada ikan mencegah infeksi virus



#### 4.2.4.1. Bakteri

Bakteri merupakan makhluk hidup yang penyebarannya luas. Bakteri berasal dari kata *Bakterion* (yunani = batang kecil). Di dalam klasifikasi, bakteri digolongkan dalam Divisio Schizomycetes. Bakteri adalah organisme bersel satu yang terlalu kecil untuk dapat dilihat kecuali dengan bantuan mikroskop. Mereka berukuran micron (1/1000 mm). Seperti juga makhluk hidup lain, bakteri membutuhkan makanan, air dan suhu yang sesuai untuk hidup dan berkembang biak. Mikroba ini hidup berkoloni tetapi ada kalanya terjadi persaingan untuk memperebutkan makanan dan tempat untuk hidup.

#### Ciri-ciri Umum bakteri

- Tubuh uniseluler (bersel satu)
- Tidak berklorofil (meskipun begitu ada beberapa jenis bakteri yang memiliki pigmen seperti klorofil sehingga mampu berfotosintesis dan hidupnya autotrof)
- Reproduksi dengan cara membelah diri (dengan pembelahan Amitosis)
- Habitat: bakteri hidup dimana-mana (tanah, air, udara, makhluk hidup)
- Satuan ukuran bakteri adalah mikron ( $10^{-3}$ mm)

#### Bentuk-bentuk Bakteri

- Kokus : bentuk bulat, monokokus, diplokokus, streptokokus, stafilokokus, sarkina
- Basil : bentuk batang, diplobasil, streptobasil
- Spiral : bentuk spiral, spirillum (spiri kasar), spirokaet (spiral halus)
- Vibrio : bentuk koma

#### Alat Gerak Bakteri

Beberapa bakteri mampu bergerak dengan menggunakan bulu cambuk/flagel. Berdasarkan ada tidaknya flagel dan kedudukan flagel tersebut, kita mengenal 5 macam bakteri.

1. Atrich : bakteri tidak berflagel. contoh: *Escherichia coli*
2. Monotrich : mempunyai satu flagel salah satu ujungnya. contoh: *Vibrio cholera*
3. Lopotrich : mempunyai lebih dari satu flagel pada salah satu ujungnya. contoh: *Rhodospirillum rubrum*
4. Ampitrich: mempunyai satu atau lebih flagel pada kedua ujungnya. contoh: *Pseudomonas aeruginosa*
5. Peritrich : mempunyai flagel pada seluruh permukaan tubuhnya. contoh: *Salmonella typhosa*

## Nutrisi Bakteri

1. Dengan dasar cara memperoleh makanan, bakteri dapat dibedakan menjadi dua :  
Bakteri heterotroph : bakteri yang tidak dapat mensintesis makanannya sendiri. Kebutuhan makanan tergantung dari makhluk lain. Bakteri saprofit dan bakteri parasit tergolong bakteri heterotrof.
2. Bakteri autotrof adalah bakteri yang dapat mensintesis makanannya sendiri. Dibedakan menjadi dua yaitu (1) bakteri fotoautotrof dan (2) bakteri kemoautotrof.

## Kebutuhan Akan Oksigen Bebas

Dengan dasar kebutuhan akan oksigen bebas untuk Kegiatan respirasi, bakteri dibagi menjadi 2:

- Bakteri aerob: memerlukan  $O_2$  bebas untuk Kegiatan respirasinya
- Bakteri anaerob : tidak memerlukan  $O_2$  bebas untuk Kegiatan respirasinya.

Pertumbuhan Bakteri Dipengaruhi oleh beberapa faktor :

1. Temperatur, umumnya bakteri tumbuh baik pada suhu antara 25 - 35 derajat C.
2. Kelembaban, lingkungan lembab dan tingginya kadar air sangat menguntungkan untuk pertumbuhan bakteri
3. Sinar Matahari, sinar ultraviolet yang terkandung dalam sinar matahari dapat mematikan bakteri.
4. Zat kimia, antibiotik, logam berat dan senyawa-senyawa kimia tertentu dapat menghambat bahkan mematikan bakteri.

## Peranan Bakteri Dalam Kehidupan

1. Sebagai Makhluk Pengurai/dekomposer. Bersama-sama dengan jamur, bakteri berperan sebagai pengurai makhluk-makhluk yang sudah mati.
2. Penghasil Antibiotik. Dari bakteri golongan Actinomycetes (bentuk peralihan antara bakteri dan jamur) dihasilkan bermacam-macam antibiotik. Misalnya: Streptomisin dari *Streptomyces griseus*, Kloramfenikol dari *Streptomyces venezuelae*.
3. Penghasil Bahan Pangan. - Asam cuka dari *Acetobacter acetil* - Yoghurt dari *Lactobacillus bulgaricus* - Sari kelapa/Nata de Coco dari *Acetobacter xylinum*
4. Pengikat  $N_2$  bebas di udara  
Bersimbiosis dengan tanaman Leguminosae (tanaman buah polong)  
- *Rhizobium leguminosarum* dan *R. radicola*.  
Hidup bebas : - Azotobacter, Rhodospirillum rubrum, Clostridium pasteurianum.

Bakteri patogen adalah bakteri parasit yang dapat menimbulkan penyakit pada organisme lain. Pada tumbuhan misalnya: *Xanthomonas citri* penyebab kanker batang jeruk. *Erwinia tracheliphilia* penyebab penyakit busuk daun labu. Pada hewan misalnya: *Bacillus anthrax* penyebab penyakit anthrax pada hewan ternak. *Actinomyces bovis* penyebab penyakit bengkak pada rahang sapi.

#### **Tindakan Pencegahan dan Pengobatan Terhadap Penyakit Bakteri**

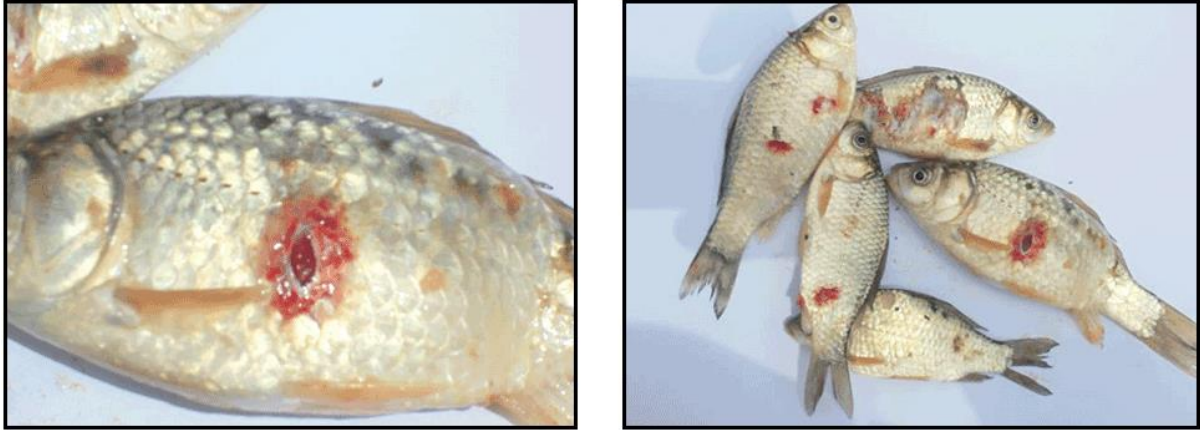
1. Tindakan pencegahan dengan pemberian vaksin. Misalnya vaksin BCG pencegahan terhadap penyakit TBC Vaksin DPT pencegahan penyakit difteri, pertusis dan tetanus
2. Tindakan pengobatan: Dapat dengan cara pemberian antibiotik.

#### **Bakteri Yang Berperan Dalam Akuakultur**

Pada Kegiatan akuakultur ada beberapa jenis bakteri yang sering ditemukan sebagai pathogen tetapi di lain pihak ada beberapa jenis yang menguntungkan, misalnya sebagai probiotik dan kandidat vaksin.

*Aeromonas hydrophila*, merupakan satu jenis bakteri air tawar yang mampu menyebabkan penyakit pada ikan liar atau ikan yang di pelihara di wadah kultur. Mampu menyerang benih, sampai ikan dewasa. Pada awal tahun 1980-an banyak kasus kematian ikan budidaya yang ternyata disebabkan oleh jenis bakteri ini. Kegagalan produksi yang dialami para petani ikan akibat infeksi bakteri ini sering terjadi pada saat memasuki musim hujan atau terjadinya perubahan kondisi kualitas air yang ekstrim. Bakteri ini sering ditemukan menjadi penyebab penyakit pada ikann bersama dengan bakteri *Pseudomonas* sp. Stress yang dialami ikan karena perubahan kualitas air, luka atau buruknya penanganan bisa memicu infeksi bakteri ini. Pengembangan vaksinasi menggunakan bakteri ini sebagai antigen yang sudah dilemahkan merupakan satu langkah preventif untuk mengurangi penggunaan antibiotic dalam akuakultur.

Bakteri *Vibrio harveyii* merupakan satu diantara beberapa jenis bakteri laut yang ditemukan mampu menyebabkan penyakit pada ikan dan beberapa jenis ikan laut. Bahkan mampu menyebabkan kematin masal pada udang yang dipelihara di tambak. Tubuh udang yang terinfeksi akan mudah diamati saat gelap karena bakteri tersebut mampu berpendar. Penggunaan probiotik sebagai salah satu alternatif pencegahan infeksi oleh bakteri pada Kegiatan akuakultur sudah banyak dilakukan karena lebih aman bagi organisme akuatik dan lingkungan akuatik. Pembahasan tentang probiotik akan lebih mendalam pada bab berikutnya.



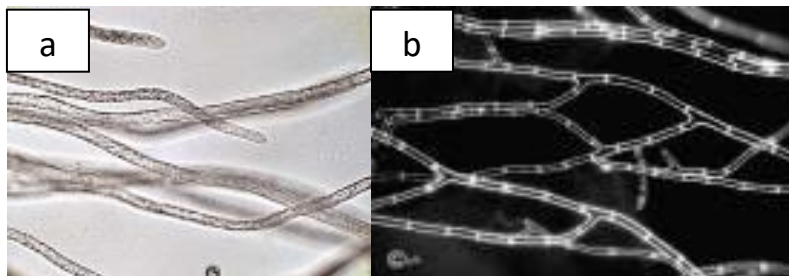
Gambar 6. Ikan yang terinfeksi bakteri *Aeromonas hydrophila*

#### 4.2.4.2. Jamur

Fungi merupakan organisme eukariota (inti sejati yang dikeliling oleh membran), hetero trofik (tidak membuat makanan sendiri dan sumber karbon dari bahan organik), mendapatkan nutrisi atau makan dari hasil absorpsi dinding sel, reproduksi menghasilkan spora baik melalui aseksual (anamorph/mitosporik) maupun seksual (teleomorph), serta produk simpanan dalam bentuk glikogen.

#### Struktur Fungi

Struktur fungi berupa thallus yang terdiri dari **hifa** yang merupakan struktur vegetatif fungi yang berbentuk tabung menyerupai untaian panjang hasil perpanjangan dari pertumbuhan spora. Hifa menurut jenisnya di bagi menjadi dua yaitu **hifa fertil** (untuk reproduksi) dan **hifa vegetatif** (untuk pertumbuhan), sedangkan menurut sekatnya, hifa dibedakan menjadi hifa **koenositik** yaitu hifa tanpa sekat, dicirikan dengan inti yang banyak, dan hifa **monositik** yaitu hifa yang mempunyai sekat sehingga 1 sel mempunyai 1 inti. Sekat yang membagi hifa menjadi kompartemen-kompartemen disebut septum.



Gambar 7.a.Hifa koenositik (tanpa sekat), b. Hifa monositik (bersekat)

**Septum** dibagi menjadi dua, yaitu :

a. **Simple Septum**

Terdapat pada filum *ascomycota*, septum mempunyai 1 pori atau lubang dan mempunyai wronin bodies dengan bentuk bulat atau hexagonal. Apabila hifa telah tua wronin bodies tersebut akan menyumbat pori septum sehingga isi sel tidak keluar.

b. **Septum dolipor**

Terdapat pada filum *Basidiomycota*, pada septum jenis ini pori septum mengalami pembengkakan berupa cincin besar yang menonjol dan membentuk tudung tebal yang menutupi pori.

Kumpulan hifa yang membentuk jala disebut **miselium** yang terdiri dari dinding sel yang berisi sitoplasma dan organel.

**Dinding Sel**

Komponen penyusun dinding sel :

1. Komponen struktural :

- a. *Mikrofibril Kitin*, ikatan  $\beta(1-4)$  pilomer – N – acetylglucosamine
- b. *Kitosan* pada filum *zygomycota*, ikatan  $\beta(1-4)$  polimer gluco samine

2. Komponen mirip jel

Berupa manoprotein yang terdapat pada seluruh dinding sel

3. Komponen lain

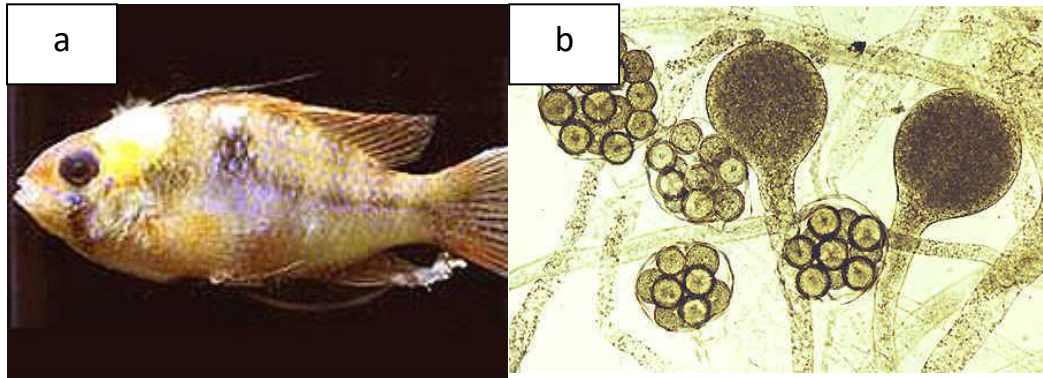
- a. Glucan antigenik dan aglutinan yang melekat dipermukaan dinding sel
- b. Pigmen yang berfungsi untuk resistensi terhadap lisis dan ezim, kekuatan dinding sel, melindungi UV matahari, radiasi

**Nukleus**

Umumnya fungi mempunyai nukleus haploid dimana membran inti selalu ada melekat pada saat pembelahan. Organel lainnya berupa mitokondria, badan golgi, ribosom, RE, vacuola, lipid bodies.

Infeksi jamur pada ikan bisaanya disebabkan oleh jamur dari genus *Spaprolegnia* dan *Achyla*. Jamur bisaanya hanya akan menyerang jaringan luar tubuh ikan yang rusak sebagai akibat luka (Ulcer) atau penyakit lain. Jamur dapat pula menyerang telur ikan. Selain karena luka, kehadiran jamur dapat pula disebabkan atau dipicu oleh kondisi air akuarium yang buruk, baik secara fisik maupun kimia. Ikan-ikan berusia tua diketahui sangat rentan terhadap infeksi jamur. Pada saat ini, dengan banyaknya fungisida (obat anti jamur), maka

serangan jamur sedikit banyak akan dapat ditangani dengan lebih mudah. Saat ini, jamur yang termasuk berbahaya dan tergolong Hama Penyakit Ikan Karantina yaitu *Aphanomyces astacii*. Jamur ini menyebabkan penyakit yang sering disebut EUS (Epizootic Ulcerative Syndrome), namun masih jarang sekali jamur ini ditemukan.



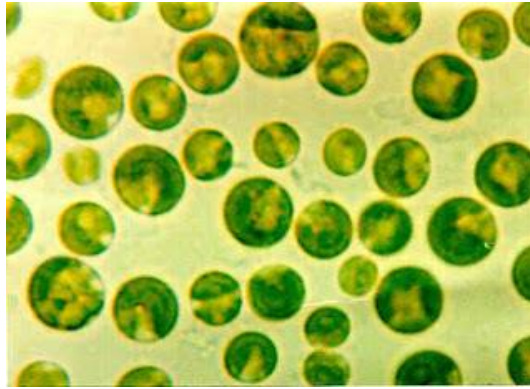
Gambar 8. a. Ikan yang terinfeksi jamur, b. jamur *Saprolegnia* sp.

#### 4.2.4.3. Alga

Alga (jamak Algae) adalah sekelompok organisme autotrof yang tidak memiliki organ dengan perbedaan fungsi yang nyata. Alga bahkan dapat dianggap tidak memiliki “organ” seperti yang dimiliki tumbuhan (akar, batang, daun, dan sebagainya, serupa benang atau lembaran). Strukturnya terdiri dari satu sel atau uniseluler dan ada pula yang terdiri dari banyak sel atau multiseluler. Kebanyakan alga berukuran mikroskopis. Organisme ini mengandung klorofil serta pigmen-pigmen lain untuk melangsungkan fotosintesis, dengan ukuran yang beragam mulai dari beberapa micrometer sampai bermeter-meter panjangnya.

Habitatnya tersebar luas di alam dan dapat dijumpai di hampir segala macam lingkungan yang terkena sinar matahari. Kebanyakan alga hidup di air, karena 70% permukaan bumi terdiri dari air, maka boleh jadi banyaknya karbon yang terfiksasi (tertangkap sebagai karbon dioksida dan diubah menjadi senyawa-senyawa karbon organik seperti misalnya karbohidrat) melalui fotosintesis oleh alga sama jumlahnya dengan yang tertambat oleh seluruh flora daratan.

Banyak spesies alga atau ganggang terdapat sebagai sel tunggal yang dapat berbentuk bola, batang, gada, atau kumparan. Dapat bergerak atau tidak. Alga hijau uniseluler yang khas diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Alga hijau *Chlorella* sp. dengan struktur uniseluler

Spesies-spesies yang lain membentuk koloni-koloni multiseluler (Gambar 10). Beberapa koloni merupakan agregasi (kumpulan) sel-sel tunggal identic yang saling melekat setelah pembelahan, yang lain-lain dari berbagai macam sel yang berfungsi khusus. Alga yang lain lagi multiseluler dan berukuran besar serta rumit morfologinya.



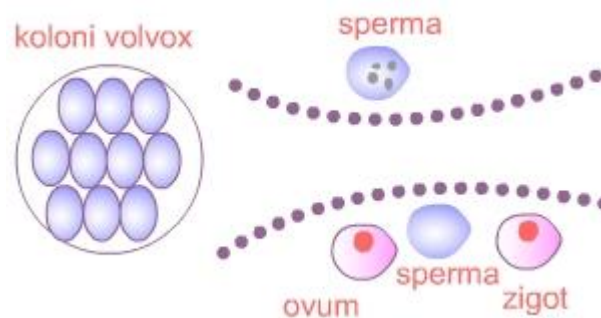
Gambar 10 . Koloni-koloni *Volvox aureus* berbentuk bola

Algae, sebagai Protista eukariotik yang lain, mengandung nucleus yang dibatasi membrane. Benda-benda lain yang ada di dalamnya adalah pati, tetesan minyak, dan vakuola. Setiap sel mengandung satu atau lebih kloroflas, yang dapat berbentuk pita atau seperti cakram-cakram diskrit ( satuan-satuan tersendiri) sebagaimana yang terdapat pada tumbuhan hijau. Di dalam matriks kloroflas terdapat gelembung-gelembung pipih bermembran yang dinamakan *tilakoid*. Membrane tilakoid berisikan klorofil dan pigmen-pigmen pelengkap yang merupakan situs reaksi cahaya pada fotosintesis.

Algae motil dilengkapi flagella yang dapat tunggal, berpasangan atau bergerombol di ujung anterior (depan) atau posterior (belakang) selnya. Struktur-struktur lain yang dijumpai pada beberapa algae mencakup duri eksterior atau bonggol dan tungkai untuk melekatkan diri pada suatu benda.

### 1. Reproduksi

Algae berkembang biak secara seksual atau aseksual. Beberapa spesies terbatas pada salah satu proses tersebut, tetapi banyak yang mempunyai daur hidup yang rumit yang mencakup kedua macam reproduksi.



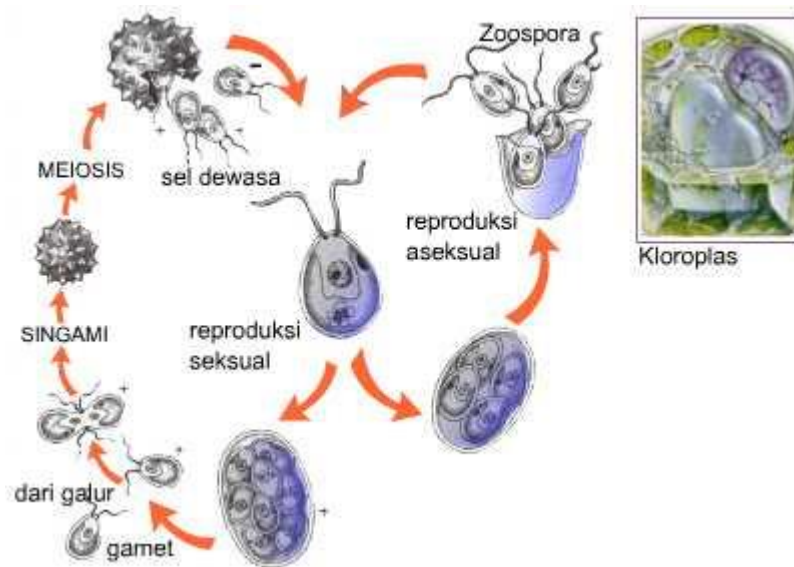
Gambar 11. Ilustrasi reproduksi aseksual dengan konjugasi sel gamet *Volvox* sp.

Reproduksi aseksual mencakup pembelahan biner sederhana seperti yang dijumpai pada bakteri. Organisme alga yang baru bahkan dapat dimulai dari suatu fragmen yang terlepas dari organisme multiseluler yang tua. Akan tetapi, kebanyakan reproduksi aseksual lebih rumit daripada ini dan melibatkan produksi spora-spora uniseluler. Di antaranya adalah *akinet*, yang pada dasarnya adalah sel-sel vegetative yang mempunyai dinding yang menebal dan dengan demikian lebih dapat bertahan dalam keadaan kering dan kondisi-kondisi lain yang tidak menguntungkan bagi pertumbuhan sel vegetatif. Banyak spora aseksual algae akuatik berflagela dan motil, dan dinamakan *zoospore*. Spora nonmotil, atau *aplanospore*, lebih mungkin terbentuk oleh algae yang hidup di darat.

Semua bentuk reproduksi seksual dijumpai di antara algae. Dalam proses ini terdapat konjugasi gamet (sel seks) sehingga menghasilkan zigot. Jika gamet-gamet itu morfologinya serupa, maka proses ini dinamakan *isogami*. Jika gamet-gamet itu berbeda ukuran, proses itu disebut *heterogami*. Pada bentuk-bentuk algae tingkat tinggi, sel-sel seksual menjadi lebih mudah dicirikan antara betina dan jantan. *Ovum* (sel telur)



berukuran besar dan nonmotil, sedangkan gamet jantan (sel sperma) itu kecil dan motil dengan aktif. Proses seksual semacam ini dinamakan *oogami*.



Gambar 12. Daur hidup dan reproduksi alga *Chlamydomonas sp.*

Jika gamet jantan dan betina terdapat pada individu yang sama pada spesies itu, maka individu dan spesies itu dinamakan *biseksual*. Jika gamet jantan dan betina dibentuk oleh individu berlainan, maka individu-individu tersebut disebut *uniseksual*.

## 2. Fisiologi

Algae adalah organisme aerobik fotosintetik, dijumpai di mana saja yang tersedia cukup cahaya, kelembapan, dan nutrisi sederhana untuk memperpanjang hidupnya. Beberapa spesies alga hidup pada salju dan es di daerah-daerah kutub dan puncak-puncak gunung, terkadang demikian banyaknya sehingga pemandangan menjadi berwarna karena pigmen sel-selnya.

Beberapa ganggang hidup dalam sumber air panas dan suhu setinggi 70 °C, meskipun suhu tumbuh optimum algae thermal ini ialah 50-54 °C. Alga marin menyesuaikan diri terhadap variasi konsentrasi garam di berbagai bagian laut. Jenis-jenis alga yang hidup di perairan tropis yang lebih jernih dan lebih hangat, dijumpai sampai pada kedalaman 183 m. faktor-faktor tersebut dan yang lainnya menentukan fenomena zonasi atau stratifikasi macam-macam alga tertentu pada kedalaman dan lokasi tertentu di lautan.



Gambar 13. Fenomena pasang merah (red tide) karena blooming algae merah

Beberapa alga beradaptasi pada tanah yang lembab, pepohonan, bahkan permukaan batuan, yang didegradasikan oleh alga sehingga menjadikan produk-produk dekomposisinya tersedia untuk membangun dan memperkaya tanah. Ganggang memiliki tiga macam pigmen fotosintetik. Semua pigmen fotosintesis ini terdapat dalam kloroflas alga, yaitu :

1. Klorofil

Semua ganggang memiliki klorofil a, yang terdapat di semua organisme fotosintetik selain bakteri fotosintetik. Klorofil yang lain ialah b, c, d, dan e, yang dibedakan dari sesamanya oleh perbedaan-perbedaan yang kecil dalam struktur molekularnya, dan pada gilirannya hal-hal tersebut menentukan panjang gelombang cahaya yang dapat diserap oleh setiap tipe klorofil sebagai sumber energi.

2. Karotenoid

Ada dua macam karotenoid, yaitu karoten dan xantofil.

3. Fikobilin

Ada dua macam fikobilin, yakni fikosianin dan fikoeritrin.

Adanya pigmen-pigmen yang lain dapat menutupi warna hijau klorofil, sebagai contoh : beberapa alga berwarna coklat karena mempunyai xantofildan karoten dalam jumlah yang relatif besar sehingga menutupi warna hijau yang dipantulkan klorofil. Alga yang lain tampak keungu-unguan atau kemerah-merahan karena kandungan fikobilinnya. Perlu diperhatikan bahwa beberapa alga yang tidak berwarna, tidak melakukan fotosintesis, dan dianggap protozoa oleh beberapa ilmuwan.

Sebagai hasil Kegiatan fotosintesisnya, algae menyimpan berbagai produk makanan cadangan sebagai granul atau globul dalam sel-selnya. Beberapa jenis alga menyimpan cadangan makanan berupa karbohidrat seperti pati, beberapa algae lain menyimpan cadangan makanan berupa lemak atau minyak.

Tabel 3 merangkumkan ciri-ciri fisiologis algae dan membandingkannya dengan yang terdapat pada bakteri.

### 3. Klasifikasi

Beberapa ilmuwan menyetujui mengenai perincian klasifikasi ganggang berdasarkan ciri-ciri sebagai berikut :

- a. Pimen : susunan kimianya
- b. Produk cadangan makanan : kimianya
- c. Flagela (jika ada) : jumlah dan morfologisnya
- d. Dinding sel : kimia dan sifat-sifat fisiknya
- e. Organisasi sel
- f. Sejarah hidup (rangkaian perubahan yang lengkap pada suatu organisme) dan reproduksi.

Tabel 3. Fisiologi komparatif algae dan bakteri

Ciri	Algae	Bakteri
pH optimum	4-11	6.5-7.5
Suhu optimum	20-30 °C	20-37 °C
Gas	Aerobik	Aerobic ---> anaerobic
Cahaya (untuk tumbuh)	Semuanya (kecuali beberapa)	Beberapa kelompok fotosintetik
Karbon	Anorganik untuk kebanyakan	Organik dan anorganik
Komponen structural dinding sel	Sebagian besar selulosa, digantikan oleh xilan dan manan pada beberapa	Peptidoglikan

Algae dikelompokkan dalam beberapa kelas, pendapat para ahli pun berbeda. Walau demikian pembagian alga antara lain : Chlorophyta, Phaeophyta, Rhodophyta, Crysophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta, Cryptophyta, Pyrrophyta, Xantophyta.

Peran alga bagi ekosistem akuatik dan manusia :

1. Sebagai produsen primer di lingkungan akuatik, menjadi pemasok energi berupa bahan organik dalam rantai makanan di lingkungan akuatik (hampir semua kelompok algae), contoh : *Chlorella* sp.

2. Sebagai aerator alami, penghasil oksigen dalam proses fotosintesis untuk digunakan oleh organisme akuatik lain.
3. Sumber bahan makanan bagi manusia, karbohidrat yang kaya akan manfaat sebagai suplemen makanan yang menyehatkan (Phaeophyta, chlorophyta, Rhodophyta).
4. Agar-agar, merupakan suatu asam sulfurik, ester dari galaktan linear yang diekstraksi dari beberapa jenis alga merah (Rhodophyta). Umumnya digunakan sebagai media di laboratorium untuk menanam bakteri, jamur, dan beberapa jenis algae. Digunakan pula dalam industri kosmetik, pengepakan makanan kaleng, pil dan salep, tekstil, industri kulit.
5. Karaginan, bahan ini diekstraksi dari beberapa jenis alga merah untuk pembuatan pasta gigi, kosmetik, cat, industri kulit, bir, dan penjernih jus.
6. Alginat, bahan ini diekstraksi dari dinding sel alga coklat, digunakan dalam industri cat, ban, es krim dan barang-barang dari plastic.
7. Makanan ternak (alga coklat, merah dan hijau).
8. Bahan pupuk.
9. Tanah diatomit, sebagai bahan insulasi, filter untuk penjernih sari buah, gula tebu, bahan dasar kosmetik dan bahan ampelas
10. Beberapa jenis alga bisa menyebabkan polusi pada air seperti perubahan warna, rasa bahkan beracun bagi organisme akuatik (misalnya : dinoflagelata penyebab pasang merah).

#### **4.2.4.4. Protozoa**

Protozoa adalah berasal dari bahasa Yunani, yaitu protos artinya pertama dan zoon artinya hewan. Jadi, Protozoa adalah hewan pertama. Protozoa merupakan kelompok lain protista eukariotik. Kadang-kadang antara algae dan protozoa kurang jelas perbedaannya. Kebanyakan Protozoa hanya dapat dilihat di bawah mikroskop. Habitat hidupnya adalah tempat yang basah atau berair. Jika kondisi lingkungan tempat hidupnya tidak menguntungkan maka protozoa akan membentuk membran tebal dan kuat yang disebut Kista.

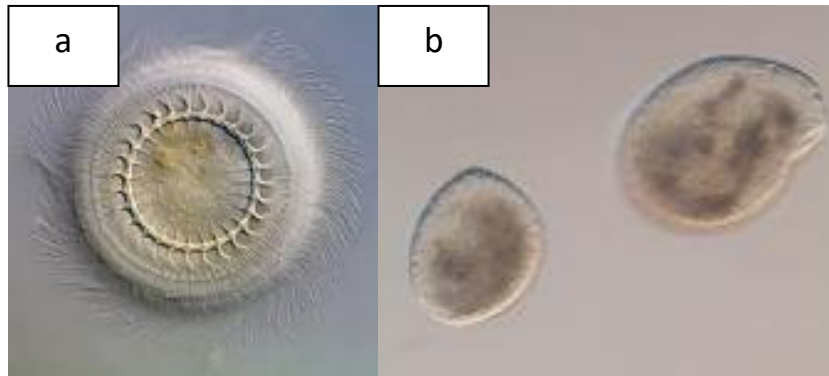
Ciri-ciri protozoa :

1. Umumnya tidak dapat membuat makanan sendiri (heterotrof)

2. Protozoa memiliki alat gerak yaitu ada yang berupa kaki semu, bulu getar (cilia) atau bulu cambuk (flagel).
3. Hidup bebas, saprofit atau parasite
4. Organisme bersel tunggal
5. Eukariotik atau memiliki membran nukleus/ berinti sejati
6. Hidup soliter (sendiri) atau berkoloni (kelompok)
7. Dapat membentuk sista untuk bertahan hidup. sista, merupakan bentuk sel protozoa yang terdehidrasi dan berdinding tebal mirip dengan endospora yang terjadi pada bakteri
8. Protozoa mampu bertahan hidup dalam lingkungan kering maupun basah
9. Protozoa tidak mempunyai dinding sel
11. Bentuk beraneka ragam seperti ; lonjong, memanjang, ada pula polimorfik, berukuran mikroskopik (600  $\mu\text{m}$  sampai 2 mm atau 2000  $\mu\text{m}$ ).

Protozoa merupakan hewan uniseluler yang hidup soliter atau berkoloni, diperkirakan 50.000 spesies Protozoa yang sudah teridentifikasi. Habitat Protozoa adalah air laut, payau, air tawar, daratan yang lembab dan pasir kering. Sebagian besar Protozoa hidup bebas dan menjadi makanan organisme yang lebih besar. Beberapa Protozoa hidup sebagai parasit, diantaranya parasit pada ikan, yaitu : *Tichodina*, *Ichthyoptirius*, dan *Heneguya* . Parasit Protozoa dapat bersifat fakultatif, obligat, ektoparasit dan endoparasit .

Berdasarkan alat geraknya Protozoa dibedakan atas lima golongan yaitu : *Sarcomastigophora*, *Sarcodina*, *Apicomplexa*, *Ciliophora* dan *Myxozoa*. *Sarcomastigophora* mencakup kelompok *Mastigophora* yang menggunakan flagella sebagai alat geraknya dan meliputi semua Protozoa yang memiliki satu atau lebih flagel pada seluruh stadia dalam siklus hidupnya. Sebagian besar *Mastigophora* hidup bebas, ditemukan pada berbagai habitat tetapi banyak yang bersimbiosis (komensalisme, mutualisme dan parasitisme) dengan vertebrata dan avertebrata. *Mastigophora* dibagi dalam tiga kelas, yaitu : *Phytomastigophora*, *Zoomastigophora* dan *Opalinata*. *Phytomastigophora* yang bersifat parasit pada ikan adalah *Amyloodinium pillularis*. Parasit ikan yang berasal dari kelas *Zoomastigophora* adalah *Ichtyobodo necatrix* yang menginfeksi kulit dan insang berbagai ikan air tawar. *Cryptobia* menginfeksi insang, usus dan darah ikan air tawar dan air laut.



Gambar 14. a. *Trichodina* sp., b. *Ichthyophthirius multifiliis*

Peran menguntungkan :

1. Mengendalikan populasi Bakteri, sebagian Protozoa memangsa Bakteri sebagai makanannya, sehingga dapat mengontrol jumlah populasi Bakteri di alam.
2. Sumber makanan ikan, Di perairan sebagian Protozoa berperan sebagai plankton (zooplankton) dan benthos yang menjadi makanan hewan air, terutama udang, kepiting, ikan, dll.
3. Indikator minyak bumi, Fosil Foraminifera menjadi petunjuk sumber minyak, gas, dan mineral.
4. Bahan penggosok, Endapan Radiolaria di dasar laut yang membentuk tanah radiolaria, dapat dijadikan sebagai bahan penggosok.

### Kegiatan

Dalam proses belajar mengajar agar TIU dan TIK pada materi ini tercapai maka Kegiatan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mahasiswa mendengarkan penjelasan yang dilakukan oleh dosen
2. Dosen membagi mahasiswa dalam 4 kelompok dan mendiskusikan mengenai beberapa mikroba akuatik yang sudah dipelajari.
3. Mahasiswa berdiskusi, lalu membuat laporan hasil diskusi kelas dan mempresentasikannya pada pertemuan berikutnya.
4. Dosen memberikan kuis dan waktunya disepakati bersama dengan Mahasiswa
5. Pelaksanaan praktikum di laboratorium.

### Rangkuman

Pada bahan ajar Jasad Mikroba Akuatik secara ringkas di pelajari beberapa hal yaitu :

1. Komposisi mikroba akuatik dipengaruhi oleh kondisi fisik dan kimia air, misalnya salinitas, suhu, cahaya, tekanan hidrostatik, pH dan nutrient.
2. Jasad mikroba yang hidup di lingkungan akuatik meliputi : virus, bakteri, jamur, algae dan protozoa.
3. Setiap mikroba tersebut memiliki peran menguntungkan ada juga yang merugikan bagi organisme akuatik lain maupun bagi manusia.
4. Mikroba yang berperan menguntungkan harus diupayakan untuk pengembangannya, sedangkan mikroba merugikan harus dilakukan pengendaliannya agar tidak merugikan di masa yang akan datang.

#### **4.3. PENUTUP**

##### **Tes formatif**

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan jelas !

1. Sebutkan faktor-faktor yang mempengaruhi penyebaran mikroba di lingkungan akuatik !
2. Sebutkan tiga contoh mikroba yang menguntungkan di lingkungan akuatik !

## V. METODE MIKROBIOLOGIS

### 5.1. Pendahuluan

#### 5.1.1. Deskripsi Singkat

Mempelajari mata kuliah Mikrobiologi Perairan, prinsipnya sama dengan mempelajari bidang ilmu mikrobiologi yang lain. Mengkaji mikrobiologi diperlukan suatu metode atau teknik yang dapat membantu mahasiswa untuk lebih memahami dan menjelaskan tentang keberadaan, bentuk dan sifat mikroorganisme serta seluk beluk dunia mikroorganisme. Mikroorganisme merupakan organisme atau makhluk hidup yang berukuran mikron, yang tidak dapat dilihat dengan mata biasa. Oleh karena itu diperlukan sarana prasarana dan teknik atau metode agar kita dapat mempelajari dan mengkajinya.

Metode mikrobiologis ini diberikan dalam bentuk dasar teori dan praktikum di Laboratorium, agar mahasiswa lebih mudah memahami dan mempelajari, sehingga dapat menjelaskan keberadaan mikroorganisme, termasuk bentuk, ciri, sifat dan habitat dan lingkungan hidupnya. Materi metode mikrobiologis terdiri dari :

1. Uji Mikrobiologis
2. Sterilisasi
3. Media
4. Inokulasi / kultivasi
5. Pengamatan Mikroorganisme
6. Hitungan Bakteri
7. Uji Coliform

#### 5.1.2. Manfaat/Relevansi

Bahan ajar Metode Mikrobiologis ini dimaksudkan untuk memberikan pengetahuan dan dasar teori serta keterampilan kepada Mahasiswa, untuk mempelajari dan mengkaji Mikroorganisme di sekitar kita, khususnya di dunia perikanan. Selain itu memberikan bekal pengetahuan dan keterampilan kepada Mahasiswa sebagai dasar untuk mempelajari dan mengkaji bidang ilmu yang lain serta menjadi bekal keterampilan, apabila Mahasiswa yang bersangkutan bekerja di bidang terkait. Diharapkan mahasiswa dapat meningkatkan pengetahuan, wawasan dan keterampilannya serta mampu menganalisis bidang ilmu mikrobiologis khususnya di lingkungan perikanan. Sehingga



dapat menerapkan keterampilannya tersebut di bidang pekerjaan yang terkait dan di kehidupan nyata serta lingkungan sekitar.

### **5.1.3. Tujuan Instruksional Khusus**

Mahasiswa dapat memahami dan menjelaskan dan terampil dalam metode mikrobiologis.

## **5.2. PENYAJIAN**

### **5.2.1. UJI MIKROBIOLOGIS**

Uji mikrobiologis adalah teknik atau tata cara untuk dapat menentukan kondisi dan golongan mikroorganisme, yaitu meliputi :

1. Ukuran atau besarnya dari suatu golongan mikroorganisme
2. Bentuk atau penampakan dari suatu jenis mikroorganisme
3. Struktur atau bagian dari tubuh mikroorganisme
4. kelompok sel atau susunan sel atau populasi dari mikroorganisme
5. Bagaimana cara menumbuhkan/membiakan suatu golongan mikroorganisme
6. sifat biokimia dari suatu golongan mikroorganisme
7. spesies, yaitu dapat menggolongkan suatu mikroorganisme

Organisme yang termasuk mikroorganisme tidak dapat dilihat dengan mata karena berukuran mikron, maka untuk melihat suatu mikroorganisme diperlukan alat bantu. Alat bantu yang digunakan adalah Mikroskop.

Beberapa jenis mikroskop yang digunakan untuk melihat mikroorganisme adalah:

1. Mikroskop Cahaya/optis :
  - medan terang
  - medan gelap
  - fluoresensi
  - kontras fase
2. Mikroskop Elektron

Mengamati mikroorganisme dengan menggunakan mikroskop tidak bisa langsung begitu saja, namun diperlukan teknik agar tujuan mengamati mikroorganisme dapat tercapai. Untuk mengamati mikroorganisme yang ingin kita pelajari perlu dilakukan preparasi atau penyiapan bahan yang diamati di atas obyek glass sedemikian rupa sehingga

dapat diperiksa di mikroskop. Hasil preaparasi yang telah siap untuk diperiksa dengan mikroskop disebut dengan preparat. Di bawah ini adalah beberapa jenis preparat untuk **mikroskop cahaya** :

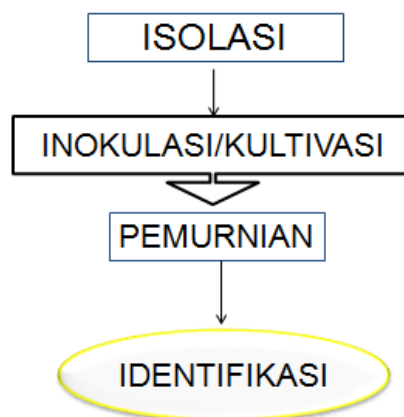
1. Preparat basah
2. Preparat tetes gantung
3. Preparat permanen ----- pewarnaan
  - a. Sederhana
  - b. Differensial
  - c. Sederhana
  - d. Gram
  - e. Tahan asam
4. Spora

Fungsi pewarnaan dari preparat mikroorganisme adalah :

1. Mengamati mikro organisme scr kasar
2. Mengidentifikasi struktur sel
3. Membantu mengidentifikasi mikro organisme

**Tahap uji mikrobiologis :**

## TAHAP UJI MIKROBIOLOGIS



## Isolasi

Isolasi adalah memisahkan mikroorganisme yang diinginkan dari tempat hidupnya untuk ditumbuhkan di media dengan tujuan untuk dipelajari dan dikaji selanjutnya. Pada saat isolasi perlu diperhatikan beberapa hal :

1. Bagaimana **Teknik pengambilan sampel**, agar sesuai dengan tujuan yang akan dilakukan
2. Perlu diperhatikan mikroorganisme tersebut hidup dan **berasal dari bahan** apa
3. Seperti apa **jenis bahan** asal tempat hidup mikroorganisme
4. Apa tujuan uji/pemeriksaan yang akan dilakukan terhadap mikroorganisme tersebut
5. Apabila perlu tambahkan keterangan lain
6. Mikroorganisme harus diambil/diisolasi dari bahan yg diinginkan/sampel

## Kultivasi

Kultivasi adalah proses menumbuhkan mikroorganismeyang telah diisolasi dari tempat hidupnya. Kultivasi mikroorganisme seperti bakteri dan jamur dapat dengan mudah dilakukan pada media buatan. Golongan media buatan yang dapat digunakan untuk menumbuhkan bakteri adalah :

- A. Media Umum
- B. Media Khusus

Teknik untuk menumbuhkan mikroorganisme (inokulasi/kultivasi) yang umum dilakukan di laboratorium pada media buatan/bahan nutrien adalah :

- A. Cawan gores
- B. Cawan tuang/sebar

Hasil dari kultivasi bakteri menunjukkan adanya pertumbuhan koloni bakteri pada media.

Prinsipnya :  
biakan campuran ----- biakan murni

## Pemurnian

Pemurnian adalah memisahkan bakteri berdasarkan jenis dan golongannya, dengan cara mengidentifikasi bentuk, warna dan pinggiran koloni serta elevasi dari koloni yang tumbuh pada media. Selanjutnya masing-masing jenis koloni ditumbuhkan pada wadah

media yang berbeda, sehingga diperoleh koloni tunggal yang seragam bentuk, warna, pinggiran koloni dan elevasinya.

Permuanian dapat juga dilakukan dengan mengkultur bakteri pada media tertentu dengan tujuan tertentu seperti berikut :

1. Media penyubur/khusus, tujuannya adalah menyuburkan dan memisahkan bakteri tertentu dengan bakteri yang lain. Bakteri yang kita kehendaki sudah jelas golongan atau spesiesnya
2. Media selektif/differensial, tujuannya memisahkan atau menggolongkan bakteri tertentu dengan bakteri yang lain. Bakteri yang ingin kita pisahkan sudah diperkirakan jenisnya.

### **Identifikasi**

Identifikasi adalah tahapan uji mikrobiologis untuk menentukan golongan ataupun bahkan spesies dari bakteri. Tahapan identifikasi meliputi :

- pewarnaan bakteri
- uji biokimia
- uji motilitas

### **5.2.2. STERILISASI**

Sterilisasi merupakan suatu proses untuk membebaskan atau mematikan suatu mikroorganisme yang terdapat pada alat atau bahan (media). Langkah pertama yang harus dilakukan sebelum melakukan Kegiatan pemindahan, isolasi, inokulasi mikroorganisme adalah mensterilkan bahan media dan semua peralatan yang akan digunakan. Umumnya cara yang digunakan pada sterilisasi adalah :

1. Sterilisasi dg panas
2. Bahan kimia
3. Penyaringan/filter

Sterilisasi yang digunakan atau yang dipilih tergantung dari beberapa hal, yaitu tergantung :

1. Jenis bahan/alat
2. Sifat bahan
3. Ketahanan thd panas

4. Bentuk bahan (padat, cair, gas)

#### Sterilisasi pemanasan

1. Pemijaran, dengan dibakar sampai membara, seperti jarum platina ose
2. Panas kering, menggunakan alat yang disebut Hot Air Sterilizer (oven). Suhu yang digunakan 170-180 °C selama 1 jam
3. Uap air panas, alat yang digunakan Arnold Steam Sterilizer, suhunya 100°C selama 30 menit
4. Uap panas bertekanan, alat yang digunakan Autoclave, suhunya 121 °C selama 15-20 menit

#### Sterilisasi dengan Bahan Kimia

Sterilisasi dengan menggunakan gas atau radiasi

Sterilisasi dengan Penyaringan

Menggunakan filter dengan ukuran pori-pori tertentu

### **5.2.3. Media**

Media adalah suatu bahan yang terdiri atas campuran nutrisi yang dipakai untuk menumbuhkan mikroorganisme

Syarat :

- Mengandung semua nutrisi utk m.o
- Tekanan osmose, tegangan permukaan & ph sesuai dg m.o
- Tidak mengandung zat penghambat
- Harus steril

Berdasar komposisi kimiawinya, fungsi & konsistensinya, media dibedakan :

Media umum

1. Media sintetik
2. Media non sintetik/komplek

Media khusus:

1. Selektif
2. Differensial

Berdasarkan btk & cara penanamannya,

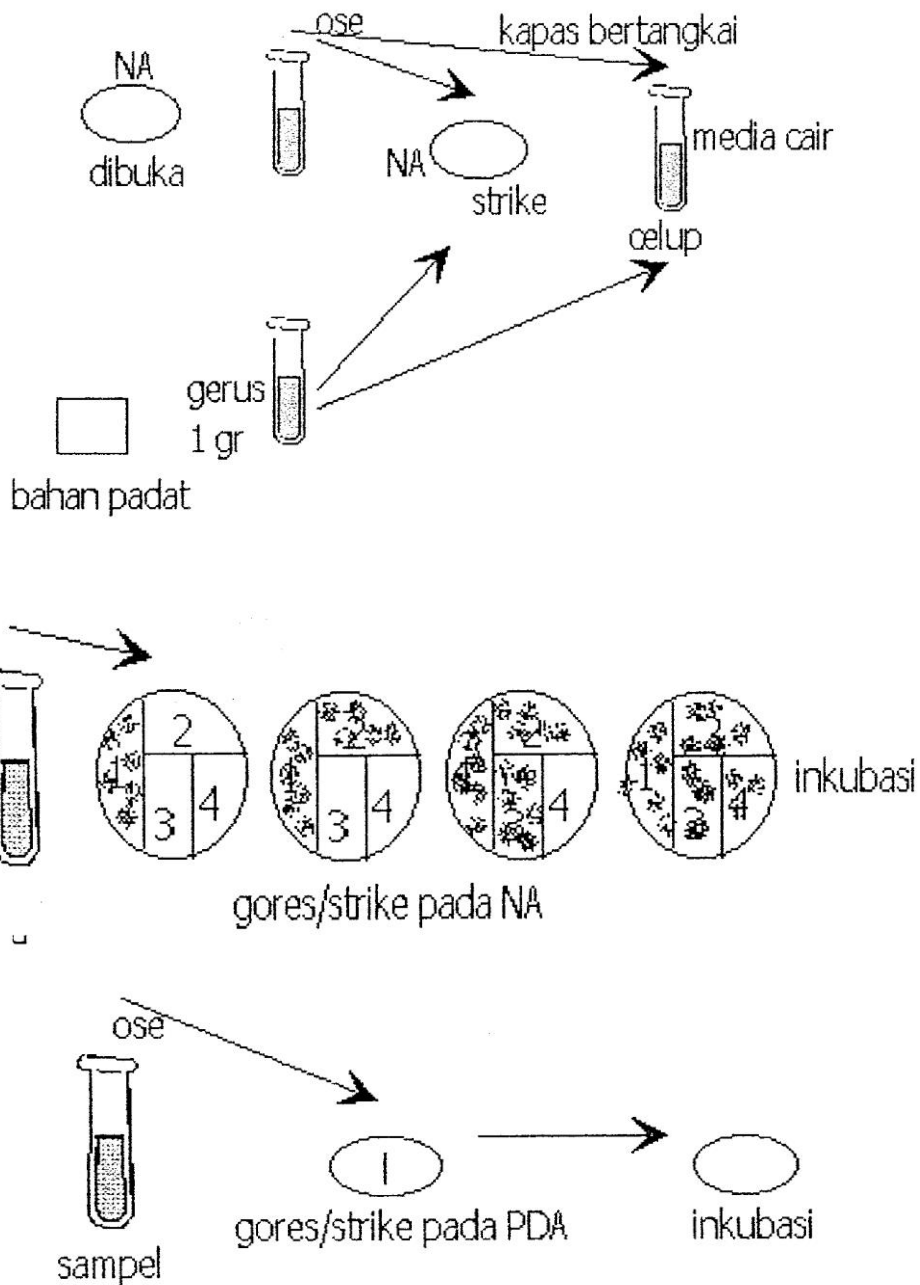
- Media agar tegak/deef culture

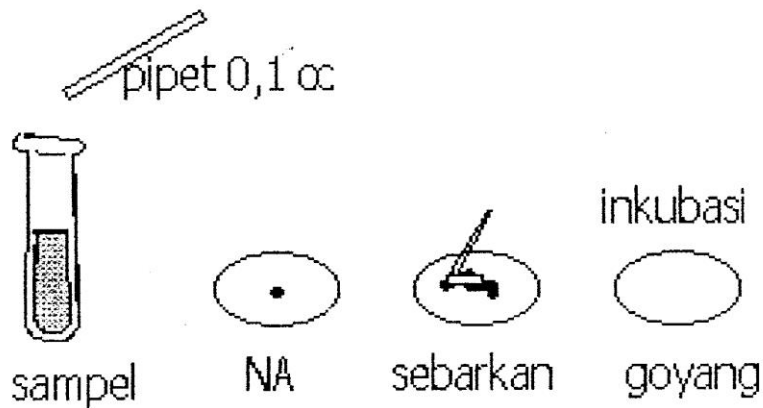
- Media agar miring/slan culture
- Media cair/broth culture

### 5.2.4. Inokulasi / kultivasi

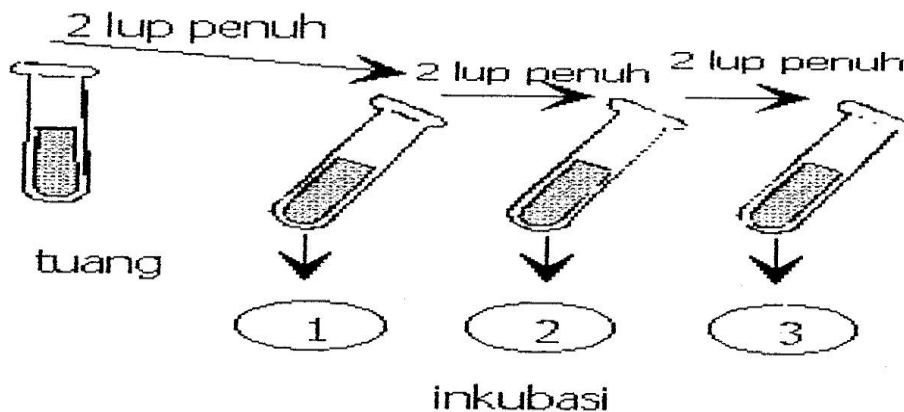
Inokulasi atau kultivasi adalah teknik untuk menumbuhkan mikroorganisme pada media.

Secara lengkap prosedur kerja digambarkan sebagai berikut :





Caranya:



### 5.2.5. Pengamatan Mikroorganismenya

Mikroorganismenya, seperti bakteri, merupakan sel transparan yang sulit diamati. Agar mudah diamati dan dipelajari, maka dilakukan pewarnaan

Pewarnaan mikroorganismenya mempunyai tujuan :

- Agar sel yang diamati kontras dengan yang lain
- Agar terlihat struktur sel, sehingga nampak lebih jelas
- membedakan mikroorganismenya yang diamati dengan yang lain
- dapat menentukan pH

Pewarnaan bakteri terdiri dari 2 macam:

1. Pewarnaan positif, yaitu sel mikroorganismenya yang diwarnai, sehingga latar belakangnya transparan
2. Pewarnaan negatif, yaitu yang diwarnai adalah latar belakangnya, sehingga warna bakteri bening

Agar hasil pewarnaan bagus maka sebelum pewarnaan dilakukan fiksasi

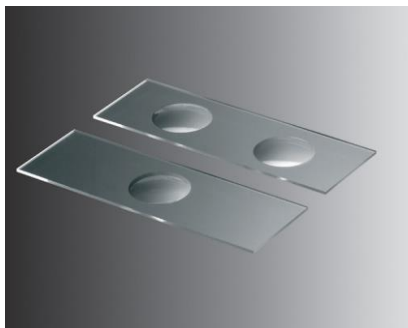
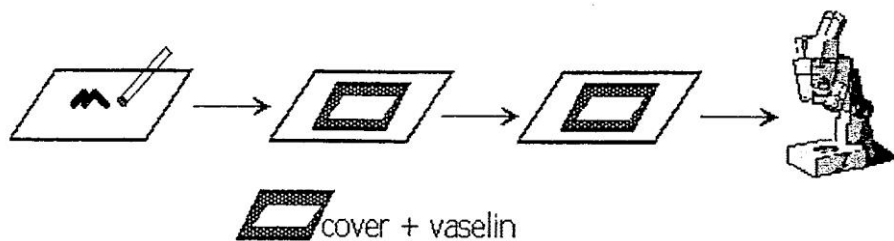
Tujuan fiksasi :

- Mencegah mengkerutnya globula<sup>2</sup> protein pada sel
- Mempertinggi alat reaktif gugusan<sup>2</sup>
- Merubah afinitas warna
- Mencegah autolisis
- Mematikan scr cepat sel bakteri, shg tdk merubah btk & struktur sel bakteri
- Membuat sel lebih kuat & keras
- Hasil pewarnaan, dipengaruhi :
  - fiksasinya
  - substrat
  - peluncur zat
  - dekolorisator

### Pewarnaan Bakteri

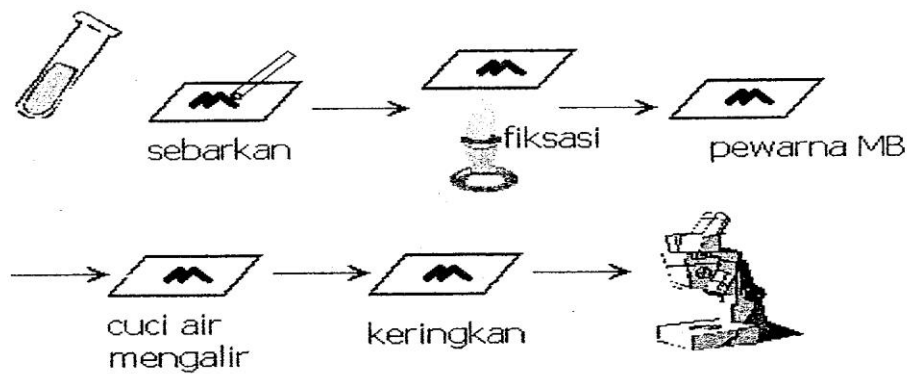
Tetes gantung

Tetes gantung digunakan untuk melihat motilitas bakteri. Bakteri dimasukan ke dalam obyek glass yang mempunyai ruangan (ada cekungan). Sehingga ada ruang gerak bagi bakteri yang bersifat motil.



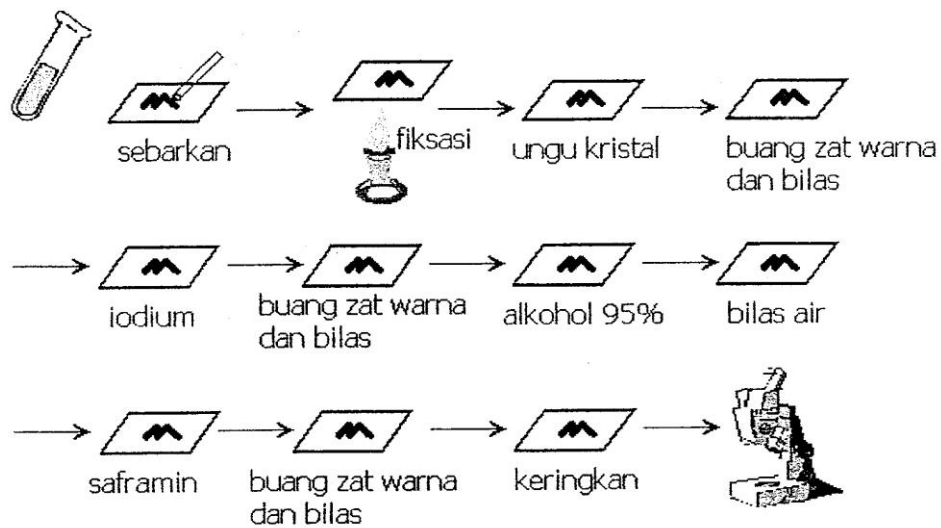
Pewarnaan sederhana, hanya menggunakan satu pewarna saja



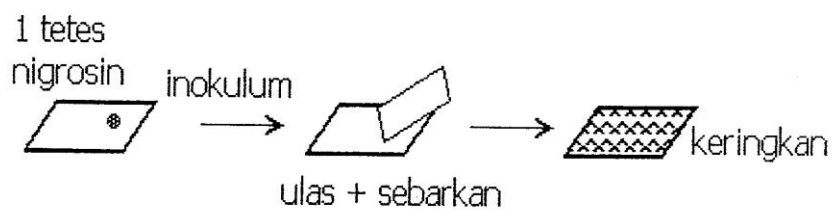


### Pewarnaan Gram

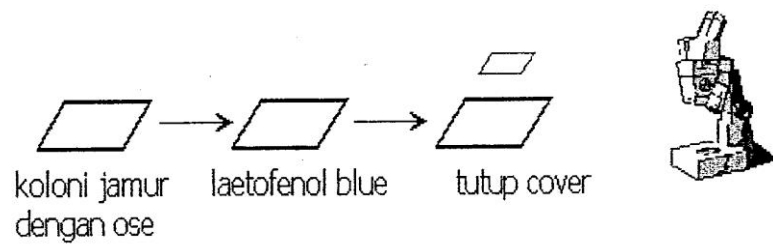
Pewarnaan gram digunakan untuk membedakan bakteri gram positif dan gram negatif. Apabila hasil pewarnaan selnya merah, artinya bakterinya termasuk golongan gram negatif. Apabila biru, termasuk bakteri gram positif.



### Pewarnaan Negatif

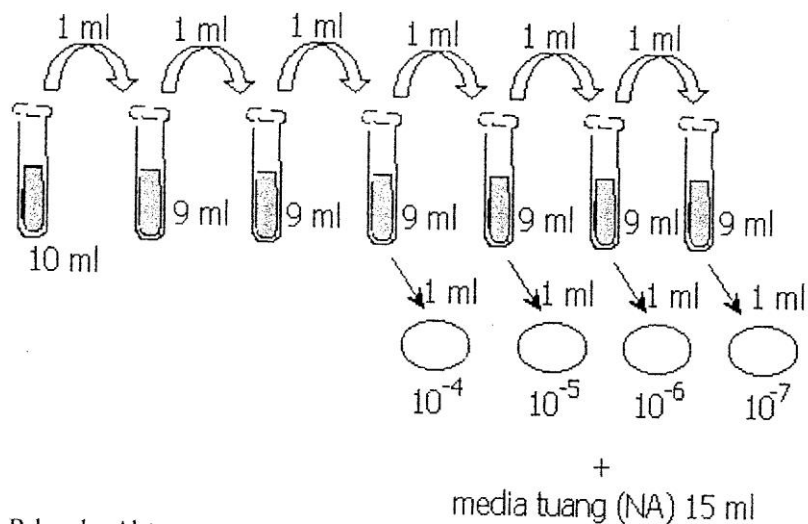


## Pewarnaan Jamur



## 5.2.6. Hitungan Bakteri

- Metode plate/colony count (tpc)
- Metode pengenceran/dilution count
- Teknik filter membran
- Perhitungan langsung mikroskopik
- Metode bread
- Perhitungan scr elektronik
- Metode turbidimetri
- Pendugaan secara kimia
- Penentuan berat kering
- Volume sel



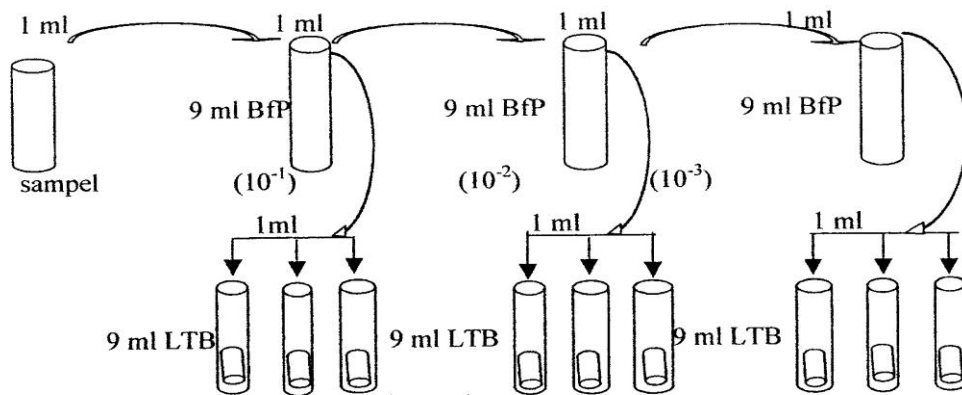
## 5.2.7. Uji Coliform

Kelompok Coliform :

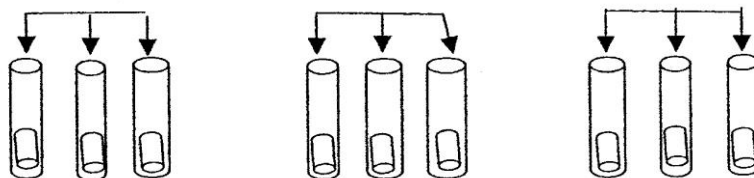
1. Bakteri aerobik & anaerobik fakultatif
2. Batang, gram negatif & tdk berspora

3. Memfermentasi laktosa..... Asam & gas

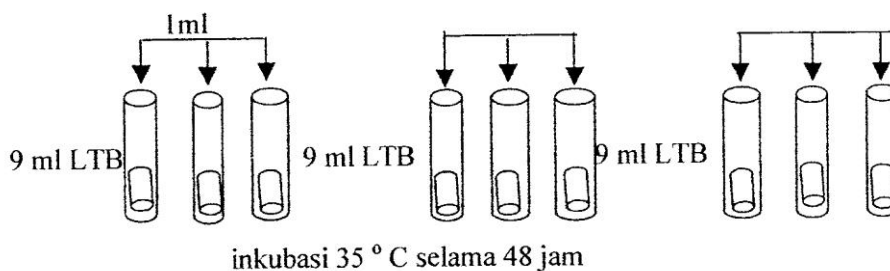
4. Coli asal faecal & coli non faecal



Media BGBL



Media EC



### Kegiatan

Untuk menunjang keberlangsungan proses Kegiatan belajar mengajar agar sesuai dengan TIU dan TIK yang sudah direncanakan, maka dilakukan Kegiatan :

1. Membagi kelompok diskusi.
2. Meminta mahasiswa membuat makalah untuk identifikasi bakteri pada ikan atau pada bahan makanan asal dari ikan.
3. Mempresentasikan makalah yang telah dibuat.

## **Rangkuman**

1. Pentingnya mempelajari Metode Mikrobiologis sebagai acuan untuk mempelajari mikroorganisme serta ilmu pengetahuan yang terkait. Mempelajari Metode Mikrobiologis bermanfaat bagi mahasiswa sebagai bekal dalam mempelajari ilmu yang lain dan menerapkannya di kemudian hari pada saat bekerja pada bidang yang terkait
2. Metode Mikrobiologis dipelajari dan dipraktikkan dalam Kegiatan praktikum di laboratorium untuk menjadi bekal mahasiswa dalam mempelajari mikroorganisme, sehingga mahasiswa dapat memperkirakan ukuran, melihat bentuk, struktur/komponen sel mikroorganisme, mengkaji kelompok pertumbuhan sel mikroorganisme, dapat menumbuhkan dan menggolongkan mikroorganisme kedalam golongan atau spesiesnya.
3. Metode mikrobiologis harus dilakukan secara steril dan pengerjaannya harus mengikuti tahapan-tahapan kerja sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.

## **5.3. PENUTUP**

### **Test Formatif**

Jawablah dengan jelas !

1. Apa manfaat mempelajari metode mikrobiologis
2. Mengapa pada tahapan uji mikroorganisme harus dilakukan secara berurutan
3. Mengapa pada saat melakukan uji mikrobiologis harus dilakukan secara steril

## **VI. GENETIKA MIKROBA DAN REKAYASA GENETIKA**

### **6.1. PENDAHULUAN**

#### **6.1.1. Deskripsi Singkat**

Pada bahan ajar Genetika Mikroba dan Rekayasa Genetika ini akan dibahas mengenai genetika mikroba dalam hal ini diuraikan tentang genetika bakteri dan rekayasa yang dilakukan dalam pengembangan bakteri tersebut. Jenis bakteri yang dipilih adalah bakteri yang umum dilakukan rekayasa molekulernya dan memiliki peran yang cukup penting dalam ekosistem dan kehidupan manusia.

Materi yang diuraikan pada bahan ajar Genetika Mikroba dan Rekayasa Genetika adalah sebagai berikut :

1. Genetika Bakteri
2. Pertukaran Materi Genetik Pada Bakteri
3. Mutasi
4. Genotip Dan Fenotip Bakteri
5. Pengaturan Sintesis Protein Pada Prokariot
6. Perbaikan Kerusakan Dna
7. Rekayasa Genetika

#### **6.1.2. Manfaat/Relevansi**

Bahan ajar Genetika Mikroba dan Rekayasa Genetika diharapkan bisa menjadi bahan rujukan bagi mahasiswa untuk memahami beberapa hal yang berhubungan dengan genetika bakteri sebagai satu diantara beberapa jenis mikroba yang umum ditemukan di lingkungan akuatik dan berperan penting bagi kehidupan organisme akuatik dan manusia di masa yang akan datang. Rekayasa genetika merupakan hal yang sudah menjadi keharusan dalam kehidupan masa depan dan pemahaman tentang rekayasa genetik akan membantu mahasiswa untuk bisa berpikir lebih bijaksana dalam pemanfaatan produk-produk hasil rekayasa tersebut.

#### **6.1.3. Tujuan Instruksional Khusus**

Mahasiswa diharapkan mampu mengetahui dan memahami tentang genetika mikroba dan rekayasa genetik.

## 6.2. PENYAJIAN

### 6.2.1. Genetika Bakteri

Ada dua fenomena biologi pada konsep hereditas, yaitu:

- 1) Hereditas yang bersifat stabil : dimana generasi berikut yang terbentuk dari pembelahan satu sel mempunyai sifat yang identik dengan induknya
- 2) Variasi genetik yang mengakibatkan adanya perbedaan sifat dari sel induknya akibat peristiwa genetik tertentu, misal: mutasi.

#### 1. Unit herediter bakteri ( genom bakteri)

##### Kromosom

Kebanyakan gen prokariota terdapat pada kromosom, yang terletak dalam suatu bagian pusat sitoplasma, yang dinamakan daerah nuklear atau nukleoid untuk membedakannya dari membran-pengikat nukleus pada sel eukariotik. Gen bakteri terdapat dalam molekul DNA tunggal (haploid). Berbentuk sirkuler, panjangnya  $\pm 1\text{mm}$ , beratnya 2-3% dari berat kering satu sel, disusun sekitar 4 juta kpb DNA, makromolekul yang sangat banyak ini dikemas agar tidak berubah dalam bentuk superkoil ( $\pm 70\text{-}130$  superkoil domain) Jumlah nukleoid dalam sel bakteri dapat lebih dari satu, tergantung kecepatan pertumbuhan dan ukuran sel. Nukleoid berisi gen yang penting untuk pertumbuhan bakteri.

##### Plasmid

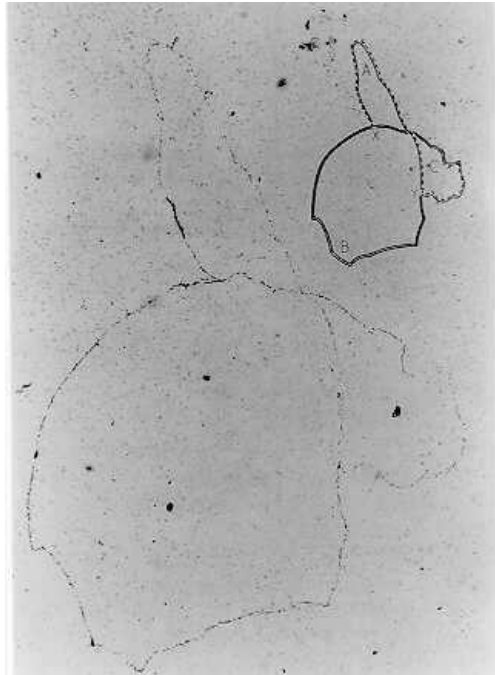
Plasmid merupakan materi genetik di luar kromosom (ekstra kromosomal). Tersebar luas dalam populasi bakteri. Terdiri dari beberapa – 100 kpb, beratnya  $\pm 1\text{-}3\%$  dari kromosom –bakteri. Berada bebas dalam sitoplasma bakteri. Kadang-kadang dapat bersatu dengan kromosom bakteri. Dapat berpindah dan dipindahkan dari satu spesies ke spesies lain. Jumlahnya dapat mencapai 30 atau dapat bertambah karena mutasi.

Macam-macam Plasmid dan peranannya:

**Pili F dan I.** Dua macam pili yang disebut, pili F dan I, diketahui terlibat dalam transfer plasmid dari sel ke sel. Dua kelompok faga RNA diketahui menginfeksi sel yang membawa plasmid yang dapat dipindahkan. Faga ini dapat digunakan untuk melihat adanya pili F dan I pada sel. Dua macam pili ini dapat juga dibedakan secara imunologi. Pili F dilibatkan dalam transfer faktor F dan beberapa plasmid resisten-antibiotik. Pili F juga terdapat pada sel Hfr.

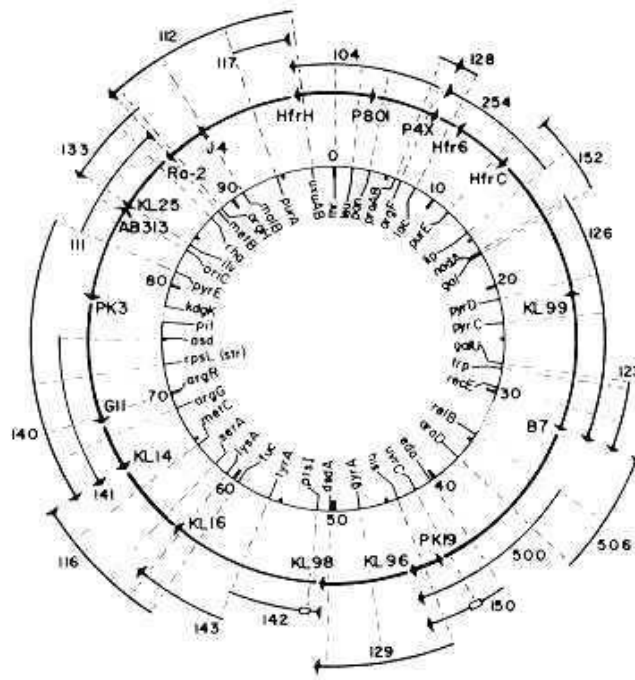


Pili I dilibatkan dalam transfer plasmid resisten-antibiotik, plasmid yang menentukan colicin, dan lainnya.



Gambar 15. DNA kromosom sirkular bakteri *E. coli* sedang mengalami replikasi

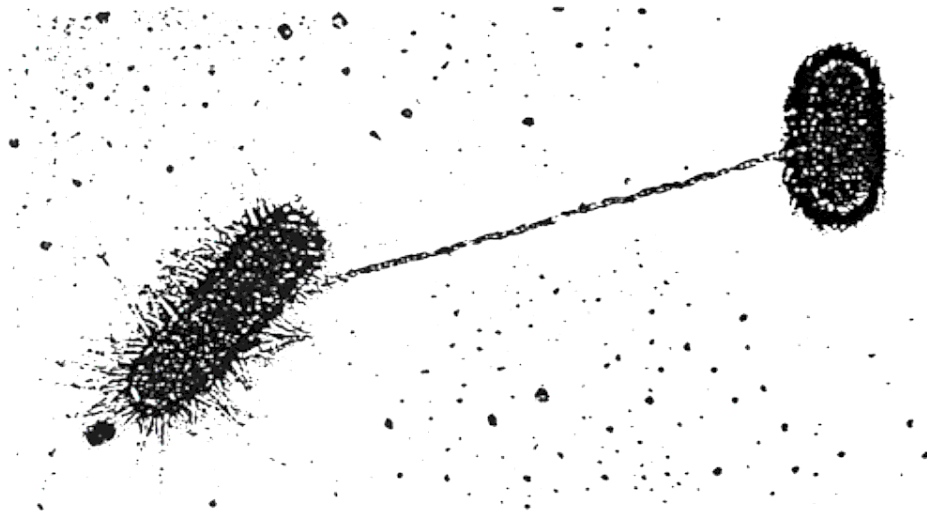
**Faktor R.** Faktor R pertama kali ditemukan di Jepang pada strain bakteri enterik yang mengalami resistensi terhadap sejumlah antibiotik (multipel resisten). Munculnya resistensi bakteri terhadap beberapa antibiotik, sangat berarti dalam dunia kedokteran, dan dihubungkan dengan meningkatnya penggunaan antibiotik untuk pengobatan penyakit infeksi. Sejumlah perbedaan gen-gen resisten-antibiotik dapat dibawa oleh faktor R. Plasmid R100 disusun oleh 90 kpb yang membawa gen resisten untuk sulfonamid, streptomisin/spektinomisin, asam fusidat, kloramfenikol, tetrasiklin dan pembawa gen resisten terhadap merkuri. R100 dapat berpindah diantara bakteri enterik dari genus *Escherichia*, *Klebsiella*, *Proteus*, *Salmonella*, dan *Shigella*, tetapi tidak akan berpindah ke bakteri nonenterik *Pseudomonas*. Juga sudah diketahui faktor R dengan gen resisten terhadap kanamisin, penisilin, tetrasiklin, dan neomisin. Beberapa elemen resisten obat pada faktor R merupakan elemen yang dapat bergerak, dan dapat digunakan dalam mutagenesis transposon.



Gambar 16. Peta Genetik sirkular kromosom bakteri *E. coli*. Letak gen terwakili pada lingkaran terdalam. Jarak antar gen diukur dalam menit, yaitu waktu yang diperlukan untuk transfer gen selama konjugasi

Gen-gen untuk sifat yang tidak berhubungan dengan resistensi antibiotik juga dibawa oleh faktor R. Yang terpenting diantaranya menghasilkan pili untuk transfer konjugatif, tetapi faktor R juga membawa gen untuk replikasi dirinya sendiri dan gen untuk mengatur produksi protein yang mencegah pengenalan plasmid lain. Selanjutnya adanya satu faktor R yang menghambat pengenalan dari tipe plasmid lain yang sama, suatu fenomena yang diketahui sebagai ketidakcocokan. Karena faktor R dapat mengalami rekombinasi genetik, gen dari dua faktor R dapat bergabung menjadi satu. Rekombinasi plasmid merupakan suatu alat yang mungkin pertamakali ditimbulkan oleh pembiakan organisme resisten-obat. Plasmid dapat membawa gen yang berhubungan dengan fungsi-fungsi khusus lain, misalnya pada *Rhizobium* spp berperan dalam fiksasi nitrogen *Streptococcus* (grup N) berperan dalam penggunaan laktosa, sistem galaktose fosfotransferase, metabolisme sitrat. *Rhodospirillum rubrum* berperan dalam sintesis pigmen fotosintesis *Escherichia coli* berfungsi dalam pengambilan dan metabolisme sukrosa, ambilan sitrat *Pseudomonas* spp berfungsi dalam degradasi kamfor, toluena, oktana, asam salisilat *Bacillus stearothermophilus* berfungsi menghasilkan enzim  $\alpha$ -amilase *Alcaligenes eutrophus* berperan dalam penggunaan H<sub>2</sub> sebagai energi oksidasi.





Gambar 1/. Foto elektron mikrogrograt sel bakteri *E. coli* F+ (kiri) dan F- (kanan) selama proses konjugasi seksual

## 2. Elemen Genetik Bergerak (Transposable)

Konsep bahwa kromosom merupakan struktur diam/statis, diturunkan tidak berubah dari generasi ke generasi, sudah ditinggalkan dan diganti dengan suatu pandangan yang lebih dinamis. Berdasarkan analisis genetik terhadap organisasi kromosom diungkapkan bahwa penyusunan kembali DNA dapat membawa elemen genetik yang bergerak. Elemen genetik ini dikelompokkan berdasarkan kemampuannya untuk menyisip sebagai segmen DNA baru pada lokasi genom secara acak. Kemampuan elemen ini untuk mengubah urutan, ditemukan sebagai sifat alami pada kromosom prokariot, plasmid dan genom bakteriofaga.

Dua kelompok besar elemen yang berkemampuan mengubah urutan DNA **Pertama** : "Insertion sequences "(IS) adalah elemen urutan sisipan yang merupakan unsur genetik yang mampu menyisip ke tempat baru pada replikon yang sama maupun berbeda. IS tidak dapat mereplikasi dirinya sendiri. Urutan dari kelompok IS sederhana biasanya hanya mengandung gen tunggal yang mengkode satu enzim, transposase, yang penting untuk transposisi elemen IS. Urutan IS yang besar mempunyai persamaan struktur dan berisi kira-kira 1000 pasangan basa duplex DNA. Berbagai perbedaan IS ditemukan pada genom bakteri dan plasmid, beberapa mungkin ditemukan sebagai cetakan multipel dalam replikon tunggal. **Kedua** : Transposon adalah unsur genetik yang mengandung beberapa kpb DNA, termasuk informasi yang diperlukan untuk migrasi dari satu lokus genetik ke lokus genetik

lain, terutama untuk fungsi khusus misalnya resistensi terhadap antibiotik. Lingkaran DNA (kromosom dan plasmid) , berisi informasi genetik yang diperlukan untuk replikasi dirinya sendiri yang disebut replikon. Replikon pada prokariota diyakini berhubungan dengan selaput sel dan pemisahan kromosom anak, serta plasmid diduga berkaitan dengan perpanjangan dan pembuatan sekat pada selaput sel. Transposon tidak berisi informasi genetik yang diperlukan untuk replikasi dirinya sendiri. Seleksi transposon bergantung pada replikasinya sebagai bagian dari suatu replikon. Untuk mendeteksi transposon atau mengutak-atiknya secara genetik dilakukan seleksi terhadap informasi genetik khusus (biasanya resistensi terhadap suatu antibiotika) yang dibawanya.

### **6.2.2. Pertukaran Materi Genetik Pada Bakteri**

Dewasa ini muncul keanekaragaman dan variasi genetik pada bakteri disebabkan oleh proses rekombinasi gen antara jenis bakteri yang satu dengan bakteri lain. Rekombinasi atau pertukaran gen ini melalui berbagai cara yaitu:

#### **1. Transfer Gen**

Materi genetik dan plasmid dapat berpindah atau dipindahkan melalui berbagai mekanisme sebagai berikut:

##### **a. Transduksi**

DNA dari plasmid masuk ke dalam genom bakteriofaga. Oleh bakteriofaga plasmid ditransfer ke populasi bakteri lain. Transduksi bisa terjadi pada bakteri Gram positif seperti *Staphylococcus*, tapi diketahui pula terjadi pada *Salmonella*

##### **b. Transformasi**

Fragmen DNA bebas dapat melewati dinding sel dan kemudian bersatu dalam genom sel tersebut sehingga mengubah genotipnya. Hal ini biasanya dikerjakan di laboratorium dalam penelitian rekayasa genetika, tapi dapat pula terjadi secara spontan meskipun dalam frekuensi yang kecil.

##### **c. Konyugasi**

Transfer unilateral materi genetik antara bakteri sejenis maupun dengan jenis lain dapat terjadi melalui proses konyugasi ("mating" = kawin). Hal ini dimungkinkan karena adanya faktor F yang menentukan adanya pili seks pada virus bakterial tertentu. Kuman yang mempunyai pili seks disebut kuman F+, dan melalui pilinya materi genetik dari sel donor (F+)

termasuk plasmid DNA-nya dapat berpindah ke dalam sel resipien. Jadi gen-gen tertentu yang membawa sifat resistensi pada obat dapat berpindah dari populasi kuman yang resisten ke dalam kuman yang sensitif. Dengan cara inilah sebagian besar dari sifat resisten obat tersebar dalam populasi kuman dan menimbulkan apa yang disebut multi drug resistance.

Gambar 18. Mekanisme pertukaran materi genetik pada bakteri, A) Transformasi, fragmen DNA lepas dari bakteri donor yang diterima oleh bakteri penerima B) Transduksi perpindahan materi genetik melalui bakteriofage (virus). C) Konyugasi perpindahan materi genetik dengan kontak langsung melalui hubungan sitoplasma

d. Transposisi

Transposisi adalah pemindahan rantai DNA pendek (hanya beberapa urutan saja) antara satu plasmid ke plasmid lain, atau dari kromosom ke plasmid dalam sel tersebut.

### 6.2.3. Mutasi

Mutasi mengarah pada suatu perubahan senyawa kimia pada DNA. Mutan merupakan individu yang mengalami perubahan pada satu atau lebih basa DNANYa: perubahan ini dapat diwariskan dan irreversibel (kecuali terjadi mutasi-balik ke urutan awal). Kerusakan gen tersebut dapat disebabkan oleh :

- 1). Perubahan pada proses transkripsi
- 2). Perubahan pada urutan asam amino dari protein yang merupakan produk gen

Mutasi melibatkan sejumlah gen pada DNA bakteri: beberapa mutasi tidak pernah dideteksi karena tergantung pada mutasi mempengaruhi suatu fungsi yang dapat dikenali (contoh, penyebab resistensi antibiotik). Dan yang lain dapat mematikan sehingga tidak terdeteksi. Mutasi dikelompokkan berdasarkan :

#### 1. Ukuran

Mutasi titik. suatu perubahan pada sebagian kecil segmen DNA; bisaanya yang terjadi pada suatu nukleotida tunggal atau pasangan nukleotida.

- 1). Samesense (silent) mutasi: perubahan pada suatu kodon (bisaanya pada posisi ke tiga) yang gagal untuk memindahkan asam amino spesifik dari tempat yang tidak mengalami mutasi
- 2). Nonsense mutasi : suatu pemendekan produk protein , pada signal rantai-terminasi
- 3). Missense mutasi: suatu perubahan urutan asam amino dengan asam amino yang mengalami salah cetak ditempatkan pada rantai polipeptida
- 4). Frameshift mutasi: suatu pergeseran reading frame, menghasilkan sejumlah kodon missense dan nonsense melalui sisa cistron.

“**Gross Mutasi**”: perpindahan yang melibatkan lebih dari satu pasangan nukleotida, dapat memasukkan gen, kromosom, atau rangkaian kromosom (pada eukariota).

#### 2. Kualitas

Struktural mutasi: perubahan pada nukleotida yang mengandung gen.

- 1). Substitusi mutasi: penggantian satu nukleotida untuk yang lainnya, dapat dibedakan menjadi, Transisi: pertukaran dalam satu purindengan satu pirimidin atau sebaliknya (contoh, GC menjadi AT); Transversi: perubahan padapurin/pirimidin (contoh, GC menjadi CG).

- 2). Delesi mutan: kehilangan beberapa bagian suatu gen.
- 3). Insersi mutan: penambahan satu atau lebih ekstra nukleotida terhadap suatu gen.

**"Rearrangement Mutasi"** merupakan perubahan lokasi suatu gen dalam genom, sering diikuti oleh efek posisi.

- 1). Dalam suatu gen: dua mutasi dalam gen yang sama fungsinya dapat menghasilkan efek yang berbeda, tergantung pada terjadinya apakah pada posisi cis atau trans.
- 2). Sejumlah gen tiap kromosom: efek fenotip berbeda dapat dihasilkan jika sejumlah gen yang mengalami replikasi nonequivalen pada kromosom homolog (eukariota).
- 3). Pergerakan lokus gen dapat menghasilkan fenotip baru, khususnya ketika gen dipindahkan dekat heterokromatin (eukariot).

### 3. Asal

Mutasi spontan awalnya tidak diketahui, sering disebut "background mutation". Kontrol genetik mutabilitas beberapa gen yang diketahui dapat disebabkan oleh "mutator gen" lain. Mutasi spontan dapat dibedakan menjadi:

- 1) mutasi spesifik yang pengaruhnya terbatas pada satu lokus dan
- 2) mutasi nonspesifik secara simultan mempengaruhi pada beberapa lokus.

Mutasi terinduksi dipengaruhi oleh keadaan lingkungan yang tidak normal, misalnya: radiasi pengion (perubahan valensi senyawa kimia melalui penambahan elektron yang dihasilkan oleh proton, neutron, atau oleh sinar X. Radiasi nonpengion penambahan tingkat energi atom (eksitasi), yang membuatnya kurang stabil (contoh, radiasi UV, panas), radiasi UV sering menghasilkan dimer timin, contoh, ikatan timin di antara dua rantai yang sama. Mutagen senyawa kimia (senyawa kimia yang meningkatkan mutabilitas gen) dapat dibedakan menjadi: Salah cetak mutan meningkat selama replikasi DNA (contoh, mutagen analog basa dengan sifat kimia yang sama dengan basa asam nukleat dapat masuk karena kesalahan, akridin penyebab penambahan mutasi tunggal atau delesi kemungkinan karena interkalasi di antara dua urutan basa).; Perubahan gen langsung [(dihasilkan pada DNA "nonreplicating" (contoh, asam nitrat oleh deaminasi secara langsung merubah adenin menjadi hipoksantin dan sitosin menjadi urasil)].

#### 6.2.4. Genotip Dan Fenotip Bakteri

Bakteri banyak bentuk berdasarkan morfologi: bulat/kokus, batang/basil, spirilla/spiral, spiroket/uliran, dan bercabang. Karena bakteri cukup kecil, sifat genetik sel bakteri jarang diteliti secara individual. Namun, koloni bakteri cukup besar untuk percobaan secara makroskopik dan sering memperlihatkan variasi dalam ukuran, bentuk, atau kebiasaan pertumbuhan, tekstur, warna, dan respon terhadap nutrisi, pewarnaan, obat, antibodi, dan virus patogen (bakteriofaga/virus pada bakteri). Beberapa bakteri dapat tumbuh pada medium minimal yang berisi suatu karbon dan sumber energi (contoh, glukosa), sejumlah garam anorganik, dan air. Bakteri yang dapat tumbuh pada medium "unsupplemented" disebut prototrofik. Jika sejumlah bahan organik ditambahkan pada medium minimal tersebut untuk mendapatkan pertumbuhan, bakteri tersebut dinamakan auksotrofik. Suatu medium yang mengandung semua nutrisi organik (asam amino, nukleotida, dan lain-lain) yang dibutuhkan oleh beberapa sel auksotrofik disebut medium lengkap.

Lima tipe utama perubahan fenotipik yang dapat dihasilkan melalui mutasi, yaitu:

- 1). Suatu perubahan dari prototrofik menjadi auksotrofik atau sebaliknya, contohnya, kehilangan atau memperoleh kembali kemampuan untuk menghasilkan produk dari jalur biosintetik. Sebagai contoh, suatu mutasi yang menghasilkan kerusakan/cacat pada gen yang menghasilkan enzim khusus untuk merubah glutamat menjadi glutamin menyebabkan sel menjadi bergantung pada lingkungan untuk glutamin.
- 2). Kehilangan atau memperoleh kembali kemampuan untuk menggunakan nutrisi pengganti. Sebagai contoh, suatu mutasi pada gen untuk merubah laktosa menjadi glukosa dan galaktosa membuat sel tidak mampu tumbuh pada medium dimana laktosa merupakan satu-satunya sumber karbon. Macam mutasi ini yang dilibatkan dalam reaksi katabolik (degradatif) tidak tergantung pada prototrofik atau auksotrofik.
- 3). Suatu perubahan dari sensitifitas obat menjadi resistensi obat atau sebaliknya. Sebagai contoh, sebagian besar bakteri sensitif terhadap antibiotik streptomisin, tetapi strain resisten dapat dihasilkan melalui mutasi.
- 4). Suatu perubahan dari sensitifitas faga menjadi resistensi faga atau sebaliknya. Sebagai contoh, suatu mutasi pada reseptor bakteri untuk faga akan membuat sel resisten terhadap infeksi.

5). Kehilangan atau memperoleh kembali komponen struktural permukaan sel. Sebagai contoh, satu strain *Pneumococcus* yang dapat menghasilkan kapsul polisakarida, sedangkan strain lain tidak memiliki kapsul. Simbol yang digunakan untuk mewakili fenotip dan genotip bakteri menggunakan peraturan sebagai berikut:

1). Simbol fenotipik terdiri dari tiga huruf romawi (huruf pertama ditulis huruf besar) dengan tanda yang ditulis di atas "+" atau "-" untuk menandai ada atau tidaknya sifat yang ditunjukkan, dan "s" atau "r" untuk sensitifitas dan resistensi.

2). Simbol genotipik merupakan huruf kecil dengan semua komponen simbol dimiringkan. Contoh, jika sel tersebut dapat mensintesis leusin miliknya, fenotipnya disimbolkan Leu+. Bahan yang memberi sifat fenotip dalam hal ini adalah leusin disimbolkan Leu. Genotip untuk leusin auksotrofik tersebut adalah leu atau leu-, dan fenotipe dalam hal ini adalah Leu- (tidak mampu tumbuh tanpa suplementasi leusin). Jika lebih dari satu gen yang dibutuhkan untuk menghasilkan substansi, simbol tiga-huruf dapat diikuti oleh huruf dimiringkan, seperti leuA, leuB, dan sebagainya.

Genotipe untuk resistensi terhadap antibiotik obat penisilin adalah penr atau pen-r; Penr menandakan fenotip. Pada sebagian diploid, 2 rangkai haploid dipisahkan dengan garis miring leu+/leuA-. Secara genetik perbedaan pada anggota dari spesies bakteri yang sama kadang-kadang dikenal sebagai perbedaan strain jika perbedaan tersebut kecil, atau sebagai perbedaan varietas jika perbedaan tersebut substansial. Contoh, sebagian besar penelitian mengenai spesies *E. coli*. Strain ditandai dengan penambahan suatu huruf besar yang tidak miring atau nomor sesudah nama spesies, jadi *E. coli* B, *E. coli*S, dan seterusnya. Tiga besar yang terdapat pada strain *E. coli* ialah: *E. coli* B (inang untuk faga seri T), *E. coli* C (inang untuk faga (x 174 DNA rantai-tunggal), dan *E. coli*K12 (mengandung profaga lambda). Catatan tentang perbedaan dalam suatu strain ditandai dengan penambahan nomor sesudah huruf strain.

#### **6.2.5. Pengaturan Sintesis Protein Pada Prokariot**

Dalam beberapa sel tidak semua gen aktif pada waktu yang bersamaan. Beberapa produk gen yang dibutuhkan akan secara terus menerus disintesis, sebaliknya produk gen lain hanya dibutuhkan selama fase tertentu siklus sel atau dalam keadaan lingkungan yang tidak diharapkan. Beberapa protein yang dibutuhkan disintesis dalam jumlah yang besar, sedangkan yang lain dalam jumlah yang kecil. Oleh karena itu aktivitas semua gen yang

dibutuhkan secara khusus diatur dalam satu atau banyak cara, untuk membuat efisiensi penggunaan energi yang tersedia dalam sel. Mekanisme pengaturan tersebut pada ekspresi gen dapat terjadi pada satu atau banyak tingkat. Pengaturan (regulasi) dapat terjadi pada tingkat gen itu sendiri dengan mengendalikan waktu dan/atau kecepatan transkripsi. Mekanisme pengendalian lain dapat dilaksanakan selama translasi. Setelah translasi, beberapa protein akan berubah menjadi fungsional. Gen yang ditranskripsikan menjadi molekul RNA disebut gen struktural. Protein yang ditranslasi dari mRNA dapat berupa enzim dan nonenzim.

Di antara protein nonenzimatik merupakan protein regulator yang berinteraksi dengan urutan nukleotida spesifik untuk mengendalikan aktivitas transkripsional gen spesifik. Gen yang mensintesis protein regulator disebut gen regulator. Setiap gen (atau secara terkoordinir mengendalikan kelompok gen struktural) didahului oleh suatu urutan (yang disebut promotor) yang dapat dikenali oleh RNA polimerase. Sekali polimerase berikatan kepada promotor, selanjutnya dapat mentranskripsikan rantai DNA anti-sense yang berdekatan menjadi suatu molekul RNA. Suatu operon merupakan suatu unit transkripsional yang terdiri dari minimal suatu promotor dan urutan pengkode (coding) mRNA yang berdekatan untuk satu atau lebih rantai polipeptida. Akan tetapi, suatu operon juga dapat mengandung satu atau lebih tempat regulator lain selain promotor. Aktivitas transkripsional gen tidak mengalami pengaturan ("unregulated") jika produk gen yang diperlukan tidak memperhatikan keadaan lingkungan.

Produk demikian dikatakan disintesis secara constitutive. Kuantitas produk dari gen yang tidak mengalami pengaturan tersebut dapat bervariasi, tergantung pada afinitas hubungan promotornya terhadap RNA polimerase. Promotor dengan afinitas tinggi membuat produk gen lebih banyak dari pada promotor berafinitas rendah. Untuk berbagai protein tersebut hanya dibutuhkan kondisi tertentu, kerja gen-gennya bisaanya dibangun oleh satu atau banyak protein regulator. Suatu operator merupakan suatu urutan DNA dalam suatu operon, yang merupakan protein regulator dan disebut suatu pengikat protein repressor. Penempelan suatu protein repressor kepada suatu operator mencegah transkripsi seluruh gen struktural dalam operon yang sama. Suatu gen dengan bentuk pengaturan seperti ini dinamakan dibawah "negative control". Operon bakteri sering menghasilkan mRNA polycistronik (mengandung informasi pengkode untuk lebih dari satu



rantai polipeptida atau molekul RNA); tapi semua mRNA eukariot sitoplasma (khususnya yang dihasilkan oleh organel) mono-sistronik.

Protein yang diperlukan untuk ekspresi suatu operon disebut aktivator. Protein tersebut dapat berikatan kepada tempat inisiator (initiator sites) yang ditempatkan pada suatu promoter operonnya atau (pada kasus ini disebut enhancer sites) dapat berikatan pada urutan yang jauh dari operon tersebut. Pada saat suatu protein regulator berikatan dengan tempat inisiator atau enhancer menyebabkan transkripsi gen struktural pada operon, proses tersebut dikatakan suatu mekanisme “positive control”. Stimuli yang mengatur respon gen tersebut dapat bermacam-macam mulai dari molekul yang relatif kecil (gula, asam amino) sampai ke senyawa yang relatif besar (contoh, pada eukariot kompleks suatu hormon steroid dan protein reseptornya).

Suatu senyawa yang membuat gen melakukan transkripsi (“on”) dikatakan sebagai suatu “inducer”, sebaliknya senyawa yang menghentikan transkripsi disebut suatu “repressor”. Gen “inducible” (dipengaruhi inducer) bisaanya terlibat dalam reaksi katabolik (degradasi), seperti pada pemecahan polisakarida menjadi gula sederhana. Gen “repressible” (dipengaruhi repressor) bisaanya terlibat dalam reaksi anabolik (sintetik), seperti pada penyusunan asam amino dari bahan bakunya. Jadi, dalam hal yang telah diuraikan di atas terdapat empat kemungkinan kombinasi pengendalian transkripsi dan satu pengendalian sesudah translasi, yaitu :

### **1). “Negatif inducible Control”**

Prototipe kontrol negatif tersebut melalui suatu operon yang dapat diinduksi pada “sistem laktosa” (sistem lac) E. coli. ( $\beta$ -galaktosidase merupakan enzim dengan dua fungsi. Pertama berfungsi memecah laktosa menjadi glukosa dan galaktosa. Kedua berfungsi mengubah ikatan 1-4 glukosa dan galaktosa(pada laktosa) menjadi ikatan 1-5 pada alolaktosa. Enzim ini secara normal tidak terdapat pada konsentrasi tinggi pada saat laktosa tidak terdapat dari lingkungan sel. Secara singkat, sesudah penambahan laktosa ke dalam medium dimana tidak ada glukosa, enzim tersebut mulai dihasilkan. Suatu protein transpor yang disebut galactoside permease dibutuhkan untuk efisiensi transpor laktosa melintasi membran sel. Protein ini juga berada dalam konsentrasi tinggi sesudah laktosa tersedia dalam medium. “Sistem laktosa” E. coli tipe-liar terdiri dari suatu gen regulator ( $i^+$ ) dan suatu operon yang mengandung suatu urutan promotor ( $p^+$ ), suatu lokus operator ( $o^+$ ), dan tiga gen struktural untuk  $\beta$ -galaktosidase ( $z^+$ ), permease ( $y^+$ ), dan transasetilase (suatu

enzim yang berfungsi dalam metabolisme laktosa dengan tetap tidak terpecah). Mutasi pada setiap lokus tersebut sudah ditemukan.

Terdapat beberapa “overlap” pada daerah promotor dan operator sistem lac tersebut; pada beberapa operon lain lokus operator secara keseluruhan dapat disimpan pada promotor. Operon regulator tersebut secara konstitutif menghasilkan protein represor pada tingkat rendah karena ia memiliki suatu “promotor inefficient”. Sintesis protein tersebut tidak dipengaruhi oleh tingkat laktosa dalam sel. Sebaliknya, promotor normal dari operon lac, secara efisien mengikat RNA polimerase. Pada keadaan tidak terdapat laktosa (noninduced conditions), suatu protein represor aktif (yang dihasilkan oleh  $i^+$ ) berikatan kepada operator  $o^+$ . RNA polimerase tidak dapat berikatan kepada promoter juga tidak membaca urutan operator karena protein represor menempati daerah tersebut. Oleh karena itu, transkripsi ketiga gen struktural pada operon lac dicegah.

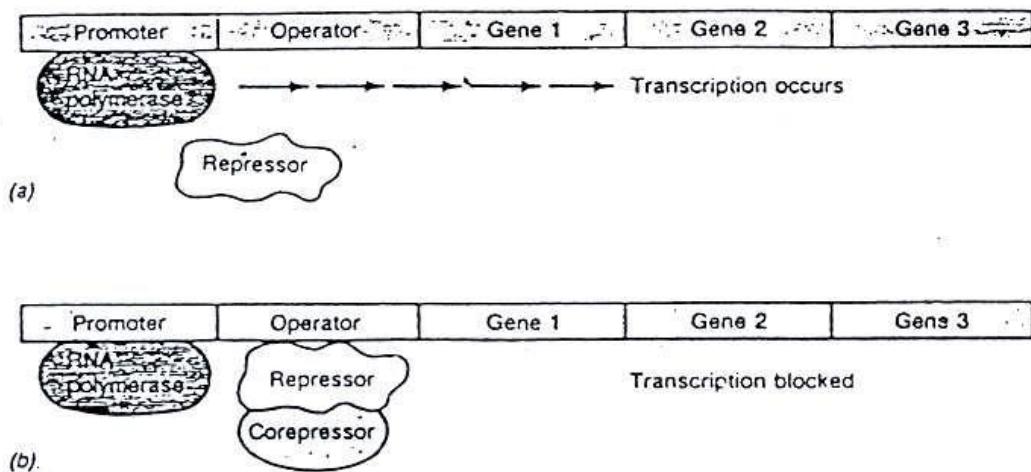
Pada saat terdapat laktosa (“induced conditions”), laktosa tersebut secara tidak efisien ditranspor ke dalam sel karena secara normal hanya terdapat sedikit molekul galaktoside permease. Di dalam sel, beberapa laktosa dapat diubah menjadi alolaktosa oleh ( $\beta$ -galaktosidase). Alolaktosa merupakan “inducer” operon lac. Ia berikatan kepada protein represor dan menyebabkan perubahan konformasional pada protein tersebut yang mengganti tempat yang diikatnya kepada operator. Perubahan konformasional tersebut pada suatu protein sebagai konsekuensi dari pengikatan kepada molekul lain yang disebut “allosteric transformation”. Kompleks “allosteric- repressor” tidak dapat lagi berikatan terhadap operator, dan ia melepaskan DNA. RNA polimerase sekarang dapat membaca operator untuk mentranskripsikan gen struktural pada operon tersebut. Peningkatan sejumlah permease sekarang dapat mentranspor laktosa dalam kuantitas yang besar melintasi membran, dan gula tersebut selanjutnya dipecah oleh ( $\beta$ -galaktosidase. Pada saat laktosa dikosongkan dari medium, protein represor yang baru disintesis tidak akan berpasangan dengan alolaktosa, jadi ia dapat berikatan kepada operator dan menghentikan transkripsi gen struktural pada operon. Selanjutnya, alolaktosa dapat berikatan secara reversibel kepada protein represor, jadi dalam keadaan rendah laktosa dalam sel, alolaktosa cenderung terpisah dari kompleks represor-alolaktosa. Bahkan ketika “sistem lac” tersebut ditekan, kadang-kadang protein represor berdifusi dari operator untuk sementara. RNA polimerase selanjutnya berkemampuan untuk melewati operator terbuka dan mensintesis suatu molekul mRNA polycistronic, jadi menghitung tingkat permease dan

( $\beta$ -galaktosidase yang sangat rendah, yang secara normal terdapat dalam sel. Molekul mRNA bakteri memiliki waktu paruh yang sangat pendek (hanya beberapa menit), jadi sintesis protein berhenti segera setelah sel ditekan (repress). Protein, pada lain pihak sangat stabil, tetapi akan dilarutkan melalui setiap tahap pembelahan sel.

Operon dari gen regulator tersebut (i) pada sistem laktosa hanya mengandung promotor dan gen struktural untuk protein represor. Promotor normalnya sangat tidak efisien, dan hanya sejumlah molekul protein repressor-lac yang terdapat dalam sel. Pada operon dari sebagian besar gen regulator pada sistem lain, suatu lokus operator berdekatan dengan promotornya, dan kemungkinan terjadi autoregulator. Protein represor tersebut dibuat oleh operon ini yang berikatan kepada operator miliknya untuk mengakhiri transkripsi pada saat ditingkatkannya konsentrasi molekul repressor yang berhubungan.

## **2). “Negatif, repressible control”**

Sebuah contoh dari suatu operon yang dapat ditekan (“repressible”) melalui kontrol negatif ditemukan pada “sistem triptofan” E. coli. Asam amino triptofan disintesis dalam lima tahap, masing-masing tahap diperantarai oleh enzim spesifik. Gen-gen yang dapat melakukan respon untuk lima enzim tersebut disusun dalam suatu operon umum pada perintah yang serupa, sebagai protein enzimatiknya menghasilkan fungsi dalam jalur biosintetik. Gen regulator untuk sistem konstitutif ini mensintesis suatu protein nonfungsional yang disebut “aporepressor”. Pada saat triptofan terdapat secara berlebihan, peran triptofan yang berlebihan tersebut sebagai corepressor. Pengikatan corepressor kepada aporepressor membentuk suatu kompleks repressor fungsional. Repressor fungsional tersebut berikatan kepada operator trp dan secara terkoordinir menekan transkripsi semua gen struktural dalam operon. Daerah promoter dan operator overlap secara signifikan, dan secara kompetitif mengikat repressor aktif dan RNA polimerase. Pada saat triptofan dalam keadaan konsentrasi rendah, triptofan dilepaskan dari aporepressor, dan protein aporepressor melepaskan operator. Selanjutnya RNA polimerase dapat mensintesis mRNA polycistronic untuk kelima enzim dari jalur triptofan.



Gambar 19. Proses represi enzim a) repressor tak dapat menghambat operator sehingga terjadi transkripsi, b) adanya corepresor menghambat transkripsi

Mekanisme regulator kedua juga berada dalam sistem triptofan. Pada ujung 5' mRNA "polycistronic operon" ini, 162 basa mengkode segmen untuk lima enzim tersebut. Daerah ini disebut suatu urutan pemimpin/awal (leader sequence). Bagian dari urutan ini ditranskripsikan menjadi peptida awal /14 asam amino. Pada saat triptofan terdapat dalam keadaan berlebihan, transkripsi operon trp yang sedang beristirahat tersebut dicegah karena RNA polimerase menghasilkan suatu urutan terminasi transkripsi; fenomena ini dikenal sebagai atenuasi (pelemahan/penipisan). Dari suatu model yang menjelaskan atenuasi diduga bahwa (ketika triptofan ditingkatkan) pergerakan ribosom bakteri diikuti langsung oleh pergerakan RNA polimerase sebagai pensintesis mRNA, dan semua pasangan basa intramolekuler dicegah untuk kontak dengan ribosom pada segmen mRNA. Pada percobaan tanpa ribosom, hanya mRNA awal yang ditranskripsikan dan tidak terjadi translasi. Segmen awal 1 dan 2 dilipat menjadi batang dan lengkungan A dengan pasangan basa yang komplemen, sedangkan segmen 3 dan 4 melipat menjadi batang dan lekukan C yang berperan sebagai suatu sinyal terminasi transkripsi. RNA polimerase mensintesis urasil ke 7 yang diikuti segmen 4, urasil ini dan daerah pasangan 3-4 mRNA yang berdekatan (hanya bagian yang melipat menjadi batang dan lekukan C) membentuk suatu sinyal terminasi yang menyebabkan RNA polimerase dipisahkan secara prematur/sebelum waktunya dari DNA sebelum dapat mentranskripsikan beberapa segmen pengkode DNA untuk lima enzim dari operon trp. Ketika konsentrasi trp-tRNA teraktifkan dalam keadaan rendah, ribosom mulai

mentranslasi daerah 1, dengan cara tersebut dapat mencegah berpasangannya daerah 1 dan 2.

Walau bagaimanapun ribosom cenderung menghentikan secara sementara (khususnya pada pasangan kodon triptofan), dan hal ini mengijinkan pasangan daerah 2 dan 3 untuk membentuk suatu struktur batang-dan-lekukan B yang disebut antiterminator.; daerah 3 dan 4 dengan cara tersebut dicegah dari pembentukan sinyal terminasi C, dan RNA polimerase diperbolehkan untuk terus mentranskripsi pada operon *trp*. Jika *trp*-tRNA yang teraktifkan meningkat, ribosom diikuti RNA polimerase didekatnya yang tidak dapat membentuk struktur B antiterminator, dan oleh karena itu struktur C terminator terbentuk. Jadi, seluruh peptida awal (tapi tidak satupun dari lima enzim dari operon) dapat ditranslasi dari mRNA terakhir secara prematur/ sebelum waktunya. Mekanisme represor secara kasar mengatur sistem triptofan, sedangkan mekanisme atenuasi mengendalikan konsentrasi triptofan secara halus. Atenuasi operon *trp* juga sensitif terhadap konsentrasi beberapa asam amino selain triptofan. Operon untuk asam amino histidin dan leusin, diduga diatur oleh atenuasi.

Resistensi Terhadap Eritromisin. Kontrol efisiensi translasional oleh struktur sekunder pengganti pada mRNA sudah dicatat pada sistem bakteriofaga dan pada induksi resistensi eritromisin pada *S. aureus* dan *B. subtilis*. Kasus berikut merupakan mekanisme attenuation yang digambarkan di atas, kecuali hal ini merupakan fenomena translasional yang sangat kuat. Seperti dalam atenuasi, suatu peptide pemula dan struktur sekunder pengganti yang terdapat pada ujung 5' mRNA. Pada saat peptide pemula secara efisien ditranslasi, struktur sekunder mRNA menghambat pengikatan ribosom kepada daerah inisiasi urutan pengkode resistensi obat. Namun, pada saat eritromisin terdapat pada taraf rendah, ribosom berhenti pada daerah peptide pemula. Hal ini mencegah pasangan-basa berhubungan dengan kemacetan tempat pengikatan ribosom, jadi protein resisten-obat ditranslasi. Jadi akibatnya adalah resistensi eritromisin diinduksi oleh eritromisin.

### **3). "Positif, Inducible Control"**

Sebuah contoh dari mekanisme regulator inducible positif ditemukan dalam operon arabinosa *E. coli*. Arabinosa merupakan gula yang membutuhkan tiga enzim untuk metaolismenya (dikode oleh *araB*, *araA*, dan *araD*). Dua tambahan gen yang diperlukan untuk transpor arabinosa melintasi membran sel, tapi tidak jauh ditempatkan dari pengkode

kelompok BAD untuk enzim katabolik. Gen regulator *araC* terbuka terhadap promoter untuk kelompok BAD. Produk protein dari *araC* (*AraC*) merupakan suatu repressor kelompok BAD pada saat substrat arabinosa tidak terdapat. Namun, pada saat terdapat arabinosa, protein tersebut berikatan kepada repressor (*AraC*), membentuk kompleks aktivator yang memudahkan pengikatan RNA polimerase kepada promoter, jadi menginduksi transkripsi operon. Cerita terdahulu merupakan penyederhanaan dari kompleksitas yang selanjutnya diketahui sebagai regulasi dari sistem arabinosa. Sebagai contoh, “cyclic adenosine monophosphate” (cAMP) dan “catabolite gene activator protein” (CAP); juga dikenal sebagai protein reseptor cAMP, CRP juga dilibatkan dalam regulasi sistem arabinosa.

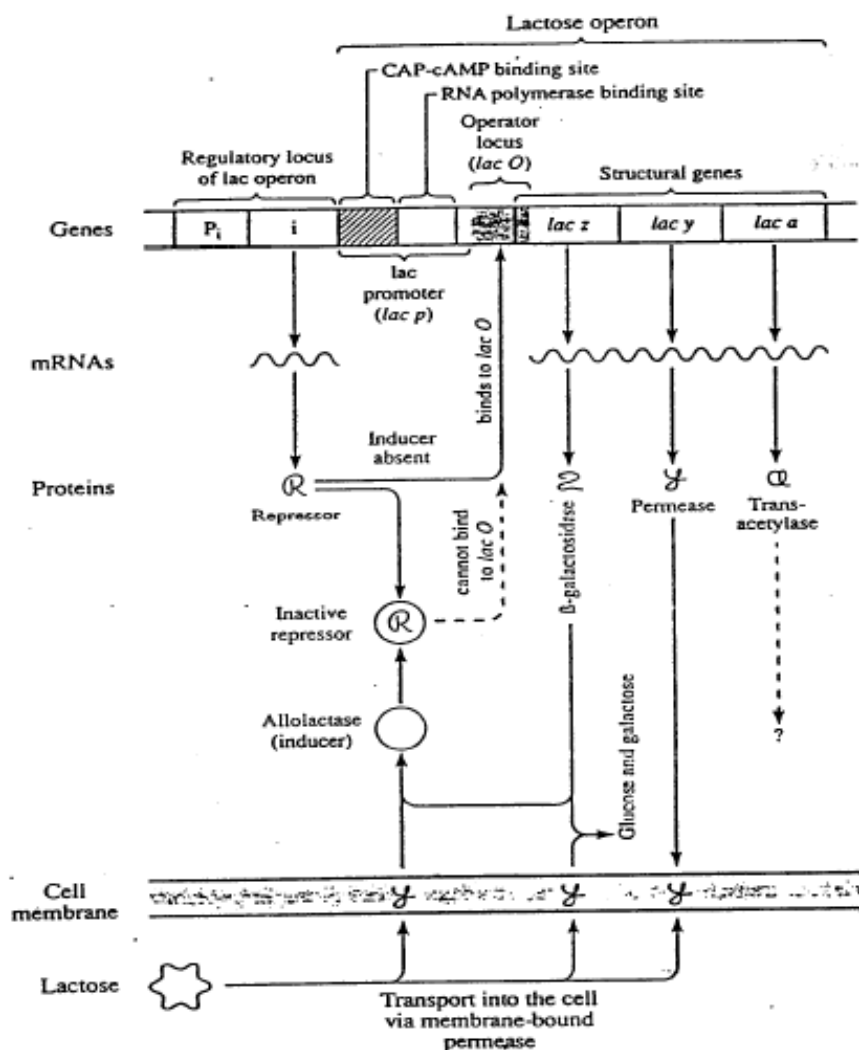
#### **4). “Multiple Control”**

Suatu lokus genetik dapat diatur oleh lebih dari satu mekanisme. Pada saat glukosa tersedia, tidak dibutuhkan pemecahan gula lain, dan gen pengkode-enzim pemecah gula lain tersebut dihentikan sementara. Sebagai contoh, jika glukosa tidak terdapat dan laktosa terdapat dalam medium, operon *lac* akan diinduksi. Tapi jika glukosa terdapat, induksi operon *lac* tidak terjadi. Fenomena ini pada awalnya disebut ‘glucose effect’; sekarang diketahui sebagai ‘catabolite repression’. Kompleks dari peran dua molekul sebagai aktivator dalam repression katabolit, dinamakan cAMP dan CAP. Dalam promoter *lac* tersebut, terdapat tempat untuk mengikat kompleks cAMP-CAP. RNA polimerase hanya berikatan secara efektif kepada promoter jika kompleks cAMP-CAP juga berikatan pada tempat ini. Jika tingkat glukosa meningkat dalam sel, sejumlah cAMP menurun dan kompleks cAMP-CAP kurang tersedia untuk mengaktifkan operon *lac*. CAP dihasilkan pada tingkat rendah dengan lokus genetik miliknya. Enzim adenilat siklase (“adenylcyclase”) merubah ATP menjadi cAMP. Adenilat siklase dapat mengaktifkan menjadi “first messenger” melalui interaksi reseptor sel spesifik dengan target molekulnya; cAMP selanjutnya menghasilkan “second messenger” yang dapat mengatur suatu baterai gen secara terkoordinir.

#### **5). “Post-translation Control”**

Ekspresi gen dapat diatur sesudah protein disintesis (posttranslation control). “Feedback inhibition” (penghambatan produk-akhir) merupakan mekanisme regulasi yang melibatkan penghambatan aktivitas enzimatik. Produk akhir dari suatu jalur sintetik (biasanya suatu molekul kecil seperti asam amino) dapat bergabung secara longgar (jika dalam konsentrasi tinggi) dengan enzim pertama dalam jalur tersebut. Perpaduan ini tidak

terjadi pada tempat katalitik enzim, tapi ia merubah struktur tertier atau kuartener enzim dan karena itu menonaktifkan tempat katalitik. Transformasi alosterik enzim ini memblok aktivitas katalitik dan mencegah hasil yang berlebihan produk akhir dan metabolit perantara dari jalur tersebut. Sebagai contoh, produk akhir isoleusin pada E coli, ketika terdapat dalam konsentrasi tinggi, bersatu dengan enzim pertama dalam jalur sintetiknya dan selanjutnya menghambat seluruh jalur sampai isoleusin menurun ke tingkat normal melalui pemakaian seluler. Senyawa perantara diberi nomor dalam kotak; e = enzim; g = gen.



Gambar 20. Diagram elemen utama pengontrol laktosa operon

**Degradasi Protein.** Mekanisme regulasi protease intraseluler tidak diketahui secara jelas, tetapi diduga mendukung "posttranslational control". Sel bakteri E. Coli paling sedikit mengandung delapan protease yang berbeda, termasuk protease lon, suatu enzim tergantung-ATP yang dapat mendegradasi protein abnormal (termasuk protein yang rusak

dan protein mutan). Pertimbangan dari informasi yang tersedia secara terbatas, protease tersebut dapat memainkan beberapa peran penting dalam regulasi ekspresi gen. Sejumlah kasus induksi protease sudah dicoba secara terperinci. Pertama induksi aktivitas protease selama respon heat-shock. Salah satu dari kondisi yang dapat memicu respon tersebut adalah produksi protein abnormal, dan suhu tinggi yang secara umum mengakibatkan denaturasi protein seluler. Selanjutnya degradasi dan denaturasi protein dapat menjadi suatu fungsi penting dari respon heat-shock. Protein lon diinduksi untuk taraf tinggi selama respon heat-shock, meskipun dihasilkan juga dalam taraf rendah selama pertumbuhan normal sel *E. coli*. Sebagai tambahan, beberapa protein lain diinduksi oleh respon heat-shock dilibatkan dalam degradasi protein melalui jalur bebas dari protease lon. Contoh ke dua terjadi selama sporulasi *B. subtilis*.

Proses pembentukan endospora membutuhkan sintesis beberapa protein baru dan perubahan secara drastis keseluruhan komposisi protein sel. Untuk menyempurnakan pergantian secara besar-besaran ini protease terinduksi mendegradasi suatu bagian yang besar dari protein seluler vegetatif. Kasus ke tiga melibatkan respon SOS, yang dipicu oleh mekanisme posttranslational. Protein *recA* sel bakteri merupakan protein spesifik yang aktif hanya pada saat sel mengalami kerusakan DNA. Aktivitas protease kelihatan menjadi terinduksi oleh pengikatan olegomer DNA pendek dan menyebabkan kerusakan suatu repressor penting. Inaktivasi repressor, dalam hal ini, menyebabkan induksi transkripsional berbagai protein seluler yang memperbaiki kerusakan DNA dan menghambat pembelahan sel menyediakan waktu untuk fungsi perbaikan. Beberapa protein ini akan dirusak pada saat perbaikan sudah selesai, atau sel tidak dapat kembali tumbuh normal.

Protease lon membantu tahap ini, mendegradasi beberapa protein terinduksi untuk mengakhiri respon SOS. Setiap faktor virulensi diatur oleh gen masing-masing yang mengekspresikan protein struktural (penyusun sel mikroorganisme), protein regulator, dan protein nonstruktural (enzim). Ekspresi gen virulensi tersebut dapat terjadi secara konstitutif (tidak memerlukan induksi) atau dapat secara induktif (membutuhkan induksi) dari molekul sinyal yang menyebabkan suatu gen dapat aktif dan/atau berhenti ber-ekspresi. Molekul sinyal tersebut dapat berupa protein, atau senyawa lain yang diinginkan ("attractant") atau tidak diinginkan ("repellent"), yang berada dalam lingkungan sel mikroorganisme. Jadi setiap mikroorganisme khususnya bakteri dapat meng-ekspresikan



gen-gen yang dimilikinya secara konstitutif berdasarkan sifat genetisnya (misalnya, flagela, pili, protein permukaan, kapsul, enzim IgA dan IgG protease) bisaanya berperan dalam invasi dan kolonisasi bakteri pada tubuh inang, sedangkan ekspresi gen induktif tergantung keadaan lingkungan sel mikroorganisme. Bisaanya gen-gen yang bersifat induktif ber-ekspresi dalam keadaan kekurangan nutrisi (enzim asam amino deaminase pada *Proteus* dapat membentuk siderophore untuk mengambil Fe dari lingkungan; enzim  $\beta$ -galaktosidase pada *E.coli* memecah laktosa jika glukosa dalam sel tidak tersedia) atau jika lingkungan dapat mengancam kelangsungan hidup mikroorganisme (misalnya, urease pada *Helicobacter pylori* dibentuk untuk meningkatkan pH lambung; perubahan protein permukaan pada strain *Pneumoniae* menyebabkan bakteri tersebut resisten terhadap antibiotik betalaktam; enzim  $\beta$ -laktamase dibentuk oleh bakteri yang dapat memecah antibiotik  $\beta$ -laktam).

#### **6.2.6. Perbaikan Kerusakan DNA**

Sebagian DNA yang rusak diperbaiki sebelum menyebabkan perubahan menjadi mutasi genetik yang diturunkan. Semua organisme, termasuk bakteri memiliki jalur yang benar-benar kompleks dan efisien untuk memperbaiki berbagai kerusakan pada DNA. Sedangkan *E. coli* tipe-liar secara efisien dapat bertahan dari dosis UV yang sangat tinggi, mutan tanpa kemampuan untuk memperbaiki kerusakan karena UV dibunuh oleh dimer pirimidin tunggal. Perbaikan dimer tersebut menggambarkan strategi umum dari jalur perbaikan DNA utama. Perlu dicatat bahwa pada sebagian besar jalur perbaikan kemungkinan hanya karena dobel-heliks alami DNA. Cetakan rantai yang rusak tersebut bisaanya digunakan untuk mengganti informasi yang hilang pada saat DNA rusak. Perbaikan DNA yang rusak dapat dilakukan dengan cara :

##### **1. Pembalikan Langsung Dari Kerusakan (“Direct Reversal of Damage”)**

Terdapat dua jalur yang sudah difahami untuk memperbaiki kerusakan DNA secara langsung dengan suatu mekanisme pembalikan tunggal. Salah satunya adalah fotoreaktivasi, melibatkan suatu flavoprotein yang disebut fotoliase yang merubah dimer siklobutan kembali menjadi unsur pokoknya yaitu pirimidin. Peran fotoliase membutuhkan cahaya, jadi jalur ini dapat dihentikan dengan penginkubasian bakteri dalam kegelapan. Fotoliase *E. coli* dikode oleh gen *phr*, dan aktivitasnya yang sama dapat dideteksi pada beberapa organisme lain.

Mekanisme pembalikan langsung kedua berperan pada “alkyl-substituted DNA” dan dikatalisis oleh suatu kelompok enzim yang disebut metiltransferase. Gen ada E. coli pengkode suatu protein yang dapat menerima grup metil secara langsung dari DNA, dengan cara demikian dapat membalikkan paling tidak tiga macam kerusakan alkilasi yang berbeda (termasuk 6-metilguanin, lesi premutagenik utama). Grup metil ditransfer ke satu dari dua residu sistein pada protein. Secara menyolok, residu sistein termetilasi tidak dapat dibalikkan, jadi metiltransferase berperan dalam suatu cara “bunuh diri”.

Protein ada juga mengendalikan respon adaptif, suatu jaringan pengatur yang dilibatkan pada perbaikan kerusakan alkilasi. Alkilasi satu dari residu sistein merubah protein ada menjadi suatu positif regulator yang mengaktifkan transkripsi paling sedikit tiga operon. Satu dari operon pengkode ada oleh karena itu alkilasi protein ada menghasilkan banyak protein ada. Operon kedua termasuk suatu “methylated-base-specific DNA glycosylase” yang menghancurkan kerusakan menjadi suatu jalur perbaikan eksisi. Minimal dua jalur dari perbaikan alkilasi diinduksi oleh respon adaptif, memulai suatu peningkatan yang besar dalam pertahanan hidup sesudah pemberian dengan zat penyebab alkilasi.

## **2. Perbaikan Eksisi/pengeluaran (“Excision Repair”)**

Jalur perbaikan eksisi lazim dalam semua organisme yang diteliti dan merupakan mekanisme umum terpenting dari perbaikan DNA. Seluruh proses perbaikan eksisi melibatkan pemotongan satu rantai DNA dekat kerusakan, pengeluaran bagian rantai yang mengandung basa yang rusak, resintesis melalui gap, dan selanjutnya ligasi/menyambung untuk menyimpan heliks ganda yang utuh. Serangkaian kompleks reaksi tersebut membutuhkan bantuan beberapa protein yang sama yang dilibatkan pada replikasi genom, dengan DNA polimerase I bisaanya menyelenggarakan sintesis pengganti pada E. coli. Fokus di sini ialah pada reaksi perbaikan eksisi awal, dan dikatalisis oleh beberapa kompleks protein yang mengenali bentuk kerusakan tertentu.

Proses perbaikan eksisi dari dimer siklobutan terinduksi-UV pada E. coli dimulai dengan peran suatu kompleks endonuklease yang dikode oleh tiga gen, uvrA, uvrB, dan uvrC. Nuklease tersebut mengenal lesi DNA, memotong/insisi rantai yang rusak pada setiap sisi lesi, dengan cara demikian mengeluarkan oligosakarida dari basa 12 atau 13 yang mengandung lesi. Resintesis menggunakan rantai komplemen sebagai cetakan dan penggabungan akhir melengkapi proses perbaikan tersebut. Bukti yang ada sekarang enzim tersebut dapat berfungsi bersama, dengan terkoordinir reaksi insisi dan resintesis. Nuklease

uvrABC mengenali kerusakan yang terinduksi-UV dan secara kovalen terserang daerah lesi, kemungkinan dengan penggunaan suatu gross perturbation pada DNA.

### **3. Perbaikan “Bypass” dan Sistem SOS**

Suatu rangkaian khusus dari reaksi perbaikan dibawa oleh protein yang secara khusus diinduksi dalam merespon bentuk kerusakan DNA tertentu. Dalam respon terhadap kerusakan DNA, *E. coli* menginduksi suatu regulon global yang mempengaruhi bermacam-macam proses termasuk perbaikan DNA, mutagenesis, rekombinasi, dan pembelahan sel. Dua kunci elemen pengatur pada regulon SOS ini adalah produk dari gen *recA* dan *lexA*. Protein *recA* merupakan enzim multifungsional yang terlibat dalam beberapa reaksi penting yang melibatkan DNA dan juga berfungsi sebagai protease pada saat terjadi kerusakan DNA. Proteolisis terinduksi melakukan degradasi protein *lexA*, yang secara normal merupakan repressor semua operon pada regulon SOS. Satu dari gen tersebut dikendalikan *lexA* merupakan *recA* dengan sendirinya, dan oleh karena itu sintesis protein *recA* diinduksi oleh kerusakan DNA dalam suatu putaran balik (feedback loop).

Aktivasi fungsi protease dari protein *recA* tidak secara lengkap difahami. Bukti yang sekarang ada menunjukkan bahwa beberapa sinyal yang cukup, dan termasuk lesi DNA tertentu (seperti fotoproduk UV), oligosakarida DNA pendek yang dihasilkan dari perbaikan DNA, dan rantai-tunggal DNA yang dihasilkan dari penghambatan replikasi kromosom. Hal ini terhitung untuk fakta bahwa respon SOS diinduksi oleh berbagai pemberian mutagenik dan oleh kondisi nonmutagenik yang menghentikan replikasi. Protein yang diinduksi pada regulon SOS dilibatkan dalam berbagai proses yang meningkatkan pertahanan hidup dalam kondisi lingkungan yang ekstrim. Beberapa protein yang dilibatkan dalam perbaikan eksisi (produk *uvrABC*) dan dua jalur perbaikan baru, secara langsung akan menghilangkan kerusakan kromosom. Satu dari jalur ini menimbulkan banyaknya mutasi, dan dapat meningkatkan viabilitas genetik dalam menghadapi tekanan lingkungan yang ekstrim. Suatu penghambat pembelahan sel juga diinduksi, diduga memberi perubahan pada sel tersebut untuk memperbaiki seluruh lesi sebelum dipisahkan.

Satu dari jalur perbaikan yang terinduksi disebut perbaikan rekombinasi atau “daughter-strand-gap repair” dan melalui cara sebagai berikut. Pada saat replikasi terjadi secara normal mereaksikan tempat kerusakan DNA (contoh, dimer pirimidin), secara singkat meloncati segmen DNA dan mulai mensintesis lagi cetakan DNA. Hal tersebut meninggalkan suatu gap dari rantai-tunggal DNA (“parental strand”) termasuk lesi DNA. Karena

pembelahan sel dihambat, dua kromosom yang dihasilkan oleh replikasi akan dikandung dalam sel yang sama, daughter-strand-gap repair melibatkan splicing daerah yang lengkap dari masing-masing DNA secara bersama-sama membentuk kromosom yang tidak rusak. Jalur perbaikan ini merupakan suatu bentuk khusus dari rekombinasi dan seperti reaksi rekombinasi lain secara kritis tergantung protein recA. Perbaikan "Error-prone". Jalur terinduksi kedua adalah luar biasa karena sifat mutagenesisnya dan oleh karena itu disebut error-prone repair.

Meskipun mekanisme rinci perbaikan error-prone tidak tentu, proses tersebut mungkin menghasilkan mutasi melalui penggandaan cetakan DNA yang rusak dengan sedikit atau tidak memperhatikan aturan normal pasangan basa. Sebagian besar mutasi yang dihasilkan terjadi pada tempat lesi (mutagenesis target), dengan sendirinya lesi terlihat memicu spesifisitas relaxed replikasi. Bukti yang ada sekarang menunjukkan bahwa protein recA multifungsional berikatan secara khusus kepada tempat kerusakan UV pada DNA rantai-tunggal, dan sejumlah penelitian memperlihatkan bahwa recA dibutuhkan untuk menginduksi mutagenesis. Pada model yang sederhana, protein recA berikatan kepada tempat kerusakan, merubah satu DNA polimerase menjadi suatu bentuk dengan spesifisitas relaxed. Sebagai tambahan, DNA polimerase secara normal tidak mereplikasi melalui suatu daerah yang rusak pada DNA. Jalur perbaikan error-prone tidak terbatas pada bakteri karena sel hewan memperlihatkan bukti yang jelas dari induksi perbaikan DNA dan mutagenesis.

Peristiwa penyebaran jalur ini menimbulkan beberapa dugaan yang menarik. Mutagenesis bakteri diinduksi oleh berbagai kondisi yang merusak DNA dan juga kondisi yang secara singkat memblok replikasi. Oleh karena itu mutagenesis terinduksi dapat digambarkan sebagai mekanisme untuk menurunkan keragaman genetik pada waktu stress ekstrim. Spesiasi yang sangat cepat ("saltatory evolution") diduga dari berbagai pendekatan genetik dan paleobiologi, dan hal ini kemungkinan bahwa jalur mutagenesis terinduksi memainkan peranan. Jalur perbaikan "error-prone" dari sel mammalia juga memainkan beberapa peran penting dalam karsinogenesis, karena beberapa mutagen yang sama yang menginduksi perbaikan error-prone (pada bakteri) ialah di antara karsinogen kuat.

### **6.2.7. Rekayasa Genetika**

Sejarah rekayasa genetika dimulai sejak Mendel menemukan faktor yang diturunkan. Ketika Oswald Avery (1944) menemukan fakta bahwa DNA membawa materi genetik, makin banyak penelitian yang dilakukan terhadap DNA. Ilmu terapan ini dapat dianggap sebagai cabang biologi maupun sebagai ilmu-ilmu rekayasa (keteknikan). Dapat dianggap, awal mulanya adalah dari usaha-usaha yang dilakukan untuk menyingkap material yang diwariskan dari satu generasi ke generasi yang lain. Ketika para ahli mulai mengetahui bahwa kromosom adalah material yang membawa bahan terwariskan itu (disebut gen) maka itulah awal mula ilmu ini.

Para ahli berusaha melawan gen-gen perusak dalam inti sel dengan berbagai cara rekayasa genetika. Upaya yang dirintis tersebut dikenal dengan istilah terapi genetik. Terapi genetik adalah perbaikan kelainan genetik dengan memperbaiki gen. Hal inilah yang melatar belakangi diciptakannya rekayasa genetik dengan berbagai tujuan dengan melewati proses-proses tertentu.

Rekayasa genetika dapat diartikan sebagai Kegiatan manipulasi gen untuk mendapatkan produk baru dengan cara membuat DNA rekombinan melalui penyisipan gen. DNA rekombinan adalah DNA yang urutannya telah direkombinasikan agar memiliki sifat-sifat atau fungsi yang kita inginkan sehingga organisme penerimanya mengekspresikan sifat atau melakukan fungsi yang kita inginkan. Obyek rekayasa genetika mencakup hampir semua golongan organisme, mulai dari bakteri, fungi, hewan tingkat rendah, hewan tingkat tinggi, hingga tumbuh-tumbuhan. Bidang kedokteran dan farmasi paling banyak berinvestasi di bidang yang relatif baru ini. Sementara itu bidang lain, seperti ilmu pangan, kedokteran hewan, pertanian (termasuk peternakan dan perikanan), serta teknik lingkungan juga telah melibatkan ilmu ini untuk mengembangkan bidang masing-masing.

Salah satu penelitian yang memberikan kontribusi terbesar bagi rekayasa genetika adalah penelitian terhadap transfer (pemindahan) DNA bakteri dari suatu sel ke sel yang lain melalui lingkaran DNA kecil yang disebut Plasmid. Plasmid adalah gen yang melingkar yang terdapat dalam sel bakteri, tak terikat pada kromosom. Melalui teknik plasmid dalam rekayasa genetika tersebut, para ahli di bidang bioteknologi dapat mengembangkan tanaman transgenik yang resisten terhadap hama dan penyakit.

Penemuan struktur DNA menjadi titik yang paling pokok karena dari sinilah orang kemudian dapat menentukan bagaimana sifat dapat diubah dengan mengubah komposisi DNA, yang adalah suatu polimer bervariasi. Tahap-tahap penting berikutnya adalah serangkaian penemuan enzim restriksi (pemotong) DNA, regulasi (pengaturan ekspresi) DNA (diawali dari penemuan operon laktosa pada prokariota), perakitan teknik PCR, transformasi genetik, teknik peredaman gen (termasuk interferensi RNA), dan teknik mutasi terarah (seperti Tilling). Sejalan dengan penemuan-penemuan penting itu, perkembangan di bidang biostatistika, bioinformatika dan robotika/automasi memainkan peranan penting dalam kemajuan dan efisiensi kerja bidang ini.

Dalam rekayasa genetika, ada kode etik yang melarang keras percobaan ini pada manusia. Akan tetapi, para ahli tidak selamanya bersikap kaku sebab berbagai penyakit fatal memang sulit disembuhkan kecuali dengan terapi genetik. Maka muncul pendapat tentang perlu adanya dispensasi. Dispensasi itu dikeluarkan oleh Komite Rekayasa Genetika dari Nasional Institute of Health (NIH) Amerika Serikat pada pertengahan tahun 1990.

Tahap-tahap rekayasa genetik meliputi :

1. Mengidentifikasi gen dan mengisolasi gen yang diinginkan.
2. Membuat DNA/AND salinan dari ARN Duta.
3. Pemasangan cDNA pada cincin plasmid
4. Penyisipan DNA rekombinan kedalam tubuh/sel bakteri.
5. Membuat klon bakteri yang mengandung DNA rekombinan
6. Pemanenan produk

Manfaat rekayasa genetik antara lain :

1. Meningkatnya derajat kesehatan manusia, dengan diproduksinya berbagai hormon manusia seperti insulin dan hormon pertumbuhan.
2. Tersedianya bahan makanan yang lebih melimpah.
3. Tersedianya sumber energi yang terbarui.
4. Proses industri yang lebih murah.
5. Berkurangnya polusi

Setiap makhluk hidup mempunyai gen. Gen merupakan penentu sifat yang terdapat di dalam kromosom. Apabila gen ini berubah, maka sifat dari makhluk hidup juga berubah, sehingga banyak ahli yang memanfaatkan untuk mengubah gen dengan tujuan mendapatkan organisme baru yang memiliki sifat sesuai yang dikehendaki. Proses pengubahan gen-gen ini disebut dengan nama rekayasa genetika. Ada beberapa macam rekayasa genetika di antaranya adalah rekombinasi DNA, fusi sel, dan transfer inti.

#### **a. Rekombinasi DNA**

Hal yang mendasar dan sangat penting dalam makhluk hidup adalah jika terjadi proses reproduksi secara seksual yang normal, maka akan terjadi pemisahan dan penggabungan kembali molekul-molekul DNA dari kromosom. Teknik pemisahan dan penggabungan ini dijadikan oleh ilmuwan untuk lebih dikembangkan. Setiap jenis makhluk hidup mempunyai struktur DNA yang sama, untuk itulah DNA dari satu spesies dapat disambungkan dengan DNA dari spesies yang lain, dengan tujuan agar mendapatkan sifat yang baru. Proses penyambungan ini dikenal dengan nama rekombinasi DNA.

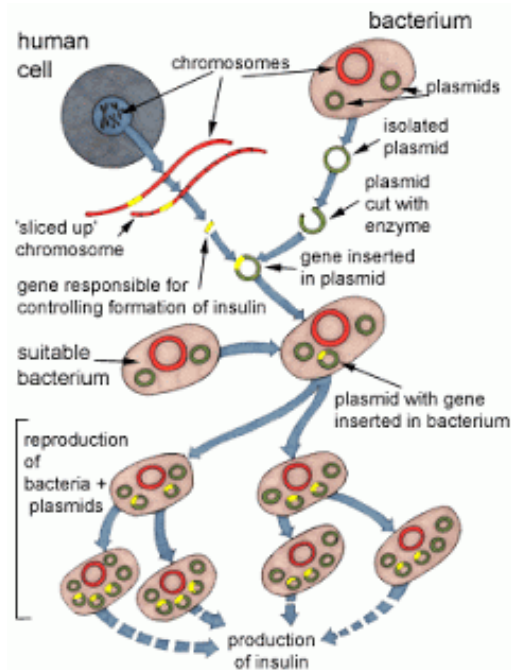
Teknik menyambung gen ini telah berhasil dan sukses dalam menghasilkan gen baru. Para ahli menggunakan teknik rekayasa genetika dengan menggunakan mikroba-mikroba seperti bakteri untuk membuat substansi yang tidak dapat dibuat oleh organisme yang direkayasa. Tetapi pengenalan gen-gen dalam bakteri jauh lebih sulit, karena para ahli harus mendapatkan gen yang diinginkan kemudian menggabungkan ke dalam DNA dari bakteri.

Gen yang diinginkan ini akan dihubungkan menjadi suatu lingkaran DNA bakteri kecil yang disebut dengan plasmid. Kemudian plasmid ini siap untuk memasuki sel bakteri dan akan direplikasi bersama-sama DNA selnya sendiri. Dengan cara ini, maka semua gen plasmid dan sel-selnya seperti gengen aslinya. Selanjutnya, plasmid ini akan diteruskan dari satu sel ke sel lainnya dengan cara transformasi. Untuk menghubungkan gen-gen asing ke dalam plasmid memerlukan rekombinasi genetik. Berikut ini produk-produk yang telah berhasil dalam rekombinasi gen.

##### **1) Pembuatan Insulin**

Saat ini banyak sekali orang yang menderita penyakit kencing manis (diabetes mellitus). Penderita diabetes akan mengalami kekurangan hormon insulin. Para ilmuwan telah berhasil mengatasi penyakit ini dengan cara gen penghasil insulin manusia diambil dari DNA sel manusia, yaitu dengan memotong DNA sel manusia dengan menggunakan enzim pemotong (enzim restriksi). Gen yang menghasilkan insulin ini akan disambungkan pada

plasmid bakteri *Escherichia coli* dengan menggunakan enzim ligase. Hasil sambungan ini kemudian dimasukkan ke dalam sel bakteri *Escherichia coli*, sehingga bakteri tersebut sudah mengandung gen insulin manusia.



Gambar 21. Rekayasa genetik dalam pembuatan sel insulin

Spesies ini dipelihara dalam tempat yang khusus untuk dikembangbiakkan dengan tujuan agar dapat memproduksi insulin manusia. Rekombinasi gen dalam pembuatan insulin ini memiliki keunggulan, yaitu insulin yang dihasilkan lebih murni karena mengandung protein manusia sehingga insulin ini bisa diterima oleh tubuh manusia, biaya lebih murah dibandingkan dengan pembuatan insulin menggunakan gen pankreas hewan, prosesnya dapat dihentikan sampai kapan pun karena bakteri dapat disimpan sampai diperlukan lagi.

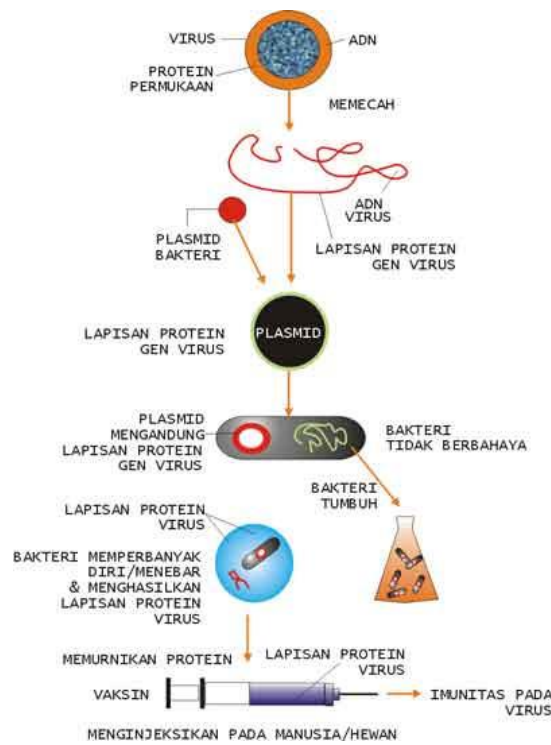
## 2) Pembuatan Vaksin Hepatitis

Saat ini vaksin hepatitis sudah tersedia, sehingga anak-anak maupun orang dewasa dianjurkan untuk melakukan vaksinasi hepatitis. Hepatitis merupakan penyakit hati yang disebabkan oleh virus, ingatlah kembali pelajaran tentang virus di kelas X. Virus terdiri atas selubung protein dan DNA-nya. Jika bagian selubung protein ini dimasukkan dalam tubuh manusia, maka tubuh akan membentuk antibodi sehingga tubuh dapat menangkal virus yang masuk.

Saat ini sudah berhasil diisolasi gen yang menghasilkan selubung protein tanpa menghasilkan DNA-nya. Caranya hampir sama dengan pembuatan insulin, yaitu gen



tersebut dimasukkan ke dalam sel ragi *Saccharomyces* sehingga sel ragi ini akan menghasilkan protein virus yang tidak berbahaya bagi tubuh kita. Jika protein tersebut disuntikkan ke dalam tubuh, maka tubuh akan memproduksi antibodi, akibatnya orang yang disuntik akan kebal dari serangan virus hepatitis.



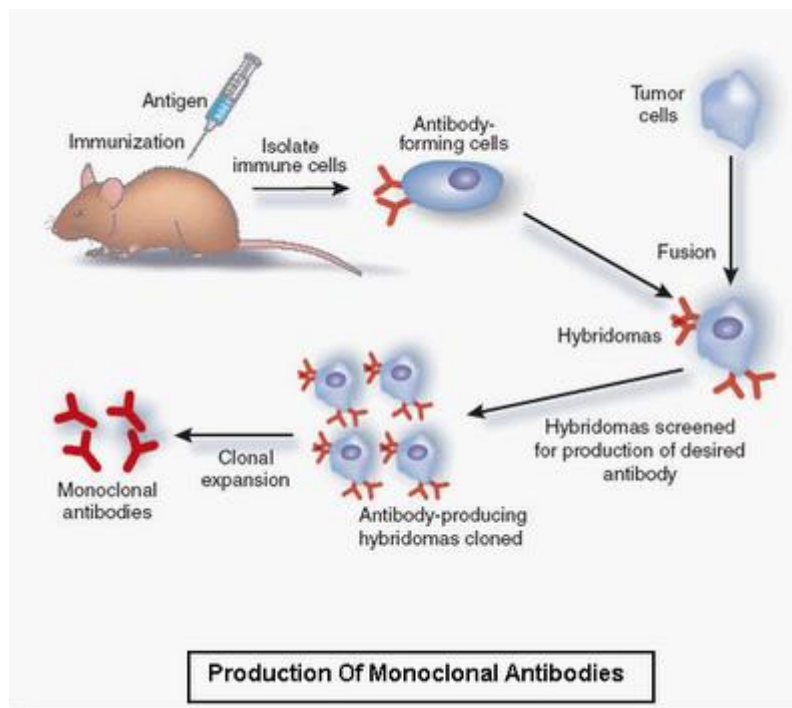
Gambar 22. Pembuatan vaksin hepatitis

### b. Teknologi Hibridoma

Teknologi hibridoma dikenal dengan fusi sel, yaitu peleburan/fusi dua sel yang berbeda menjadi kesatuan tunggal yang mengandung gen-gen dari kedua sel asli. Sel yang dihasilkan dari fusi ini dinamakan hibridoma (hibrid = sel asli yang dicampur, oma = kanker). Hibridoma ini sering digunakan untuk memperoleh antibodi dalam pemeriksaan kesehatan dan pengobatan. Apabila sel-sel sekali melebur menjadi satu, maka sel-sel ini akan menghasilkan protein yang sangat baik. Misalnya, antibodi monoklonal dapat digunakan untuk mendiagnosis penyakit, tes kehamilan, dan mengobati kanker. Berikut ini contoh dari keberhasilan dari fusi sel.

## 1) Fusi Sel Manusia dengan Sel Tikus

Sel limfosit manusia mampu menghasilkan antibodi, tetapi jika dikultur dan dipelihara proses pembelahannya sangat lambat. Sel manusia tersebut difusikan dengan sel kanker tikus dengan tujuan dapat membelah dengan cepat karena sel tikus mengandung mieloma yang mempunyai kemampuan untuk membelah dengan cepat. Hibridoma yang terbentuk akan mendapatkan antibodi (sifat sel manusia) dan mampu untuk membelah dengan cepat (sifat sel kanker tikus).



Gambar 23. Produksi monoclonal antibody manusia yang difusikan pada sel tikus

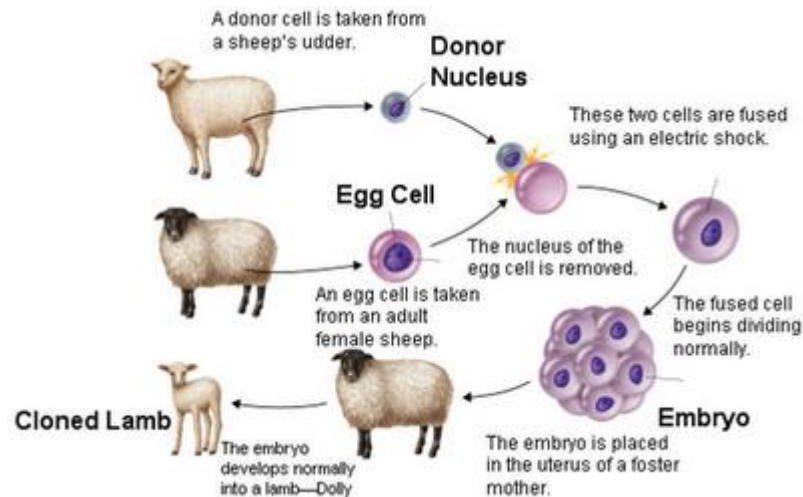
## 2) Fusi Sel Tomat dan Kentang

Fusi sel tumbuhan sering disebut dengan fusi protoplasma karena dalam fusi sel antartumbuhan ini dinding sel tumbuhan yang tersusun atas selulosa harus dihancurkan oleh enzim terlebih dahulu, maka tinggalah protoplasma untuk difusikan. Misalnya, tanaman tomato, yaitu tanaman baru yang berbuah tomat dan berumbi kentang.

### c. Transfer Inti (Kloning)

Transfer inti merupakan proses pemindahan inti sel tubuh ke dalam sel telur tanpa inti, sehingga sel telur tersebut akan membelah diri dan menjadi embrio. Transfer inti sebenarnya adalah kloning inti. Transfer inti pertama kali dilakukan oleh John Guardon yang

dicobakan pada katak. Pada mulanya ovum pada katak dirusak intinya dengan radiasi, kemudian dimasukkan sel inti tubuh lainnya, yaitu sel somatik usus katak lainnya, maka akan tumbuh zigot baru dan akan tumbuh menjadi katak. Proses ini merupakan reproduksi paraseksual karena bukan merupakan reproduksi seksual dan aseksual. Keberhasilan transfer inti adalah dilakukannya kloning domba 'Dolly'.



Gambar 24. Proses cloning sel domba

Inti sel tubuh yang diambil dari jaringan kelenjar susu domba bermuka putih, sedangkan ovumnya diambilkan dari domba betina yang bermuka hitam yang intinya telah dirusak sehingga menjadi ovum tak berinti. Selanjutnya, inti sel tubuh domba muka putih dimasukkan ke dalam ovum domba muka hitam dan dipelihara sampai mencapai tahap blastula, kemudian dimasukkan ke dalam uterus domba bermuka hitam, dan hasilnya akan lahirlah domba Dolly. Bagaimana dengan kloning pada tumbuhan? Secara tidak sengaja kita sebenarnya sudah melakukan kloning pada tumbuhan, yaitu saat mencangkok, menyetek, tetapi hasilnya tidak banyak menghasilkan individu baru.

## REKAYASA GENETIKA DALAM AKUAKULTUR

Pada akuakultur juga dapat dilakukan bioteknologi molekular, artinya memanipulasi organisme pada taraf selular. Bioteknologi molekular ini dapat dimanfaatkan dalam bidang kelautan untuk mengembangkan bahan alami, obat-obatan, dan meningkatkan kualitas benih. Pada budidaya ikan hias, rekayasa genetika dapat dilakukan untuk mencari induk yang unggul. Dengan mengkombinasikan sifat unggul dari indukan jantan dan betina, hingga dihasilkan benih yang unggul dan dapat menjadi indukan yang unggul. Cara yang digunakan

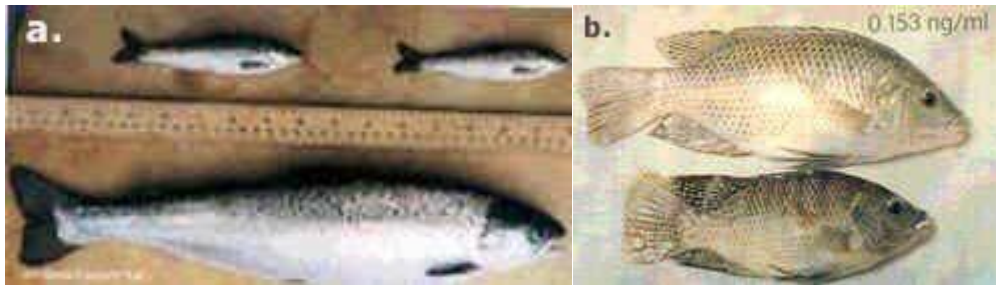
ialah dengan *inbreeding* yaitu dengan mengawinkan individu yang memiliki kekerabatan dekat dengan tujuan mendapatkan keturunan yang unggul dalam satu sifat (homozygot), misalnya sifat tahan terhadap penyakit. Namun, *inbreeding* memiliki dampak positif dan negatif. Dampak positifnya ialah dapat diperoleh benih yang baik, namun dampak negatifnya ialah menurunnya kualitas. Selain itu, rekayasa genetika juga dapat digunakan untuk memperbanyak jumlah benih yang dihasilkan.

Rekayasa genetika juga dapat digunakan untuk mendapatkan pakan dengan kualitas yang baik. Pada budidaya ikan hias, umumnya menggunakan pelet dan pakan dari zooplankton dan fitoplankton. Dengan merekayasa zooplankton dan fitoplankton untuk bisa menghasilkan energi lebih banyak, sehingga dapat membuat ikan lebih sehat dan tumbuh lebih cepat. Namun, teknologi rekayasa genetika ini masih sangat mahal dan sulit digunakan untuk budidaya skala kecil dan menengah.

Salah satu pendekatan terkini yang diharapkan dapat meningkatkan produksi adalah teknologi transgenesis. Teknologi transgenesis merupakan suatu teknik rekayasa genetik dengan cara mengintroduksi gen yang khas pada ikan tertentu untuk mendapatkan keunikan yang memiliki nilai tambah. Teknologi transgenesis ini telah diaplikasikan pada bidang akuakultur sejak tahun 1985 di Cina dengan mengintroduksi gen pengkode hormon pertumbuhan yang berasal dari manusia pada ikan maskoki. Sejak itu, teknologi transfer gen mulai dikembangkan di beberapa negara dengan fokus penelitian pada transfer gen hormon pertumbuhan. Pada penelitian selanjutnya di gunakan gen hormon pertumbuhan (Growth Hormone/GH) dari ikan, gen anti beku, gen pengatur sintesa DHA, gen anti penyakit dan gen pengatur warna.

Aplikasi teknologi transgenesis pada ikan budidaya Indonesia baru diperkenalkan pada tahun 2009. Ikan lele merupakan ikan air tawar yang sangat digemari oleh masyarakat karena dagingnya empuk dan tidak terdapat banyak duri dalam tubuhnya. Kebutuhan ikan lele saat ini belum terpenuhi, untuk memenuhi kebutuhan benih tersebut harus dilakukan program pembenihan ikan lele yang intensif. perbaikan mutu ikan dapat dilakukan dengan beberapa strategi, antara lain dengan cara seleksi, hibridisasi, silang balik, ginogenesis maupun transgenik. Perbaikan mutu ikan lele secara konvensional dapat dilakukan dengan selective breeding dan hibridisasi. Sedangkan perbaikan mutu ikan lele secara bioteknologi dapat dilakukan dengan cara menerapkan teknologi transgenesis yang akan meningkatkan pertumbuhan. Teknologi transgenesis adalah suatu proses mengintroduksikan satu atau

lebih DNA asing ke hewan uji dengan tujuan untuk memanipulasi genotipenya kearah yang lebih baik dan selanjutnya dapat ditransmisikan ke keturunannya.



Gambar 25. a. perbandingan ikan salmon transgenik dengan nontransgenik  
b. Perbandingan ikan nila transgenik dan nontransgenik

Ada tiga tahapan utama untuk menghasilkan ikan transgenik yaitu :

- a. mempersiapkan konstruksi gen yang tersusun atas gen penyandi protein tertentu dan elemen regulator yang mengontrol/mengendalikan ekspresi gen,
- b. mengintroduksi konstruksi gen ke dalam inti sel embrio yang sedang berkembang supaya bisa didistribusikan ke semua jaringan tubuh ikan,
- c. mengidentifikasi individu ikan yang mengekspresikan gen asing atau transgen karena tidak semua transgen yang ditransfer akan efektif dan tidak semua konstruksi gen akan bekerja sesuai dengan yang diinginkan.

### **Kegiatan**

Dalam proses belajar mengajar agar TIU dan TIK pada materi ini tercapai maka Kegiatan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mahasiswa mendengarkan penjelasan yang dilakukan oleh dosen
2. Dosen membagi mahasiswa dalam 6 kelompok dan mendiskusikan mengenai genetika bakteri dan satu rekayasa genetika.
3. Mahasiswa berdiskusi, lalu membuat laporan hasil diskusi kelas dan mempresentasikannya pada pertemuan berikutnya.

## **Rangkuman**

1. Genom bakteri merupakan materi genetik yang mengatur pewarisan sifat dalam suatu sel bakteri, genom bakteri terdiri dari DNA kromosom, RNA dan Plasmid serta materi genetik tambahan lainnya.
2. Plasmid merupakan materi genetik ekstrakromosomal yang umumnya berbentuk sirkuler dan dapat bereplikasi sendiri. Plasmid ini berperan dalam fungsi-fungsi khusus, seperti dalam resistensi obat, penghasil toksin, penghasil enzim-enzim khusus dll.
3. Sintesis protein pada bakteri pada prinsipnya sama dengan sintesis protein yang terjadi pada sel eukariot. Pada sel bakteri karena tidak memiliki membran ini, maka proses translasi diikuti langsung dengan proses translasi tanpa mengalami proses splicing. Pengaturan sintesis protein pada sel bakteri dilakukan oleh sistem regulator yaitu lac operon atau typ.operon. Pengaturan sintesis protein ini melibatkan gen-gen regulator dan gen struktural yang bekerja dalam satu kesatuan.
4. Rekayasa genetika semakin berkembang sebagai salah satu bagian dari bioteknologi. Penerapannya dibidang akuakultur juga semakin berkembang dengan tujuan untuk meningkatkan produksi, baik berupa kuantitas maupun kualitasnya.

## **6.3. PENUTUP**

### **Tes formatif**

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan jelas!

1. Jelaskan karakteristik materi genetik bakteri jika dibandingkan dengan materi genetik sel eukariot !
2. Bagaimanakah mutasi dapat terjadi ? Apa keuntungan dan kerugiannya bagi sel bakteri ?
3. Sebutkan tujuan dilakukannya rekayasa genetika dalam akuakultur !
4. Sebutkan tahap-tahap yang harus dilakukan untuk menghasilkan ikan transgenik !

## **VII. PENGENDALIAN MIKROBA**

### **7.1. PENDAHULUAN**

#### **7.1.1. Deskripsi Singkat**

Bahan ajar Pengendalian Mikroba ini berisi uraian mengenai pertumbuhan mikroba, dalam hal ini bakteri. Pengetahuan tentang pertumbuhan mikroba ini kemudian dilanjutkan dengan metode pengendalian yang dilakukan agar populasi mikroba dapat tetap dikontrol, terutama mikroba yang merugikan bagi kehidupan manusia.

Materi yang dimuat pada bahan ajar Pengendalian Mikroba ini meliputi :

1. Pertumbuhan Bakteri
2. Arti Pentingnya Pengendalian Mikroba
3. Pengendalian Secara Fisik dan Kimia
4. Antibiotik dan Resistensi

#### **7.1.2. Manfaat/relevansi**

Bahan ajar Pengendalian Mikroba ini diharapkan mampu menjadi bahan informasi dan acuan agar mahasiswa mampu memahami mengenai pertumbuhan bakteri sebagai satu diantara mikroba yang penting dalam kehidupan. Dengan mengetahui persyaratan hidup mikroba maka dapat dilakukan penegndalian bagi penyebaran atau pertumbuhan beberapa jenis bakteri yang merugikan. Penggunaan beberapa metode pengendalian dan antibiotic harus mempertimbangkan keamanan dan efektivitas bahan atau metode terhadap pertumbuhan bakteri tersebut.

#### **7.1.3 Tujuan Instruksional Khusus**

Mahasiswa dapat mengetahui dan memahami pengendalian mikroba secara umum.

### **7.2. PENYAJIAN**

#### **7.2.1. Pertumbuhan Bakteri**

##### **A. NUTRISI PERTUMBUHAN BAKTERI**

Semua bentuk kehidupan mempunyai persamaan dalam hal persyaratan nutrisi berupa zat–zat kimiawi yang diperlukan untuk pertumbuhan dan aktivitas lainnya. Nutrisi

bagi pertumbuhan bakteri, seperti halnya nutrisi untuk organisme lain mempunyai kebutuhan akan sumber nutrisi, yaitu :

1. Bakteri membutuhkan sumber energi yang berasal dari energi cahaya (fototrof) dan senyawa kimia (kemotrof).
2. Bakteri membutuhkan sumber karbon berupa karbon anorganik (karbon dioksida) dan karbon organik (seperti karbohidrat).
3. Bakteri membutuhkan sumber nitrogen dalam bentuk garam nitrogen anorganik (seperti kalium nitrat) dan nitrogen organik (berupa protein dan asam amino).
4. Bakteri membutuhkan beberapa unsur logam (seperti kalium, natrium, magnesium, besi, tembaga dsb).
5. Bakteri membutuhkan air untuk fungsi – fungsi metabolik dan pertumbuhannya.

Bakteri dapat tumbuh dalam medium yang mengandung satu atau lebih persyaratan nutrisi seperti di atas. Keragaman yang luas dalam tipe nutrisi bakteri, memerlukan penyiapan medium yang beragam untuk menumbuhkannya. Medium pertumbuhan bakteri dapat dikelompokkan berdasarkan kriteria, seperti berdasarkan sumbernya, tujuan kultivasi, status fisik dsb. Beberapa media untuk pertumbuhan bakteri dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 4. Beberapa medium pertumbuhan bakteri

DASAR PENGGELOMPOKKAN	CIRI	CONTOH
Sumber nutrient	Alamiah Buatan	Susu Campuran zat-zat kimia
Status fisik	Padat Semi padat Cair	Kaldu agar Agar lunak Kaldu cair
Identifikasi bakteri	Kompleks (komposisi kimia tak diketahui)	Agar nutrisi
Menunjang pertumbuhan bakteri sulit tumbuh	Medium pengaya	Kaldu infusi jantung
Perbedaan pertumbuhan	Medium diferensial	Agar eosin metilin biru (EMB)-agar
Pertumbuhan selektif	Medium selektif	Salmonella-Shigella agar
Pengukuran kuantitatif	vitamin dan antibiotik	Medium uji vitamin B12



## B. PERTUMBUHAN BAKTERI

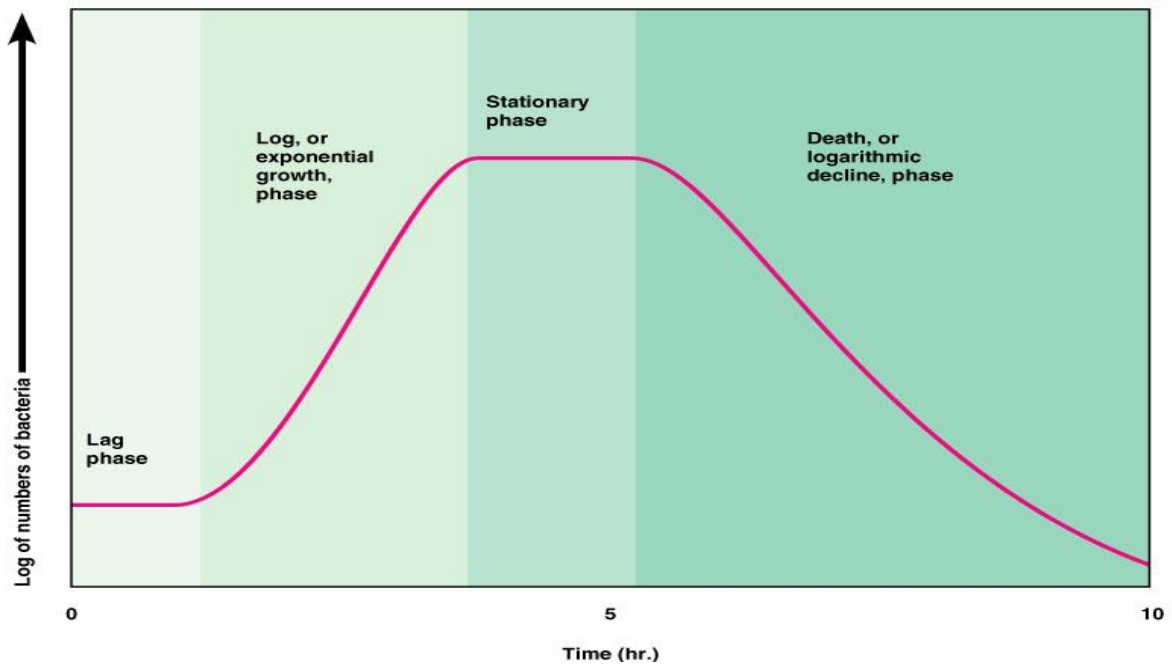
### 1. Kurva Pertumbuhan Bakteri.

Pertumbuhan dapat didefinisikan sebagai penambahan jumlah atau volume serta ukuran sel. Pada organisme prokariot seperti bakteri, pertumbuhan merupakan penambahan volume dan ukuran sel dan juga sebagai penambahan jumlah sel. Pertumbuhan sel bakteri biasanya mengikuti suatu pola pertumbuhan tertentu berupa kurva pertumbuhan sigmoid .

Perubahan kemiringan pada kurva tersebut menunjukkan transisi dari satu fase perkembangan ke fase lainnya. Nilai logaritmik jumlah sel biasanya lebih sering dipetakan daripada nilai aritmatik. Logaritma dengan dasar 2 sering digunakan, karena setiap unit pada ordinat menampilkan suatu kelipatan-dua dari populasi. Kurva pertumbuhan bakteri dapat dipisahkan menjadi empat fase utama : fase lag (fase lamban atau lag phase), fase pertumbuhan eksponensial (fase pertumbuhan cepat atau log phase), fase stationer (fase statis atau stationary phase) dan fase penurunan populasi (decline). Fase-fase tersebut mencerminkan keadaan bakteri dalam kultur pada waktu tertentu. Di antara setiap fase terdapat suatu periode peralihan dimana waktu dapat berlalu sebelum semua sel memasuki fase yang baru.

#### FASE LAG

Setelah inokulasi, terjadi peningkatan ukuran sel, mulai pada waktu sel tidak atau sedikit mengalami pembelahan. Fase ini, ditandai dengan peningkatan komponen makromolekul, aktivitas metabolik, dan kerentanan terhadap zat kimia dan faktor fisik. Fase lag merupakan suatu periode penyesuaian yang sangat penting untuk penambahan metabolit pada kelompok sel, menuju tingkat yang setaraf dengan sintesis sel maksimum.



Gambar 26. Pola pertumbuhan bakteri menunjukkan perbedaan dalam empat fase

#### FASE LOG/PERTUMBUHAN EKSPONENSIAL

Pada fase eksponensial atau logaritmik, sel berada dalam keadaan pertumbuhan yang seimbang. Selama fase ini, masa dan volume sel meningkat oleh faktor yang sama dalam arti rata-rata komposisi sel dan konsentrasi relatif metabolit tetap konstan. Selama periode ini pertumbuhan seimbang, kecepatan peningkatan dapat diekspresikan dengan fungsi eksponensial alami. Sel membelah dengan kecepatan konstan yang ditentukan oleh sifat intrinsik bakteri dan kondisi lingkungan. Dalam hal ini terdapat keragaman kecepatan pertumbuhan berbagai mikroorganisme. Waktu lipat dua untuk *E. coli* dalam kultur kaldu pada suhu 37°C, sekitar 20 menit, sedangkan waktu lipat dua minimal sel mamalia sekitar 10 jam pada temperatur yang sama.

#### FASE STASIONER

Pada saat digunakan kondisi biakan rutin, akumulasi produk limbah, kekurangan nutrisi, perubahan pH, dan faktor lain yang tidak diketahui akan mendesak dan mengganggu biakan, mengakibatkan penurunan kecepatan pertumbuhan. Selama fase ini, jumlah sel yang hidup tetap konstan untuk periode yang berbeda, bergantung pada bakteri, tetapi akhirnya menuju periode penurunan populasi. Dalam beberapa kasus, sel yang terdapat dalam suatu biakan yang populasinya tidak tumbuh dapat memanjang,

membengkak secara abnormal, atau mengalami penyimpangan, suatu manifestasi pertumbuhan yang tidak seimbang.

#### FASE PENURUNAN POPULASI ATAU FASE KEMATIAN

Pada saat medium kehabisan nutrisi maka populasi bakteri akan menurun jumlahnya. Pada saat ini jumlah sel yang mati lebih banyak daripada sel yang hidup.

#### 2. Kecepatan/Laju Pertumbuhan dan Waktu Generasi

Pengetahuan mengenai kecepatan pertumbuhan bersifat penting dalam menentukan keadaan atau status kultur sebagai kesatuan. Jika satu dugaan waktu lipat-dua jumlah sel bakteri awal  $N_0$  pada waktu  $g$ , konsentrasi akhir mikroorganisme  $N_t$  ialah:

$$N_t = N_0^{2^n} \quad (1)$$

Dimana  $n$  adalah jumlah pembelahan sel pada waktu  $t$ . Persamaan

$$g = \frac{t}{n} \quad (2)$$

mengekspresikan waktu lipat-dua atau waktu generasi. Istilah waktu lipat-dua menampilkan waktu generasi rata-rata dalam biakan sebagai kesatuan, biasanya ditentukan oleh kelipatan-dua masa mikroba dalam biakan. Sebaiknya waktu generasi ditentukan dengan perhitungan. Peningkatan massa sel ditentukan dalam interval waktu yang diketahui dan waktu generasi dihitung dari nilai yang diperoleh.

Persamaan (2) disusun kembali menjadi :

$$n = \frac{t}{g}$$

Kemudian dimasukkan ke dalam persamaan (1), maka

$$N_t = N_0^{2^{t/g}} \quad (3)$$

Dengan mengkonversi menjadi bentuk logaritmik, maka diperoleh

$$g = \frac{\ln 2 \cdot t}{\ln N_t - \ln N_0} = \frac{0,69 \cdot t}{\ln N_t - \ln N_0} \quad (4)$$

Persamaan (4) merupakan rumus untuk menghitung waktu generasi dari dua pengukuran yang memberikan peningkatan masa pada waktu t. Pengukuran harus dilakukan dalam kondisi konstan, dan sebaiknya sejumlah mikroorganisme ditentukan sebagai berat kering. Untuk menghitung laju pertumbuhan spesifik atau laju pertumbuhan eksponensial suatu mikroorganisme, digunakan bentuk logaritmik dengan persamaan (3) :

$$\ln N_t = t \frac{\ln 2}{g} + \ln N_0 \quad (5)$$

Untuk fase pertumbuhan eksponensial, ekspresi  $(\ln 2)/g$  konstan. Oleh karena itu, pada persamaan (5) dapat digantikan. Menghasilkan persamaan :

$$\ln N_t = (t + \ln N_0) \quad (6)$$

Ketika nilai t dipetakan pada absis dan nilai  $\ln N_t$  pada ordinat, diperoleh garis lurus dan konstan merupakan lereng dari garis lurus tersebut. Hal tersebut menentukan laju pertumbuhan masa akteri sebagai fungsi waktu. Oleh karena itu disebut laju pertumbuhan spesifik (specific growth rate atau instantaneous growth rate) konstan. Nilainya dapat ditentukan dengan grafik atau dengan perhitungan :

$$\mu = \frac{\ln 2}{g} = \frac{0,69}{g} \quad (7)$$

atau dapat dihitung langsung dari persamaan (6) :

$$\mu = \frac{\ln N_t - \ln N_0}{\Delta t} \quad (8)$$

dimana waktu t merupakan interval waktu  $t_1 - t_2$  selama masa bakteri meningkat menjadi nilai  $N_t$ . Laju pertumbuhan instantaneous (spesifik untuk setiap mikroorganisme dan medium biakan. Hal tersebut awalnya dibentuk oleh faktor-faktor seperti kapasitas pertumbuhan mikroorganisme tetapi dipengaruhi oleh lingkungan. Dalam mengekspresikan nilai maksimum yang ril, nilai yang tercatat untuk fase eksponensial pada kurva pertumbuhan, biakan harus tumbuh di bawah kondisi lingkungan optimal pada medium yang tidak dibatasi oleh kelebihan substrat dan faktor pertumbuhan, jadi laju pertumbuhan tidak bergantung pada faktor tersebut.

### C. PENGHITUNGAN POPULASI BAKTERI

Pada saat ditempatkan dalam medium nutrisi lengkap, sel bakteri tumbuh lebih besar dan akhirnya membelah menjadi dua sel. Hal ini berkesinambungan dengan produksi populasi vegetatif sel yang tidak terdiferensiasi. Dalam perkembangan biakan bakteri, terjadi peningkatan massa sel dan jumlah organisme, tetapi hubungan kedua parameter tersebut tidak konstan. Penelitian kuantitatif perlu dilakukan terhadap pertumbuhan sel, oleh karena itu perlu dicatat perbedaan antara konsentrasi sel, atau jumlah sel per unit volume biakan, dengan kepadatan bakteri, yang didefinisikan sebagai protoplasma total per unit volume.

Massa sel ditentukan langsung dalam berat kering. Metode tersebut, memakan waktu, khususnya menggunakan referensi dalam isolasi dan pemurnian dan dalam kalibrasi dasar metode lain. Metode yang sering digunakan untuk menaksir berat atau jumlah biomassa total dalam suspensi adalah mengukur densitas optik kultur kaldu dengan spektrofotometer. Teknik turbidimetrik, secara khusus digunakan untuk menentukan masa sel selama pertumbuhan, sebagai evaluasi terhadap efek zat antibakteri terhadap bakteri. Metode lain untuk menentukan berat atau jumlah sel, dengan menentukan nitrogen dan mengukur volume sel yang telah disentrifugasi.

Jumlah bakteri dalam suatu biakan dapat ditentukan dengan menghitung langsung jumlah keseluruhan bakteri atau dengan cara tidak langsung, menghitung jumlah sel yang hidup. Jumlah total bakteri yang hidup dan mati dapat dilakukan dengan menggunakan alat penghitung seperti Petroff-Houser counter, atau cara yang lebih tepat dengan Coulter counter, suatu alat penghitung partikel elektronik yang mengukur penyebaran ukuran dan jumlah dalam suspensi bakteri. Untuk menghitung jumlah yang hidup, diperlukan pembiakan pada permukaan lempeng agar. Populasi mikroorganisme diencerkan dalam pelarut nontoksik, dan populasi yang tercampur rata disebarkan dalam atau pada medium padat yang sesuai, jadi setelah inkubasi setiap unit yang hidup membentuk satu koloni.

Jumlah individu yang hidup atau cluster yang ada ditentukan dari jumlah koloni dan pengenceran. Sampel yang mengandung mikroorganisme lebih dari 100 sel per mililiter, seperti urin atau dari sumber air minum, memerlukan pemekatan sebelum dilakukan penghitungan. Hal ini dilakukan melalui filter membran steril dengan ukuran pori yang dapat menahan semua bakteri, selanjutnya membran dipindahkan ke suatu lapisan absorben yang jenuh oleh kaldu nutrisi.

#### D. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PERTUMBUHAN BAKTERI

Pertumbuhan didefinisikan sebagai peningkatan seluruh unsur pokok kimia sel. Hal tersebut merupakan suatu proses yang memerlukan replikasi seluruh struktur, organel, dan komponen protoplasma seluler dengan adanya nutrisi dalam lingkungan sekelilingnya. Dalam pertumbuhan bakteri, semua substansi esensial harus tersedia untuk sintesis dan pemeliharaan protoplasma, dengan sumber energi, dan kondisi lingkungan yang sesuai. Sebagai suatu kelompok, bakteri merupakan organisme yang sangat “pintar”.

Mereka memperlihatkan kemampuan yang sangat besar dalam menggunakan bahan makanan yang tersebar, menyusun bahan anorganik menjadi senyawa organik yang sangat kompleks. Beberapa spesies juga belajar tumbuh pada berbagai relung ekologi dengan temperatur, keasaman, dan tekanan oksigen yang ekstrim. Kemampuan bakteri untuk bertahan di bawah keadaan sekitar yang demikian merupakan perlindungan dari adaptabilitas tinggi dan refleksi kapasitasnya dalam keberhasilan merespon suatu stimulus yang dianggap asing atau tidak pernah ditemui sebelumnya.

##### 1. Faktor Nutrisi

Karbon. Dua pola dasar kebutuhan nutrisi bakteri dan cermin kemampuan metabolisme yang dimilikinya. Bakteri Autotrofik (litotrof), untuk pertumbuhannya hanya membutuhkan air, garam anorganik dan karbon dioksida. Kelompok ini mensintesis karbon dioksida menjadi sebagian besar metabolit organik esensial. Bakteri heterotrofik (organotrof) membutuhkan karbon organik untuk pertumbuhannya. Dalam praktek laboratorium, glukosa secara luas digunakan sebagai sumber karbon organik, tetapi berbagai senyawa lain juga dapat digunakan secara khusus atau sumber karbon tertentu oleh bakteri yang berbeda. Di antara bakteri yang “pintar”, *Pseudomonas* menggunakan lebih dari 100 senyawa organik yang berbeda sebagai satu-satunya sumber karbon dan energi.

**Faktor Pertumbuhan.** Sejumlah bakteri heterotrofik tidak dapat tumbuh tanpa suplai satu atau lebih faktor pertumbuhan. Senyawa tersebut biasanya ditambahkan dalam medium kultur dalam bentuk ekstrak ragi atau darah, termasuk vitamin B-kompleks, asam amino, purin, dan pirimidin. Vitamin B-kompleks berperan sebagai katalitik dalam sel juga komponen koenzim atau sebagai grup prostetik enzim. Organisme yang mampu mensintesis faktor pertumbuhan biasanya tidak memerlukan senyawa tersebut dari luar.

**Ion anorganik.** Sejumlah kecil ion anorganik dibutuhkan oleh semua bakteri. Selain nitrogen, sulfur dan fosfor yang terdapat sebagai unsur dalam senyawa biologik, kalium, magnesium dan kalsium pada bakteri fungsinya berhubungan dengan polimer anionik tertentu. Magnesium berfungsi menstabilkan ribosom, membran sel, asam nukleat, dan dibutuhkan untuk aktivitas sejumlah enzim. Kalium juga dibutuhkan untuk aktivitas sejumlah enzim, dan konsentrasi kalium dalam sel bakteri Gram-positif dipengaruhi oleh kandungan asam teikoat pada dinding sel.

Sebagian besar bakteri membutuhkan besi, magnesium, seng, kupri, dan kobalt, dan untuk bakteri lain kebutuhan molibdenum dan selenium dianggap esensial. Kebutuhan unsur tersebut untuk bakteri lain lebih sulit untuk diperkirakan, karena kadang-kadang diperlukan atau kehadirannya dianggap sebagai unsur kontaminan dalam medium.

Unsur dalam jumlah yang sedikit (trace element) berperan penting dalam inetraksi inang-parasit. Pada inang hewan, kekuatan protein pengikat-besi dalam cairan tubuh berfungsi untuk menahan besi terhadap serangan mikroorganisme yang masuk. Keberhasilan mikroorganisme memasuki inang, akan dapat meningkatkan kemampuannya untuk mengambil besi, dan dengan giat

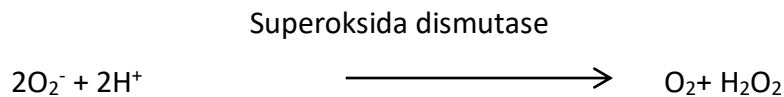
mengekstrak besi dari berbagai lingkungannya. Sejumlah senyawa besi (siderophore) sudah dikenal pada beberapa spesies bakteri. Kehadirannya sangat penting untuk pengambilan besi, dan signifikan secara evolusiner untuk keberhasilan kompetisi dengan inangnya dalam hal nutrisi esensial yang jumlahnya terbatas.

**Oksigen.** Kebutuhan oksigen pada bakteri tertentu mencerminkan mekanisme yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energinya. Berdasarkan kebutuhan oksigen tersebut, bakteri dapat dipisahkan menjadi lima kelompok:

1. Anaerob obligat yang tumbuh hanya dalam keadaan tekanan oksigen yang sangat rendah dan oksigen bersifat toksik.
2. Anaerob aerotoleran yang tidak terbunuh dengan paparan oksigen.
3. Anaerob fakultatif, dapat tumbuh dalam keadaan aerob dan anaerob.
4. Aerob obligat, membutuhkan oksigen untuk pertumbuhannya.
5. Bakteri mikroaerofilik yang tumbuh baik pada tekanan oksigen rendah, tekanan oksigen tinggi dapat menghambat pertumbuhan.

Pada anaerob toleran dan obligat, metabolismenya bersifat fermentatif kuat. Pada anaerob fakultatif, cara metabolisme respirasi dilakukan jika tersedia oksigen, tetapi tidak

terjadi fermentasi. Pada saat bakteri tumbuh dalam keadaan terdapat udara, terjadi sejumlah reaksi enzimatik dan mengakibatkan produksi hidrogen peroksida dan radikal superoksida. Pada bakteri aerob, aerotoleran, dan anaerob fakultatif, enzim dismutase superoksida mencegah akumulasi ion superoksida, tetapi pada anaerob obligat enzim tersebut tidak terdapat :



Pada bakteri anaerob fakultatif dan aerobik, hidrogen peroksida yang dibentuk dalam reaksi dismutase secara cepat dirusak oleh katalase. Meskipun bakteri aerotoleran, seperti bakteri asam laktat tidak memiliki katalase, peroksidase yang dimilikinya dapat merusak H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> , menyebabkan bakteri dapat tumbuh pada keadaan tersedianya oksigen. Target yang mungkin dirusak oleh H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> – termasuk protein membran luar spesifik, komponen aktif redoks pada membran sitoplasma, dan enzim pada daerah periplasma. Pada *Treponema pallidum*, sensitivitas oksigen menjadi relatif terhadap kerusakan DNA yang disebabkan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

**Karbon dioksida.** Bakteri pengguna CO<sub>2</sub> sebagai sumber karbon seluler utama, ialah bakteri kemolitotrof dan fotolitotrof . Selain itu, kemoorganotrof juga membutuhkan suplai CO<sub>2</sub> yang memadai untuk fiksasi CO<sub>2</sub> heterotrofik dan untuk sintesis asam lemak. Karbon dioksida secara normal dihasilkan selama katabolisme senyawa organik, oleh karena itu tidak dianggap sebagai faktor pembatas. Beberapa bakteri, seperti *Neisseria* dan *Brucella*, memiliki satu atau banyak enzim yang berafinitas rendah terhadap CO<sub>2</sub> dan membutuhkan CO<sub>2</sub> pada konsentrasi yang lebih tinggi (10%) dibanding CO<sub>2</sub> yang terdapat di atmosfer (0,03%). Keadaan ini harus dipertimbangkan untuk kepentingan isolasi dan biakan bakteri tersebut.

## 2. Faktor Fisik

**Potensial Reduksi-Oksidasi.** Potensial Reduksi-Oksidasi (Eh) pada medium kultur merupakan faktor kritis dalam penentu pertumbuhan suatu inokulum yang ada pada saat dipindahkan ke media yang baru. Pada sebagian besar media yang kontak dengan udara, Eh sekitar + 0,2 sampai + 0,4 Volt pada pH 7. Anaerob obligat tidak dapat tumbuh pada keadaan demikian, Eh yang dibutuhkan paling sedikit – 0,2 Volt. Keadaan kultur anaerobik dapat dibuat dengan mengeluarkan oksigen, menggunakan sistem kultur anaerobik atau



dengan penambahan senyawa yang mengandung-sulfidril, seperti kalsium tioglikolat (merkuptoasetat). Selama pertumbuhannya bakteri aerobik dan anaerobik mengalami penurunan Eh lingkungan, hal ini dapat diamati dan penting dalam infeksi bernanah yang disebabkan oleh campuran bakteri aerobik dan anaerobik yang mampu menyebabkan infeksi yang dimulai oleh bakteri aerobik.

**Temperatur.** Setiap bakteri memiliki temperatur optimal dimana mereka dapat tumbuh sangat cepat dan memiliki rentang temperatur dimana mereka dapat tumbuh. Pembelahan sel sangat sensitif terhadap efek kerusakan yang disebabkan temperatur; betuk yang besar dan aneh dapat diamati pada pertumbuhan kultur pada temperatur yang lebih tinggi dari temperatur yang mendukung tingkat pertumbuhan yang sangat cepat.

Berdasarkan rentang temperatur dimana dapat terjadi pertumbuhan, bakteri dikelompokkan menjadi tiga:

1. Psikrofilik,  $-5^{\circ}\text{C}$  sampai  $30^{\circ}\text{C}$ , optimum pada  $10-20^{\circ}\text{C}$ ;
2. Mesofilik,  $10-45^{\circ}\text{C}$ , optimum pada  $20-40^{\circ}\text{C}$ ;
3. Termofilik,  $25-80^{\circ}\text{C}$ , optimum pada  $50-60^{\circ}\text{C}$ .

Temperatur optimal biasanya mencerminkan lingkungan normal mikroorganisme. Jadi, bakteri patogen pada manusia biasanya tumbuh baik pada temperatur  $37^{\circ}\text{C}$ .

**Konsentrasi Ion Hidrogen.** pH medium biakan juga mempengaruhi kecepatan pertumbuhan, untuk pertumbuhan bakteri juga terdapat rentang pH dan pH optimal. Pada bakteri patogen pH optimalnya  $7,2 - 7,6$ . Meskipun medium pada awalnya dikondisikan dengan pH yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tetapi, secara bertahap besarnya pertumbuhan akan dibatasi oleh produk metabolit yang dihasilkan mikroorganisme tersebut. Bakteri memiliki mekanisme yang sangat efektif untuk memelihara control regulasi pH sitoplasmanya (pHi). Pada sejumlah bakteri, pH berbeda dengan 0,1 unit per perubahan pH pada pH eksternal. Hal ini disebabkan kontrol aktivitas sistem transpor ion yang mempermudah masuknya proton. Berbagai macam sistem yang mencerminkan luas rentang nilai pHi diperlihatkan oleh berbagai bakteri. Asidofil memiliki nilai rentang pHi  $6,5 - 7,0$ ; neutrofil memiliki nilai rentang pHi  $7,5 - 8,0$ , dan alkalofil memiliki nilai rentang pHi  $8,4 - 9,0$ .

Mikroorganisme fermentative memperlihatkan rentang nilai pHi yang lebih tinggi dibandingkan dengan mikroorganisme yang menggunakan jalur respirasi. Pada mikroorganisme fermentatif, produksi produk fermentatif yang bersifat asam dan

akumulasinya mengakibatkan gangguan keseimbangan pH dan pembatasan pertumbuhan. Sejumlah mikroorganisme meningkatkan mekanisme kompensasi untuk mencegah efek toksik dari akumulasi produk yang bersifat asam dan berkonsentrasi tinggi tersebut. Contoh mekanisme tersebut, dengan menginduksi jalur metabolik baru untuk tujuan produksi produk netral butanol dari butirat oleh *Clostridium acetobutylicum* dan butanediol dari asetat oleh *Klebsiella aerogenes*.

**Kondisi Osmotik.** Konsentrasi larutan yang aktif secara osmotik di dalam sel bakteri, umumnya lebih tinggi dari konsentrasi di luar sel. Sebagian besar bakteri, kecuali pada *Mycoplasma* dan bakteri yang mengalami kerusakan dinding selnya, tidak toleran terhadap perubahan osmotik dan akan mengembangkan sistem transport kompleks dan alat pengatur sensor-osmotik untuk memelihara keadaan osmotik konstat dalam sel. Membrane-derived Oligosaccharide (MDO), suatu unsur sel yang terdapat pada *E. coli*. Pada *E. coli* dan bakteri Gram-negatif lain, terdapat dua bagian cairan yang berbeda, sitoplasma yang terdapat pada membran dalam, dan daerah periplasma yang terdapat di antara membran luar dan membran dalam. Pada saat bakteri ini tumbuh pada medium dengan osmolaritas rendah maka membran sitoplasma yang sedikit kaku akan mengembang paling tidak dapat mencegah perubahan osmolaritas daerah periplasma, sama dengan pada sitoplasma. Pada sel yang tumbuh dalam medium dengan osmolaritas rendah, MDO merupakan sumber utama anion terfiksasi pada daerah periplasma dan berperan memelihara tekanan osmotik tinggi dan potensial membran Donnan pada bagian periplasma. Struktur oligosakarida ini sangat layak untuk peran pengaturan tersebut. Oligosakarida ini memiliki BM antara 2200-2600 dan bersifat impermeabel terhadap membran luar, suatu komponen penting untuk fungsi spesifiknya. Oligosakarida ini terdiri dari 8-10 unit glukosa. Pertumbuhan sel pada medium dengan osmolaritas rendah mensintesis MDO pada kecepatan maksimum, kecepatan sintesis nampaknya diatur secara genetik untuk merespon perubahan osmolaritas medium.

#### E. SIKLUS SEL BAKTERI

Sel yang tumbuh dipersiapkan untuk membelah. Laju pertumbuhan, dan frekuensi pembelahan bergantung pada spesies dan kondisi lingkungan. Dalam periode yang pendek, seringkali selama 20 menit, suatu bakteri dapat membentuk duplikatnya yang lengkap, yang kemudian disebut kemampuan berduplikasi. Pada bagian pertumbuhan eksponensial,

bakteri membelah setelah menggandakan volume sel dengan menggandakan panjang sel. Bakteri tidak menunjukkan siklus sel seperti pada organisme eukariot. Sedangkan sintesis DNA sel eukariot dibatasi fase S siklus sel, pada bakteri yang tumbuh secara eksponensial sintesis DNA terjadi sepanjang siklus pembelahan saja. Pada bakteri tahap duplikasi tidak berurutan satu dengan lainnya tetapi overlap (saling tumpang tindih), banyaknya overlapping bergantung pada medium biakan.

### **1. Sporulasi**

Komponen unik bakteri tertentu (contoh *Bacillus* dan *Clostridium*) adalah kemampuannya untuk membentuk endospora. Pada beberapa titik dalam siklus sel vegetatif bakteri pembentuk-spora, pertumbuhan diistirahatkan dan sel berubah secara progresif mengakibatkan pembentukan endospora (Gambar 4-2). Spora merupakan struktur dorman yang mampu bertahan dalam periode yang lama dan dibantu dengan kapasitas untuk membentuk kembali tahap vegetatif pertumbuhan di

bawah kondisi lingkungan yang sesuai. Proses yang dilibatkan dalam sporulasi, juga pemecahan spora dorman dan tahap munculnya sel vegetatif, menyajikan suatu contoh primitif dari diferensiasi uniseluler.

#### **Komponen Endospora**

Pembentukan endospora terjadi selama fase stationer pertumbuhan setelah terjadi penurunan nutrisi tertentu dalam medium biakan atau lingkungan. Spora tunggal dihasilkan dalam satu sel vegetatif dan berbeda dari sel induknya dalam hal morfologi dan komposisi, peningkatan resistensi terhadap lingkungan yang merugikan, dan ketiadaan kemampuan mendeteksi aktivitas metabolik. Resistensi spora terhadap panas menjadi perhatian utama dalam bidang kesehatan, tetapi peningkatan resistensi spora terhadap pengeringan, pembekuan, radiasi dan pengrusakan oleh senyawa kimia, merupakan faktor yang sangat penting dalam lingkungan alamnya. Nilai selektif primer spora terletak pada panjang usianya dalam tanah berpasangan dengan kemampuan untuk bergerminasi di bawah kondisi lingkungan yang sesuai.

#### **Dasar Resistensi Spora**

Pada sel yang bersporulasi, resistensi terhadap berbagai bahan kimia dan faktor fisik nampak pada setiap tahap yang berbeda, bersamaan dengan perubahan komposisi fisikokimia sel. Resistensi terhadap radiasi, kekeringan, dan bahan kimia toksik terjadi

setelah sel terlihat berbisa dan bergantung paling tidak pada bagian komponen kaya-sistein, yaitu protein pelapis spora miripkeratin. Reistensi terhadap panas ditandai dengan kandungan air yang sangat rendah pada protoplas yang menyebabkan protein dan asam nukleat lebih resisten terhadap denaturasi.

Penurunan kandungan air terjadi pada tahap akhir sporulasi, pada waktu pembentukan korteks dan pada saat spora pertamakali terlihat sebagai obyek yang membisa. Komponen utama korteks adalah peptidoglikan yang secara radikal berbeda dari sel vegetatifnya. Peptidoglikan dinding sel dimana terdapat banyak hubungan-lintas tetrapeptida, pada polimer korteks keadaan terjadi sebaliknya, hubungan-lintas tersebut nampak menurun. Penurunan derajat hubungan-lintas

dianggap berperan penting dalam kontraksi pepadatan dan dehidrasi korteks selama sporulasi. Korteks sendiri mampu dan berperan memelihara status resisten pada protoplas. Resistensi terhadap panas juga berhubungan dengan konsentrasi kalsium dalam spora dan selama tahap sintesis asam dipikolinat sebagai komponen spora-spesifik. Asam dipikolinat merupakan bahan chelator (pengambil ) yang terdapat sebagai garam kalsium dalam protoplas spora dan jumlahnya sebanyak 10% dari berat kering spora matur. Dipikolinat menyisip dalam struktur heliks DNA, menggantikan air intramolekuler juga berikatan dengan jenis RNA yang berbeda.

## **2. Biokimia Sporulasi**

Pada beberapa periode perkembangan sel, secara irreversibel metabolisme disalurkan pada arah sporulasi. Bukan satu macam hal yang bertanggung jawab dalam proses sporulasi, sebagai satu kesatuan tetapi setiap makromolekul spesifik bertanggung jawab pada setiap poin secara terpisah. Serangkaian perubahan struktur dan sitologik diperlukan menyertai perubahan fisiologik tersebut. Polimer cadangan tertentu, seperti poli-(-hidroksibutirat, berakumulasi dan dimanfaatkan selama sporulasi. Terjadi pengurangan makromolekul secara besar-besaran, dan secara drastis terjadi tahap perubahan beberapa enzim. Disintesis struktur spora, dan struktur yang ada sebelumnya didegradasi. Kelompok molekul kecil ditemukan dalam spora yang sifatnya berbeda dari sel vegetatif. Selain asam dipikolinat, terdapat akumulasi ion divalen, dan asam L-glutamat tahap tinggi. Komponen dominan mereduksi kumpulan fosfat terlarut-asam yaitu asam 3-fosfoglisarat sebagai pengganti ATP, yang merupakan komponen sel vegetatif. Selama sporulasi dapat diamati beberapa

perbedaan pola aktivitas enzim. Diantaranya yang berhubungan dengan mekanisme pembentukan spora, dan yang lain merupakan komponen spesifik pada spora itu sendiri. Katalase tahan-panas ditemukan dalam spora yang secara imunologik berbeda dari enzim sel vegetatif, dan enzim tertentu seperti glukosa dehidrogenase, suatu ribosilase, dan enzim litik spora yang hanya terdapat dalam spora. Salah satu tahap perubahan yang terjadi secara tiba-tiba ialah produksi dan sekresi antibiotik peptida dan berbagai eksoenzim khususnya protease. Protease berperan penting dalam pergantian protein intraseluler, tetapi hubungan antara sporulasi dengan produksi antibiotik belum diketahui. Selama sporulasi juga disintesis protein spora terlarut-asam berukuran kecil (small acidsoluble spore proteins/SASP), yang disimpan dalam spora matang, protein ini secara cepat didegradasi menjadi asam amino bebas selama germinasi, dan digunakan kembali untuk sintesis protein. Dua dari protein tersebut juga memperlihatkan peran kunci pada resistensi spora dorman terhadap panas dan radiasi UltraViolet.

### **Permulaan Sporulasi**

Sporulasi merupakan respon terhadap penurunan kadar nutrisi, khususnya ketersediaan sumber karbon dan nitrogen. Regulasi pembentukan spora bersifat negatif: sel membuat represor dari beberapa senyawa yang terkandung dalam medium untuk mencegah dimulainya sporulasi. Ketika senyawa tersebut berkurang, penghambat dilepaskan dan terjadi sporulasi. Kelangsungan metabolisme karbon dan nitrogen diperlukan untuk hambatan sporulasi. Jika proses tersebut menurun, hambatan akan dibebaskan dan sporulasi dimulai.

Faktor spesifik yang mengatur inisiasi sporulasi ialah GTP (guanosin trifosfat). Pada *B. subtilis* penurunan kumpulan GTP pada sel yang sedang tumbuh, cukup untuk memulai sporulasi. Seluruh kondisi penurunan nutrisi yang diketahui dapat memulai sporulasi dan menyebabkan penurunan GTP pada waktu sporulasi dimulai. Dua tipe pengurangan nutrisi yang mampu menurunkan GTP di bawah kondisi nutrisi terbatas : 1). Penurunan prekursor purin, P-ribosil-PP, disebabkan terbatasnya suplai karbon, dan 2). Respon kuat terhadap pengurangan asam amino, yang dihubungkan dengan peningkatan konsentrasi nukleotida guanin terfosforilasi tinggi, ppGpp dan pppGpp.

### **3. Germinasi dan Pertumbuhan**

Perubahan fisiologis dan struktural secara simultan terjadi selama transformasi spora dorman menjadi sel vegetatif. Proses germinasi spora terdiri dari tiga tahap fase :

- 1). Tahap aktivasi dimana kondisi lingkungan layak menyebabkan spora bergerminasi,
- 2). Tahap germinasi, selama terjadi hilangnya komponen khusus spora dorman, dan
- 3). Tahap pertumbuhan dimana spora dikonversi menjadi sel vegetatif baru.

Aktivasi merupakan proses reversibel yang penting dalam germinasi spora. Spora tidak bergerminasi atau bergerminasi sangat lambat paling sedikit diaktifkan oleh panas atau pemberian berbagai senyawa kimia. Aktivasi dapat melibatkan proses denaturasi makromolekul spesifik secara reversibel. Germinasi merupakan proses irreversibel pada spora yang diaktifkan dan dipicu oleh paparan faktor nutrien dan non-nutrien secara simultan. Germinan nutrien utama yaitu L-Alanin, selain itu beberapa asam amino, nukleosida dan glukosa. Germinasi merupakan proses berakhirnya tahap dorman.

Selama tahap awal germinasi refraktilitas hilang dan terjadi pembengkakan korteks dan muncul fibril nukleus. Proses tersebut diikuti oleh hilangnya resistensi terhadap kerusakan akibat faktor fisik dan bahan kimia, terjadi peningkatan sulfidril spora, pelepasan komponen spora, dan peningkatan aktivitas metabolik. Germinasi spora tidak dihambat oleh antibiotik yang merusak sintesis protein dan asam nukleat, hal ini ditandai dengan adanya enzim untuk germinasi dalam spora. Selama pertumbuhan terjadi sintesis protein dan komponen struktur khusus pada sel vegetatif. Selama tahap ini membran inti spora berkembang menjadi dinding sel vegetatif. Pertumbuhan merupakan periode aktivitas biosintetik aktif dan secara nyata dihambat oleh gangguan suplai energi dan antibiotik yang merusak sintesis dinding sel, protein dan asam nukleat.

### **7.2.2. Pentingnya Pengendalian Mikroorganisme**

Pengendalian mikroorganisme merupakan upaya yang dilakukan untuk menghambat, membasmi atau menyingkirkan mikroorganisme. Alasan utama untuk mengendalikan mikroorganisme secara singkat adalah sebagai berikut :

1. Mencegah penyebaran penyakit dan infeksi
2. Membesmi mikroorganisme pada inang yang terinfeksi
3. Mencegah pembusukan dan perusakan bahan oleh mikroorganisme

Mikroorganisme dapat disingkirkan, dihambat atau dibunuh dengan sarana atau proses fisik, atau bahan kimia. Tersedia berbagai macam cara yang berbeda-beda dan

masing-masing mempunyai keterbatasan sendiri-sendiri di dalam penerapan praktisnya. Sarana fisik dapat diartikan sebagai keadaan atau sifat fisik yang menyebabkan suatu perubahan. Beberapa contoh sarana fisik ialah suhu, tekanan, radiasi dan penyaringan. Suatu proses fisik ialah suatu prosedur yang mengakibatkan perubahan, misalnya sterilisasi, pembakaran dan sanitasi. Suatu bahan kimia ialah suatu substansi (padat, cair dan gas) yang dicirikan oleh komposisi molekular yang pasti dan menyebabkan terjadinya reaksi, contohnya antara lain senyawa-senyawa fenolik, alkohol, klor, iodium, dan etilen oksida.

### **Definisi Istilah**

Beberapa istilah yang umum dijumpai dalam menjelaskan pengendalian pada mikroorganisme akan dijelaskan di bawah ini sesuai dengan definisi yang ada dalam kamus umum.

#### **1. Sterilisasi**

Sterilisasi merupakan proses yang menghancurkan semua bentuk kehidupan. Suatu benda yang steril, dipandang dari sudut mikrobiologi, artinya bebas dari mikroorganisme hidup. Suatu benda atau substansi hanya dapat steril atau tidak steril, tidak akan pernah setengah steril atau hampir steril.

#### **2. Disinfektan**

Disinfektan merupakan suatu bahan, biasanya zat kimia, yang mematikan sel vegetative tapi belum tentu mematikan bentuk-bentuk spora mikroorganisme penyebab penyakit. Istilah ini umum dipakai untuk substansi yang digunakan terhadap benda mati.

#### **3. Antiseptik**

Antiseptik adalah suatu substansi yang melawan infeksi (sepsis) atau mencegah pertumbuhan atau kerja mikroorganisme dengan cara menghancurkan mereka atau menghambat pertumbuhan serta aktivitasnya. Istilah ini biasanya dipakai untuk substansi yang digunakan terhadap tubuh.

#### **4. Bahan sanitasi**

Bahan sanitasi merupakan suatu bahan yang mengurangi populasi mikroba sampai pada batas yang dianggap aman menurut persyaratan kesehatan masyarakat. Biasanya merupakan bahan kimia yang mematikan 99,9 % bakteri yang sedang tumbuh. Bahan sanitasi digunakan terhadap benda mati dan pada umumnya dipergunakan dalam

pemeliharaan sehari-hari peralatan serta perkakas pabrik persussuan dan panga, gelas dan peralata makan di restoran.

#### 5. Germisida (Mikrobisida)

Germisida adalah suatu bahan yang mematikan sel-sel vegetatif tetapi tidak selalu mematikan bentuk-bentuk spora resisten kuman. Dalam prakteknya germisida mirip dengan disinfektan, tapi germisida umumnya digunakan terhadap semua jenis kuman (mikroorganisme) untuk penerapan yang mana saja.

#### 6. Bakterisida

Bakterisida merupakan suatu bahan yang mematikan bentuk-bentuk vegetatif bakteri.

#### 7. Bakteriostatik

Bakteriostatik adalah suatu keadaan yang menghambat pertumbuhan bakteri.

#### 8. Bahan antimikrobia

Secara umum istilah bahan antimikrobia diartikan sebagai bahan yang mengganggu pertumbuhan dan metabolisme mikroba.

### **Keadaan yang Mempengaruhi Kerja Antimikrobia**

Banyak faktor dan keadaan yang mempengaruhi penghambatan atau pembasmian mikroorganisme oleh bahan atau proses antimikrobia. Kesemuanya ini harus dipertimbangkan bagi efektifnya penerapan praktis metode-metode pengendalian.

#### 1. Konsentrasi atau intensitas zat antimikrobia

Peluang dalam upaya dalam menghambat atau membunuh mikroorganisme bukan hanya sebanding dengan jumlah mikroorganisme yang akan dibasmi, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh banyaknya bahan yang digunakan. Pada suatu batas tertentu apabila konsentrasi zat yang digunakan semakin besar maka semakin besar peluang matinya mikroba.

#### 2. Jumlah mikroorganisme

Semakin banyak mikroba populasi yang akan dibunuh maka waktu yang diperlukan semakin banyak, sehingga perlakuan yang diberikan harus lebih lama agar kita yakin bahwa semua sel mikroba mati.

#### 3. Suhu



Kenaikan suhu yang sedang secara besar dapat menaikkan keefektifan suatu bahan disinfektan atau bahan antimicrobial lain. Misalnya kenaikan suhu dari 30°C menjadi 42°C akan sangat meningkatkan sifat bakterisidal fenol. Hal ini dapat dijelaskan bahwa zat kimia merusak mikroorganisme melalui reaksi-reaksi kimiawi dan laju reaksi kimiawi dipercepat dengan meningkatkan suhu.

#### 4. Spesies mikroorganisme

Spesies mikroba menunjukkan kerentanan yang berbeda-beda terhadap sarana fisik dan bahan kimia. Pada spesies pembentuk spora, sel vegetatif yang sedang tumbuh lebih mudah dibunuh dibandingkan dengan spora. Spora bakteri adalah yang paling resisten di antara semua organisme hidup dalam hal kemampuan untuk bertahan hidup pada keadaan fisik dan kimiawi yang kurang baik.

#### 5. Adanya bahan organik

Adanya bahan organik asing dapat menurunkan dengan nyata keefektifan zat kimia antimicrobial dengan cara menginaktifkan bahan-bahan tersebut atau melindungi mikroorganisme dari padanya. Jika ada bahan organik dalam campuran disinfektan-mikroorganisme dapat mengakibatkan :

- a. Penggabungan disinfektan dengan bahan organik membentuk produk yang bersifat mikrobisidal
- b. Penggabungan disinfektan dengan bahan organik menghasilkan suatu endapan, sehingga disinfektan tidak mungkin lagi mengikat mikroorganisme
- c. Akumulasi bahan organik pada permukaan sel mikroba, menjadi suatu pelindung yang akan mengganggu kontak antara disinfektan dan sel.

Dalam prakteknya, apabila ada serum atau darah pada benda yang sedang diberi perlakuan suatu zat anti microbial maka serum atau darah dapat menginaktifkan sebagian zat tersebut.

#### 6. Keasaman atau kebasaan (pH)

Pengendalian mikroba dengan suhu yang rendah lebih efektif (mudah dan waktu yang lebih singkat) dilakukan pada bahan dengan pH asam dibanding dengan bahan dengan pH basa.

### **Cara Kerja Zat Antimicrobial**

Bagaimana tepatnya cara kerja zat antimikrobal sangat penting untuk diketahui. Hal ini bisa digunakan untuk menduga jenis bahan yang paling efektif, serta keadaan yang paling baik dalam menghambat atau mematikan mikroba. Penelitian terhadap bahan antimikroba baru pun bisa terus dilakukan.

a. Kerusakan pada dinding sel

Struktur dinding sel dapat dirusak dengan cara menghambat pembentukannya atau mengubahnya setelah selesai terbentuk.

b. Perubahan permeabilitas sel

Membran sitoplasma mempertahankan bahan-bahan tertentu di dalam sel serta mengatur aliran keluar-masuknya bahan-bahan lain. Membran memelihara integritas komponen-komponen selular. Kerusakan pada membran ini akan mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan sel atau matinya sel.

c. Perubahan molekul protein dan asam nukleat

Suatu kondisi atau substansi dapat mengubah keadaan alamiah suatu sel, dengan mendenaturasikan protein dan asam-asam nukleat sehingga sel menjadi rusak dan tidak dapat diperbaiki kembali. Suhu tinggi dan konsentrasi pekat beberapa zat kimia dapat mengakibatkan koagulasi (denaturasi) ireversibel komponen selular yang vital ini.

d. Penghambatan kerja enzim

Enzim yang ada di setiap sel merupakan sasaran potensial bekerjanya zat antimikrobal. Banyak zat kimia diketahui mampu mengganggu reaksi biokimiawi. Penghambatan ini mampu mengganggu atau mematikan sel.

e. Penghambatan sintesis asam nukleat dan protein

Gangguan pada DNA, RNA dan protein dapat mengakibatkan kerusakan total pada sel. Hal ini mengingat ketiganya memiliki peran yang sangat penting di dalam proses kehidupan normal sel.

Perlu dilakukan seleksi sarana atau teknik antimikrobal yang terbaik bagi penerapan praktis. Misalnya suatu bahan bisa digunakan sebagai bahan disinfektan pada permukaan meja belum tentu bisa digunakan di permukaan kulit atau tubuh. Suatu bahan yang bisa digunakan mengendalikan mikroba pada bahan pangan belum tentu cocok digunakan sebagai bahan disinfektan kepada pasien. Setiap keadaan harus dipertimbangkan dari sudut hasil yang dikehendaki serta sarana atau metode yang akan mencapai hasil ini dengan paling baik.

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam memilih bahan kimia sebagai senyawa antimikroba adalah sebagai berikut :

1. Memiliki kemampuan untuk mematikan mikroorganisme dalam konsentrasi rendah pada spectrum luas, sehingga dapat membunuh berbagai mikroorganisme.
2. Bisa larut dalam air atau pelarut lain sampai taraf yang diperlukan secara efektif.
3. Memiliki stabilitas tinggi, jika dibiarkan dalam waktu relatif lama tidak kehilangan sifat antimikrobanya.
4. Bersifat letal bagi mikroorganisme, tetapi aman bagi manusia maupun hewan.
5. Bersifat homogen, sehingga komposisi selalu sama untuk setiap aplikasi dosis takaran.
6. Senyawa tersedia dalam jumlah besar dengan harga yang pantas.
7. Sifat bahan harus serasi.
8. Dapat menentukan tipe mikroorganisme yang akan dibasmi.
9. Aman terhadap lingkungan.

### **7.2.3. Pengendalian Secara Fisik Dan Kimia**

#### **A. Pengendalian Secara Fisik**

Sebagian besar bakteri patogen memiliki keterbatasan toleransi terhadap berbagai kekuatan lingkungan fisiknya. dan memiliki sedikit kemampuan untuk bertahan hidup di luar tubuh inang. Bakteri lain dapat membentuk spora yang sangat resisten terhadap keadaan fisik lingkungan dan membantu mikroorganisme melalui peningkatan nilai pertahanan hidup.

Pada prinsipnya mikroorganisme dapat dikendalikan, yaitu dengan cara dibasmi, dihambat pertumbuhannya dalam lingkungan, dengan menggunakan berbagai proses atau sarana fisik. Proses atau sarana yang digunakan bergantung pada banyak faktor dan hanya dapat ditentukan setelah diadakan evaluasi terhadap keadaan khusus tersebut. Misalnya, untuk membasmi mikroorganisme penyebab infeksi pada hewan sakit yang mati, cara yang memungkinkan adalah membakar hewan tersebut,. Tetapi, bila kita perlu mensterilkan kantung plastik yang akan digunakan untuk menampung darah, maka kita harus memilih suatu proses sterilisasi yang tidak akan merusak kantung plastik tersebut. Penelitian serta pengalaman dapat memberikan pengarahannya untuk memilih metode yang paling sesuai.

#### **1). Panas**

Panas sangat dipercaya dan secara umum merupakan metode yang digunakan dalam sterilisasi, bilamana memungkinkan, harus menjadi metode pilihan. Sebagai tipe lain disinfeksi, sterilisasi suatu populasi bakteri dengan panas merupakan proses yang umum, dan kinetik kematian populasi tersebut adalah eksponensial. Yang pertamakali harus diperhatikan dalam inaktivasi dengan menggunakan panas adalah suatu bagian konstanta organisme yang mengalami perubahan senyawa kimia dalam setiap unit waktu dan salah satu dari perubahan tersebut, cukup untuk menginaktifkan suatu organisme. Waktu yang dibutuhkan untuk sterilisasi umumnya berhubungan dengan temperatur paparan. Hubungan ini dapat menggambarkan apa yang disebut waktu kematian *termal* (*thermal death time*), yang berkenaan dengan waktu minimal yang dibutuhkan untuk membunuh suatu suspensi mikroorganisme pada temperatur yang ditetapkan sebelumnya dalam lingkungan khusus. Karena koefisien temperatur tinggi dilibatkan dalam sterilisasi panas, suatu perubahan temperatur minimum secara signifikan merubah waktu kematian termal. Sesuai dengan hukum aksi massa, waktu sterilisasi secara langsung berhubungan dengan jumlah mikroorganisme dalam suspensi.

#### **Mekanisme Kerusakan Oleh Panas.**

Inaktivasi bakteri oleh panas tidak dapat digambarkan dalam peristiwa biokimia sederhana. Meskipun efek letal panas lembab suatu temperatur tertentu bisaanya dihubungkan dengan denaturasi dan koagulasi protein, pola kerusakan oleh panas tersebut cukup kompleks, dan secara tidak diragukan koagulasi menyembunyikan suatu perubahan kecil yang menginduksi sel sebelum koagulasi menjadi nyata.

Peristiwa yang mematikan terutama produksi rantai-tunggal (terlepasnya rantai) DNA. Hilangnya viabilitas (kelangsungan hidup) sel oleh panas sedang, dapat dihubungkan dengan pelepasan rantai DNA tersebut. Kerusakan DNA terlihat bersifat enzimatik, sebagai akibat dari aktivasi nuklease. Kemampuan sel untuk memperbaiki kerusakan dan memperoleh viabilitasnya bergantung pada tempat fisiologik dan susunan genetik organisme. Panas juga dapat menghilangkan kekuatan fungsional membran, membocorkan molekul kecil dan 260 nm pengabsorpsi materi. Materi tersebut berasal dari degradasi ribosom oleh ribonuklease yang teraktivasi karena perlakuan panas. Dari keadaan tersebut, dapat dilihat adanya hubungan antara degradasi RNA ribosomal dengan hilangnya viabilitas sel karena temperatur tinggi.

Mekanisme kerusakan mikroorganisme oleh panas kering berbeda dengan kerusakan oleh panas lembab. Efek letal panas kering, atau desikasi (pengawetan melalui pengeringan) secara umum, biasanya karena denaturasi protein, kerusakan oksidatif, dan efek toksik dari meningkatnya elektrolit. Dalam keadaan tidak ada air, terjadi pengurangan sejumlah grup polar pada rantai peptida, dan banyak energy dibutuhkan untuk melepaskan molekul tersebut.

#### **a). Panas Lembab**

Peralatan dan bahan mikrobiologis dapat disterilkan dengan panas kering menggunakan oven atau dengan panas lembab yang dilengkapi dengan uap. Diantara dua metode tersebut, panas lembab lebih disukai, karena lebih cepat membunuh mikroorganisme. Panas lembab pada temperatur 60oC selama 30 menit, cukup untuk sterilisasi sebagian besar bakteri mesofilik yang tidak membentuk spora. Dengan perkecualian yaitu *S. aureus* dan *Enterococcus faecalis*, yang membutuhkan waktu paparan 60 menit pada temperatur 60oC. Paparan dengan waktu 5-10 menit pada temperatur 80oC, dapat menghancurkan bentuk vegetatif semua bakteri, ragi, dan fungi. Diantara sebagian besar sel tahan-panas, ialah spora *Clostridium botulinum*, bakteri anaerobik yang menyebabkan keracunan makanan.

Spora bakteri ini dirusak pada temperatur 120oC selama 4 menit, jika digunakan temperatur 100°C, membutuhkan waktu selama 5,5 jam. Dua istilah digunakan untuk menyatakan resistensi bakteri terhadap panas yaitu : waktu kematian termal ("*thermal death time*") dan waktu pengurangan desimal ("*decimal reduction time*"). Waktu kematian termal mengacu pada periode waktu terpendek yang dibutuhkan untuk mematikan suatu suspensi bakteri ( atau spora ) pada suatu keadaan dan suhu tertentu. Waktu pengurangan desimal mengacu pada pengurangan khusus dalam hal jumlah sel hidup yaitu, lamanya waktu dalam menit untuk mengurangi populasi sebesar 90%. Dengan perkataan lain, waktu dalam menit yang dibutuhkan oleh kurva waktu kematian termal, untuk mengalami satu pengurangan logaritmik (pengurangan populasi mikroba sebesar 90%).

Penggunaan panas lembab untuk merusak bakteri dapat dilakukan dengan beberapa cara : pendidihan, uap bebas, dan uap dengan tekanan. Dari ketiga cara tersebut, uap dengan tekanan, paling efisien karena membuat temperatur di atas mampu mendidihkan titik air. Temperatur tersebut dibutuhkan untuk menghancurkan spora bakteri yang sangat

tahan-panas. Sterilisasi uap digunakan dalam suatu ruangan bertekanan yang disebut autoklaf. Dasar tipe sterilisasi ini yang terpenting adalah seluruh bahan yang akan disterilkan harus kontak dengan uap jenuh pada temperatur yang dibutuhkan untuk waktu tertentu. Untuk mensterilkan benda atau bahan yang kecil, digunakan temperatur 121°C dengan waktu 20 menit (15 pon tekanan uap per inci<sup>2</sup>) atau 15 lb/in<sup>2</sup> (5 kg/cm<sup>2</sup>), suhu, waktu dan tekanan tersebut disediakan sebagai batas keamanan.



Gambar 27. Autoclave untuk sterilisasi uap bertekanan

### **Tindalisasi**

Untuk mensterilkan cairan tertentu atau bahan semi-padat (*"semisolid"*) yang mudah rusak oleh panas, digunakan metode pemisahan sterilisasi. Proses ini sering disebut **tindalisasi**, terdiri dari pemanasan bahan pada temperatur 80°C atau 100°C selama 30 menit, dalam tiga hari berturut-turut. Tipe sterilisasi bertingkat ini dilakukan dengan alasan bahwa sel vegetatif dan beberapa spora dibunuh selama pemanasan pertama dan spora yang sangat resisten secara bertahap mengalami germinasi dan dibunuh selama pemanasan kedua dan ketiga. Metode tersebut sering digunakan untuk sterilisasi medium biakan sensitif-panas yang mengandung bahan-bahan seperti karbohidrat, telur, dan serum.

### **Pasteurisasi**

Seperti disebutkan di atas, sebagian besar bakteri vegetatif dapat terbunuh dengan temperatur 60°C - 65°C dalam waktu yang relatif pendek. Penggunaan temperatur pada rentang tersebut sangat penting dalam pasteurisasi susu dan persiapan vaksin bakterial. Meskipun pada awal ditemukannya oleh Pasteur, memiliki arti penghancuran mikroorganisme yang menyebabkan kerusakan minuman anggur (wine) dan bir, sekarang pasteurisasi digunakan untuk membuat makanan dan keamanan minuman untuk konsumsi. Penggunaan perlakuan tersebut untuk pasteurisasi susu yang terdiri dari pemanasan pada temperatur 62°C selama 30 menit, dilanjutkan dengan pendinginan secara cepat. Temperatur tersebut tidak mensterilkan susu, tetapi membunuh semua bakteri penyebab-penyakit yang sering ditularkan melalui susu.

Pemanasan susu pada temperatur yang terlampau tinggi dihindari, karena menghasilkan cita rasa yang kurang sedap. *Mycobacterium tuberculosis*, selama bertahun-tahun diduga sebagai patogen yang paling tahan-panas, dan terbawa dalam susu mentah. Dengan alasan tersebut maka pasteurisasi susu dilakukan dengan temperatur 61,7°C selama 30 menit; *M. tuberculosis* terbunuh pada temperatur 60°C dalam waktu 15 menit. Namun, kemudian ditemukan bahwa suatu riketsia yaitu *Coxiella burnetii*, penyebab demam Q, terdapat juga dalam susu serta bersifat lebih tahan-panas daripada *M. tuberculosis*. Akibatnya, temperatur untuk pasteurisasi susu dinaikkan menjadi 62,8°C selama 30 menit.

### **Air mendidih**

Sel-sel vegetatif mikroorganisme akan terbunuh dalam 10 menit dalam air mendidih. Namun, beberapa spora bakteri dapat bertahan dalam kondisi seperti ini selama berjam-jam. Merebus peralatan di dalam air mendidih selama waktu yang singkat lebih memungkinkan untuk disinfeksi daripada sterilisasi, karena itu air mendidih tidak dapat diandalkan untuk sterilisasi.



Gambar 28. Disinfeksi peralatan dengan perebusan di air mendidih

### b. Panas Kering

Sterilisasi dengan panas kering membutuhkan temperatur yang lebih tinggi dan periode pemanasan yang lebih panjang daripada sterilisasi dengan uap. Digunakan terutama untuk sterilisasi alat-alat gelas dan bahan-bahan seperti minyak, jeli, dan serbuk yang tak tahan terhadap uap. Panas kering dihasilkan dari panas yang berada pada bahan-bahan tempat organisme menempel, jadi bukan dari udara panas yang mengelilinginya; penting untuk ditegaskan pada pemanasan secara umum terhadap benda yang disterilkan. Tipe panas kering yang sering digunakan secara luas adalah oven udara-panas. Sterilisasi membutuhkan waktu 2 jam pada temperature 180°C, untuk membunuh semua organisme termasuk pembentuk spora. Tipe panas kering lain yang sering digunakan adalah “insinerasi” (pembakaran) bahan sekali pakai (“*disposable objects*”) atau pembakaran bahan yang mengandung mikroorganisme. Pembakaran digunakan untuk memusnahkan bangkai, hewan penelitian yang terinfeksi dan bahan terkontaminasi lain yang akan dibuang.

Pemusnahan mikroorganisme dengan pembakaran juga dilakukan secara rutin di laboratorium terhadap jarum inokulasi bakteriologik, tutup tabung dari kain kasa kapas, dan alat-alat yang kecil dengan cara melakukan benda-benda tersebut melalui lidah api suatu alat pembakar Bunsen.





Gambar 29. Oven untuk sterilisasi panas kering

## 2). Pembekuan

Meskipun beberapa bakteri dapat dibunuh dengan temperatur paparan dingin, pembekuan merupakan metode yang tidak layak untuk sterilisasi. Penggunaannya terutama untuk pengawetkan biakan bakteri. Pembekuan dan pencairan secara berulang, lebih merusak bakteri daripada memperpanjang penyimpanannya pada suhu pembekuan. Pembekuan bakteri tersebut, akan membentuk kristal es di luar sel yang menyebabkan arus balik air dari bagian dalam sel, mengakibatkan suatu peningkatan elektrolit intraseluler dan denaturasi protein. Membran sel dirusak, dan terjadi suatu kebocoran senyawa organik intraseluler. Kebocoran bahan-bahan yang mengandung fosfor anorganik, ribosa, peptida, dan nukleotida yang meningkat sebagai akibat aktivasi peptidase dan ribonuklease laten.

Ketika bakteri dibekukan secara cepat pada temperatur kurang dari  $-35^{\circ}\text{C}$ , bentuk kristal es di dalam sel, menghasilkan efek mematikan selama pencairan. Jika, kultur dikeringkan dengan mengosongkan daerah pembekuan tersebut dengan cara liofilisasi atau *freeze-drying*, awal kematian secara besar-besaran dapat dikurangi. Metode ini sering digunakan untuk pengawetan biakan bakteri. Bakteri dan virus dapat bertahan hidup pada temperatur  $-20^{\circ}\text{C}$  (temperatur alat pembeku mekanis),  $-70^{\circ}\text{C}$  (temperatur es kering, yaitu  $\text{CO}_2$  beku), dan bahkan pada temperatur  $-195^{\circ}\text{C}$  (temperatur nitrogen cair). Nitrogen cair sering digunakan untuk mengawetkan biakan virus dan mikroorganisme lain, juga persediaan sel-sel jaringan mammalia yang digunakan dalam virologi hewan serta tujuan riset lainnya. Prosedur pendinginan mula-mula dapat mematikan sebagian sel itu, namun jumlah yang dapat bertahan akan lebih besar dan tetap hidup untuk waktu lama.

### **3). Pendinginan**

Temperatur di bawah temperatur optimum pertumbuhan dapat menekan laju metabolisme, dan bila temperatur terlalu rendah, maka metabolisme serta pertumbuhan akan terhenti. Temperatur rendah sangat bermanfaat untuk mengawetkan biakan karena mikroorganisme mempunyai kemampuan yang unik untuk dapat bertahan hidup pada keadaan yang sangat dingin. Biakan beberapa bakteri, khamir dan kapang yang ditumbuhkan pada media agar dalam tabung reaksi, dapat tetap hidup selama berbulan-bulan pada temperature lemari es yaitu sekitar 4-7°C. Metode ini baik untuk mengawetkan beberapa biakan tetapi tidak untuk semua mikroorganisme, karena ada bakteri yang tumbuh optimum pada temperatur tersebut, sehingga media pertumbuhan akan habis dan dapat membunuh bakteri tersebut.

Dengan demikian menjadi jelas bahwa temperatur rendah, betapapun ekstrimnya, tidak dapat diandalkan untuk disinfeksi ataupun sterilisasi. Mikroorganisme yang dipelihara pada temperatur beku atau di bawah temperature beku, dianggap dorman karena tidak memperlihatkan adanya aktivitas metabolic yang dapat dideteksi. Hal ini merupakan dasar untuk keberhasilan pengawetan pangan dengan menggunakan temperatur rendah.

### **4). Radiasi**

Sinar matahari memiliki aktivitas bakterisida dan memainkan peranan penting dalam sterilisasi yang bersifat spontan yang terjadi pada keadaan alami. Peran desinfektan tersebut terutama karena kandungan sinar ultravioletnya, yang sebagian besar disaring oleh kaca dan adanya ozon pada atmosfer bumi dan polutan atmosfer (asap). Sinar elektromagnetik lain dengan panjang gelombang lebih pendek, seperti sinar-x dan sinar-g, juga sinar yang dihasilkan dari kerusakan radioaktif dan oleh akselerator ion, juga dapat memperlihatkan efeknya jika diserap oleh bakteri.

#### **Efek Radiasi.**

Hanya cahaya yang diserap (diabsorpsi) yang membantu reaksi fotokimia. Sebagai molekul pengabsorpsi cahaya, yang menerima energi dalam bentuk unit dengan ciri tersendiri yang disebut "kuanta". Energi suatu kuantum berbanding terbalik dengan panjang gelombangnya. Pada reaksi primer, hanya 1 kuantum cahaya yang diserap oleh setiap

molekul substansi pengabsorpsi. Jumlah kuantum yang diabsorpsi oleh suatu sistem biologi sebanding dengan lamanya dan intensitas produk radiasi, juga sebanding dengan koefisien absorpsi bahan terirradiasi. Absorpsi kuantum oleh elektron dalam satu atom menyebabkan inaktivasi molekul, yang selanjutnya menggunakan kelebihan energi untuk merubah senyawa kimia, seperti dekomposisi dan penyusunan-kembali bagian dalam (*"internal rearrangements"*), atau dapat hilang sama sekali sebagai panas atau fluoresensi.

Radiasi memiliki energi yang cukup untuk memindahkan suatu elektron secara sempurna dari suatu atom dan menghasilkan muatan listrik (ionisasi), atau energi hanya cukup untuk memindahkan elektron ke tempat energi yang lebih tinggi (eksitasi). Energi sebanding dengan 10 elektron volt yang dibutuhkan untuk menarik suatu elektron keluar dari suatu atom. Hal ini dilakukan oleh sinar-x dan sinar-g yang mengionisasi atom melalui pemasukan elektron dari beberapa atom melalui radiasi. Meskipun energi kuantum diabsorpsi oleh molekul, dalam rentang sinar ultra violet dan sinar yang dapat dilihat, tidak dapat memindahkan suatu elektron secara sempurna, eksitasi yang dihasilkan sering mengarah pada perubahan fotokimia. Pada rentang spektrum inframerah, energi tidak cukup untuk memulai perubahan senyawa kimia dalam bahan biologi, dan energi yang diserap akan dihamburkan sebagai panas.

#### **a. Radiasi Ultraviolet**

##### **Mekanisme Kerusakan Oleh Radiasi Ultraviolet**

Cahaya ultraviolet meliputi spektrum radiasi dari 15 – 390 nm. Efektivitas cahaya ultraviolet sebagai suatu bahan mutagenik dan mematikan berhubungan erat dengan panjang gelombangnya. Panjang gelombang bersifat bakterisida yang paling efektif ialah pada rentang 240 – 280 nm, dengan panjang optimum sekitar 260 nm, yang dilaporkan mengalami absorpsi maksimum oleh DNA. Mekanisme efek mematikan sinar UV yang terbanyak pada bakteri, karena absorpsi menyebabkan kerusakan DNA. Radiasi UV mengarah pada pembentukan ikatan kovalen antara residu pirimidin yang berdekatan satu sama lain pada rantai yang sama, menghasilkan formasi dimer pirimidin tipe-siklobutan. Dimer ini merupakan bentuk penyimpangan DNA dan bergabung dengan pasangan basa normal. Hal tersebut mengakibatkan suatu hambatan sintesis DNA dan efek sekundernya menghambat pertumbuhan dan respirasi. Cahaya UV juga bersifat mutagenik. Efek mutagenik bergantung pada induksi oleh dimer siklobutan dari respon SOS, yang secara

serasi mengatur grup operon terrepresi secara negatif. Efek lain dari radiasi UV, misalnya fotohidrasi sitosin dan pautan-silang rantai DNA komplemen, tetapi UV dalam dosis yang sangat tinggi perlu diatur sebagai mekanisme terbesar untuk merusak sel.

### **Penggunaan Cahaya UV**

Radiasi UV dapat dihasilkan secara buatan dengan lampu asap merkuri. Unit energi radiasi diukur dalam mikrowatt per unit area per unit waktu. Cahaya UV 15 watt menghantarkan radiasi 38 mW/cm<sup>2</sup>/s pada jarak 1 m. Radiasi UV sama efektifnya untuk bakteri gram-positif maupun gram-negatif. Untuk sebagian besar bakteri yang tidak membentuk spora, dosis yang mematikan bervariasi mulai dari 1800 mW/cm<sup>2</sup>/s sampai 6500 mW/cm<sup>2</sup>/s. Spora bakteri membutuhkan 10 kali dosis tersebut. Saat ini sudah ada lampu yang disebut lampu germisidal, yang memancarkan sinar ultraviolet dengan konsentrasi tinggi dengan daya germisidal paling efektif, yaitu terletak pada daerah 260 – 270 nm. Lampu germisidal banyak digunakan untuk mengurangi populasi mikroba di kamar-kamar bedah rumah sakit, di ruang aseptik untuk pengisian obat-obatan industri farmasi, pada tempat pengisian produk steril ke dalam tabung kecil atau ampul dengan pipet dan di industri-industri pangan serta persusuan untuk membersihkan permukaan yang terkontaminasi.

Meskipun komponen radiasi UV secara tidak diragukan bersifat bakterisida, tetapi radiasi UV tidak layak digolongkan sebagai bahan pensterilisasi karena ketidakjelasan dalam penggunaannya. Tidak seperti radiasi ionisasi, energi radiasi UV adalah rendah, dan daya tembusnya kecil. Radiasi UV tidak menembus benda padat, dan hanya sedikit menembus benda cair. . Bahkan selapis kaca yang tipis dapat menahan sebagian besar sinar tersebut. Oleh karena itu, sinar UV tidak berpengaruh terhadap mikroorganisme yang terlindung dari pancaran langsung sinar tersebut (*“incident beams”*). Jadi hanya mikroorganisme yang ada di permukaan suatu benda yang secara langsung terkena sinar ultraviolet, yang rentan terhadap pembasmian.

### **b. Radiasi Pengionisasi**

#### **Komponen Radiasi Pengionisasi.**

Radiasi pengionisasi dikelompokkan menjadi dua golongan sesuai dengan komponen fisiknya : (1) yang memiliki masa dan bermuatan atau tidak bermuatan, dan (2) hanya energi saja. Beberapa radiasi pengionisasi merupakan produk dari kerusakan radioaktif (sinar-a, -b, -g ), dan yang lainnya dihasilkan pada suatu mesin sinar-x, melalui pengeboman partikel, atau reactor nuklir. Radiasi pengionisasi yang memiliki nilai terbesar untuk keperluan sterilisasi ialah sinar-x , sinar-g elektromagnetik, dan partikel sinar katoda (electron terakselerasi buatan). Radiasi tersebut memiliki sejumlah energi yang lebih besar daripada yang dikandung dalam radiasi UV, sehingga kemampuan untuk menghasilkan efek mematikan juga lebih besar. Daya tembus radiasi pengionisasi mendukung efektivitasnya sebagai bahan sterilisasi. Sinar katoda, karena sifat partikelnya, memiliki energi dari dalam , dan akibatnya memiliki daya tembus terbesar, meskipun sinar-a dan sinar-g memiliki daya tembus yang lebih besar.

Karena sifat mekanisme dilibatkan, maka aktivitas optimum tidak pernah terjadi pada permukaan bahan yang disinari. Dengan sinar-g, aktivitas optimum terjadi hanya bagian dalam atau di bawah permukaan, dengan sinar katoda hal itu terjadi lebih dalam beberapa sentimeter.

### **Efek Mematikan**

Sebagian besar bakteri yang tidak membentuk spora, relative sensitif terhadap radiasi pengionisasi. Diantara bakteri tersebut, bakteri gram-positif umumnya lebih resisten daripada bakteri Gram-negatif, spora sebagian besar mikroorganisme bersifat resisten-radiasi. Kematian mikroorganisme karena paparan radiasi pengionisasi biasanya bersifat eksponensial melalui periode sterilisasi, meskipun dalam beberapa kasus hal tersebut cenderung sigmoidal. Kemiringan kurva waktu-survivor ditentukan oleh intensitas penyinaran, tetapi hubungan dosis dengan persentase organisme yang dibunuh, selalu eksponensial. Menuju akhir proses, suatu efek bagian akhir menjadi mencolok, perlu ditegaskan bahwa dosis penuh secara yakin sudah diberikan.

### **Penggunaan Praktis**

Meskipun dosis sterilisasi bergantung pada tingkat kontaminasi awal, suatu dosis 2,5 Mrad radiasi pengionisasi (1 Mrad = 106 rad, 1 rad = absorpsi energi 100 ergs/gram udara) sudah diterima sebagai dosis sterilisasi. Dosis tersebut, cukup untuk membunuh sebagian besar mikroorganisme dan juga tersedia sebagai dosis yang aman untuk digunakan dalam praktek.

Bidang Farmasi dan kedokteran, merupakan bidang utama yang menggunakan radiasi pengionisasi untuk sterilisasi. Khususnya untuk sterilisasi benda atau bahan seperti alat bedah sekali-pakai, benang jahit terbuat dari usus hewan ("*cat gut*"), benang jahit nilon, dan alat-alat yang berhubungan dengan kedokteran.

### **5). Vibrasi Sonik Dan Ultrasonik**

Vibrasi suara pada frekuensi tinggi, dalam rentang ultrasonik dan dapat didengar (20-1000 kc), merupakan teknik yang sering digunakan untuk merusak sel mikroba. Generator gelombang suara yang secara luas digunakan untuk keperluan operasi, dalam rentang frekuensi 9-100 kc/s. Tidak ditemukan frekuensi khusus, tetapi secara umum dengan meningkatkan frekuensi gelombang ultrasonik. Vibrasi ultrasonik juga dapat menyebabkan depolimerisasi makromolekul dan pengelompokan-kembali intramolekuler. Pelepasan rantai-ganda oleh vibrasi sonik dihasilkan untuk pemindahan DNA, dan integrasi kedalam genom inang dapat dihambat.

Mikroorganisme memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap vibrasi sonic dan ultrasonik. Sebagian besar batang Gram-negatif bersifat rentan, dan diantara sebagian besar yang resisten adalah *Staphylococcus*, membutuhkan waktu paparan yang lama. Meskipun vibrasi sonik dapat mematikan populasi bakteri, tetapi ada juga yang bertahan hidup. Akibatnya, perlakuan dengan vibrasi sonik tidak memiliki nilai praktis untuk sterilisasi dan disinfeksi.

Sehubungan dengan pengendalian mikroorganisme, yang terpenting ialah mekanisme kerja gelombang suara berfrekuensi tinggi pada pembersih ultrasonik, yaitu unit-unit berisi cairan yang dilalui oleh gelombang suara tersebut. Gelombang suara berfrekuensi tinggi menempuh perjalanannya melalui cairan tadi, maka terbentuklah sejumlah besar gelombang kecil yang setelah mencapai ukuran tertentu menghilang dengan sangat cepat. Fenomena ini dinamakan kavitasi ("*cavitation*"), yaitu tenaga yang ditimbulkan akan menghilangkan debu atau partikel-partikel (termasuk mikroorganisme) dari permukaan

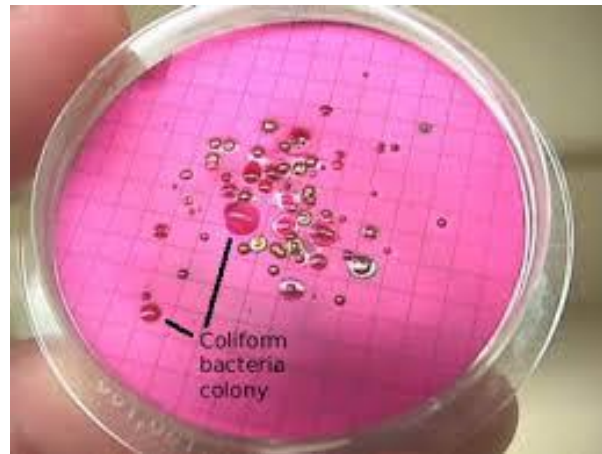
benda yang ada dalam cairan tersebut. Pembersih ultrasonik lebih efisien untuk membersihkan bahan organik dari peralatan dibandingkan dengan penyikatan secara mekanis.

## **6). Penyaringan**

Penyaringan atau filtrasi merupakan metode yang digunakan dalam laboratorium untuk sterilisasi bahan-bahan yang tidak-tahan panas. Meskipun saringan mekanik memainkan peranan dalam semua proses penyaringan, fenomena absorpsi dan elektrostatik dan konstruksi fisik filter juga secara nyata memiliki pengaruh. Sejumlah tipe filter sudah digunakan untuk keperluan sterilisasi. Bahan filter tersebut merupakan suatu lapisan yang relatif tebal terbuat dari asbes, tanah diatom, porselen atau kaca berpori ("*sintered glass*"). Sebagian besar tipe lama (Berkefeld, Chamberland, Seitz) sudah diganti dengan filter membran yang terdiri dari cakram berpori dari ester selulosa lembam (lamban) atau bahan polimerik lain dengan pori-pori berukuran tepat serta seragam. Cakram tersebut sedikit meyerap cairan yang tersaring, maka selanjutnya sering digunakan untuk sterilisasi bahan-bahan tertentu yang tidak tahan, tanpa kelemahan, digunakan suhu tinggi dalam sterilisasi panas.

### **Filter Membran**

Filter membran yang layak memiliki ukuran pori 14-0,023 mm. Filter berukuran 0,22 mm, secara luas digunakan untuk sterilisasi karena ukuran pori tersebut lebih kecil daripada bakteri. Filter tersebut harus selalu digunakan untuk sterilisasi larutan yang mengandung serum, plasma, atau tripsin dimana sering terdapat spesies *Pseudomonas* atau bakteri kecil lain. Filter membran berperan penting sebagai penyaring bersifat dua-dimensi, menahan semua partikel yang ukuran pori. Pada penyaringan cairan, sejumlah besar partikel apapun yang lebih kecil dari ukuran pori, ditahan oleh tekanan van derWaals, dengan terperangkap secara acak pada pori, dan dengan menambah partikel yang tertahan sebelumnya. Sifat penting filter membran adalah semua partikel yang lebih besar dari ukuran pori secara positif ditahan pada permukaan filter. Mikroorganisme ditahan pada lapisan filter bukan hanya disebabkan ukuran pori filter, tetapi juga disebabkan oleh kombinasi ukuran pori, sifat jaringan bahan berserat atau partikel penyusun lapisan saringan, dan muatan listrik bahan-bahan tersebut.



Gambar 30. Filter membran untuk bakteri Coliform

### **Filter udara**

Sudah dikembangkan filter yang memiliki efisiensi tinggi untuk menyaring udara yang berisik partikel (*"high efficiency particulate air filter"* atau *HEPA*), memungkinkan dialirkannya udara bersih ke dalam ruang tertutup. Tipe filtrasi udara semacam ini bersama dengan sistem aliran udara laminar (*laminar air flow*), sekarang banyak digunakan untuk menyediakan udara yang bebas dari debu dan bakteri. Filter udara digunakan di dalam ruang transfer mikrobiologi untuk mencegah timbulnya kontaminasi pada tempat pengisolasian bakteri khususnya patogen untuk mencegah penyebaran infeksi dan di dalam ruang-ruang yang digunakan untuk merakit peralatan elektronik miniatur karena kontaminasi oleh partikel-partikel bahkan sekecil bakteri dapat merusak daya guna komponen peralatan tersebut.

### **7). Pengerinan**

Pengerinan sel mikroorganisme dan lingkungannya sangat mengurangi, atau menghentikan aktivitas metabolik, yang diikuti dengan kematian sejumlah sel. Secara umum, jangka waktu hidup mikroorganisme setelah pengerinan bervariasi tergantung pada faktor-faktor berikut:

- a. Macam mikroorganisme
- b. Bahan yang dipakai untuk mengeringkan mikroorganisme
- c. Kesempurnaan proses pengerinan



d. Kondisi fisik (cahaya, temperatur, kelembaban) yang dikenakan pada mikroorganisme yang dikeringkan

Bakteri kokus gram negatif seperti *Neisseria gonorrhoeae* dan *Neisseria meningitidis* sangat peka terhadap kekeringan, sehingga akan mati dalam waktu beberapa jam. *Streptococcus* jauh lebih resisten dan ada yang dapat bertahan berminggu-minggu setelah dikeringkan. *Bacillus tuberculosis* yang dikeringkan bersama dahak dapat tetap hidup selama jangka waktu lebih lama lagi. Spora kering mikroorganisme telah diketahui dapat tetap hidup sampai waktu tak terbatas.

## **8). Tekanan osmotik**

Tekanan osmosis ialah tekanan difusi melintasi membran semipermeabel (yang memisahkan) dua macam larutan dengan konsentrasi zat terlarut yang berbeda. Proses ini cenderung untuk menyamakan konsentrasi zat terlarut pada kedua sisi membran tersebut. Jadi sel itu akan terhidrasi, efeknya serupa seperti mengeringkan sel, proses ini dikenal dengan nama plasmolisis. Pada sel hewan yang tidak mempunyai dinding yang kaku, dapat teramati penyusutan sel yang sesungguhnya sebagai akibat plasmolisis. Bila bakteri ditempatkan di dalam larutan yang mengandung natrium klorida jauh di bawah 1%, atau sekitar 0,01% maka arah aliran air akan terbalik, yaitu air dari larutan akan mengalir menuju ke dalam sel. Proses demikian dinamakan plasmoptisis. Terbentuknya tekanan osmotik di dalam sel akibat akumulasi air dalam jumlah yang besar. Apabila membran sel itu elastik, seperti misalnya pada sel darah merah, maka tekanan ini akan mengakibatkan pembengkakan dan bahkan dapat menyebabkan pecahnya sel. Bakteri memiliki dinding sel yang kaku yang dapat menahan perubahan tekanan osmotik, sehingga biasanya tidak menunjukkan perubahan bentuk ataupun ukuran yang menyolok bila terjadi plasmolisis atau plasmoptisis.

## **B. Pengendalian Secara kimia**

### **a. Disinfektan Aktif-permukaan**

Senyawa yang merubah hubungan timbal-balik energi pada ruang-antara (*interfaces*), mengurangi permukaan atau tekanan ruang-antara, oleh karena itu senyawa tersebut dinamakan bahan aktif-permukaan. Bahan aktif-permukaan merupakan senyawa yang memiliki grup hidrofilik dan hidrofobik. Ruang-antara antara membran yang mengandung-

lipid pada sel bakteri dan medium berair sekelilingnya, tersedia sebagai target yang rentan terhadap tipe bahan seperti ini. Bagian molekul hidrofobik, bersifat larut dalam lemak, hidrokarbon rataipanjang, sedangkan bagian hidrofilik yang dapat terionisasi atau suatu nonionik tetapi merupakan struktur yang sangat polar. Yang termasuk bahan aktif-permukaan ialah kationik, anionik, nonionik, dan senyawa amfoterik.

## **b. Bahan Kationik**

### **Senyawa Amonium kuarternar.**

Yang terpenting dalam bahan aktif-permukaan bakterisida ialah senyawa kationik yang memiliki residu hidrofobik diseimbangkan dengan muatan positif grup hidrofilik, seperti inti amonium kuarternar. Ketika bakteri dipapar oleh bahan tipe ini, grup yang beruatan positif akan berhubungan dengan grup fosfat fosfolipid membran, sedangkan bagian nonpolar menembus ke dalam interior hidrofobik membran. Menghasilkan penyimpangan yang menyebabkan kehilangan semipermeabilitas membran dan kebocoran senyawa yang mengandung fosfor dan nitrogen. Bahan kationik itu sendiri dapat memasuki sel dan mendenaturasi protein. Aktivitas terbaik senyawa amonium kuarternar ini pada pH alkalin. Meskipun senyawa ini bersifat bakterisida untuk organisme secara luas, spesies gram-positif lebih rentan. Aktivitas antibakteri dikurangi dengan adanya bahan organik.

## **c. Bahan Anionik**

Diantara deterjen anionik terdapat sabun dan asam lemak yang terpisah untuk menghasilkan ion muatan negatif. Bahan ini lebih aktif pada pH asam, aktif menyerang bakteri Gram-positif tetapi relatif tidak efektif untuk spesies Gram negatif karena lipopolisakarida membran luarnya. Melalui penggabungan suatu bahan anionik dengan asam, surfaktan asam-anionik sangat efektif sebagai pembersih yang bersifat sinergistik dan memainkan peran bakterisida secara cepat (dalam 30 detik).

Deterjen anionik menyebabkan kerusakan besar pada lipoprotein membrane sel. Kerusakan garam empedu secara primer, selama ini digunakan oleh ahli mikrobiologi untuk menghancurkan *Pneumococcus*, yang memecah membran sel, menyebabkan enzim autolitik berperan pada substrat, yang dipotong dari sel utuh. Ketika digunakan bersama, deterjen anionik dan kationik, saling menetralkan satu sama lain.

#### **d. Senyawa Fenolik.**

Pada konsentrasi rendah, senyawa ini bersifat bakterisida secara cepat menyebabkan kebocoran kandungan sel dan secara irreversibel meng-inaktifkan oksidase dan hidrogenase-terikat membran. Senyawa fenolik induk (asam karbolat) digunakan secara terbatas terutama untuk menguji bahan bakterisida baru. Kresol merupakan alkil fenol sederhana. Orto-, meta-, dan parakresol dianggap lebih aktif daripada fenol dan biasanya digunakan sebagai suatu campuran (trikresol). Kresol, diperoleh secara industri melalui destilasi tar batubara, diemulsifikasi dengan sabun hijau dan padat dengan nama pabrik Lisol dan Creolin.

Fenol dan kresol berbau khas dan bersifat korosis terhadap jaringan. Walaupun demikian mereka tahan terhadap pemanasan dan pengeringan serta tidak terpengaruh oleh bahan-bahan organik, tetapi kurang efektif terhadap spora. Penambahan halogen seperti klorin akan meningkatkan aktivitas fenol. Fenol dan kresol juga bersifat menghilangkan sakit (*pain killing*). Oleh karena sangat toksik, keduanya hanya dapat digunakan secara eksternal (bagian luar tubuh).

#### **e. Senyawa Difenil**

Senyawa difenil terhalogenasi memperlihatkan komponen antibakteri yang unik. Dari senyawa ini, yang terpenting adalah heksaklorofen merupakan derivat fenol. Heksaklorofen sangat efektif menyerang bakteri Gram-positif, khususnya *Streptococcus* dan *Staphylococcus*. Heksaklorofen, merupakan bakterisida jika digunakan pada konsentrasi yang cukup tinggi, tidak seperti beberapa disinfektan, tetap memiliki kemampuan antimikroba ketika dicampurkan dengan sabun atau ditambahkan kepada berbagai bahan kosmetik. Digunakan pada berbagai produk, seperti sabun germisida dan antikerangat. Penyerapannya melalui kulit dapat menyebabkan neurotoksisitas, khususnya pada bayi, sekarang penggunaannya secara luas dihentikan.

#### **f. Alkohol**

Alkohol memberikan pengertian mengenai interaksi pelarut organik dengan membran lipid. Alkohol memecah struktur lipid melalui penembusan ke dalam daerah hidrokarbon. Sebagai tambahan, pengaruhnya pada membran, alkohol dan pelarut organik lain dapat mendenaturasi protein seluler. Oleh karena itu membrane sel akan rusak dan enzim-enzim mengalami inaktivasi. Ada tiga jenis alkohol yang digunakan, yaitu: metanol [CH<sub>3</sub>OH], etanol

[CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH] dan isopropanol [(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CHOH]. Menurut ketentuan, semakin tinggi berat molekulnya, semakin meningkat pula daya bakterisidanya. Alkohol alifatik, khususnya etanol sudah digunakan secara luas sebagai disinfektan kulit karena kemampuan bakterisida dan kemampuannya menghilangkan lemak dari permukaan kulit. Perannya sebagai disinfektan, secara luas dihambat karena ketidakmampuan etanol untuk membunuh spora pada suhu normal; karena alasan tersebut etanol selayaknya tidak digunakan untuk sterilisasi alat-alat. Etanol, aktif menyerang bakteri Gram-positif, Gram-negatif, dan "acid-fast", dan lebih efektif pada konsentrasi 50%-70%.

Aktivitas bakterisida isopropil alkohol lebih besar dibandingkan dengan etanol, dan kurang mudah menguap. Karena alasan tersebut, direkomendasikan sebagai pengganti etanol untuk sterilisasi termometer. Narkosis dapat disebabkan penyerapan uap isopropil alkohol melalui paru-paru selama menggunakan busa alkohol. Konsentraasi alkohol yang dipergunakan dalam praktek adalah alkohol 70-80% dalam air. Konsentrasi di atas 90% atau di bawah 50% bisaanya kurang efektif kecuali untuk isopropil alkohol yang masih tetap efektif sampai konsentrasi 99%. Waktu 10 menit sudah cukup untuk membunuh sel vegetatif, tetapi tidak untuk spora.

Sendiri atau dalam bentuk kombinasi, alkohol sering dipakai sebagai disinfektan kulit. Suatu hapusan dengan alkohol secara cepat, tidak cukup mensterilkan, tetapi hanya mengurangi jumlah populasi dan dengan demikian juga mengurangi timbulnya infeksi. Telah menjadi kebiasaan kita dalam praktek untuk mencelupkan alat-alat seperti gunting, pisau, pinset dan sebagainya ke dalam alcohol dan kemudian membakarnya. Keefektifan cara ini masih dipertanyakan dan hendaknya jangan dipakai untuk mengganti cara-cara sterilisasi yang lebih baik.

#### **g. Bahan Yang Merubah Grup Fungsional Pada Protein Dan Asam Nukleat**

Tempat katalitik suatu enzim mengandung grup fungsional spesifik yang mengikat substrat dan memulai peristiwa katalitik. Penghambatan aktivitas enzim terjadi, jika satu atau lebih grup fungsional ini dirubah atau dirusak. Grup fungsional penting pada membran, dinding sel, dan asam nukleat juga rentan terhadap inaktivasi. Senyawa yang mengandung merkuri atau arsenik yang digabungkan dengan grup sulfidril; formaldehid, deterjen anionik, dan pewarna asam bereaksi dengan grup imidazol dan amino; pewarna basa, senyawa amonium kuarterner, dan deterjen kationik bereaksi dengan grup yang bersifat asam,

seperti residu asam fosforst atau hidroksil. Adanya bahan organik atau bahan lain yang mengandung grup reaktif bebas menandai penurunan efektivitas bahan, yang toksisitasnya dihasilkan dari penggabungannya dengan grup reaktif komponen sel.

### 1). Logam-logam berat

Logam berat berperan sebagai antimikroba, karena dapat mempresipitasikan enzim-enzin atau protein esensial lain dalam sel. Logam-logam berat yang digunakan secara umum adalah Hg, Ag, As, Zn dan Cu. Daya antimikrobanya bisa disebut sebagai daya oligodinamik.

**Hg** : HgCl<sub>2</sub> pernah merupakan desinfektan yang populer, tapi kini sudah dianggap usang dan tidak bermanfaat oleh 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%, AgNO<sub>3</sub> bisa digunakan untuk mencegah kemungkinan terjadinya infeksi gonokokus pada mata bayi yang baru lahir. Selama beberapa tahun, penggunaan AgNO<sub>3</sub> telah diganti dengan penisilin, tetapi meningkatnya resistensi kuman-kuman tersebut terhadap penisilin, kini telah dipakai kembali.

**As** ; Arsen pernah terkenal sebagai obat pertama untuk sifilis dan kini masih dipergunakan dalam pengobatan infeksi oleh protozoa.

**Zn** ; Dalam bentuk pasta, dipakai untuk mengobati infeksi karena kuman atau jamur.

### 2). Bahan Pengoksidasi

Bahan antimikroba yang sering digunakan dari grup ini ialah halogen dan hidrogen peroksida. Bahan ini meng-inaktifkan enzim dengan merubah grup –SH fungsional, mejadi bentuk S-S teroksidasi. Bahan terkuat juga menempel pada grup amino, grup indol, dan grup hidroksil fenolik dari tirosin.

#### a). Hidrogen Peroksida

Hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) merupakan antiseptik yang efektif dan nontoksik. Molekulnya tidak stabil dan apabila dipanaskan akan terurai menjadi air dan oksigen :



Dengan adanya ion-ion logam yang umumnya terdapat di dalam sitoplasma sel, maka selama pembentukan oksigen, dibentuk pula radikal superoksida (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) yang akan bereaksi dengan grup bermuatan negatif dalam protein dan selanjutnya akan menginaktifkan sistem

enzim yang vital. Pada konsentrasi 0,3-6,0%, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dipakai untuk disinfeksi dan pada konsentrasi 6,0-25,0% dipakai untuk sterilisasi. Pada konsentrasi 0,1% di dalam susu pada suhu 54°C selama 30 menit, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dapat mengurangi jumlah kuman sampai 99,99%. Terdapat bukti bahwa H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% bersifat virusid dan sporosid. Pasta Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dipakai untuk mengobati acne sedangkan ZnO<sub>2</sub> untuk mengobati infeksi kulit yang disebabkan kuman-kuman anaerob dan mikroaerofilik. Larutan 3% hidrogen peroksida bisa dipakai untuk mencuci dan mendisinfeksi luka karena kuman-kuman terutama anaerob yang peka terhadap oksigen. Pada saat hidrogen peroksida digunakan terhadap jaringan, oksigen secara cepat dilepaskan oleh katalase jaringan, dan peran germisida diperpendek.

Meskipun peran antibakterinya ditentukan oleh kemampuan pengoksidasinya, hal tersebut memungkinkan bahwa pembentukan radikal hidroksil bebas (-OH) lebih toksik daripada peroksida dalam suatu reaksi tergantung-besi terhitung untuk sebagian besar aktivitas tersebut. Pada tingkat nonletal rendah di bawah keadaan aerobik, hidrogen peroksida secara langsung merobek DNA, menyebabkan kerusakan yang diperbaiki melalui jalur perbaikan inisiasi dan membutuhkan DNA polimerase I. Sebagai suatu disinfektan benda mati, hidrogen peroksida sering digunakan dan merupakan bahan yang efektif. Penggunaannya meningkat untuk disinfeksi alat-alat bedah dan lensa kontak plastik yang lembut.

## **b). Halogen**

Halogen meliputi senyawa-senyawa klorin dan Iodin, baik yang organik maupun yang anorganik. Kebanyakan senyawa halogen membunuh sel hidup. Membunuh sel dengan cara mengoksidasi protein, dengan demikian merusak membran dan menginaktifkan enzim-enzim. Iodin bisa digunakan untuk disinfektan kulit, sedangkan klorin untuk disinfektan air.

## **c). Iodin**

Iodin berada dalam bentuk I<sub>2</sub> pada nilai pH. di bawah 6, sifat tersebut merupakan peran bakterisida maksimum. Kecepatan pembunuhan akan menurun jika pH. ditingkatkan melebihi 7,5. Ion iodida, I<sup>-</sup>, dibentuk akibat hidrolisis iodin dalam larutan berair, yang tidak memiliki efek bakterisida secara signifikan; ion triiodida, I<sub>3</sub><sup>-</sup>, juga terdapat dalam larutan berair, yang memiliki aktivitas minimum. Tinktur iodin (USP XX) mengandung 2% iodin dan 2,4% natrium iodida dalam alcohol berair (1:1). Campuran iodin dengan berbagai bahan

aktif-permukaan yang berperan sebagai carrier untuk iodine, dikenal sebagai iodoform. Carrier tersebut merupakan polimer netral yang tersedia tidak hanya untuk meningkatkan kelarutan iodine, tapi juga menyediakan suatu sumber pelepasan halogen tertahan. Iodoform terbaik yang dikenal dan merupakan senyawa pilihan ialah iodine-providon (Betadine), suatu senyawa polimer 1-vinil-2-pirolidinon dengan iodine, dengan iodine yang tersedia tidak kurang dari 9% dan tidak lebih dari 12%. Pada obat untuk manusia, iodoform diganti dengan larutan iodine tinktur dan berair dianggap memiliki efek samping yang sangat kecil.

#### **d). Klorin**

Sebagai tambahan terhadap klorin itu sendiri, terdapat tiga tipe senyawa klorin—hipoklorit, kloramin organik dan anorganik. Peran disinfektan semua senyawa klorin melalui pembebasan klorin bebas. Ketika elemen klorin atau hipoklorit ditambahkan ke dalam air, klorin bereaksi dengan air untuk membentuk asam hipoklor, yang dalam larutan netral atau bersifat asam merupakan bahan pengoksidasi kuat dan suatu disinfektan efektif.

Aktivitas klorin dipengaruhi oleh adanya bahan organik. Oleh karena itu, pada disinfeksi air, untuk mengimbangi beberapa bahan yang dapat bergabung dengan klorin, dalam hal ini perlu untuk menentukan kebutuhan klorin. Biasanya menambahkan klorin dengan jumlah yang cukup terhadap persediaan air, untuk memenuhi kebutuhan klorin air tersebut, pada waktu yang sama, untuk menyediakan residu yang cukup untuk disinfeksi sempurna. Pada kasus air kolam renang, suatu spektrum organisme yang luas secara tetap diperkenalkan, dan waktu kontak dengan klorin menjadi sangat pendek. Konsentrasi residu klorin bebas sebanyak 0,6 – 1,0 ppm harus dipelihara untuk menjamin pembunuhan dengan cepat (15 – 30 detik). Klorin dan senyawa terklorinasi juga disarankan untuk sanitasi pemandian air panas dan bak mandi air panas. Untuk menjamin kebutuhan klorin air yang banyak dan untuk menyediakan suatu residu klorin yang dipercaya dapat memenuhi keamanan air, harus tetap dipelihara tersedianya tingkat klorin bebas pada 1-3 ppm.

Hipoklorit merupakan senyawa klorin yang sering digunakan dan tersedia dalam bentuk cairan dan serbuk, sebagai garam kalsium, garam litium, dan garam natrium. Hipoklorit secara luas digunakan pada makanan dan industri perusahaan untuk sanitasi perusahaan dan alat-alat pengolah makanan. Juga sering digunakan sebagai alat sanitasi pada sebagian besar rumah tangga, rumah sakit, dan bangunan umum dengan nama pasar yang terkenal bertanda Clorox dan pemutih Purex.

#### **h. Zat Pewarna**

Beberapa pewarna tar-batubara, khususnya trifenilmetan dan akridin, tidak hanya mewarnai bakteri tetapi juga bersifat menghambat pada pengenceran yang sangat tinggi. Dalam rentang pH yang umum, pewarna bersifat basa sangat efektif. Pewarna tersebut memperlihatkan suatu nilai afinitas untuk grup fosfat bersifat asam dari nukleoprotein dan komponen sel lainnya, dan pewarna tersebut diinaktifkan oleh serum dan protein lain. Pemakaiannya dalam dunia kesehatan dibatasi terutama untuk perlakuan terhadap lesi dermatologik.

#### **i. Bahan Pengalkilasi**

Efek mematikan formaldehid (formalin), etilenoksida, dan glutaraldehid disebabkan peran alkilasinya pada protein. Penghambatan dari bahan tersebut bersifat irreversibel, menyebabkan modifikasi enzim dan hambatan aktivitas enzim.

#### **Formaldehida**

Grup karboksil, hidroksil, atau sulfidril dialkilasi dengan cara penggantian atom hidrogen secara langsung dengan grup hidrosimetil. Formalin merupakan larutan encer yang mengandung 37% formaldehid, tersedia secara komersial. Jika digunakan pada konsentrasi tinggi, dapat merusak semua mikroorganisme termasuk spora. Formalin digunakan secara luas dalam menginaktifkan virus pada persiapan pembuatan vaksin, karena efeknya kecil terhadap komponen antigeniknya. Umumnya digunakan formalin 0,2-0,4%. Dalam bentuk gas formaldehid sudah digunakan untuk dekontaminasi ruangan, bangunan, pabrik dan alat-alat.

#### **Glutaraldehida**

Dalam beberapa tahun terakhir, glutaraldehid, aldehid 5-karbon jenuh banyak digunakan sebagai sterilan dingin untuk alat-alat bedah, juga untuk perlengkapan endoskopi dan terapi saluran pernafasan. Sebagai bakterisida dan sporisida glutaraldehid 10 kali lebih efektif dari formaldehid dan dianggap kurang toksik. Efektivitas bakterisidanya tidak berkurang dengan adanya bahan yang mengandung protein.

#### **Etilen Oksida**



Etilen Oksida digunakan secara luas dalam sterilisasi dengan gas. Bahan tersebut aktif merusak semua tipe bakteri termasuk sporanya dan basil tuberkel, tetapi kerjanya lambat. Bahan ini sering digunakan untuk sterilisasi bahan-bahan yang dapat rusak karena panas seperti tabung polietilen, alat-alat kedokteran, biologik, elektronik dan obat-obatan.

#### **j. Bahan Yang Mendenaturasi Protein**

Pada tempat asalnya, setiap protein memiliki suatu konformasi karakteristik yang dibutuhkan untuk ketepatan fungsinya. Bahan yang merubah konformasi protein melalui denaturasi menyebabkan pembentangan rantai polipeptida sehingga rantai menjadi melilit atau melengkung secara acak dan tidak teratur. Diantara bahan kimia yang dapat mendenaturasi protein seluler ialah asam, alkali, alkohol, aseton, dan pelarut organik lain. Pelarut organik, sudah dibahas pada bagian terdahulu, yaitu mengenai target utamanya terhadap membran sel.

##### **1). Asam dan alkali**

Dalam melaksanakan aktivitas antibakterinya, asam dan alkali menggunakan ion OH<sup>-</sup> dan H<sup>+</sup> bebas, melalui penggabungan molekul, atau merubah pH lingkungan organisme. Asam mineral kuat dan alkali kuat memiliki komponen disinfektan yang sebanding untuk memperluas pemecahannya (disosiasi) dalam larutan. Beberapa hidroksida, menunjukkan derajat disosiasi lebih efektif, diperkirakan bahwa kation metalik menggunakan suatu peran toksik secara langsung pada organisme.

Molekul asam organik secara utuh, mampu melaksanakan aktivitas antibakteri. Meskipun tingkat disosiasinya lebih rendah dibandingkan dengan asam mineral, kadang-kadang molekul asam organik dapat bersifat disinfektan poten. Asam benzoat, secara luas digunakan untuk pengawetan makanan, keefektifannya hampir tujuh kali dibanding asam hidroklorat, yang memperlihatkan bahwa seluruh molekul dan radikal organiknya memiliki aktivitas disinfektan. Asam organik lain yang secara luas digunakan sebagai pengawet makanan untuk memperpanjang penyimpanan produk makanan ialah asam propionat, asam sitrat, asam asetat dan asam laktat.

##### **2). Aldehida**

Aldehida, membunuh sel dengan mendenaturasi protein. Larutan formaldehid 20% dalam 65-70% alkohol merupakan cairan yang sangat baik untuk terilisasi alat-alat, dengan perendaman selama 18 jam. Tetapi karena meninggalkan residu, maka alat-alat tersebut harus dibilas terlebih dahulu sebelum dipakai. Glutaraldehid merupakan larutan seefektif formaldehid, terutama apabila pHnya 7,5 atau lebih. *Staphylococcus* dan sel vegetatif lain akan mati dalam waktu 5 menit, *M. tuberculosis* dan virus dalam waktu 10 menit sedangkan untuk membunuh spora diperlukan 3-12 jam. Larutan ini bersifat nontoksik dan tidak iritatif bagi penderita.

### **3). Evaluasi Aktivitas Bahan Kimia Germisida**

Untuk mengetahui kekuatan suatu bahan kimia harus dibandingkan dengan bahan kimia standar yang telah diketahui kekuatannya, misalnya disinfektan fenol. Ada beberapa cara untuk membandingkannya, tetapi salah satu cara yang paling baik ialah dengan pengujian koefisien fenol. Koefisien fenol merupakan nilai perbandingan efektivitas antara suatu germisida yang diuji dengan efektivitas fenol terhadap mikroorganisme uji yang sama. Misalnya, suatu germisida dapat mematikan populasi standar *Staphylococcus aureus* dengan pengenceran 1 : 250, sedang fenol dapat mematikan populasi standar yang sama dengan pengenceran 1 : 60, maka nilai koefisien fenol germisida yang diuji ialah  $250/60 (= 4,2)$ . Nilai koefisien fenol ini berarti bahwa germisida yang diuji tersebut lebih efektif 4,2 kali dari pada fenol dalam mematikan *S. aureus* secara in vitro.

#### **7.2.4. Antibiotik Dan Resistensi**

Antibiotik memiliki cara kerja sebagai bakterisidal (membunuh bakteri secara langsung) atau bakteriostatik (menghambat pertumbuhan bakteri). Pada kondisi bakteriostatis, mekanisme pertahanan tubuh inang seperti fagositosis dan produksi antibodi bisaanya akan merusak mikroorganisme. Ada beberapa cara kerja antibiotik terhadap bakteri sebagai targetnya, yaitu menghambat sintesis dinding sel, menghambat sintesis protein, merusak membran plasma, menghambat sintesis asam nukleat, dan menghambat sintesis metabolit esensial.

Dinding sel bakteri terdiri atas jaringan makromolekuler yang disebut peptidoglikan. Penisilin dan beberapa antibiotik lainnya mencegah sintesis peptidoglikan yang utuh sehingga dinding sel akan melemah dan akibatnya sel bakteri akan mengalami lisis. Ribosom

merupakan mesin untuk menyintesis protein. Sel eukariot memiliki ribosom 80S, sedangkan sel prokariot 70S (terdiri atas unit 50S dan 30S). Perbedaan dalam struktur ribosom akan mempengaruhi toksisitas selektif antibiotik yang akan mempengaruhi sintesis protein.

Di antara antibiotik yang mempengaruhi sintesis protein adalah kloramfenikol, eritromisin, streptomisin, dan tetrasiklin. Kloramfenikol akan bereaksi dengan unit 50S ribosom dan akan menghambat pembentukan ikatan peptida pada rantai polipeptida yang sedang terbentuk. Kebanyakan antibiotik yang menghambat protein sintesis memiliki aktivitas spektrum yang luas. Tetrasiklin menghambat perlekatan tRNA yang membawa asam amino ke ribosom sehingga penambahan asam amino ke rantai polipeptida yang sedang dibentuk terhambat. Antibiotik aminoglikosida, seperti streptomisin dan gentamisin, mempengaruhi tahap awal dari sintesis protein dengan mengubah bentuk unit 30S ribosom yang akan mengakibatkan kode genetik pada mRNA tidak terbaca dengan baik.

Antibiotik tertentu, terutama antibiotik polipeptida, menyebabkan perubahan permeabilitas membran plasma yang akan mengakibatkan kehilangan metabolit penting dari sel bakteri. Sebagai contoh adalah polimiksin B yang menyebabkan kerusakan membran plasma dengan melekat pada fosfolipid membran. Sejumlah antibiotik mempengaruhi proses replikasi DNA/RNA dan transkripsi pada bakteri. Contoh dari golongan ini adalah rifampin dan quinolon. Rifampin menghambat sintesis mRNA, sedangkan quinolon menghambat sintesis DNA. Mekanisme resistensi Pada awalnya, problema resistensi bakteri terhadap antibiotik telah dapat dipecahkan dengan adanya penemuan golongan baru dari antibiotik, seperti aminoglikosida, makrolida, dan glikopeptida, juga dengan modifikasi kimiawi dari antibiotik yang sudah ada. Namun, tidak ada jaminan bahwa pengembangan antibiotik baru dapat mencegah kemampuan bakteri patogen untuk menjadi resisten. Berdasarkan hasil studi tentang mekanisme dan epidemiologi dari resistensi antibiotik telah nyata bahwa bakteri memiliki seperangkat cara untuk beradaptasi terhadap lingkungan yang mengandung antibiotik.

Mekanisme resistensi pada bakteri meliputi mutasi, penghambatan aktivitas antibiotik secara enzimatis, perubahan protein yang merupakan target antibiotik, perubahan jalur metabolik, efluks antibiotik, perubahan pada porin channel, dan perubahan permeabilitas membran. Mutasi genetik tunggal mungkin menyebabkan terjadinya resistensi tanpa perubahan patogenitas atau viabilitas dari satu strain bakteri. Perkembangan resistensi terhadap obat-obat antituberkulos, seperti streptomisin, merupakan contoh klasik dari

perubahan tipe ini. Secara teoretis ada kemungkinan untuk mengatasi resistensi mutasional dengan administrasi suatu kombinasi antibiotik dalam dosis yang cukup untuk eradikasi infeksi sehingga mencegah penyebaran bakteri resisten orang ke orang.

Namun, adanya emergensi yang meluas dari multidrug resistant *Mycobacterium tuberculosis* memperlihatkan bahwa tidak mudah untuk mengatasi resistensi dengan formula kombinasi. Contoh lain resistensi mutasional yang juga penting adalah perkembangan resistensi fluoroquinolone pada stafilokokki, *Pseudomonas aeruginosa*, dan patogen lain melalui perubahan pada DNA topoisomerase. Kejadian mutasi mungkin juga mengubah mekanisme resistensi yang ada menjadi lebih efektif atau memberikan spektrum aktivitas yang lebih luas.

Masalah yang cukup penting adalah kemampuan bakteri untuk mendapatkan materi genetik eksogenus yang mengantarkan terjadinya resistensi. Spesies pada pneumokokki dan meningokokki dapat "mengambil" materi DNA di luar sel (eksogenus) dan menggabungkannya ke dalam kromosom. Banyak materi genetik yang bertanggung jawab terhadap resistensi ditemukan pada plasmid yang dapat ditransfer atau pada transposon yang dapat disebarluaskan di antara berbagai bakteri dengan proses konjugasi. Transposon merupakan potongan DNA yang bersifat mobile yang dapat menyisip masuk ke dalam berbagai lokasi pada kromosom bakteri, plasmid atau DNA bakteriofag. Beberapa transposon atau plasmid memiliki elemen genetik yang disebut integron yang mampu "menangkap" gen-gen eksogenus. Sejumlah gen kemungkinan dapat disisipkan ke dalam integron yang menghasilkan resistensi terhadap beberapa bahan. Antimikroba Mekanisme yang mirip mungkin terlibat dalam pembentukan elemen genetik yang mengode resistensi vankomisin pada enterokokki. Enterokokki, yang merupakan komensal saluran usus dan genital, meningkat menjadi patogen di rumah sakit. Hal ini berhubungan dengan resistensi alami enterokokki terhadap antibiotik yang paling umum digunakan dan kapasitasnya untuk memperoleh sifat resistensi melalui mutasi (penisilin) atau transfer gen resistensi pada plasmid dan transposon (aminoglikosida dan glikopeptida).

### **Kegiatan**

Dalam proses belajar mengajar agar TIU dan TIK pada materi ini tercapai maka Kegiatan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mahasiswa mendengarkan penjelasan yang dilakukan oleh dosen tentang Pengendalian Mikroba
2. Dosen membagi memberikan tugas tiap mahasiswa untuk membuat paper tentang antibakteri yang aman bagi akuakultur.
3. Mahasiswa lalu membuat tugas di rumah dan mengumpulkannya pada pertemuan berikutnya.
4. Pelaksanaan praktikum di laboratorium.

### **Rangkuman**

1. Untuk dapat mempelajari karakteristik bakteri, maka kita harus dapat menumbuhkannya dalam bentuk biakan murni. Untuk menumbuhkan bakteri tersebut diperlukan pemilihan medium yang sesuai serta kondisi lingkungan yang optimum bagi pertumbuhannya.
2. Bakteri dapat tumbuh pada medium yang sesuai dengan pertumbuhan yang mengikuti suatu kurva pertumbuhan (kurva sigmoid) sampai ketersediaan nutrient dalam medium habis terpakai.
3. Kurva pertumbuhan bakteri menggambarkan siklus pertambahan jumlah sel bakteri dimulai dengan fase adaptasi, diikuti pertumbuhan yang cepat sebagai fase logaritmik (eksponensial) sehingga jumlahnya dua kali lipat, kemudian fase stasioner dan fase kematian sel.
4. Beberapa tipe bakteri dapat membentuk endospora untuk waktu yang lama dan tahan terhadap gangguan fisik lingkungan dan akan tumbuh kembali jika berada dalam medium dan lingkungan yang sesuai.

### **7.3. PENUTUP**

#### **Tes Formatif :**

Jawablah pertanyaan di bawah ini !

1. Bagaimanakah persyaratan nutrisi bagi pertumbuhan bakteri ? Unsur-unsur apakah yang dibutuhkanannya ?
2. Bagaimanakah pengaruh temperatur dan pH terhadap pertumbuhan bakteri ?
3. Apa yang dimaksud dengan pertumbuhan sel bakteri dan pertumbuhan populasi bakteri ?
4. Jelaskan pengendalian pertumbuhan bakteri:
  - a. secara kimia
  - b. secara fisik

## **VIII. MIKROBA LINGKUNGAN DAN TERAPAN**

### **8.1. PENDAHULUAN**

#### **8.1.1. Deskripsi Lengkap**

Bahan ajar Mikroba Lingkungan dan Terapan ini berisi uraian mengenai keberadaan mikroba sebagai satu diantara komponen lingkungan, terutama pada lingkungan perairan dan limbah. Keberadaan mikroba serta peranannya dalam bidang pangan serta industri dan aplikasi mikroba yang berperan positif dalam bidang perikanan. Pembahasan mengenai penerapan mikroba dalam kegiatan perikanan lebih ditekankan pada perikanan budidaya atau akuakultur.

Materi-materi yang ada dalam bahan ajar Mikroba Lingkungan dan Terapan ini terdiri dari :

1. Mikroba Lingkungan
2. Mikroba Air dan Limbah
3. Mikroba Pangan dan Industri
4. Aplikasi Mikroba dalam Bidang Akuakultur

#### **8.1.2. Manfaat/relevansi**

Pemahaman mahasiswa terhadap materi sebelumnya diharapkan mampu mempermudah mahasiswa untuk memahami materi pada bab ini. Penerapan beberapa jenis mikroba yang ada di lingkungan dalam kegiatan akuakultur, bidang industri dan pangan perlu dipahami dan bisa menjadi salah satu tema kajian atau penelitian yang bisa dikerjakan oleh mahasiswa untuk tugas akhir. Seperti halnya beberapa materi sebelumnya, maka pada bab ini teori yang diberikan dalam pertemuan kelas yang terjabar dalam bahan ajar ini perlu ditindaklanjuti dengan praktikum. Hal ini semakin menambah pemahaman dan kemampuan mahasiswa dalam mengaplikasikan teori yang sudah diperolehnya pada pertemuan kelas.

#### **8.1.3. Tujuan Instruksional Khusus**

Mahasiswa dapat menjelaskan pengertian dan manfaat mikroba lingkungan dan penerapannya.

## 8.2. PENYAJIAN

### 8.2.1. Mikroba Lingkungan

Keseimbangan ekologis dunia dipengaruhi oleh interaksi jejaring kehidupan. Berbagai formasi simbiosis telah terbentuk di alam, sebagai manifestasi dari biodiversitas. Faktor *invisible* berperan dalam proses kesetimbangan ini. Disinilah kehidupan jasad renik (mikroba) berperan di dalamnya. Di dalam saluran pencernaan, mikroba berperan membantu proses absorpsi makanan ke dalam tubuh. Dua spesies mikroba, yaitu *E.coli* dan *K.lactis* berperan aktif dalam proses tersebut. Terjadi simbiosis mutualistis antara manusia dengan mikroba tersebut.

Mikroba adalah flora normal yang hidup di dalam tubuh manusia. Kesetimbangan ekologis ini akan terganggu jika mikroba patogen memasuki inang. Misalnya seperti invasi kuman *S.typhii* penyebab typhus dan kuman *M.tuberculosis* penyebab TBC. Namun peranan kuman patogen ada baiknya jangan dibesar-besarkan. Dari keseluruhan subkingdom *Eubacteria*, bakteri yang berperan sebagai patogen diperkirakan hanya 10 persen. Sisanya tidak berbahaya bagi manusia. Jadi ketakutan berlebihan terhadap mikroba adalah tidak beralasan sama sekali.

Hampir disemua daerah biosfir dapat dijumpai mikroba. Di semua tempat yang dihuni manusia dapat dijumpai mikroba yang mampu hidup dan berkembangbiak. Kondisi atau factor lingkungan sangat berpengaruh terhadap kehidupan mikroba. Di bawah ini ada beberapa faktor lingkungan yang mempengaruhi kehidupan dan perkembangan mikroba.

#### 1. Faktor-faktor Fisik

##### a. Pengaruh temperatur atau suhu

Temperatur merupakan salah satu faktor yang penting di dalam kehidupan. Beberapa jenis mikroba dapat hidup di daerah temperatur yang luas sedang jenis lainnya pada daerah yang terbatas. Pada umumnya batas daerah temperatur bagi kehidupan mikroba terletak di antara 0°C dan 90°C, sehingga untuk masing-masing mikroba dikenal nilai temperatur minimum, optimum dan maksimum. Temperatur minimum suatu jenis mikroba ialah nilai paling rendah dimana kegiatan mikroba masih berlangsung. Temperatur optimum adalah nilai yang paling sesuai/baik untuk kehidupan mikroba. Temperatur maksimum adalah nilai tertinggi yang masih dapat digunakan untuk aktivitas mikroba tetapi pada tingkatan kegiatan fisiologi yang paling minimal.



Daya tahan mikroba terhadap temperatur tidak sama untuk tiap-tiap spesies. Ada spesies yang mati setelah mengalami pemanasan beberapa menit didalam medium pada temperatur 60°C, sebaliknya bakteri yang membentuk spora seperti genus *Bacillus* dan genus *Clostridium* tetap hidup setelah dipanasi dengan uap 100°C atau lebih selama 30 menit. Oleh karena itu, proses sterilisasi untuk membunuh setiap spesies bakteri yakni dengan pemanasan selama 15-20 menit dengan tekanan 1 atm dan temperatur 121°C di dalam autoklaf.

pH medium dapat berpengaruh terhadap daya tahan mikroba terhadap pemanasan bahwa sedikit perubahan pH menuju asam atau basa sangat berpengaruh terhadap pemanasan. Sehubungan dengan hal ini, maka buah-buahan yang asam lebih mudah disterilkan dari pada sayur mayur atau daging.

Golongan bakteri yang dapat hidup pada batas-batas temperatur yang sempit, misalnya *Gonococcus* yang hanya dapat hidup pada kisaran 30-40°C. Golongan mikroba yang memiliki batas temperatur minimum dan maksimum tidak terlalu besar, disebut stenotermik. Tetapi *Escherichia coli* tumbuh pada kisaran temperatur 8-46°C, sehingga beda (rentang) antara temperatur minimum besar, inilah yang disebut golongan euritermik. Bila mikroba dipelihara dibawah temperatur minimum atau sedikit diatas temperatur maksimum tidak segera mati, melainkan dalam keadaan dormansi (tidur).

Berdasarkan daerah aktivitas temperatur, mikroba di bagi menjadi 3 golongan, yaitu:

a. *Mikroba psirkofilik* (kryofilik) adalah golongan mikroba yang dapat tumbuh pada daerah temperatur antara 0 °C sampai 30 °C, dengan temperatur optimum 15 °C. kebanyakan golongan ini tumbuh di tempat-tempat dingin, baik di daratan maupun di lautan.

b. *Mikroba mesofilik* adalah golongan mikroba yang mempunyai temperatur optimum pertumbuhan antara 25-37°C minimum 15°C dan maksimum di sekitar 55°C. umumnya hidup di dalam alat pencernaan, kadang-kadang ada juga yang dapat hidup dengan baik pada temperatur 40 C atau lebih.

c. *Mikroba termofilik* adalah golongan mikroba yang dapat tumbuh pada daerah temperature tinggi, optimum 55 °C-60 °C, minimum 40 °C, sedangkan maksimum 75 °C. golongan ini terutama terdapat di dalam sumber-sumber air panas dan tempat-tempat lain yang bertemperatur lebih tinggi dari 55 °C.

Temperatur tinggi melebihi temperatur maksimum akan menyebabkan denaturasi protein dan enzim. Hal ini akan menyebabkan terhentinya metabolisme. Dengan nilai temperatur yang melebihi maksimum, mikroba akan mengalami kematian. Titik kematian termal suatu jenis mikroba (*Thermal Death Point*) adalah nilai temperatur serendah-rendahnya yang dapat mematikan jenis mikroba yang berada dalam medium standar selama 10 menit dalam kondisi tertentu. Laju kematian termal (*thermal Deat Rate*) adalah kecepatan kematian mikroba akibat pemberian temperatur. Hal ini karena tidak semua spesies mati bersama-sama pada suatu temperatur tertentu.

Biasanya, spesies yang satu lebih tahan dari pada yang lain terhadap suatu pemanasan, oleh karena itu masing-masing spesies itu ada angka kematian pada suatu temperatur. Waktu kematian temal (*Thermal Death Time*) merupakan waktu yang diperlukan untuk membunuh suatu jenis mikroba pada suatu temperatur yang tetap. Faktor-faktor yang mempengaruhi titik kematian termal antara lain ialah waktu, temperatur, kelembaban, bentuk dan jenis spora, umur mikroba, pH dan komposisi medium.

Tabel 5. Contoh waktu kematian thermal (Thermal Death Time) beberapa jenis bakteri

Nama mikroba	Waktu (menit)	Suhu (°C)
<i>Escherichia coli</i>	20-30	57
<i>Staphylococcus aureus</i>	19	60
<i>Spora Bacillus subtilis</i>	20-50	100
<i>Spora Clostridium botulinum</i>	100-330	100

#### b. Kelembaban dan Pangaruh Kebasahan serta Kekeringan

Mikroba mempunyai nilai kelembaban optimum. Pada umumnya untuk pertumbuhan ragi dan bakteri diperlukan kelembaban yang tinggi di atas 85%, sedangkan untuk jamur di perlukan kelembaban yang rendah dibawah 80%. Banyak mikroba yang tahan hidup di dalam keadaan kering untuk waktu yang lama, seperti dalam bentuk spora, konidia, artospora, klamidospora dan kista.

Setiap mikroba memerlukan kandungan air bebas tertentu untuk hidupnya, biasanya diukur dengan parameter  $a_w$  (*water activity*) atau kelembaban relatif. Mikroba umumnya dapat tumbuh pada  $a_w$  0,998-0,6. bakteri umumnya memerlukan  $a_w$  0,90- 0,999. Mikroba

yang osmotoleran dapat hidup pada  $a_w$  terendah (0,6) misalnya khamir *Saccharomyces rouxii*. *Aspergillus glaucus* dan jamur benang lain dapat tumbuh pada  $a_w$  0,8. Bakteri umumnya memerlukan  $a_w$  atau kelembaban tinggi lebih dari 0,98, tetapi bakteri halofil hanya memerlukan  $a_w$  0,75. Mikroba yang tahan kekeringan adalah yang dapat membentuk spora, konidia atau dapat membentuk kista. Tabel 6 memuat daftar  $a_w$  yang diperlukan oleh beberapa jenis bakteri dan jamur.

Tabel 6. Daftar  $a_w$  yang diperlukan oleh beberapa jenis bakteri

Nilai $a_w$	Bakteri	Jamur
1,00	<i>Caulobacter</i> <i>Spirillum</i>	-
0,90	<i>Lactobacilus</i> <i>Bacillus</i>	<i>Fusarium</i> <i>Mucor</i>
0,85	<i>Staphylococcus</i>	<i>Debaromyces</i>
0,80	-	<i>Penicillium</i>
0,75	<i>Halobacterium</i>	<i>Aspergillus</i>
0,60	-	<i>Xeromyces</i>

Bakteri sebenarnya makhluk yang suka akan keadaan basah, bahkan dapat hidup di dalam air. Hanya di dalam air yang tertutup mereka tak dapat hidup subur; hal ini di sebabkan karena kurangnya udara bagi mereka. Tanah yang cukup basah baiklah bagi kehidupan bakteri. Banyak bakteri menemui ajalnya, jika kena udara kering. *Meningococcus*, yaitu bakteri yang menyebabkan meningitis, itu mati dalam waktu kurang daripada satu jam, jika digesekkan di atas kaca obyek. Sebaliknya, spora-spora bakteri dapat bertahan beberapa tahun dalam keadaan kering.

Pada proses pengeringan, air akan menguap dari protoplasma. Sehingga kegiatan metabolisme berhenti. Pengeringan dapat juga merusak protoplasma dan mematikan sel. Tetapi ada mikrobia yang dapat tahan dalam keadaan kering, misalnya mikrobia yang membentuk spora dan dalam bentuk kista.

Bakteri yang ada dalam medium susu, gula, daging kering dapat bertahan lebih lama daripada di dalam gesekan pada kaca obyek. Demikian pula efek kekeringan kurang terasa, apabila bakteri berada di dalam sputum ataupun di dalam agar-agar yang kering.

Pengeringan di dalam terang itu pengaruhnya lebih buruk daripada pengeringan di dalam gelap. Pengeringan pada suhu tubuh (37°C) atau suhu kamar (+ 26 °C) lebih buruk daripada pengeringan pada suhu titik-beku.

Pengeringan di dalam udara efeknya lebih buruk daripada pengeringan di dalam vakum ataupun di dalam tempat yang berisi nitrogen. Oksidasi agaknya merupakan faktor-maut.

c. Pengaruh perubahan nilai osmotik

Tekanan osmose sebenarnya sangat erat hubungannya dengan kandungan air. Apabila mikroba diletakkan pada larutan hipertonis, maka selnya akan mengalami plasmolisis, yaitu terkelupasnya membran sitoplasma dari dinding sel akibat mengkerutnya sitoplasma. Apabila diletakkan pada larutan hipotonis, maka sel mikroba akan mengalami plasmoptisa, yaitu pecahnya sel karena cairan masuk ke dalam sel, sel membengkak dan akhirnya pecah.

Berdasarkan tekanan osmose yang diperlukan dapat dikelompokkan menjadi (1) mikroba osmofil, adalah mikroba yang dapat tumbuh pada kadar gula tinggi, (2) mikroba halofil, adalah mikroba yang dapat tumbuh pada kadar garam halogen yang tinggi, (3) mikroba halodurik, adalah kelompok mikroba yang dapat tahan (tidak mati) tetapi tidak dapat tumbuh pada kadar garam tinggi, kadar garamnya dapat mencapai 30 %.

Contoh mikroba osmofil adalah beberapa jenis khamir. Khamir osmofil mampu tumbuh pada larutan gula dengan konsentrasi lebih dari 65 % wt/wt ( $a_w = 0,94$ ). Contoh mikroba halofil adalah bakteri yang termasuk Archaeobacterium, misalnya *Halobacterium*. Bakteri yang tahan pada kadar garam tinggi, umumnya mempunyai kandungan KCl yang tinggi dalam selnya. Selain itu bakteri ini memerlukan konsentrasi Kalium yang tinggi untuk stabilitas ribosomnya. Bakteri halofil ada yang mempunyai membran *purple bilayer*, dinding selnya terdiri dari murein, sehingga tahan terhadap ion Natrium.

d. Kadar ion hidrogen (pH)

Mikroba umumnya menyukai pH netral (pH 7). Beberapa bakteri dapat hidup pada pH tinggi (medium alkalin). Contohnya adalah bakteri nitrat, rhizobia, actinomycetes, dan bakteri pengguna urea. Hanya beberapa bakteri yang bersifat toleran terhadap kemasaman, misalnya *Lactobacilli*, *Acetobacter*, dan *Sarcina ventriculi*. Bakteri yang bersifat asidofil misalnya *Thiobacillus*. Jamur umumnya dapat hidup pada kisaran pH rendah. Apabila mikroba ditanam pada media dengan pH 5 maka pertumbuhan didominasi oleh jamur, tetapi apabila pH media 8 maka pertumbuhan didominasi oleh bakteri. Berdasarkan pH-nya

mikroba dapat dikelompokkan menjadi 3 yaitu (a) mikroba asidofil, adalah kelompok mikroba yang dapat hidup pada pH 2,0-5,0, (b) mikroba mesofil (neutrofil), adalah kelompok mikroba yang dapat hidup pada pH 5,5-8,0, dan (c) mikroba alkalifil, adalah kelompok mikroba yang dapat hidup pada pH 8,4-9,5. Contoh pH minimum, optimum, dan maksimum untuk beberapa jenis bakteri dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. pH minimum, optimum dan maksimum untuk beberapa jenis bakteri

Nama mikroba	pH		
	Minimum	Optimum	Maksimum
<i>Escherichia coli</i>	4,4	6,0-7,0	9,0
<i>Proteus vulgaris</i>	4,4	6,0-7,0	8,4
<i>Enterobacter aerogenes</i>	4,4	6,0-7,0	9,0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5,6	6,6-7,0	8,0
<i>Clostridium sporogenes</i>	5,0-5,8	6,0-7,6	8,5-9,0
<i>Nitrosomonas spp</i>	7,0-7,6	8,0-8,8	9,4
<i>Nitrobacter spp</i>	6,6	7,6-8,6	10,0
<i>Thiobacillus Thiooxidans</i>	1,0	2,0-2,8	4,0-6,0
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	4,0-4,6	5,8-6,6	6,8

Untuk menumbuhkan mikroba pada media memerlukan pH yang konstan, terutama pada mikroba yang dapat menghasilkan asam. Misalnya *Enterobacteriaceae* dan beberapa *Pseudomonadaceae*. Oleh karenanya ke dalam medium diberi tambahan buffer untuk menjaga agar pH nya konstan. Buffer merupakan campuran garam mono dan dibasik, maupun senyawa-senyawa organik amfoter. Sebagai contoh adalah buffer fosfat anorganik dapat mempertahankan pH diatas 7,2. Cara kerja buffe adalah garam dibasik akan mengadsorpsi ion H<sup>+</sup> dan garam monobasik akan bereaksi dengan ion OH<sup>-</sup>.

#### e. Tegangan muka

Tegangan muka mempengaruhi cairan sehingga permukaan cairan tersebut menyerupai membran yang elastis. Seperti telah diketahui protoplasma mikroba terdapat di dalam sel yang dilindungi dinding sel, maka apabila ada perubahan tegangan muka dinding sel akan mempengaruhi pula permukaan protoplasma. Akibat selanjutnya dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba dan bentuk morfologinya. Zat-zat seperti sabun,

deterjen, dan zat-zat pembasah (surfaktan) seperti Tween<sub>80</sub> dan Triton A<sub>20</sub> dapat mengurangi tegangan muka cairan/larutan. Umumnya mikroba cocok pada tegangan muka yang relatif tinggi.

f. Tekanan hidrostatik

Tekanan hidrostatik mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan mikroba. Umumnya tekanan 1-400 atm tidak mempengaruhi atau hanya sedikit mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan mikroba. Tekanan hidrostatik yang lebih tinggi lagi dapat menghambat atau menghentikan pertumbuhan, oleh karena tekanan hidrostatik tinggi dapat menghambat sintesis RNA, DNA, dan protein, serta mengganggu fungsi transport membran sel maupun mengurangi aktivitas berbagai macam enzim. Tekanan diatas 100.000 pound/inchi<sup>2</sup> menyebabkan denaturasi protein. Akan tetapi ada mikroba yang tahan hidup pada tekanan tinggi (mikroba barotoleran), dan ada mikroba yang tumbuh optimal pada tekanan tinggi sampai 16.000 pound/inchi<sup>2</sup> (barofil). Mikroba yang hidup di laut dalam umumnya adalah barofilik atau barotoleran. Sebagai contoh adalah bakteri *Spirillum*.

g. Pengaruh Sinar

Kebanyakan bakteri tidak dapat mengadakan fotosintesis, bahkan setiap radiasi dapat berbahaya bagi kehidupannya. Sinar yang nampak oleh mata kita, yaitu yang bergelombang antara 390 m  $\mu$  sampai 760 m  $\mu$ , tidak begitu berbahaya; yang berbahaya ialah sinar yang lebih pendek gelombangnya, yaitu yang bergelombang antara 240 m  $\mu$  sampai 300 m  $\mu$ . Lampu air rasa banyak memancarkan sinar bergelombang pendek ini. Lebih dekat, pengaruhnya lebih buruk. Dengan penyinaran pada jarak dekat sekali, bakteri bahkan dapat mati seketika, sedang pada jarak yang agak jauh mungkin sekali hanya pembiakannya sajalah yang terganggu. Spora-spora dan virus lebih dapat bertahan terhadap sinar ultra-ungu. Sinar ultra-ungu biasa dipakai untuk mensterilkan udara, air, plasma darah dan bermacam-macam bahan lainnya. Suatu kesulitan ialah bahwa bakteri atau virus itu mudah sekali ketutupan benda-benda kecil, sehingga dapat terhindar dari pengaruh penyinaran. Alangkah baiknya, jika kertas-kertas pembungkus makanan, ruang-ruang penyimpan daging, ruang-ruang pertemuan, gedung-gedung bioskop dan sebagainya pada waktu-waktu tertentu dibersihkan dengan penyinaran ultra-ungu.

## 2. Faktor-faktor Kimia

a. Fenol Dan Senyawa-Senyawa Lain Yang Sejenis

Larutan fenol 2 sampai 4% berguna bagi desinfektan. Kresol atau kreolin lebih baik khasiatnya daripada fenol. Lisol ialah desinfektan yang berupa campuran sabun dengan kresol; lisol lebih banyak digunakan daripada desinfektan-desinfektan yang lain. Karbol ialah lain untuk fenol. Seringkali orang mencampurkan bau-bauan yang sedap, sehingga desinfektan menjadi menarik.

b. Formaldehida (CH<sub>2</sub>O)

Suatu larutan formaldehida 40% biasa disebut formalin. Desinfektan ini banyak sekali digunakan untuk membunuh bakteri, virus, dan jamur. Formalin tidak biasa digunakan untuk jaringan tubuh manusia, akan tetapi banyak digunakan untuk merendam bahan-bahan laboratorium, alat-alat seperti gunting, sisir dan lain-lainnya pada ahli kecantikan.

c. Alkohol

Etanol murni itu kurang daya bunuhnya terhadap bakteri. Jika dicampur dengan air murni, efeknya lebih baik. Alkohol 50 sampai 70% banyak digunakan sebagai desinfektan.

d. Yodium

Yodium-tinktur, yaitu yodium yang dilarutkan dalam alcohol, banyak digunakan orang untuk mendesinfeksi luka-luka kecil. Larutan 2 sampai 5% biasa dipakai. Kulit dapat terbakar karenanya, oleh sebab itu untuk luka-luka yang agak lebar tidak digunakan yodium-tinktur.

e. Klor Dan Senyawa Klor

Klor banyak digunakan untuk sterilisasi air minum. Persenyawaan klor dengan kapur atau natrium merupakan desinfektan yang banyak dipakai untuk mencuci alat-alat makan dan minum.

f. Zat Warna

Beberapa macam zat warna dapat menghambat pertumbuhan bakteri. Pada umumnya bakteri gram positif itu lebih peka terhadap pengaruh zat warna daripada bakteri gram negative. Hijau berlian, hijau malakit, fuchsin basa, kristal ungu sering dicampurkan kepada medium untuk mencegah pertumbuhan bakteri gram positif. Kristal ungu juga dipakai untuk mendesinfeksi luka-luka pada kulit. Dalam penggunaan zat warna perlu diperhatikan supaya warna itu tidak sampai kena pakaian.

g. Obat Pencuci (Detergen)

Sabun biasa itu tidak banyak khasiatnya sebagai obat pembunuh bakteri, tetapi kalau dicampur dengan heksaklorofen daya bunuhnya menjadi besar sekali. Sejak lama obat

pencuci yang mengandung ion (detergen) banyak digunakan sebagai pengganti sabun. Detergen bukan saja merupakan bakteriostatik, melainkan juga merupakan bakterisida. Terutama bakteri yang gram positif itu peka sekali terhadapnya.

Sejak 1935 banyak dipakai garam amonium yang mengandung empat bagian. Persenyawaan ini terdiri atas garam dari suatu basa yang kuat dengan komponen-komponen. Garam ini banyak sekali digunakan untuk sterilisasi alat-alat bedah, digunakan pula sebagai antiseptik dalam pembedahan dan persalinan, karena zat ini tidak merusak jaringan, lagipula tidak menyebabkan sakit. Sebagai larutan yang encer pun zat ini dapat membunuh jamur, dapat pula beberapa genus bakteri Gram positif maupun Gram negatif. Agaknya alkil-dimethyl bensil-amonium klorida makin lama makin banyak dipakai sebagai pencuci alat-alat makan minum di restoran-restoran. Zat ini pada konsentrasi yang biasa dipakai tidak berbau dan tidak berasa.

#### h. Sulfonamida

Sejak 1937 banyak digunakan persenyawaan-persenyawaan yang mengandung belerang sebagai penghambat pertumbuhan bakteri dan lagi pula tidak merusak jaringan manusia. Terutama bangsa kokus seperti *Streptococcus* yang mengganggu tenggorokan, *Pneumococcus*, *Gonococcus*, dan *Meningococcus* sangat peka terhadap sulfonamida. Penggunaan obat-obat ini, jika tidak aturan akan menimbulkan gejalagejala alergi, lagi pula obat-obatan ini dapat menimbulkan golongan bakteri menjadi kebal terhadapnya. Khasiat sulfonamida itu terganggu oleh asam-p-aminobenzoat. Asam-p-aminobenzoat memegang peranan sebagai pembantu enzim-enzim pernapasan, dalam hal itu dapat terjadi persaingan antara sulfanilamide dan asam-paminobenzoat. Sering terjadi, bahwa bakteri yang diambil dari darah atau cairan tubuh orang yang habis diobati dengan sulfanilamide itu tidak dapat dipiara di dalam medium biasa. Baru setelah dibubuhkan sedikit asam-p-aminobenzoat ke dalam medium tersebut, bakteri dapat tumbuh biasa. Berikut ialah rumus bangun sulfonamide dan asam-p-aminobenzoat.

#### i. Antibiotik

Antibiotik yang pertama dikenal ialah pinisilin, yaitu suatu zat yang dihasilkan oleh jamur *Pinicillium*. Pinisilin di temukan oleh Fleming dalam tahun 1929, namun baru sejak 1943 antibiotik ini banyak digunakan sebagai pembunuh bakteri. Selama Perang Dunia Kedua dan sesudahnya bermacam-macam antibiotik diketemukan, dan pada dewasa ini jumlahnya ratusan. Genus *Streptomyces* menghasilkan streptomisin, aureomisin,



kloromisetin, teramisin, eritromisin, magnamisin yang masing-masing mempunyai khasiat yang berlainan. Akhir-akhir ini orang telah dapat membuat kloromisetin secara sintetik, obat-obatan ini terkenal sebagai kloramfenikol. Diharapkan antibiotik-antibiotik yang lain pun dapat dibuat secara sintetik pula.

Ada yang kita kenal beberapa antibiotik yang dapat dihasilkan oleh golongan jamur, melainkan oleh golongan bakteri sendiri, misalnya tirotrisin dihasilkan oleh *Bacillus brevis*, basitrasin oleh *Bacillus subtilis*, polimiksin oleh *Bacillus polymyxa*. Antibiotik yang efektif bagi banyak spesies bakteri, baik kokus, basil, maupun spiril, dikatakan mempunyai *spektrum luas*. Sebaliknya, suatu antibiotik yang hanya efektif untuk spesies tertentu, disebut antibiotik yang *spektrumnya sempit*. Pinisilin hanya efektif untuk membrantas terutama jenis kokus, oleh karena itu pinisilin dikatakan mempunyai spektrum yang sempit. Tetrasiklin efektif bagi kokus, basil dan jenis spiril tertentu, oleh karena itu tetrasiklin dikatakan mempunyai spektrum luas. Sebelum suatu antibiotik digunakan untuk keperluan pengobatan, maka perlulah terlebih dahulu antibiotik itu diuji efeknya terhadap spesies bakteri tertentu.

#### j. Garam – Garam Logam

Garam dari beberapa logam berat seperti air raksa dan perak dalam jumlah yang kecil saja dapat menumbuhkan bakteri, daya mana disebut *oligodinamik*. Hal ini mudah sekali dipertunjukkan dengan suatu eksperimen. Sayang sekali garam dari logam berat itu mudah merusak kulit, maka alat-alat yang terbuat dari logam, dan lagi pula mahal harganya. Meskipun demikian orang masih bisa menggunakan merkuroklorida (sublimat) sebagai desinfektan. Hanya untuk tubuh manusia lazimnya kita pakai merkurokrom, metafen atau mertiolat.

Persenyawaan air rasa yang organik dapat pula dipergunakan untuk membersihkan biji – bijian supaya terhindar dari gangguan bangsa jamur. Nitrat perak 1 sampai 2% banyak digunakan untuk menetes selaput lendir, misalnya pada mata bayi yang baru lahir untuk mencegah gonorrhoea. Banyak juga orang mempergunakan persenyawaan perak dengan protein. Garam tembaga jarang dipakai sebagai bakterisida, akan tetapi banyak digunakan untuk menyemprot tanaman dan untuk mematikan tumbuhan ganggang di kolam-kolam renang.

### 3. Faktor-faktor Biologi

### **a. Netralisme**

Netralisme adalah hubungan antara dua populasi yang tidak saling mempengaruhi. Hal ini dapat terjadi pada kepadatan populasi yang sangat rendah atau secara fisik dipisahkan dalam mikrohabitat, serta populasi yang keluar dari habitat alamiahnya. Sebagai contoh interaksi antara mikroba *allocthonous (nonindigenous)* dengan mikroba *autochthonous (indigenous)*, dan antar mikroba *nonindigenous* di atmosfer yang kepadatan populasinya sangat rendah. Netralisme juga terjadi pada keadaan mikroba tidak aktif, misal dalam keadaan kering beku, atau fase istirahat (spora, kista).

### **b. Komensalisme**

Hubungan komensalisme antara dua populasi terjadi apabila satu populasi diuntungkan tetapi populasi lain tidak terpengaruh. Contohnya adalah:

- Bakteri *Flavobacterium brevis* dapat menghasilkan ekskresi sistein. Sistein dapat digunakan oleh *Legionella pneumophila*.
- Desulfovibrio mensuplai asetat dan H<sub>2</sub> untuk respirasi anaerobic *Methanobacterium*.

### **c. Sinergisme**

Suatu bentuk asosiasi yang menyebabkan terjadinya suatu kemampuan untuk dapat melakukan perubahan kimia tertentu di dalam substrat. Apabila asosiasi melibatkan 2 populasi atau lebih dalam keperluan nutrisi bersama, maka disebut sintropisme. Sintropisme sangat penting dalam peruraian bahan organik tanah, atau proses pembersihan air secara alami.

### **d. Mutualisme (Simbiosis)**

Mutualisme adalah asosiasi antara dua populasi mikroba yang keduanya saling tergantung dan sama-sama mendapat keuntungan. Mutualisme sering disebut juga simbiosis. Simbiosis bersifat sangat spesifik (khusus) dan salah satu populasi anggota simbiosis tidak dapat digantikan tempatnya oleh spesies lain yang mirip. Contohnya adalah Bakteri *Rhizobium sp.* yang hidup pada bintil akar tanaman kacang-kacangan.

Contoh lain adalah *Lichenes (Lichens)*, yang merupakan simbiosis antara algae sianobakteria dengan fungi. Algae (*phycobiont*) sebagai produser yang dapat menggunakan energi cahaya untuk menghasilkan senyawa organik. Senyawa organik

dapat digunakan oleh fungi (*mycobiont*), dan fungi memberikan bentuk perlindungan (selubung) dan transport nutrisi / mineral serta membentuk faktor tumbuh untuk algae.

#### **e. Kompetisi**

Hubungan negatif antara 2 populasi mikroba yang keduanya mengalami kerugian. Peristiwa ini ditandai dengan menurunnya sel hidup dan pertumbuhannya. Kompetisi terjadi pada 2 populasi mikroba yang menggunakan nutrisi / makanan yang sama, atau dalam keadaan nutrisi terbatas. Contohnya adalah antara protozoa *Paramecium caudatum* dengan *Paramecium aurelia*.

#### **f. Amensalisme (Antagonisme)**

Satu bentuk asosiasi antar spesies mikroba yang menyebabkan salah satu pihak dirugikan, pihak lain diuntungkan atau tidak terpengaruh apapun. Umumnya merupakan cara untuk melindungi diri terhadap populasi mikroba lain. Misalnya dengan menghasilkan senyawa asam, toksin, atau antibiotika. Contohnya adalah bakteri *Acetobacter* yang mengubah etanol menjadi asam asetat. *Thiobacillus thiooxidans* menghasilkan asam sulfat. Asam-asam tersebut dapat menghambat pertumbuhan bakteri lain. Bakteri amonifikasi menghasilkan ammonium yang dapat menghambat populasi *Nitrobacter*.

#### **g. Parasitisme**

Parasitisme terjadi antara dua populasi, populasi satu diuntungkan (parasit) dan populasi lain dirugikan (host / inang). Umumnya parasitisme terjadi karena keperluan nutrisi dan bersifat spesifik. Ukuran parasit biasanya lebih kecil dari inangnya. Terjadinya parasitisme memerlukan kontak secara fisik maupun metabolik serta waktu kontak yang relatif lama. Contohnya adalah bakteri *Bdellovibrio* yang memparasit bakteri *E. coli*. Jamur *Trichoderma* sp. memparasit jamur *Agaricus* sp.

#### **h. Predasi**

Hubungan predasi terjadi apabila satu organisme predator memangsa atau memakan dan mencerna organisme lain (prey). Umumnya predator berukuran lebih besar dibandingkan prey, dan peristiwanya berlangsung cepat. Contohnya adalah Protozoa (predator) dengan bakteri (prey).

Mikroba memiliki peran penting dalam kehidupan manusia. Tanpa kehadiran mereka, dunia penuh dengan limbah. Berkembangnya ilmu pengetahuan telah membuka wawasan bahwa ternyata peran mikroba tidak hanya mampu merombak limbah menjadi mineral yang dibutuhkan oleh tanaman, tetapi masih banyak peran lainnya. Berdasarkan peranannya, mikroba dapat dibagi menjadi tiga golongan. Golongan pertama yaitu mikroba yang memiliki peran berguna bagi manusia, golongan kedua adalah mikroba yang memiliki peran merugikan bagi manusia, dan golongan ketiga adalah mikroba yang belum diketahui peranannya bagi kepentingan manusia. Mikroba jenis ketiga ini termasuk mikroba yang peranannya kadang berguna bagi manusia, tetapi dilain waktu berperan merugikan.

Mikroba yang memiliki peran menguntungkan bagi manusia adalah mikroba pengurai, nitrifikasi, nitrogen, usus, dan penghasil antibiotik. Mikroba pengurai memiliki kemampuan merombak senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Hasil perombakannya dapat dimanfaatkan oleh makhluk hidup lainnya. Mikroba nitrifikasi memiliki kemampuan untuk merombak senyawa amoniak menjadi nitrat yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan. Aktivitas mikroba nitrogen sangat bermanfaat bagi tanaman. Mikroba ini mampu mengikat nitrogen langsung dari udara dan mengubahnya menjadi komponen yang dapat diserap oleh akar. Mikroba ini hidup diantara akar tanaman. Mikroba usus hidup di saluran pencernaan. Mikroba ini memiliki peran dalam membusukan sisa makanan di dalam usus. Selain itu, mikroba ini juga memiliki kemampuan untuk menghasilkan vitamin B12 dan K yang memiliki peran penting dalam proses pembekuan darah.

Beberapa bakteri sangat berperan dalam pengolahan lingkungan. *Pseudomonas putida* dapat dikembangkan menjadi mikroorganisme yang mampu mencerna minyak bumi oleh pengeboran minyak lepas pantai atau kecelakaan kapal pengangkut minyak lepas pantai. *Bacillus subtilis* dapat dikembangkan sebagai mikroorganisme yang mempunyai kemampuan mengimobilisasi logam berat.

Peranan mikroorganisme dalam pengelolaan pencemaran dapat terjadi dalam tiga hal, yaitu sebagai berikut:

- 1. Mikroorganisme yang telah direayasa dapat digunakan untuk menggantikan suatu proses produksi sehingga menghasilkan polutan sedikit mungkin**

Beberapa contoh adalah produksi enzim, vitamin, karbohidrat dan lipida yang menggunakan mikroorganisme akan menghasilkan limbah produksi lebih sedikit jika dibandingkan produksi enzim, vitamin, karbohidrat dan lipid yang menggunakan

tumbuhan. Penggunaan *Bacillus thuringiensis* sebagai bioinsektisida, selain itu ada pula penggunaan bacillus subtilis sebagai pupuk bio-fosfor.

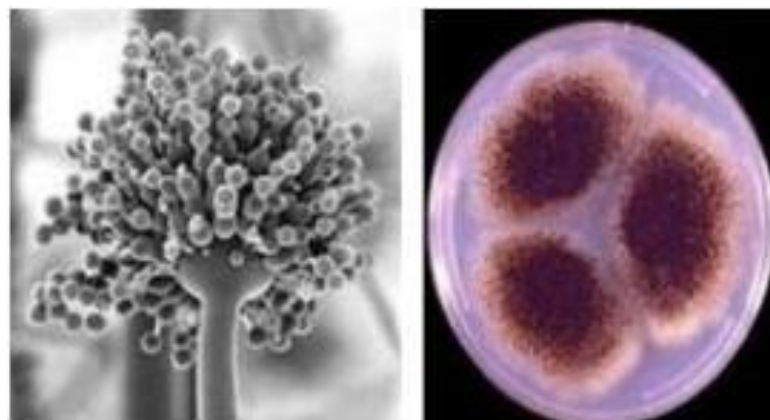
## 2. Mikroganisme yang telah direkayasa dapat digunakan sebagai organisme pembersih (biocliner)

Jenis jenis polutan yang dimungkinkan dapat menghasilkan bahan yang lebih bernilai ekonomi. Penguraian limbah dilakukan bersama sama oleh bakteri oerob dan anaerob. Bakteri pengurai (dikomposer) memerlukan oksigen, nutrigen dan foafor untuk melakukan kegiatannya. Bahan – bahan ini diambilnya dari bahan mentah yang mengandung unsure – unsure tersebut dalam berbagai bentuk persenyawaan sperti ammonium, fosfat, dan nitrat.

## 3. Prokduksi Biomigas

Limbah – limbah dari rumah tangga, pertanian, dan industri yang diuraikan bakteri kelompok metanogen dapat meghasilkan biogas yang sebagian besar berupa metana. Biogas dapat terlesi sari penguraian limbah organic yang mengandung protein, lemak dan karbohidrat. Penguraian ini dapat dilakukan untuk fermentasi oleh bakteri anaerob.

Banyak kelompok jamur yang digunakan dalam bidang lingkungan, salah satunya adalah *Aspergillus niger* dapat digunakan untuk metabolisme pestisida tertentu seperti endosulfandankarbofuran. Penggunaan biopestisida ini dalam budidaya pertanian sangat menguntungkan dari segi lingkungan. Hal ini dikarenakan biopestisida dapat didegradasi oleh mikroganismet tanah atau air menjadi kimiawi yang lebih sederhana yang tidak lagi mempunyai efek kepada manusia ataupun hewan.



Gambar 31. *Aspergillus niger*

Beberapa virus telah dikembangkan agar dapat digunakan dalam bidang lingkungan, salah satunya adalah untuk bioinfeksi melalui mekanisme bakteriofage. Virus ini akan menginfeksi bakteri yang patogen pada tanaman sehingga akan mengurangi penggunaan bahan kimia sintetik untuk membrantaas peyakit tanaman. Penggunaan bioinfeksi ini dalam budidaya pertanian sangat menguntungkan dari segi lingkungan.

### **8.2.2. Mikroba Air Dan Limbah**

Salah satu cabang mikrobiologi lingkungan yang sekarang berkembang sangat pesat adalah mikrobiologi perairan. Mikrobiologi perairan mempelajari mikroorganisme yang hidup di air. Penjelasan tentang mikroba akuatik sudah diraikan pada bab Jasad Mikroba Akuatik, sehingga pada bab ini lebih banyak dibahas tentang aplikasi mikroba pada lingkungan perairan dan air limbah.

Populasi mikroorganisme dalam lingkungan air tergantung dalam berbagai faktor seperti : suhu, tekanan hidrostatis, cahaya salinitas, kekeruhan, pH, bahan organik dan anorganik. Selain itu ada pendapat lain yaitu seperti berikut ini. Faktor – faktor yang mempengaruhi jumlah dan jenis mikroorganisme di dalam air adalah :

- 1. Sumber air**– Jumlah dan jenis mikroorganisme di dalam air dipengaruhi oleh sumber air seperti air laut, air hujan, air tanah dan air permukaan.
- 2. Komponen nutrient dalam air**–Secara alamiah air mengandung mineral-mineral yang cukup untuk kehidupan mikroorganisme. Air buangan sering mengandung komponen-komponen yang dibutuhkan oleh spesies mikroorganisme tertentu.
- 3. Komponen beracun** – Bila terdapat di dalam air akan mempengaruhi jumlah dan jenis mikroorganisme yang terdapat di dalam air, sebagai contoh asam-asam organik dan anorganik tertentu dapat membunuh mikroorganisme dan kehidupan lainnya dalam air.
- 4. Organisme air** – Adanya organisme lain di dalam air dapat mempengaruhi jumlah dan jenis mikroorganisme air, seperti protozoa dapat membunuh bakteri.
- 5. Faktor fisik** – Faktor fisik seperti suhu, pH, tekanan osmotik tekanan hidrostatis, aerasi dan penetrasi sinar matahari dapat mempengaruhi jumlah dan jenis mikroorganisme yang terdapat di dalam air.

Mikroba merupakan bagian tak terpisahkan di dalam pengolahan air limbah. Makhluk berukuran mikro ini berperan sangat besar di dalam purifikasi air limbah, terutama bagi

mereka yang mengolah limbahnya secara biologis. Mikroba mampu mengasimilasi polutan ke dalam tubuh mereka sehingga konsentrasi polutan dapat berkurang dari dalam air limbah.

Pengolahan limbah secara biologi adalah pengolahan air limbah dengan menggunakan mikroorganisme seperti ganggang, bakteri, protozoa, untuk menguraikan senyawa organik dalam air limbah menjadi senyawa yang sederhana. Pengolahan tersebut mempunyai tahapan seperti pengolahan secara aerob, anaerob dan fakultatif.

Pengolahan air limbah bertujuan untuk menghilangkan bahan organik, anorganik, amoniak, dan posfat dengan bantuan mikroorganisme. Penggunaan saringan atau filter telah dikenal luas guna menangani air untuk keperluan industri dan rumah tangga, cara ini juga dapat diterapkan untuk pengolahan air limbah yaitu dengan memakai berbagai jenis media filter seperti pasir dan antrasit. Pada penggunaan sistem saringan anaerobik, media filter ditempatkan dalam suatu bak atau tangki dan air limbah yang akan disaring dilalukan dari arah bawah ke atas.

Penguraian ini memerlukan oksigen pada proses aerobik dan pada proses anaerobik berlangsung tanpa oksigen, proses biologis dapat digunakan untuk menghilangkan fosfat, kebanyakan sistem biologis dapat mentolerir naik turunnya suhu. Pada pengolahan biologi air limbah, perlu dipertahankan agar mikroorganisme dapat menunjukkan kemampuannya yang optimal seperti bakteri untuk mengambil bahan-bahan organik dengan merancang peralatan dan sistem pengolahan yang sesuai untuk pertumbuhan bakteri.

Sebelum melakukan pengolahan perlu ditinjau bahwa pada proses pengolahan air limbah pH harus berkisar 7 atau 6,5 – 9,5 karena semua proses berlangsung pada suasana netral. Proses netralisasi pada umumnya dilakukan dengan penambahan  $\text{Ca(OH)}_2$  kemudian dilakukan pengadukan agar reaksi antara asam dan basa dapat berlangsung dengan baik. Beberapa mikroba yang penting di dalam pengolahan air limbah antara lain bakteri nitrifikasi, bakteri denitrifikasi, dan bakteri metanogen. Di dalam pengolahan limbah, mikroba tidak terbatas pada bakteri saja. Mikroba lain yang terdapat di dalam air limbah yaitu fungi, protozoa (ciliata, flagellata, amoeba), dan virus.

### **Bakteri nitrifikasi**

Bakteri nitrifikasi adalah bakteri-bakteri yang mengubah amonia menjadi nitrat. Nitrifikasi adalah proses dua tahap dimana amonia dioksidasi menjadi nitrit kemudian dilanjutkan dengan oksidasi nitrit menjadi nitrat. Bakteri nitrifikasi tergolong dalam

kelompok bakteri autotrof aerob. Genus yang paling umum dari bakteri nitrifikasi adalah *Nitrosomonas* (mengubah amonia menjadi nitrit) dan *Nitrobacter* (mengubah nitrit menjadi nitrat). Di samping kedua genus bakteri ini, terdapat pula genus bakteri lain yang mampu mengoksidasi amonia menjadi nitrit (*Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrosolobus*, dan *Nitrosorobrio*) serta nitrit menjadi nitrat (*Nitrococcus*, *Nitrospira*, *Nitrospina*, dan *Nitroeystis*).

### **Bakteri denitrifikasi**

Bakteri denitrifikasi adalah bakteri-bakteri yang mengkonversi nitrat menjadi nitrogen bebas ( $N_2$ ). Bakteri denitrifikasi dapat berasal dari kelompok autotrof maupun heterotrof. Yang berasal dari kelompok autotrof misalnya *Nitrosomonas europaea*. Sementara itu yang termasuk dalam kelompok heterotrof antara lain berasal dari genus *Vibrio*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Bacillus*, dan *Alcaligenes*.

### **Bakteri metanogen**

Bakteri metanogen adalah bakteri-bakteri yang menghasilkan metan ( $CH_4$ ) dari senyawaan asetat. Bakteri metanogen dikelompokkan ke dalam empat ordo yaitu Methanobacteriales, Methanomicrobiales, Methanococcales, dan Methanosarcinales.

Beberapa aplikasi mikroba dalam penanganan limbah yaitu :

### **Penggunaan bakteri untuk mengatasi limbah minyak bumi**

Bakteri juga dimanfaatkan untuk mengatasi limbah minyak bumi di daerah kilang minyak (terutama kilang minyak lepas pantai) atau pada kecelakaan kapal pengangkut minyak bumi. Golongan *Pseudomonas*, seperti *Pseudomonas putida* mampu mengkonsumsi hidrokarbon yang merupakan bagian utama dari minyak bumi.

### **Penggunaan bakteri untuk mengatasi limbah logam berat**

Limbah pabrik yang mengandung logam berat dapat dibersihkan oleh mikroorganisme yang dapat menggunakan logam berat sebagai nutrient, mikroorganisme yang dapat digunakan antara lain adalah *Thiobascillus ferrooxidans* dan *Bacillus subtilis*.

### **Penggunaan bakteri untuk limbah protein**

Limbah-limbah protein jika terdekomposisi oleh bakteri decomposer akan menghasilkan nitrat, nitrit dan ammonia. Ketiga hasil dekomposisi ini dapat mengakibatkan masalah pada lingkungan dan kesehatan. Untuk hal tersebut dapat digunakan bakteri yang telah direkayasa antara lain *Alcaligenes faecalis*, *Bacillus lichemifoemis* dan lain sebagainya.



### **Penggunaan bakteri untuk PCP**

Bakteri dari kelompok coruneform dan arthobakter, yang telah di aklimitasi (telah terbiasa hidup di medium treatment) juga telah digunakan untuk mengolah limbah yang mengandung PCP (parachlorophenol) dengan metode bioaugmentasi.

### **Penggunaan bakteri dalam produksi hydrogen**

Sekarang juga telah dikembangkan penanganan limbah oleh mikroorganisme yang dapat menghasilkan hydrogen yang dapat digunakan untuk kepentingan industri sebagai bahan bakar alternatif.

### **8.2.3. Mikroba Pangan Dan Industri**

Pada bidang pangan dan industri peran mikroba –pun cukup penting. Peranan mikroba tersebut bersifat menguntungkan dan merugikan. **Menguntungkan**, jika mikroba berperan dalam proses-proses perombakan dan penyusunan senyawa organik (makanan) sehingga menghasilkan berbagai produk yang bermanfaat bagi manusia. Berbagai produk makanan olahan peran mikroba sebagai pemroses atau biomassa mikroba sebagai bahan baku. **Merugikan**, jika mikroba berperan sebagai agen pengkontaminasi dan pembusukan pada makanan sehingga menyebabkan kerugian pada produksi pangan.

#### **MIKROBA dan PANGAN :**

- Kehadirannya menentukan kualitas dan tingkat keamanan pangan
- Dapat menyebabkan kerusakan makanan
- Dapat menyebabkan keracunan (intoksikasi)
- Agen bioproses menghasilkan produk pangan
- Dapat dijadikan sumber pangan dan supplement

#### **Mikroorganisme menguntungkan dalam hal sebagai berikut :**

1. Berperan dalam proses

**Fermentasi:** Bahan baku  $\longrightarrow$  makanan dan minuman hasil fermentasi

2. Berperan dalam meningkatkan gizi makanan:

Kedelai----tempe-----nilai gizi tinggi

3. Berperan dalam pengadaan bau dan rasa, seperti: susu---yoghurt
4. Sebagai sumber protein: jamur konsumsi, seperti: jamur tiram, jamur merang, jamur shitake dsb.

**Mikroorganisme merugikan dalam hal sebagai berikut :**

1. Merubah bau, rasa dan warna yang tidak dikehendaki
2. Menurunkan berat atau volume
3. Menurunkan nilai gizi/nutrisi
4. Merubah bentuk dan susunan senyawa
5. Menghasilkan toksin

**Keberadaan mikroba pada makanan**

1. Penularan penyakit melalui makann (foodborne infection). Contoh disentri, demam tifoid.
2. Intoksikasi mikroba

Mikroba pada makanan----makanan bertoksin, contoh :

botulisme---Clostridium botulinum---botulinin (neurotoksin)

asam bongkrek dan toksoflavion---tempe bongkrek (*Pseudomonas cocovenenant*)

Lemak -----asam lemak + gliserol

Gliserol -----toksoplavin (C<sub>7</sub>H<sub>7</sub>N<sub>5</sub>O<sub>2</sub>)

asam lemak-----asam bongkrek (C<sub>28</sub> H<sub>38</sub>O<sub>7</sub>)

mengganggu metabolisme glikogen

**Pemanfaatan mikroba dalam pemanfaatan berbagai macam produk olahan**

Mikroba yang ada di sekeliling kita mempunyai manfaat yang sangat besar, salah satunya untuk pengolahan makanan. Berikut ini akan dijelaskan beberapa jenis mikroba yang bermanfaat untuk pengolahan makanan, yaitu: mikroba jenis bakteri dan mikroba jenis jamur.

Mikroba jenis bakteri yang digunakan dalam pemanfaatan berbagai macam produk adalah: *Lactobacillus* , *Streptococcus*, *Pediococcus cerevisiae*, *Acetobacter*. Pada mikroba jenis fungi yang digunakan dalam pemanfaatan berbagai macam produk adalah

Jamur *Rhizopus oryzae*, *Neurospora sitophila*, *Aspergillus wentii* dan *Aspergillus oryzae*, *Saccharomyces cerevisiae*.

## **1.YOGHURT**

Yoghurt merupakan minuman hasil kerjasama dengan mikroorganisme. Tidak sembarangan mikroorganisme yang dapat membantu proses pembuatan yogurt, terdapat dua bakteri utama yang membantu proses fermentasi yogurt diantaranya adalah *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus bulgaricus*. Pada dasarnya kerja kedua bakteri ini yaitu menghasilkan asam laktat sehingga rasa dari yogurt tersebut menjadi asam. Asam laktat ini dapat membantu menjaga keseimbangan mikroflora pada usus. Tingkat keasaman yang dihasilkan mampu menghambat bakteri penyebab penyakit yang pada umumnya tidak tahan terhadap asam.

*Streptococcus thermophilus* merupakan bakteri gram-positif yang bersifat anaerob. *S. thermophilus* merupakan bakteri yang paling komersial dari semua bakteri yang penghasil asam laktat. *S.thermophilus* banyak digunakan pada pembuatan keju, fermentasi makanan. *S.thermophilus* memiliki peran sebagai probiotik, mengurangi gejala intoleransi laktosa dan gangguan gastrointestinal lainnya. *Lactobacillus bulgaricus* adalah bakteri yang membantu dalam proses fermentasi yoghurt. Bakteri ini pertamakali diidentifikasi oleh seorang dokter yang bernama Stamen grigorov pada tahun 1905 asal Bulgaria. Bakteri ini mengubah laktosa menjadi asam laktat. Asam ini sekaligus dapat mengawetkan susu dan mendegradasi laktosa sehingga orang yang toleran terhadap susu murni dapat mengkonsumsi yogurt tanpa mendapat masalah kesehatan.

## **2.KEJU**

Susu memiliki reputasi yang baik sebagai makanan yang sangat bergizi. Sayangnya, kandungan gizi yang tinggi tidak hanya menarik bagi manusia. Jika dibiarkan untuk waktu yang lama, nutrisi yang ada di dalam susu memungkinkan mikroorganisme untuk tumbuh sehingga menyebabkan susu tidak layak untuk konsumsi manusia. Pada zaman kuno, cara utama untuk mengawetkan susu adalah untuk mengubahnya menjadi keju.

Para sejarawan percaya bahwa keju menjadi bagian dari diet manusia sekitar 800 tahun yang lalu, sehingga merupakan makanan yang pertama difermentasi. Kemungkinan dihasilkan secara tidak sengaja melalui praktek membawa susu dalam kantong yang terbuat dari perut hewan. Enzim dalam cairan pencernaan dari perut dan bakteri dalam susu bekerja sama untuk membentuk dadih (curd) dan kemudian keju mentah. Menurut

FDA, keju adalah produk yang dibuat dengan cara mengkoagulasikan kasein susu, susu krim atau susu yang kaya dengan krim.

Koagulasi dapat dilakukan dengan koagulasi garam, asam atau enzim, pemekatan atau kombinasinya (Zubaidah, 1998). Setelah dikoagulasi, *curd* (padatan yang sebagian besar kandungannya protein) yang dihasilkan diperam, ada juga jenis keju yang tidak melalui pemeraman (Anonymous, 2003).

Jenis keju yang dihasilkan tergantung dari bermacam-macam faktor. Menurut Kordylas (1991), faktor penting dalam pembuatan keju adalah kandungan air dan pemeraman. Berdasarkan pada kandungan airnya keju dibagi dua kelas yaitu keju lunak yang mengandung 40-75% air yang mudah busuk dan keju keras yang mengandung 30-40 % air yang dapat disimpan beberapa tahun di bawah kondisi penyimpanan yang baik. Keju merupakan salah satu bahan pangan dengan daya simpan yang baik dan kaya akan protein, lemak, kalsium, fosfor, riboflavin dan vitamin-vitamin lain dalam bentuk pekat.

### **3.YAKULT**

Yakult adalah minuman susu fermentasi, yang dibuat dengan cara memfermentasi susu bubuk skim yang mengandung bakteri asam laktat hidup *Lactobacillus casei* Shirota strain. Di dalam setiap botol Yakult terdapat lebih dari 6,5 milyar bakteri *L. Casei Shirota* Strein yang mampu melewati asam lambung dan cairan empedu sehingga dapat berperan secara maksimal di dalam usus. Pada tahun 1930, almarhum Dr. Minoru Shirota, pendiri perusahaan Yakult, telah berhasil mengkulturkan berbagai jenis bakteri asam laktat dan memilih satu jenis bakteri yang bersifat paling tahan terhadap cairan pencernaan Di samping itu, Dr. Minoru Shirota juga memperkuatnya sehingga menjadi strain baru yang unggul. Karena itu, berbeda dengan bakteri lain, bakteri ini dapat menaklukkan berbagai hambatan fisiologis seperti asam lambung dan cairan empedu sehingga dapat mencapai dan bertahan hidup dalam usus manusia (Sumber: [www.Yakult.co.id](http://www.Yakult.co.id)).

Dari dalam usus bakteri ini membantu meningkatkan kesehatan kita dengan cara mengaktifkan sel-sel kekebalan, meningkatkan jumlah bakteri berguna, dan mengurangi jumlah bakteri yang merugikan. *Lactobacillus casei* adalah galur unggul yang mudah dan cocok untuk dikembangbiakkan dalam minuman dasar susu. Selain bakteri ini mampu bertahan dari pengaruh asam lambung, juga mampu bertahan dalam cairan empedu sehingga mampu bertahan hidup hingga usus halus.

Peranan lain terhadap kesehatan manusia adalah :

- untuk memperbaiki penyerapan kalsium pada usus,
- melancarkan buang air besar,
- penyerapan bahan karsinogenik,
- membunuh bakteri patogen dan bersifat anti tumor
- memberi efek menguntungkan pada usus halus dengan meningkatkan keseimbangan mikroorganisme dalam saluran pencernaan.

#### **Proses fermentasi Yakult**

Proses pembuatan yakult adalah dengan cara memfermentasi campuran susu bubuk skim dan glukosa menggunakan bakteri *Lactobacillus casei Shirota strain*. Yakult dibuat dari bahan-bahan bakteri *Lactobacillus casei Shirota strain* hidup, susu bubuk skim, sukrosa dan glukosa, perisa, air, serta yakult ini tidak menggunakan bahan pengawet. Yakult dapat bertahan sejak pembuatannya sampai dengan tanggal kadaluwarsa tanpa menggunakan pengawet adalah dikarenakan asam laktat yang dihasilkan secara alami selama proses fermentasi dapat memperpanjang umur simpannya, pembuatannya secara higienis penyimpanannya pada suhu dibawah 10°C.

Yakult merupakan produk susu fermentasi dengan menggunakan starter tunggal yaitu Dornic atau 0,5% asam *Lactobacillus casei*. Kecepatan pertumbuhan bakteri ini berkisar 50 laktat setelah 48 jam. *Lactobacillus casei* berbentuk batang tunggal dan termasuk golongan bakteri heterofermentatif, fakultatif, mesofilik, dan berukuran lebih kecil dari pada *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, dan *Lactobacillus helveticus*. *Lactobacillus casei* akan merubah ribosa menjadi asam laktat dan asam asetat, perubahan ribosa diinduksi oleh faseketolase (Kurman, 1992).

Bakteri asam laktat akan menghidrolisis laktosa yang ada di dalam susu menjadi berbagai macam senyawa karbohidrat yang lebih sederhana misalnya glukosa dan galaktosa seperti yang terdapat dalam produk yakult.

#### **4.MINUMAN ANGGUR (WINE)**

**Anggur** adalah minuman beralkohol yang dibuat dari sari anggur jenis *Vitisvinifera* yang biasanya hanya tumbuh di area 30 hingga 50 derajat lintang utara dan selatan. Minuman beralkohol yang dibuat dari sari buah lain yang kadar alkoholnya berkisar di antara 8% hingga 15% biasanya disebut sebagai wine buah (*fruit wine*). Anggur adalah minuman yang populer di banyak negara.

Anggur dibuat melalui fermentasi gula yang ada di dalam buah anggur. Ada beberapa jenis minuman anggur yaitu, *Red Wine*, *White Wine*, *Rose Wine*, *Sparkling Wine*, *Sweet Wine*, dan *Fortified Wine*:

**Red Wine** adalah wine yang dibuat dari anggur merah (*red grapes*). Beberapa jenis anggur merah yang terkenal di kalangan peminum wine di Indonesia adalah merlot, cabernet sauvignon, syrah/shiraz, dan pinot noir.

**White Wine** adalah wine yang dibuat dari anggur putih (*white grape*). Beberapa jenis anggur hijau yang terkenal di kalangan peminum wine di Indonesia adalah chardonnay, sauvignon blanc, semillon, riesling, dan chenin blanc.

**Rose Wine** adalah wine yang berwarna merah muda atau merah jambu yang dibuat dari anggur merah namun dengan proses ekstraksi warna yang lebih singkat dibandingkan dengan proses pembuatan *Red Wine*. Di daerah Champagne, kata *Rose Wine* mengacu pada campuran antara *White Wine* dan *Red Wine*.

**Sparkling Wine** adalah wine yang mengandung cukup banyak gelembung karbon dioksida di dalamnya. *Sparkling Wine* yang paling terkenal adalah *Champagne* dari Prancis. Hanya *Sparkling Wine* yang dibuat dari anggur yang tumbuh di desa Champagne dan diproduksi di desa Champagne yang boleh disebut dan diberi label Champagne.

**Sweet Wine** adalah wine yang masih banyak mengandung gula sisa hasil fermentasi (*residual sugar*) sehingga membuat rasanya menjadi manis.

**Fortified Wine** adalah wine yang mengandung alkohol lebih tinggi dibandingkan dengan wine biasa (antara 15% hingga 20.5%). Kadar alkohol yang tinggi ini adalah hasil dari penambahan *spirit* pada proses pembuatannya.

## 5. TEMPE

Tempe adalah produk fermentasi yang amat dikenal oleh masyarakat Indonesia dan mulai digemari pula oleh berbagai kelompok masyarakat. Tempe dapat dibuat dari berbagai bahan. Namun demikian yang biasa dikenal sebagai tempe yang dikenal oleh masyarakat pada umumnya ialah tempe yang dibuat dari kedelai.

Tempe merupakan makanan tradisional yang berpotensi sebagai makanan fungsional, beberapa khasiat tempe bagi kesehatan antara lain memberikan pengaruh hipokolesterolemik, antidiare khususnya karena bakteri *e.coli* enteropatogenik dan antioksidan. Nilai gizi protein tempe meningkat setelah proses fermentasi karena

terjadinya pembebasan asam amino hasil aktivitas enzim proteolitik dari tempe. Tempe yang dibuat dari kedelai melalui tiga tahap yaitu :

- (1) hidrasi dan pengasaman biji kedelai dengan perendaman beberapa lama,
- (2) Sterilisasi terhadap sebagian biji kedelai,
- (3) Fermentasi oleh jamur tempe yang diinokulasikan segera setelah sterilisasi.

Jamur tempe yang biasa digunakan ialah *Rhizopus oligosporus*.

#### **Kelemahan penggunaan mikroba dalam industri makanan**

Salah satu kelemahan dari penggunaan mikroba dalam industri makanan adalah dapat menyebabkan keracunan. Sebelum membahas mengenai senyawa racun dari mikroba, perlu terlebih dahulu dipahami dua istilah yang mirip pengertiannya, yaitu infeksi dan keracunan. Infeksi adalah suatu istilah yang digunakan bila seseorang setelah mengkonsumsi makanan atau minuman yang mengandung bakteri patogen mendapat gejala-gejala penyakit. Keracunan yang juga disebut intoksikasi disebabkan mengkonsumsi makanan yang telah mengandung senyawa beracun yang diproduksi oleh mikroba, baik bakteri maupun kapang.

Beberapa senyawa racun yang dapat menyebabkan intoksikasi adalah :

#### **Bakteri**

##### *a. clostridium botulinum.*

Senyawa beracun yang diproduksi *clostridium botulinum* disebut *botulinin* dan keracunan yang ditimbulkan akibat mengkonsumsi makanan yang mengandung *botulinin* disebut *botulisme*. *Botulinin* merupakan neurotoksin yang sangat berbahaya bagi manusia dan sering akut dan menyebabkan kematian.

##### *b. Pseudomonas cocovenenans*

Senyawa beracun yang dapat diproduksi oleh *Pseudomonas cocovenenans* adalah toksoflavin dan asam bongkrek. Pada umumnya tempe bongkrek yang jadi atau berhasil dengan baik (kompak dan putih warnahnya) hanya ditumbuhi kapang tempe *Rhizopus oligosporus*, tetapi tempe yang gagal dan rapuh disamping *R. oligosporus* biasanya juga tumbuh sejenis bakteri yang disebut *Pseudomonas cocovenenans*, bakteri yang sebenarnya tidak dikehendaki ada dalam tempe bongkrek. Bakteri ini yang menyebabkan terbentuknya toksin dalam tempe bongkrek.

## **Kapang**

Mikotoksin merupakan senyawa beracun yang diproduksi oleh kapang (mold) atau jamur. Perlu dijelaskan bahwa tidak semua kapang memproduksi toksin, bahkan beberapa diantaranya berguna bagi proses pengolahan makanan seperti tempe, tauco, kecap dan keju. Toksin yang terbentuk terdifusi ke dalam makanan sehingga kebiasaan menghilangkan atau mengerok kapang dari permukaan makanan tidak dapat menghilangkan bahaya racun yang sudah terlanjur tersebar. Karena itu cara tersebut sebaiknya dihindarkan.

Mikotoksin yang terkenal adalah *aflatoksin*. *Aflatoksin* adalah senyawa beracun yang diproduksi oleh *Aspergillus flavus*, atau oleh jenis *Aspergillus* lainnya misalnya *Aspergillus parasiticus*.

### **Kriteria mikroorganisme yang dimanfaatkan dalam industri**

Mikroba yang dimanfaatkan dalam industri harus memenuhi kualifikasi :

- a. Mampu berkembang cepat dalam media yang disediakan dan mudah dibudidayakan dalam jumlah yang besar.
- b. Mampu bertahan dengan sifat fisiologi konstan pada kondisi yang diinginkan, menghasilkan enzim-enzim yang diperlukan, serta melangsungkan perubahan kimia yang diinginkan.
- c. Pada kondisi seperti itu, mikroba harus mampu melangsungkan transpormasi-transpormasi dengan relatif sederhana dan dalam kondisi lingkungan yang dimodifikasi. Karena reaksi enzimatik pada umumnya eksotermik, maka tidak perlu menggunakan energi luar yang besar kuantitasnya.
- d. Dapat disimpan dalam jangka waktu yang panjang.
- e. Dapat dikembangkan dengan rekayasa genetik.

### **Pemanfaatan mikroba dalam industri**

Beberapa contoh pemanfaatan mikroorganisme dalam industri adalah:

- a. Produksi massa sel: protein sel tunggal untuk pakan ternak, manusia dan pestisida.
- b. Penggunaan bagian-bagian dari sel: biokatalis (enzim), polisakarida (xantan, alginat), pigmen dan lipid.
- c. Fermentasi untuk produksi metabolit primer: alkohol, asam organik, vitamin dan lain-lain.



- d. Fermentasi untuk produksi metabolit sekunder: antibiotik, toksin, dan komponen flavor.
- e. Aplikasi aktivitas mikroorganisme dalam:
  - 1. Pengawetan seperti keju, yoghurt, pikel.
  - 2. Pengolahan seperti roti, kecap.
  - 3. Pengolahan limbah dan pembersihan bahan-bahan beracun seperti penghilangan fosfat, H<sub>2</sub>S dan lain-lain.
  - 4. Bidang pertanian: merangsang fiksasi nitrogen.
  - 5. Proses dalam berbagai industri di luar industri makanan dan minuman, misalnya meningkatkan atau menjaga kualitas tekstil dan serat ataupun bahan kayu dan lain-lain.

Banyak reaksi kimia dapat berlangsung dengan memanfaatkan mikroorganisme pada kondisi terkontrol. Beberapa reaksi yang sudah lama dikenal dan sudah dipelajari dalam satuan-satuan proses, antara lain: oksidasi reduksi, hidrolisis dan esterifikasi. Namun demikian, masih banyak reaksi kimia yang dilangsungkan atas bantuan mikroorganisme, namun sangat kompleks dan tidak mudah diklasifikasi.

Medium yang digunakan untuk menghitung total mikroorganisme pembentuk asam di dalam bahan pangan mengandung indikator, dimana pembentukan asam oleh koloni mikroorganisme akan mengubah pH medium disekitarnya sehingga terjadi perubahan warna, akibatnya koloni pembentuk asam akan mudah dibedakan dari koloni lainnya dan mudah dihitung. Untuk mikroorganisme yang memproduksi asam dalam jumlah tinggi digunakan indikator ungu bromcresol, hijau atau biru bromcresol. Untuk mikroorganisme yang memproduksi asam dalam jumlah yang sedang, digunakan indikator merah fenol. Perhitungan koloni pada medium spesifik didasarkan atas beberapa karakteristik yakni: ciri-ciri koloni seperti ukuran, bentuk, warna dan reaksi biokimia didalam medium, misalnya produksi asam atau hidrolisis arginin, identifikasi dengan cara mengambil koloni yang terpisah dari cawan dan menginokulasikannya pada berbagai medium uji yang berbeda-beda.

#### **Peran mikroba pada industri farmasi**

Industri farmasi telah menggunakan bakteri untuk produksi vaksin dan antibiotik. Banyak antibiotik yang dibuat oleh bakteri yang hidup di tanah, seperti Tetracycline, erythromycin dan streptomycin. Vaksin yang diproduksi untuk melawan penyakit serius

yang disebabkan oleh bakteri, dibuat dari bagian bakteri yang menyebabkan penyakit tersebut. Dipteri, tetanus dan pertusis telah hilang dari beberapa negara maju karena penggunaan vaksin yang disebarluaskan untuk mencegah penyakit-penyakit tersebut.

Vaksin untuk demam thypoid dan kolera memiliki dampak yang sangat besar terhadap kualitas hidup di negara berkembang, karena mereka menghadirkan biaya yang relatif murah untuk mencegah penyakit tersebut. Dengan mikrobiologi para ahli farmasi dapat mengembangkan metode pembuatan obat baru dengan memanfaatkan mikroorganisme dan juga untuk menciptakan obat baru yang lebih aman digunakan untuk memerangi mikroorganisme penyebab penyakit.

### **1. Produk Antibiotik**

Pada awalnya, antibiotik diartikan sebagai senyawa hasil metabolisme mikro organisme biasanya yang dapat merusak atau menghambat pertumbuhan mikro organisme lainnya. Biasanya, antibiotik merupakan suatu metabolit sekunder yang dihasilkan dalam fase stationer siklus pertumbuhan mikro organisme. Namun pada perkembangannya, istilah antibiotik ditujukan untuk semua senyawa kimia yang dapat menghambat pertumbuhan mikroba baik yang berasal dari proses metabolisme mikroba maupun hasil sintesis. Idealnya, antibiotik memiliki toksisitas selektif terhadap mikroba tertentu dengan tingkat toksisitas yang tinggi tetapi hanya menimbulkan toksisitas yang minimal terhadap inang (manusia, ternak, dll) serta dapat diberikan melalui jalur umum.

Menurut daya hambatnya terhadap mikroba, antibiotik digolongkan menjadi bakteristatik dan bakterisida. Bakteristatik merupakan antibiotik yang hanya mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme sedangkan bakterisida merupakan antibiotik yang dapat menyebabkan kematian mikroorganisme. Antibiotik dapat pula digolongkan berdasarkan organisme yang dilawan dan jenis infeksi. Berdasarkan keefektifannya dalam melawan jenis bakteri, dapat dibedakan antibiotik yang membidik bakteri gram positif atau gram negatif saja, dan antibiotik yang berspektrum luas, yaitu yang dapat membidik bakteri gram positif dan negatif .

Mikroorganisme penghasil mikroba tersebar dalam berbagai golongan, meliputi bakteri, actinomycetes, dan fungi. Dari ketiga golongan tersebut, yang paling banyak menghasilkan antibiotik adalah golongan actinomycetes, terutama Streptomyces yang mencapai 70% dari seluruh antibiotik yang dihasilkan oleh mikro organisme. Disusul oleh fungi yang mencapai 20% dan bakteri yang mencapai 10%. Bahkan, menurut Okami & Hotta,

hampir 95% dari 2000 antibiotik yang ada dihasilkan oleh *Streptomyces*. Meskipun saat ini telah dikenal cara untuk menghasilkan antibiotik secara sintesis kimiawi, tetapi pada pelaksanaannya hal tersebut masih cukup sulit dilakukan. Oleh karenanya, sintesis antibiotik melalui mikro organisme masih menarik untuk dilakukan. Hal ini juga mengakibatkan banyak penelitian yang difokuskan pada Actinomycetes.

Actinomycetes termasuk bakteri yang berbentuk batang, gram positif, bersifat anaerobik atau fakultatif. Struktur Actinomycetes berupa filament lembut yang sering disebut hifa atau miselia, sebagaimana yang terdapat pada fungi, memiliki konidia pada hifa yang menegak. Actinomycetes merupakan bakteri yang bereproduksi dengan pembelahan sel, rentan terhadap pinicilin tetapi tahan terhadap zat antifungi. Actinomycetes merupakan golongan mikroorganisme yang tersebar luas di alam terutama tanah, banyak dari golongan ini yang diketahui mampu memproduksi metabolit sekunder seperti enzim, herbisida, pestisida dan antibiotik.

Produksi antibiotik melalui pemanfaatan mikro organisme dilakukan melalui fermentasi. Adapun sistem fermentasi yang telah berkembang yaitu:

1. Sistem Continue

Pada sistem kontinyu, media selalu ditambahkan dari luar dan hasilnya dipanen secara berkala. Sistem ini cocok digunakan pada produksi besar (dalam skala industri) agar lebih efisien. Sistem ini tidak cocok digunakan untuk produksi kecil (skala laboratorium).

2. Sistem Batch

Pada sistem ini tidak ada penambahan media dan pemanenan hasil pada akhir periode fermentasi, sehingga hanya dapat bertahan selama beberapa jam atau hari. Sistem ini cocok untuk produksi skala kecil (skala laboratorium).

Perbedaan penggunaan kedua metode tersebut akan menyebabkan perbedaan recovery, kemurnian, kualitas, dan sterilisasi pengemasan produk akhir.

## **2. Produksi Vaksin**

Vaksin berasal dari kata *vaccinia*, adalah bahan antigenik yang digunakan untuk menghasilkan kekebalan aktif terhadap suatu penyakit sehingga dapat mencegah atau mengurangi pengaruh infeksi oleh mikroba alami atau "liar". Vaksin dapat berupa galur virus atau bakteri yang telah dilemahkan sehingga tidak menimbulkan penyakit. Vaksin dapat juga berupa organisme mati atau hasil-hasil pemurniannya (protein, peptida, partikel serupa

virus, dsb.). Vaksin akan mempersiapkan sistem kekebalan manusia atau hewan untuk bertahan terhadap serangan patogen tertentu, terutama bakteri, virus, atau toksin. Vaksin juga bisa membantu sistem kekebalan untuk melawan sel-sel degeneratif (kanker). Vaksin merupakan senyawa yang dihasilkan oleh suatu mikroorganisme untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme lain.

Banyak ditemukan mikroorganisme yang mengandung substansi dengan aktivitas antibiotik. Vaksin diproduksi oleh strain mutan patogen virulen tanpa menghilangkan antigen yang diperlukan untuk menimbulkan respons imun. Perkembangan bidang bioteknologi memungkinkan produksi seluruh seluruh vaksin baru. Beberapa vaksin baru ini ditujukan bagi target baru, dan beberapa lagi lebih efektif dan memiliki efek samping lebih sedikit dibandingkan vaksin tradisional yang ada saat ini.

Untuk menghasilkan vaksin terhadap penyakit yang disebabkan oleh virus, strain virus ditumbuhkan dengan menggunakan telur ayam tertunas. Individu yang memiliki alergi terhadap telur ayam tidak dapat diberi vaksin yang dibuat dengan cara seperti ini. Vaksin virus juga dapat diproduksi melalui kultur jaringan. Misalnya, vaksin rabies tradisional diproduksi pada telur bebek tertunas dan memiliki efek samping yang sangat menyakitkan. Vaksin ini digantikan oleh produksi vaksin melalui kultur jaringan fibroblas manusia yang memiliki efek samping yang lebih sedikit. Produksi vaksin terhadap yang efektif dalam mencegah infeksi oleh bakteri, fungi, dan protozoa melibatkan pertumbuhan strain mikroorganisme pada media artifisial yang meminimalkan gangguan berupa respons alergi. Vaksin yang diproduksi secara komersial harus di uji dan distandardisasi terus sebelum digunakan, sehingga terjadi outbreak (wabah) penyakit akibat introduksi vaksin seperti yang pernah terjadi pada tahun 1976 akibat adanya vaksin swine influenza yang inadekuat dapat dihindari.

### **3. Produksi vitamin dan Asama Amino**

Vitamin merupakan faktor nutrisi esensial bagi manusia. Beberapa vitamin dapat diproduksi melalui fermentasi mikroorganisme, dan digunakan sebagai suplemen makanan. Misalnya vitamin B<sub>12</sub> dapat diproduksi sebagai produk samping pada fermentasi antibiotik oleh *Streptomyces*. Vitamin B<sub>12</sub> juga diperoleh dari fermentasi *Propionibacterium shermanii* atau *Paracoccus denitrificans*. Riboflavin dapat dihasilkan dari fermentasi berbagai macam mikroorganisme, misalnya bakteri *Clostridium* dan fungi *Eremothecium ashbyi* atau *Ashbya gossypii*.

Masalah utama produksi asam amino komersial melalui fermentasi mikroorganisme adalah adanya mekanisme alam kontrol pengaturan mikroorganisme yang membatasi jumlah asam amino yang dihasilkan dan dilepaskan dari sel. Masalah ini dapat diatasi dengan strain mikroorganisme yang direkayasa secara genetis sehingga tidak memiliki mekanisme kontrol seperti strain asli (wild type). Manusia memerlukan berbagai macam asam amino, termasuk lisin. Konsentrasi lisin dalam padi-padian tidak cukup banyak untuk memenuhi kebutuhan nutrisi manusia. Lisin diproduksi melalui fermentasi mikroorganisme, sehingga dapat digunakan sebagai suplemen makanan bagi manusia dan sebagai bahan tambahan pada sereal. Metionin juga diproduksi melalui sintesis kimia dan digunakan sebagai suplemen makanan. Produksi lisin dari karbohidrat menggunakan *Corynebacterium glutamicum*, suatu auksotrof yang memerlukan homoserin. Cane molasses umumnya digunakan sebagai substrat, dan pH dijaga agar tetap netral dengan menambahkan amonia atau urea. Pada saat gula dimetabolisme, lisin akan tetap terakumulasi pada media dan sintesis homoserin dihambat pada tahap homoserin dihidrogenase.

#### **8.2.4. Aplikasi Mikroba Dalam Bidang Akuakultur**

Mikroorganisme merupakan satu diantara beberapa faktor penting yang berpengaruh dalam keberhasilan Kegiatan budidaya organisme akuatik atau akuakultur. Selama ini kehadiran mikroorganisme lebih sering dikaitkan dengan kerugian bahkan kegagalan produksi dalam akuakultur. Serangan wabah penyakit dan penurunan parameter kualitas air dianggap merupakan kontribusi terbesar mikroorganisme. Hal ini tidak sepenuhnya benar, mengingat sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama bioteknologi akuakultur maka keberadaan mikroorganisme yang berperan positif pun bisa semakin dikembangkan.

Secara umum peranan positif mikroorganisme dalam akuakultur meliputi beberapa aspek, antara lain :

1. Perbaikan dalam faktor nutrisi

Ikan atau organisme akuatik yang lain mempunyai ketebatasan dalam memanfaatkan nutrisi dalam pakan yang diberikan. Beberapa nutrisi tertentu seperti vitamin tidak bisa diproduksi oleh tubuh tanpa bantuan mikroorganisme di saluran pencernaannya. Disamping itu beberapa mikroorganisme di saluran pencernaan organisme akuatik mampu menghasilkan enzim yang berperan penting dalam metabolismenya. Keberadaan

mikroorganisme tertentu dalam hal ini bakteri sangat diperlukan oleh tubuh dalam membantu mengoptimalkan pemanfaatan nutrisinya,. Penambahan beberapa jenis bakteri tertentu mampu meningkatkan pertumbuhannya melalui mekanisme perbaikan nutrisi tersebut.

## 2. Peningkatan sistem kekebalan tubuh atau imunitas organisme akuatik

Ikan yang sehat tentu saja akan dapat tumbuh optimal. Kondisi kesehatan ikan sangat dipengaruhi oleh factor internal berupa factor genetik antara lain tingkat imunitas dan factor eksternal berupa status nutrisi dan factor kualitas air yang lain. Betapa pentingnya kekebalan tubuh atau imunitas ikan sehingga perlu dikaji beberapa factor yang mempengaruhinya. Mikroorganisme yang ada di dalam tubuh ikan dan lingkungan pemeliharaannya ternyata mempunyai peran positif dalam meningkatkan status kesehatan ikan. Beberapa jenis bakteri ternyata jika diberikan melalui pakan, injeksi atau penyuntikan dan perendaman mampu meningkatkan sistem pertahanan tubuhnya dan pada jangka waktu tertentu mampu meningkatkan kemampuan ikan dalam menghadapi infeksi atau serangan penyakit.

## 3. Perbaikan kualitas air

Keberadaan mikroorganisme di lingkungan perairan dalam sistem ekologi berperan sebagai komponen decomposer. Decomposer merupakan kelompok mikroorganisme yang mempunyai kemampuan untuk melakukan proses dekomposisi atau perombakan bahan organik menjadi bahan anorganik, sehingga siap untuk dimanfaatkan oleh organisme autothrof untuk menghasilkan energy. Pada suatu sistem akuakultur, sisa pakan, ikan atau organisme akuatik yang mati, feses dan urin sebagai buangan metabolit akan menyumbang banyak sekali bahan organik di perairan. Produk nitrogen yang kompleks ini berupa ammonia jika berada dalam jumlah yang besar akan mejadi stressor pada ikan. Dalam siklus nitrogen ini peran bakteri mengubah ammoniak menjadi nitrit dan akhirnya menjadi nitrat yang bisa dimanfaatkan oleh tumbuhan atau mikroalga air sangatlah penting. Hal ini hanya satu contoh peran bakteri bagi perbaikan kualitas air dalam siklus Nitrogen. Peningkatan jumlah bakteri yang bermanfaat seperti ini dalam lingkungan akuakultur akan mampu menjaga kestabilan kualitas air yang pada akhirnya mampu mendukung pertumbuhan dan kesehatan ikan atau organisme akuatik lainnya yang dikultur.

Berdasarkan hal tersebut, maka perlu untuk dipelajari peranan dan aplikasi beberapa jenis mikroorganisme yang mampu mendukung keberhasilan akuakultur saat ini dan di masa yang akan datang. Berikut ini akan diuraikan beberapa pemanfaatan atau aplikasi mikroorganisme dalam akuakultur.

#### a. Probiotik

Probiotik merupakan makanan tambahan dalam bentuk mikroba hidup, yang memberi pengaruh menguntungkan bagi ternak inang dengan meningkatkan keseimbangan mikroba dalam saluran pencernaan. Selain itu juga probiotik digambarkan sebagai suplemen dengan tujuan meningkatkan kesehatan.

Ada beberapa kriteria bahwa mikroorganime itu bisa dikategorikan sebagai probiotik yaitu :

1. Mempunyai pengaruh positif bagi inangnya artinya tidak bersifat pathogen (tidak menyebabkan penyakit).
2. Sebaiknya merupakan flora normal usus agar lebih mudah menyesuaikan diri dengan lingkungan usus, toleran terhadap asam lambung dan garam empedu.
3. Memiliki kemampuan menempel dan mengkoloni sel usus.
4. Memiliki aktivitas anatgonistik terhadap mikroba pathogen enterik.
5. Terbukti mempunyai pengaruh yang menguntungkan terhadap kesehatan.
6. Produk probiotik diharapkan mempunyai sel hidup yang besar ( $10^7$  sampai  $10^9$ ).

Pemanfaatan probiotik dalam bidang perikanan atau akuakultur menyebabkan definisi probiotik mengalami perkembangan. pada hewan akuatik, tidak hanya saluran pencernaan yang penting, tapi juga air yang menjadi habitatnya. Sehingga menurut beberapa ahli, probiotik adalah agen mikroba hidup yang memberikan pengaruh menguntungkan pada inang dengan memodifikasi komunitas mikroba atau berasosiasi dengan inang, menjamin perbaikan dalam penggunaan pakan atau memperbaiki nilai nutrisinya, memperbaiki respon inang terhadap penyakit, atau memperbaiki kualitas lingkungannya. Pada akaukultur, probiotik dapat berasal dari bakteri, yeast, microalgae serta bakteriofag.

Beberapa jenis bakteri yang mampu berperan sebagai probiotik pada organisme akuatik antara lain :

1. *Vibrio alginolyticus*, *V. harveyi*, *Pseudomonas* sp, *Nitrobacter* sp, untuk udang
2. *Nitrosomonas* sp, *Bacillus* sp, untuk kepiting

3. *V. pelagis*, *Bacillus toyoi*, *Bacillus* sp, *Lactobacillus helveticus*, *L. plantarum*, *Streptococcus lactis*, *Pseudomonas cepacia*, *Kurthia gibsonii*, untuk ikan
4. *Alteromonas*, *Aeromonas media* untuk Oyster
5. *Rosebacter* sp, *Vibrio* sp, untuk Scalop
6. Jenis bakteri yang dominan di air tawar antara lain *Aeromonas* sp, *Plesiomonas* sp, *Clostridium* sp, Enterobacteriaceae, beberapa diantaranya bersifat antagonistik satu sama lain misalnya dengan kemampuan antibacterial sehingga bisa dimanfaatkan sebagai probiotik bagi ikan air tawar.

Mekanisme kerja bakteri probiotik dapat dibagi menjadi beberapa cara, yaitu :

1. Produksi senyawa inhibitor

Probiotik untuk akuakultur umumnya hanya diseleksi berdasarkan kemampuannya menghasilkan senyawa antimicrobial, walaupun demikian kemampuan pelekatan pada mukosa usus juga penting. Sebagai contoh : kandidat probiotik (AP1-AP5) yang diisolasi dari ikan badut (*Amphiphrionpercula* L.) terhadap bakteri pathogen *A. hydrophila* dan *V. alginolyticus*. Kandidat probiotik tersebut mempunyai kemampuan melekat pada mukosa usus ikan dan berkompetisi dengan bakteri pathogen, sehingga dengan penambahan bakteri probiotik akan mengurangi pelekatan bakteri pathogen.

2. Kompetisi terhadap senyawa kimia atau sumber energi (nutrisi)

Bakteri memerlukan nutrisi sebagai sumber energy untuk pertumbuhannya. Unsur besi (Fe) merupakan salah satu nutrient yang diperlukan oleh bakteri. Pelekatan di usus bersama dengan bakteri probiotik ternyata telah diamati dan menunjukkan bahwa salah satu kompetisi yang terjadi adalah kompetisi dalam pemanfaatan unsur besi tersebut.

3. Kompetisi terhadap tempat pelekatan

Kompetisi tempat pelekatan antara bakteri probiotik dan bakteri patogen sudah diamati antara lain terlihat bahwa pada hepatopankreas udang *Penaeus vannamei*, dikoloni bakteri probiotik (*Vibrio* P26, *Vibrio* P63, dan *Bacillus* P64) masing-masing 83%, 60% dan 58%. Interaksi kompetisi dengan *V. harveyii* (S2) dievaluasi dengan monoclonal antibodi dengan penghambatan oleh strain probiotik masing-masing 54%, 19% dan 34%.

4. Peningkatan respon imun (kekebalan)

Pada ikan lele dumbo telah diamati bahwa pemberian pakan dengan bakteri kandidat probiotik (*Pseudomonas cepacia* dan *Kurthia gibsonii*) selama satu bulan mampu



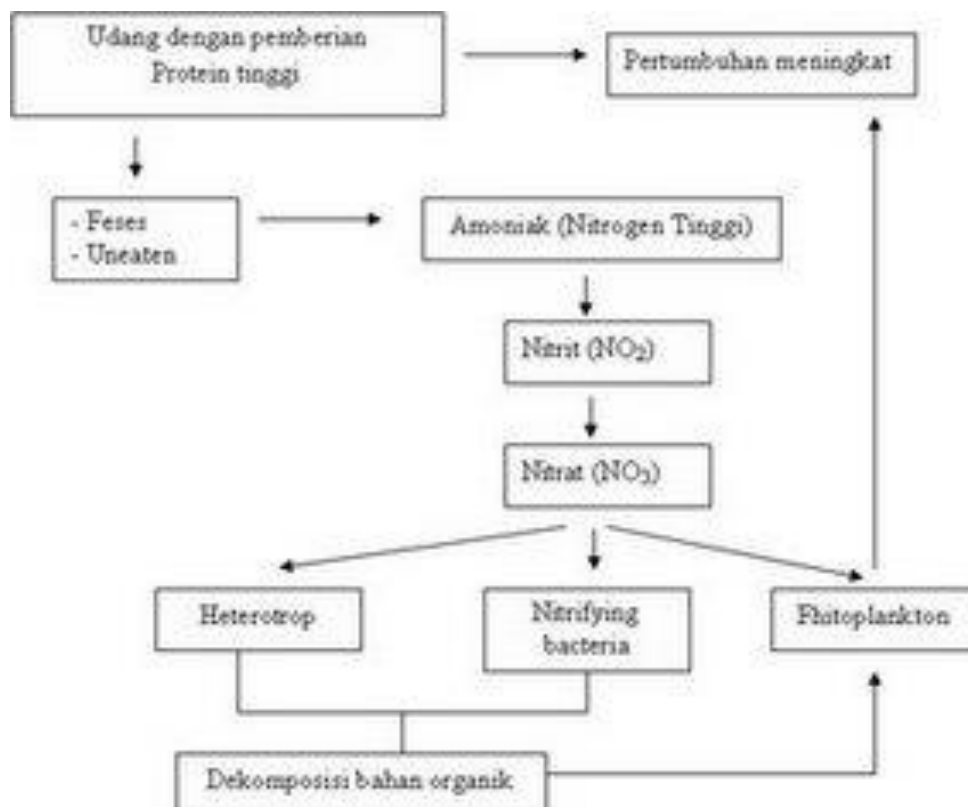
meningkatkan volume sel leukosit dan indeks fagositik yang merupakan bagian dari sistem imun atau kekebalan ikan.

#### 5. Perbaikan kualitas air

Perbaikan kualitas air dengan penggunaan bakteri probiotik *Bacillus* sp. dan *Nitrobacter* sp. telah dilaporkan dengan meningkatnya perombakan bahan organik dalam wadah pemeliharaan ikan.

#### 6. Interaksi dengan fitoplankton

Interaksi bakteri probiotik-fitoplankton secara tidak langsung dapat meningkatkan pertumbuhan dan kelangsungan hidup organisme akuatik. Penambahan bakteri probiotik dalam wadah kultur alga mampu meningkatkan nilai nutrisi dari alga tersebut yang akan dijadikan sebagai pakan alami ikan atau udang. Pada kultur *Artemia* sp, penambahan bakteri probiotik mampu meningkatkan pertumbuhan larva udang yang diberi pakan dengan *Artemia* sp tersebut.



Gambar 32. Peran bakteri nitrifikasi yang bisa dijadikan sebagai probiotik dalam perbaikan kualitas air

## **b. Teknik Bioflokulasi**

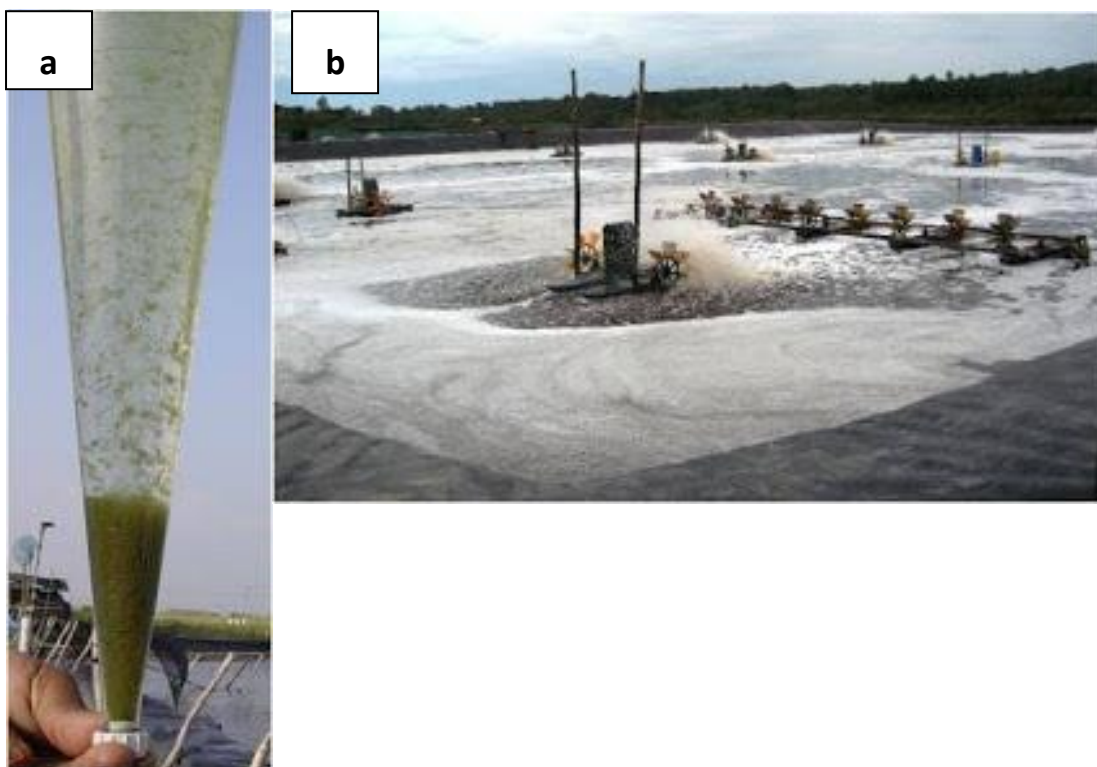
Teknik bioflok adalah sebuah teknologi alternatif untuk budidaya udang yang sedang populer saat ini. Teknik ini mencoba untuk mengolah limbah budidaya secara langsung di dalam petak budidaya dengan mempertahankan kecukupan oksigen, mikroorganisme, dan rasio C/N dalam tingkat tertentu. Keberhasilan teknik bioflok telah diklaim di beberapa tempat, seperti Israel (dengan komoditas Tilapia), Indonesia (udang vannamei), Belize, Amerika Tengah (udang vannamei), dan Australia (udang Windu). Penggunaan teknik ini di Indonesia pada budidaya Vannamei mampu menurunkan FCR sebesar 20%, dan menghasilkan 50 ton udang/ha dengan panen bertahap.

Bioflok adalah istilah yang digunakan pada teknik pengolahan limbah cair untuk makroagregat yang dihasilkan dalam sistem lumpur aktif. Lumpur aktif dapat pula diibaratkan sebagai 'sup mikroba' yang terbentuk dari pemberian aerasi terus-menerus pada biomassa tersuspensi dan mikroorganisme pengurai dalam limbah cair. Jadi, bioflok terdiri atas mikroorganisme (bakteri, ragi, fungi, protozoa, fitoplankton) dan limbah. Ada beberapa mikroorganisme yang telah diidentifikasi berfungsi sebagai bioflocculant antara lain : *Zooglea ramigera*, *Escherichia intermedia*, *Paracolobacterium aerogenoids*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas alcaligenes*, *Sphaerotillus natans*, *Tetrad* dan *Tricoda*, *Escherichia intermedia*.

Terbentuknya bioflok secara ilmiah belum disepakati para ilmuwan, tetapi hasil kajian terkini menunjuk ke arah tersebut. Mikroorganisme seperti bakteri dengan kemampuan melisis bahan organik mampu memanfaatkan detritus sebagai makanan. Sel bakteri mensekresikan lendir metabolit, biopolymer (polisakarida, peptide dan lipid) atau senyawa kombinasi dan terakumulasi di sekitar dinding sel serta detritus. Ketertarikan antar dinding sel bakteri menyebabkan terbentuknya flok bacterial. Polimer ekstraseluler yang dibentuk sendiri oleh bakteri berfungsi sebagai jembatan penghubung (mampu mencapai ukuran 50  $\mu\text{m}$ ). Dua senyawa biopolymer dengan gugus karboksil (COOH) pada bakteri berbeda membentuk ester dengan ion divalent (Ca, Mg). Ikatan-ikatan ini meningkatkan masa kumpulan partikel, menjadikan inti kumpulan bersifat hidrofobik (tidak suka air) dan tepinya bersifat hidrofilik (suka air) menjadikan air dalam partikelnya lebih sedikit. Ukuran diameter kemudian semakin besar menjadikan flok mudah terendap. Selain itu, kandungan bahan organik, oksigen dan pH juga berpengaruh terhadap terbentuknya flok.

Pembentukan bioflok berkualitas memerlukan perbandingan C:N:P sekitar 100:5:1. Oksigen terlarut di seluruh bagian air sebaiknya >4 ppm. Kandungan karbon yang terlalu banyak dan kadar oksigen terlarut rendah menyebabkan berkembangnya bakteri filament sehingga kualitas flok menjadi buruk. Flok yang baik memiliki proporsi yang seimbang antara bakteri filament (yang berfungsi sebagai rangka flok) dan non filament. Selain itu pH air juga sangat berpengaruh. Jika pH air rendah (asam) akan menghambat terbentuknya bioflok karena mengurangi kandungan kation divalent dalam air untuk ikatan esterasi.

Teknik pengolahan limbah dengan bioflok diadopsi oleh akuakultur untuk mereduksi bahan-bahan organik dan senyawa beracun yang terakumulasi dalam air pemeliharaan ikan/udang. Pada dasarnya sistem ini mereproduksi efek self-purifikasi yang terjadi di sungai dan estuarin. Hasil akhir aplikasi teknik bioflok adalah meningkatnya efisiensi pemanfaatan pakan dan peningkatan kualitas air.



Gambar 33. a. Kultur bioflok dalam corong imhoff siap dipanen

b. Tambak udang dengan aerasi menggunakan kincir

Telah diketahui secara luas bahwa berdasarkan hukum kekekalan massa banyak materi pakan tidak terserap menjadi biomass udang/ikan. Flok mikroba ini diharapkan mampu memanfaatkan materi tersebut dan akhirnya dapat menjadi bahan makanan

tambahan bagi udang. Beberapa hal penting yang menentukan kualitas bioflok adalah nilai nutrisi, aman dan palatable untuk dikonsumsi dan berukuran cukup besar sehingga layak dimakan oleh udang/ikan.

Aplikasi teknik bioflok secara kronologis dapat dijelaskan sebagai berikut : pada awal pemeliharaan kondisi kualitas air masih dalam kondisi baik. Hewan atau organisme akuatik yang diakan dipelihara dimasukkan sebagai input lalu pakan diberikan secara teratur. Pakan yang tidak termakan, feses atau sisa metabolit padat terakumulasi didasar wadah atau kolam. Kondisi ini lambat laun akan menimbulkan penumpukan bahan organik beracun, walau demikian masih dapat diserap oleh fitoplankton. Akan tetapi, fitoplankton tidak mampu menggunakan massa lumpur padat di dasar kolam. Seiring waktu, saat kondisi penetrasi cahaya berkurang (saat mendung) atau jumlah kepadatan fitoplankton terlalu tinggi maka akan terjadi kematian massal fitoplankton, sehingga tidak ampu mengurangi limbah beracun bahkan fitoplankton menambah konsentrasi limbah. Rendahnya pemanfaatan nitrogen pakan menyebabkan kandungan ammonia-nitrogen di air menjadi berbahaya. Sedangkan bakteri dapat memanfaatkan ammonia-nitrogen dengan efisien jika perbandingan C/N sekitar 15-25:1. Sehingga kekurangan karbon dapat digunakan sumber karbohidrat tertentu seperti gula, molase, tepung terigu dan dedak.

Perkembangan pesat dari bakteri flok akan memungkinkan terjadinya gumpalan-gumpalan yang dapat dimanfaatkan kembali oleh biota. Namun demikian dibutuhkan kandungan oksigen yang cukup (>4 ppm), pH 7,3-8,3 untuk mempertahankan flok karena susunan flok akan berubah kembali setelah 8 jam. Kebutuhan aerasi besar ini menyebabkan teknik bioflok hanya layak secara ekonomis untuk padat tebar tinggi. Flok yang terlalu padat (>200 ml/l dengan imhoff cone) perlu dilakukan pembuangan sebagian.

Berikut ini fakta-fakta penting pada aplikasi bioflok yang telah berhasil dilakukan untuk udang :

1. Padat tebar tinggi 130 –150 PL10/m<sup>2</sup>
2. Aerasi 28-32 HP/ha
3. Perlu diperhatikan posisi kincir tambak
4. Kolam berlapis HDPE
5. Molasse

## 6. Production 20–25 MT/ha/panen.

Tidak semua bahan organik dikonversi sempurna menjadi tubuh mikroba. Berikut ini kemampuan mikroba untuk mengkonversi berbagai senyawa organik. Senyawa organik akan dikonversi menjadi bioflok (%): Karbohidrat 65-85, Alkohol 52-66, protein 32-68, Lemak 10-60, Kasein 50-53, Glukosa 49-59, Sukrosa 58-68. Walaupun teknik bioflok begitu menjanjikan, namun ada beberapa kelemahan atau permasalahan yang harus diketahui :

1. Kebutuhan aerasi 24 jam non-stop. Oleh karena itu untuk mencapai kelayakan ekonomis perlu padat tebar tinggi. Kematian aerasi lebih dari 1 jam akan berakibat fatal khususnya ketika flok berumur tua.

2. Posisi kincir tambak harus sedemikian rupa sehingga partikel flok tetap tersuspensi.

3. Flok terlalu padat akan menurunkan kualitasnya. Konsentrasi bioflok tidak boleh lebih dari 200 ml/l dengan pengukuran corong imhoff. Pengurangan kepadatan dapat dilakukan dengan siphonasi.

4. Keasamaan air dapat dipertahankan dengan pemberian dolomite 5 ppm juga berfungsi sebagai sumber kation divalent.

### c. Vaksin Bagi Ikan

Salah satu penghambat dalam budidaya perikanan adalah penyakit yang menyerang ikan. Cara penanganan ikan yang sakit (atau pengendalian penyakit) bisa dengan pencegahan maupun pengobatan. Obat dan antibiotika efektif dalam pengobatan penyakit parasitik dan bacterial, tetapi antibiotika menimbulkan masalah pada penggunaan yang tidak tepat dalam dosis atau pun waktu penggunaannya. Masalah atau efek negatif dari penggunaan yang tidak tepat tersebut antara lain resistensi bakteri, residu antibiotika di ikan (untuk keamanan pangan) dan residu antibiotika di perairan yang menyebabkan kerusakan lingkungan. Karena itulah beberapa produk perikanan di Indonesia di tolak di pasar Uni Eropa dan Jepang karena terdapat residu antibiotik.

Cara yang paling murah dan efisien dalam pengendalian penyakit adalah dengan pencegahan. Mencegah timbulnya penyakit dapat dengan pengelolaan lingkungan, penggunaan pakan dengan mutu, jumlah dan cara pemberian yang tepat. Salah satu cara pencegahan yang sekarang sudah mulai diaplikasikan adalah dengan cara menimbulkan kekebalan tubuh dengan vaksinasi. Tujuannya adalah untuk memperoleh ketahanan

terhadap suatu infeksi tertentu, sehingga diperoleh tingkat kelangsungan hidup yang tinggi akibat proteksi imunologik tersebut.

Secara umum manfaat vaksinsai antara lain dalam hal : **peningkatan daya tahan atau sistem kekebalan ikan**. Pencegahan efek samping kemoterapeutika, proteksi terhadap serangan infeksi tertentu, keamanan lingkungan budidaya dari pencemaran bahan kematerapeutik dan keamanan konsumen dari residu antibiotik. Prinsip dasar vaksinasi adalah memasukkan vaksin/antigen ke dalam tubuh ikan sehingga antigen tersebut merangsang sistem imun tubuh untuk memproduksi antibodi (kekebalan spesifik). Dengan hanya 1 atau dua kali pemberian vaksin biasanya daya tahan/kekebalan tubuh ikan akan bertahan sampai akhir masa pemeliharaan. Ada beberapa syarat yang sebaiknya diperhatikan sebelum melakukan vaksinasi terhadap ikan, yaitu :

1. Ikan sebaiknya berumur sekitar 3 minggu, karena pada umur kurang dari tiga minggu, organ-organ yang berperan dalam sistem pembentukan antibodi belum sempurna.
2. Jangan memvaksin ikan yang sakit/stres. Tunggu hingga ikan dalam keadaan optimal.
3. Suhu air diatas 26 °C, karena pada suhu ini respon antibodi akan lebih cepat terbentuk.
4. Air yang digunakan harus bebas dari unsur polutan atau kondisinya optimal, hal ini karena polutan dapat menjadi stressor bagi ikan menghambat pembentukan antibodi.

#### **Jenis-jenis vaksin :**

##### **1. Killed vaccine (vaksin in-aktif) :**

- a. Patogen yang dimatikan.
- b. Paling banyak dipakai : bakteri utuh yang diinaktivasi dengan formalin atau pemanasan.
- c. Efektif menginduksi respon humoral (antibodi), tetapi kurang efektif merangsang kekebalan selular dan mukosal.
- d. Vaksin Vibriosis di Eropa tahun 1970-an.
- e. *Aeromonas hydrophila* (formalin 0,03%).

##### **2. Live-vaccine (vaksin hidup) :**

- a. Patogen dilemahkan (*live-attenuated*).

- b. Seperti infeksi oleh patogen tapi tidak menimbulkan penyakit.
- c. Terpapar antigen dalam waktu yang lama sehingga efektif dalam merangsang kekebalan selular. Kemungkinan patogen menjadi ganas kembali dan sulit mendapatkan ijin.
- d. Rekayasa genetik : gen virulensi dihilangkan sehingga patogen tidak ganas.
- e. KV-3 (Kovac, Israel).

### 3. Vaksin sub-unit (vaksin rekombinan) :

- a. Vaksin dari bagian/komponen mikroorganisme misalnya kapsul polisakarida, exotoksin, atau
- b. Protein rekombinan hasil rekayasa genetik :
  1. Kloning gen imunogenik ke dalam bakteri
  2. Bakteri sebagai 'pabrik' produksi protein imunogenik.
  3. Cocok untuk membuat vaksin dari patogen yang sulit dikultur masal seperti virus, *Piscirickettsia* dan *Renibacterium salmoninarum*.
  4. Vaksin gen VP2 untuk IPN pada ikan salmon
- c. Kecil resiko patogen menjadi ganas.

### 4. Vaksin DNA

Vaksin DNA memiliki keuntungan yaitu tidak menimbulkan resiko infeksi, mudah dikembangkan dan diproduksi, bersifat stabil dan mampu mengaktivasi sistem kekebalan baik humoral maupun seluler, sedang kelemahannya adalah terbatasnya protein yang bersifat imunogenik.

Vaksin DNA memiliki beberapa keunggulan sehingga layak untuk dikembangkan. Beberapa keunggulan vaksin DNA yang dapat dijadikan sebagai alasan untuk mengembangkannya adalah :

1. Bersifat generik dan sederhana
2. Aman dan tidak menimbulkan resiko terinfeksi penyakit
3. Kombinasi keuntungan dari vaksin yang dimatikan (*inactivated vaccine*) dan yang dilemahkan (*attenuated vaccine*)
4. Dapat mencapai keberhasilan tujuan vaksinasi ketika vaksinasi konvensional gagal
5. Memungkinkan untuk diberikan bersama ajuvan molekular misalnya motif CpG
6. Mengaktifkan baik sistem kekebalan humoral maupun seluler

7. Memungkinkan vaksinasi multivalen yaitu dengan mencampur vaksin DNA untuk lebih dari satu jenis penyakit melalui vaksinasi yang dilakukan secara bersamaan
8. Memberikan proteksi yang baik apabila diberikan pada stadium awal
9. Proteksi dapat diinduksi dalam waktu singkat dan memberikan efek proteksi dalam jangka waktu lama
10. Dapat memberikan proteksi baik dalam suhu rendah maupun tinggi
11. Dapat memberikan proteksi pada *heterologous strain pathogen*
12. Dapat menyediakan vaksin untuk patogen baru dalam waktu cepat dan biaya rendah
13. Produk murni memiliki stabilitas yang tinggi
14. Biaya produksi relatif murah dan mudah diproduksi

Berdasarkan penelitian, ikan rainbow trout yang divaksinasi dengan DNA glikoprotein VHS (*viral haemorrhagic septicaemia*) memperlihatkan proteksi total yang merupakan komplementasi antara respon imun non-spesifik dan respon imun spesifik. Respon imun non-spesifik bekerja pada lebih awal, setelah perannya menurun digantikan oleh respon spesifik. Proteksi ini dipresentasikan dengan kelangsungan hidup relatif (*relative percentage survival*=RPS). Di Indonesia vaksin DNA sudah mulai dikembangkan. Vaksin yang dikembangkan ini diantaranya adalah Vaksin DNA untuk mencegah infeksi KHV pada ikan mas dan koi, serta vaksin untuk mencegah penyakit VNN pada ikan kerapu.

### **Metode Vaksinasi Menggunakan Vaksin DNA**

Vaksin DNA dapat diaplikasikan di ikan baik melalui injeksi, pakan dan perendaman. Sebagai contoh adalah vaksin DNA anti-KHV (koi herpes virus) pada ikan mas dan koi. Vaksin DNA anti-KHV yang diaplikasikan pada ikan mas melalui injeksi intra-muskular pada dosis 12,5 µg/100 µl dapat meningkatkan tingkat kelangsungan hidup relatif ikan mas pada kisaran 72-96%. Khusus untuk vaksin DNA anti-KHV, vaksin ini siap diproduksi secara massal dan pengaplikasiannya melalui injeksi.

Pada penelitian aplikasi vaksin DNA anti-KHV melalui perendaman, sebanyak 400 ekor benih ikan mas umur 30 hari setelah menetas direndam dalam air mengandung bakteri terkonstruksi yang telah dilemahkan sebanyak  $10^8$  CFU/mL vaksin DNA. Perendaman dilakukan selama 30 menit sekali, 60 menit sekali, 90 menit sekali, 90 menit 2 kali, dan 90 menit 3 kali perendaman pada hari berbeda. Setelah 30 hari pasca vaksinasi, ikan diuji tantang dengan menyuntikkan virus KHV  $10^{-3}$  TCID<sub>50</sub>/100 mL. Hasil penelitian menunjukkan



bahwa vaksinasi melalui perendaman satu kali selama 30 menit menghasilkan kelangsungan hidup ikan 61%. Vaksinasi meningkatkan kelangsungan hidup ikan sekitar 2 kali lebih tinggi daripada ikan kontrol yang tidak divaksin (26,67%). Dengan demikian, vaksin DNA efektif diberikan melalui 1 kali perendaman selama 30 menit, dan metode ini dapat berguna untuk meningkatkan daya tahan ikan mas terhadap infeksi KHV.

Berdasarkan hasil penelitian di IPB, menunjukkan bahwa vaksinasi tiga kali seminggu memberikan kelangsungan hidup relatif (84,6%) tertinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Dengan demikian, vaksinasi secara oral melalui pakan efektif meningkatkan kelangsungan hidup ikan, dan metode ini dapat menjadi alternatif dalam mengendalikan infeksi KHV pada budidaya ikan mas dan ikan koi.

### **Efektivitas Vaksinasi**

Efektivitas vaksin DNA dalam skala penelitian memang telah terbukti dengan meningkatnya kelangsungan hidup relative ikan yang divaksin dibanding dengan yang tidak divaksin. Penelitian secara khusus untuk melihat perlu tidaknya dilakukan *booster* sampai saat ini belum dilakukan. Namun demikian, ikan mas yang divaksin dengan vaksin anti-KHV yang dipelihara selama sembilan bulan ternyata masih resisten terhadap virus KHV.

### **Prosedur Vaksinasi**

Ikan adalah hewan yang mudah mengalami stress. Dalam vaksinasi seringkali ikan ini dianestesi untuk meminimalisir stress serta untuk memenuhi kaidah *animal welfare*. Bahan anastesi yang bisa digunakan untuk ikan misalnya adalah benzocaine. Bahan ini dapat digunakan untuk membius ikan dengan dosis 50 mg/L atau menurut optimasi yang disesuaikan dengan sjenis ikan, situasi maupun kondisi tertentu. Bahan lain yang dapat digunakan adalah minyak cengkeh (merk House Brand, PD.Eltra Raya Perkasa, Tangerang) dengan dosis 0.04 ppt . Ikan yang pingsan setelah pembiusan dapat divaksin dengan menggunakan vaksin DNA. Untuk memulihkan kesadaran ikan maka ikan dipulihkan (*recovery*) dalam media air yang diaerasi secara intensif.

### **Teknik aplikasi vaksin pada ikan ada beberapa cara yaitu :**

- 1). Aplikasi vaksin melalui perendaman
- (2). Aplikasi vaksin melalui pakan

(3). Aplikasi vaksin melalui suntikan.

#### **APLIKASI VAKSIN MELALUI PERENDAMAN**

Untuk ikan yang ukurannya kecil dalam jumlah banyak biasanya aplikasi vaksin akan lebih efisien dilakukan dengan melalui perendaman. Perendaman biasanya dilakukan dalam suatu wadah tertentu dengan menggunakan volume air tertentu yang kemudian dicampurkan sejumlah vaksin dalam air tersebut sehingga mencapai dosis yang disarankan. Ikan yang akan divaksinasi dimasukkan kedalam larutan tersebut. Jangka waktu perendaman ikan dalam larutan vaksin biasanya sekitar 15 – 30 menit. Selama proses vaksinasi sebaiknya dilengkapi dengan aerasi, dan kepadatan ikan tidak terlalu tinggi (antara 100 – 200 gram/L air).

#### **APLIKASI VAKSIN MELALUI PAKAN**

Teknik ini lebih sesuai untuk ikan-ikan yang sudah dipelihara dalam kolam pemeliharaan ataupun sebagai upaya vaksinasi ulang (*booster*). Dosis vaksin yang digunakan untuk teknik ini sesuai dengan dosis yang direkomendasikan (sebagai contoh untuk vaksin HydroVac adalah 3 -5 ml/kg bobot tubuh ikan) dan pemberian vaksin melalui pakan sebaiknya dilakukan selama 5 – 7 hari berturut-turut.

#### **ALPIKASI VAKSIN MELALUI SUNTIKAN**

Cara pemberian vaksin dengan melalui suntikan lebih tepat untuk ikan-ikan yang berukuran relatif besar, jumlahnya tidak terlalu banyak dan berharga, misalnya induk ikan. Namun demikian mengenai jumlah yang banyak pada saat ini tidak menimbulkan masalah yang menjadi faktor pembatas, karena sudah ada alat vaksinasi otomatis. Keuntungan pemberian vaksin melalui penyuntikan adalah 100% vaksin dapat masuk ke dalam tubuh ikan.

Ada dua cara penyuntikan yang biasa dilakukan, yaitu dimasukkan ke rongga perut (*intra peritoneal*) dan dimasukkan ke otot/daging (*intra muscular*). Penyuntikan secara IP biasanya dilakukan di bagian perut, diantara kedua sirip perut atau sedikit di depan anus, dengan sudut kemiringan jarum suntik (*needle*) kira-kira 30°. Penyuntikan secara IM biasanya dilakukan di bagian punggung, pada ikan yang bersisik biasanya dilakukan di sela-sela sisik ke 3 – 5 dari kepala, dengan sudut kemiringan jarum suntik kira-kira 30 – 40°.

Namun mengingat bahwa sifat kulit ikan ini tidak dapat secara cepat menutup kembali setelah ditusuk dengan jarum suntik (daya elastisnya kurang) maka lebih disarankan penyuntikan dengan vaksin dilakukan secara intraperitoneal.

### **Kegiatan**

1. Mahasiswa memperhatikan penjelasan Dosen mengenai materi pada bab ini dengan seksama dan menanyakan hal-hal yang belum dipahami.
2. Dosen memberikan pertanyaan setelah selesai penyampaian materi berupa kuis dan waktunya disepakati bersama dengan mahasiswa.
3. Praktikum dilaksanakan sesuai dengan materi di laboratorium dan mahasiswa wajib mengikutinya.
4. Ujian akhir mata kuliah ini dilaksanakan setelah perkuliahan atau pertemuan kelas selesai, waktu ujian dilaksanakan mengikuti jadwal yang sudah ditetapkan oleh FPIK.

### **Rangkuman**

Berdasarkan uraian materi di atas maka dapat dirangkum beberapa hal sebagai berikut :

1. Mikroba memiliki arti penting dalam kehidupan manusia dan kegiatan di bidang perikanan (akuakultur).
2. Mikroba yang berperan positif atau menguntungkan dimanfaatkan dalam penanganan air limbah, industri pangan, industri dalam bidang kesehatan atau farmasi.
3. Penerapan atau aplikasi mikroba dalam bidang perikanan antara lain probiotik, teknik bioflok dan vaksin.

## **8.3. PENUTUP**

### **Tes Formatif**

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan jelas !

1. Sebutkan dan jelaskan masing-masing 3 faktor fisik dan biologi yang mempengaruhi keberadaan mikroba di lingkungan !
2. Sebutkan 2 cara penanganan air limbah dengan memanfaatkan mikroba !
3. Sebutkan dan jelaskan cara pengaplikasian vaksin bagi ikan !

## DAFTAR PUSTAKA

- Bitton, G. 2005. Wastewater Microbiology. 3<sup>rd</sup> edition. Wiley-Liss Pub, New York.
- Ellis, A.E. 1988. Fish Vaccination. Accademic Press Inc, San Diego USA. 255 p.
- Fuller, R. 1992. Probiotics. The Scientific Base. Caphman and Hall, London.
- Gatesoupe, F.J. 1999. The Use Probiotic In Aquaculture. (Review). Aquaculture : 147-165.
- Holt, J.G., N.R. Krieg, P.H.A. Sneath, S.T. Williams. 1994. Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. 9<sup>th</sup> edition. William & Wilkins, USA. 787 p.
- Madigan, J.M. Martinko, J. Parker. 1991. Biology of Microorganisms. 8<sup>th</sup> edition. Prentice-Hall Inc, New Jersey. 986 p.
- Pelczar, M.J, E.C.S. Chan. 1986. Elements of Microbiology, Penerjemah R.S. Hadioetomo, T. Imas, S. Tjirosomo, S.L. Angka. Dasar-dasar Mikrobiologi I. UI Press, Jakarta. 443 hlm.
- Pelczar, M.J, E.C.S. Chan. 1988. Elements of Microbiology, Penerjemah R.S. Hadioetomo, T. Imas, S. Tjirosomo, S.L. Angka. Dasar-dasar Mikrobiologi 2. UI Press, Jakarta. 554 hlm.
- Sahidhir, I. Peningkatan Kualitas Bioflok. 2010.  
<http://artaquaculture.blogspot.com/2010/09/peningkatan-kualitas-bioflok-dengan.html>